Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ
Белорусская государственная академия авиации
Белорусский государственный технологический университет

Материалы международной молодежной научной конференции «XXVII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ (школа молодых ученых)», посвященной 80-летию Победы в Великой Отечественной войне

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

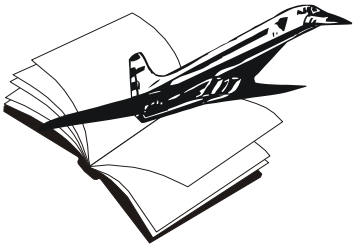
Электронное издание

Казань 2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ
Белорусская государственная академия авиации
Белорусский государственный технологический университет

Материалы международной молодежной научной конференции

«XXVII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ (школа молодых ученых)», посвященной 80-летию Победы в Великой Отечественной войне



СБОРНИК ДОКЛАДОВ

Электронное издание

Казань 2025

© Оформление.
Изд-во ИП Сагиев А.Р., 2025
ISBN 978-5-6055370-0-7

УДК 629.7:621: 620.9: 681.2: 621.396.6:004
ББК 39.5:34.4:31:34.9:32:32.973.2

XXVII Туполевские чтения (школа молодых ученых): материалы международной молодёжной научной конференции, 13-14 ноября 2025 г., Казань, Россия, посвященной 80-летию Победы в Великой Отечественной войне. Сборник докладов. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2025. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-5-6055370-0-7. – Загл. с титул. экрана. – Текст: электронный.

Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/ Vista/10; дисковод CD-ROM; Adobe Reader.

ISBN 978-5-6055370-0-7

В сборнике представлены тексты докладов участников Международной молодёжной научной конференции «XXVII Туполевские чтения (школа молодых ученых)», посвященные актуальным вопросам и проблемам развития аэрокосмических технологий, машиностроения, энергетики, приборостроения, информационных, инфокоммуникационных, радиоэлектронных технологий, а также социально-экономические аспекты создания аэрокосмической техники.

Материалы докладов публикуются в авторской редакции.
Ответственность за аутентичность и точность имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов.

Редакционная коллегия:
Алтунин В.А., д.т.н., профессор; **Анисимова И.В.**, д.ф.-м.н., профессор;
Аппалонова Н.А., к.э.н., доцент; **Арефьева Е.В.**, д.т.н., г.н.с. ФГБУ ВНИИ ГОЧС МЧС России (ФЦ); **Аристова Н.С.**, к.ф.н., доцент; **Батраков В.В.**, к.т.н., доцент;
Беляев В.А., д.пол.н., профессор; **Вершинин И.С.**, к.т.н., доцент;
Гайнутдинов В.Г., д.т.н., профессор; **Галимов Э.Р.**, д.т.н., профессор;
Гатауллина И.А., д.и.н., профессор; **Гильмутдинов А.Х.**, д.ф.-м.н., профессор;
Гимазетдинова А.Х., к.филос.н., доцент; **Данилаев М.П.**, д.т.н., профессор;
Денисов Е.С., к.т.н., доцент; **Зайдуллин С.С.**, к.т.н., доцент;
Зиннатова Д.М., к.п.н., доцент; **Иртуганова Э.А.**, к.х.н., доцент;
Козлов С.В., д.т.н., профессор; **Костин В.А.**, д.т.н., профессор;
Лопатин А.А., к.т.н., доцент; **Муравьева Е.В.**, д.п.н., профессор;
Мустафина Г.Г., к.э.н., доцент; **Нагулин К.Ю.**, д.т.н., профессор;
Насыбуллин А.Р., д.т.н., профессор; **Николаев Е.И.**, к.т.н., доцент;
Сайфутдинов А.И., д.ф.-м.н., профессор; **Саттаров А.Г.**, д.т.н., профессор;
Сафаргалиев М.Ф., к.э.н., доцент; **Тимеркаев Б.А.**, д.ф.-м.н., профессор;
Тунакова Ю.А., д.х.н., профессор; **Ференец А.В.**, к.т.н., профессор;
Хабибуллин Ф.Ф., к.т.н., доцент; **Чермошенцев С.Ф.**, д.т.н., профессор;
Швеёв А.И., к.т.н., доцент; **Шлеймович М.П.**, к.т.н., доцент;
Юдина С.В., д.э.н., профессор; **Янбаев Р.М.**, к.т.н., доцент;

ISBN 978-5-6055370-0-7

© Авторы докладов, 2025
© Оформление.
Изд-во ИП Сагиев А.Р., 2025

Наши партнёры!

Учреждение образования «Белорусская государственная академия авиации»

Учреждение образования «Белорусская государственная академия авиации» (далее – БГАА) – единственное в Республике Беларусь учреждение образования, осуществляющее полный цикл подготовки всего спектра авиационных специалистов по уровням среднего специального образования, общего высшего образования, углубленного высшего образования (магистратуры), аспирантуры, переподготовки и повышения квалификации действующего авиационного персонала.

Работа слаженного коллектива академии полностью удовлетворяет потребность в авиационных кадрах не только внутри страны, но и за её пределами. На сегодняшний день в БГАА обучается более 1400 курсантов по программам подготовки пилотов; диспетчеров; авиационных логистов; инженеров по технической эксплуатации воздушных судов, двигателей, бортового и радиотехнического оборудования; специалистов по технической эксплуатации беспилотных авиационных комплексов; техников по различным направлениям.

На 12 кафедрах академии работают более 150 высококвалифицированных преподавателей. За время существования в стенах БГАА подготовлено более 20 000 специалистов и количество выпускников продолжает расти. В настоящее время академия авиации располагает широкой образовательной инфраструктурой: 5 учебных корпусов, 2 аэродрома, 2 научно-исследовательские лаборатории, специализированные аудитории.

В системе подготовки авиационных специалистов в академии авиации немаловажную роль играет практикоориентированность обучения. Для решение этой задачи БГАА пополняет материально-техническую базу новыми тренажёрами, макетами и реальными образцами воздушных судов и двигателей. Курсантам предоставляется доступ к передовому оборудованию в обновлённых аудиториях и лабораториях, что позволяет закреплять полученные знания на практике, а также проводить научные исследования.

Большое внимание уделяется общественной, творческой, спортивно-массовой и социальной работе. Курсанты академии авиации имеют ряд социальных преимуществ: обеспечение местами для проживания в комфортабельных общежитиях блочного типа, располагающихся на территории; возможность получения круглосуточного медицинского обслуживания в здравпункте.

БГАА стремится навстречу выдающимся свершениям и покорению новых высот. БГАА стремится навстречу выдающимся свершениям и покорению новых высот, ведь девиз академии: «Надзейныя крылы – бяспека Айчыны!».

СЕКЦИЯ 1
АЭРОМЕХАНИКА, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОЧНОСТЬ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

УДК 004.032.26

РАСЧЕТ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Андреев М.И., Сафронов П.А., Саганов Е.Б.
(ПАО «ОАК» ОКБ Сухого, г. Москва)

Аннотация. Целью данной работы является решение задачи потери устойчивости элемента тонкостенной конструкции с отверстием с применением искусственной нейронной сети. Данный подход позволяет найти решение без построения конечно-элементной математической модели тонкостенного элемента.

В настоящее время приоритетным направлением развития проектирования современных и перспективных летательных аппаратов является автоматизация различных этапов проектирования с применением искусственных нейронных сетей.

Проектирование элементов тонкостенной конструкции, например, стенок шпангоута или лонжерона с элементами жесткости, с произвольно расположенным в них отверстием по критерию потери устойчивости осложнено отсутствием известного точного аналитического решения задачи определения потери устойчивости таких элементов конструкции летательного аппарата.

В такой ситуации требуется проведение расчёта напряженно-деформированного состояния элемента тонкостенной конструкции с применением конечно-элементной математической модели этой конструкции. В данной работе для решения задачи устойчивости от сдвига шарнирно опертой тонкостенной конструкции с произвольно расположенным отверстием предлагается использовать обученную искусственную нейронную сеть.

Была проведена исследовательская работа в части предиктивной аналитики. Рассмотрен полный процесс – выделения признаков задачи, сбора и структуризации данных, разработки, обучения, валидации и тестирования искусственной нейронной сети, её последующей интеграции с имеющимися PLM системами.

Для того, чтобы обучить искусственную нейронную сеть необходимо подать ей на вход определённое количество примеров с соответствующими им ответами. Количество примеров должно быть достаточной величины для установления приемлемого уровня отклонений ответа нейронной сети от точного аналитического решения. Для обучения нейронной сети необходимо перевести исследуемую тонкостенную конструкцию с произвольно расположенным отверстием (Рисунок 1) в машинно-читаемый вид.

Для этого предлагается использовать следующие геометрические параметры:

- a – длина пластинки;
- b – высота пластинки;
- δ – толщина пластинки;
- E – модуль упругости материала;
- r_X – координата центра отверстия, горизонтальная;
- r_Y – координата центра отверстия, вертикальная;
- r – радиус отверстия.

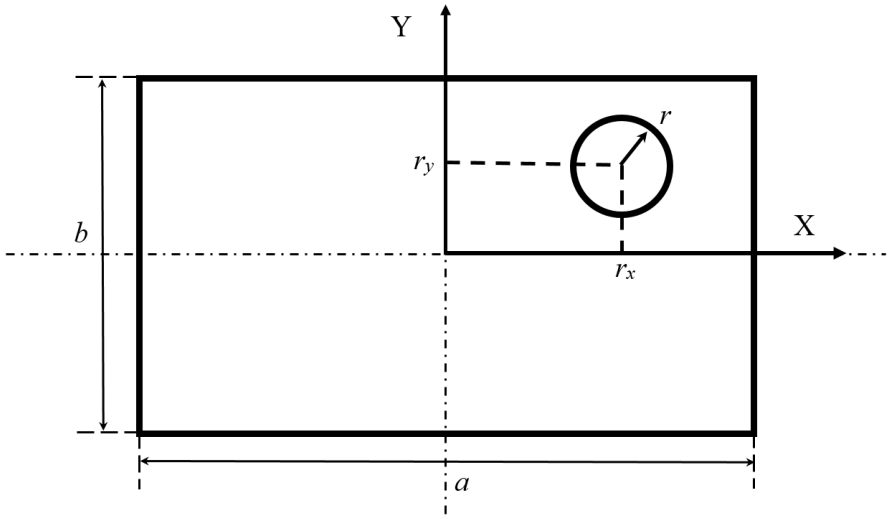


Рисунок 1. Геометрические параметры пластинки с отверстием

Для обучения искусственной нейронной сети была создана база данных, содержащая примеры решения задачи устойчивости от сдвига шарнирно опертой тонкостенной конструкции с произвольно расположенным отверстием. Каждый из параметров был проварьирован в заданном диапазоне, и для полученного примера пластины с отверстием была разработана конечно-элементная модель и проведен расчет напряженно-деформированного состояния в программном комплексе MSC Nastran. Полученный результат записывался в базу данных примеров для обучения нейронной сети.

База данных представляет собой текстовый файл формата «.txt», содержащий 10^6 строк (по числу решенных примеров) и 8 столбцов с данными (Рисунок 2).

ID	X1	X2	X3	X4	X5	X6	TAU
1	.385080236078325	.575499121423768	.825956753333333	.804920486548668	.737872993669078	.443349828332321	BAD
2	.368365609945264	7.827173992745 18E-02	.35212004347619	9.30547872354806E-02	.59416870527612	.933895516954661	.416071146334641
3	.738030690500267	.462255359215434	.423181553095238	.299783957620807	.896190691314295	.574852640272367	23.8285410781746
4	.861541120824972	.368851365059107	.729476537142857	8.27379150659246E-02	.354514871256185	.273305073298874	24.5605847847397
5	.225953463524418	.596174915388535	.343414276095238	.47470118739113	.486655413254552	.675190861927569	28.7520916435703
6	.840910064204088	.647135845204527	.240731634095238	.485889449439394	.4569988456619	.852036852281941	18.5612735561782
7	.812130033237302	.551897950456694	.218559832238095	.859219738190475	.999474284797457	0	17.4702929264321
8	.695239677003053	.580496470791129	.416340828761905	.363655310136986	.420722683237818	.349083636110571	34.237970714288
9	.274562003882156	3.66451724245797E-02	.930207581904762	.694840828153808	1.87637888572294E-02	.754538882703428	.303206628406995
10	.814041258871155	.769509181485398	.286886690333333	.464409722941913	.199450447036528	.528512547777978	32.9051337837673
11	.522263603381858	.903338854528589	.66378931	.657048562832376	.536831049187416	.415749531309957	134.44283880311
12	.237536475370192	.797843026018327	.361215671904762	.672515337791374	.568733987889838	.967711442833523	47.5452075139728
13	.871094468268345	.673436897278168	.714084859047619	.437020827803764	.197162490865307	.229886471433295	79.3486642501863
14	.239527706605227	.529852073240459	.585150374285714	.634577655481223	9.369773786866669E-02	.775731152166224	37.692450115303
15	.423483310762018	.936724588103635	.20288365047619	.307266944860115	.629312870418928	.868628357792675	37.1621986523413
16	.714475661103882	.516832997376019	.268069176238095	.087263672311074	.669721522962882	.283360691000001	18.8537220376063
17	.730859317354126	.515927799093849	.319474886904762	.671120261356822	.450288812865738	.336320588509266	21.2573748861339
18	.319077943468922	.213788729914514	.985607817142857	.492071220536511	.134057127955328	.270902655408882	12.2018754304818
19	.527613195968493	.935032518141715	.456633620238095	.038024812822304	.437633993134167	.327808187836701	100.925616304982
20	.905962735532585	.833312379816115	8.95426382380952E-02	.489567427737513	.562021109194165	.629678988424799	13.9385623113087
21	.324004902038749	.624199626254883	.908489765714286	.34013485163945	.877605703175024	.577295033380919	109.037912783222
22	.642847031681014	.318309081826396	.144197566714286	.300504589599391	.66983253142334	.301052470369591	3.92352392503511
23	.475641169816633	.853480379615219	.213431781952381	2.91606293185537E-02	.599202170831681	.684597100909701	35.1874598169345
24	.6421442593348	.540653042414898	.542191482857143	.541797149514018	.708888959563666	.514539670212015	40.5842733670488
25	.487213882644481	.42330083369986	.357606944095238	.980832058246726	.690081772166151	.71896160393478	17.2455352174439
26	.787574052211894	.939808802354506	.759249645238095	.330622819442174	.537426506694393	.267584493696849	168.544231158625
27	.721843973625422	.363700947454196	.101663239	.539981105569887	.13300892599045	.133193351728089	3.54149797913107
28	.972804152223371	.242450427671087	.338981659619048	.902185124746483	.586152444077367	.737362276326303	4.61423815190838
29	.587717782435648	8.49381239297074E-02	.509800476666667	.109108911286625	.843328610423356	.788565189462631	.98781623084925
30	.3642356907019	.726914298260096	.986987704285714	.574839335282488	.723213958000619	.537695545696726	146.572911258388

Рисунок 2. Структура базы данных с примерами для обучения искусственной нейронной сети

Столбец 1 содержит ID решенной задачи, и соответствует номеру строки.
Столбцы 2-7 –нормированные варьируемые параметры задачи X1-X6:

- Параметр $X1$ – отношение длины пластинки к ширине;
- Параметр $X2$ – отношение толщины пластинки к ширине;
- Параметр $X3$ – модуль упругости материала пластинки;
- Параметр $X4$ – горизонтальная координата положения центра отверстия;
- Параметр $X5$ – вертикальная координата положения центра отверстия;

- Параметр $X6$ – радиус отверстия;

Столбец 8 – $\tau_{КР}$ – решение задачи.

Далее была создана и обучена искусственная нейронная сеть со следующими характеристиками:

- 3 слоя;
- Количество нейронов: 256;
- Функция активации: ReLU (Rectified Linear Unit);
- Оптимизатор: «Adam»;
- Функция потерь: MAE (Mean Absolute Error);
- Количество эпох: 41.
- Batch size: 512.

Дополнительные сведения о построении и обучении нейронных сетей были заимствованы из учебника Ф. Шолле [1], где подробно рассматриваются принципы реализации глубокого обучения на языке Python с применением библиотеки Keras. На основе изложенных в книге подходов была выбрана архитектура модели с тремя скрытыми слоями и функцией активации ReLU, что позволило достичь высокой скорости сходимости при минимальных вычислительных затратах. Кроме того, рекомендации автора по использованию оптимизатора Adam были использованы при настройке процесса обучения, что обеспечило устойчивость минимизации функции потерь MAE.

В учебнике Образцова И.Ф. и соавторов [2] рассматриваются основы строительной механики летательных аппаратов, включая расчёт тонкостенных конструкций и анализ их устойчивости под действием различных видов нагрузок. При подготовке базы данных для обучения нейронной сети использовались положения из данного источника, в частности анализ влияния концентраторов напряжений (отверстий) на критическую силу потери устойчивости. Это позволило корректно сформулировать задачу и определить физически осмысленные диапазоны изменения входных параметров модели.

Обучение проводилось на примерах из базы данных, описанной выше. Для проверки независимости результата работы нейронной сети от примеров обучающей выборки было проведено 5 итераций обучения нейронной сети на разных примерах из базы данных. Во всех 5 случаях нейронная сеть находила решение задачи с точностью до 2 %. Полученная искусственная нейронная сеть позволяет найти решение без построения конечно-элементной математической модели тонкостенного элемента.

Данная нейронная сеть интегрирована в корпоративную PLM систему и позволяет инженерам-конструкторам на этапе проектирования оценить устойчивость тонкостенных конструкций с отверстием решение без построения конечно-элементной математической модели элемента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Шолле Ф.* Глубокое обучение на Python. 2-е межд. издание. – СПб.: Питер, 2023.

2. *Образцов И.Ф., Булычев Л.А. Васильев В.В. и др.* Строительная механика летательных аппаратов: Учебник для авиационных специальностей вузов – М.: Машиностроение, 1986.

CALCULATION OF STABILITY LOSS OF THIN-WALLED STRUCTURES USING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Andreev M.I., Safronov P.A., Saganov E.B.

(«UAC » Sukhoi Design Bureau, Moscow)

Abstract. The purpose of this work is to solve the problem of loss of stability of a thin-walled structure element with a hole using an artificial neural network. This approach allows us to find a solution without constructing a finite-element mathematical model of the thin-walled element.

УДК 624.074.4

ДИНАМИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ УДАРНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА УПРУГУЮ ФЕРМЕННУЮ КОНСТРУКЦИЮ

Андреева А.О.

Научный руководитель: Русских С.В., д. ф.-м. н.

(ПАО «ОАК» ОКБ Сухого, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва)

Аннотация. Целью работы является изучение динамического воздействия железнодорожного состава конечной величины на упругую ферменную конструкцию, представляющую однопролетный железнодорожный мост. В рамках исследования находятся максимальные перемещения стыкового узла конструкции и максимальные усилия в наиболее нагруженных элементах конструкции двумя способами: аналитически и с помощью конечно-элементного моделирования.

Проблема обеспечения конструктивной надёжности мостовых сооружений актуальна для развития железнодорожного транспорта в России. Она напрямую связана с реализацией Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации [1].

Перемещения находим по формуле [2]:

$$\overline{v} = \sqrt{m}^{-1}(\sum_{j=1}^{n} \lambda_j(t) \cdot H_j)\sqrt{m}^{-1} \cdot \overline{P_0} \quad (1)$$

а внутренние усилия в стержнях по формуле [3]:

$$\overline{N_{\text{расч}}}(t) = L_N\sqrt{m}(\sum_{j=1}^{n} {p_j}^2 \cdot \lambda_j(t) \cdot H_j)\sqrt{m}^{-1} \cdot \overline{P_0} \quad (2)$$

где L_N – матрица влияния внутренних усилий, $m = mE$ – матрица масс, E – единичная матрица, H_i–парциальнаяматрица, $\overline{P_0} = [0 \quad 0 \quad 0 \quad S \quad 0 \quad 0 \quad 0]^T$ – вектор амплитуд нагрузки, ${p_j}^2$ – квадрат собственной частоты.

$$\lambda_j(t) = \int_{-\infty}^{t} k_i(t-\tau) \cdot f(t) \cdot d\tau. \quad (3)$$

Для составления матрицы влияния внутренних усилий L_N [4] в нижнем узле фермы последовательно прикладываем силы $F_j = 1$, находим внутренние усилия и записываем их значения в j-й столбец (Рисунок 1).

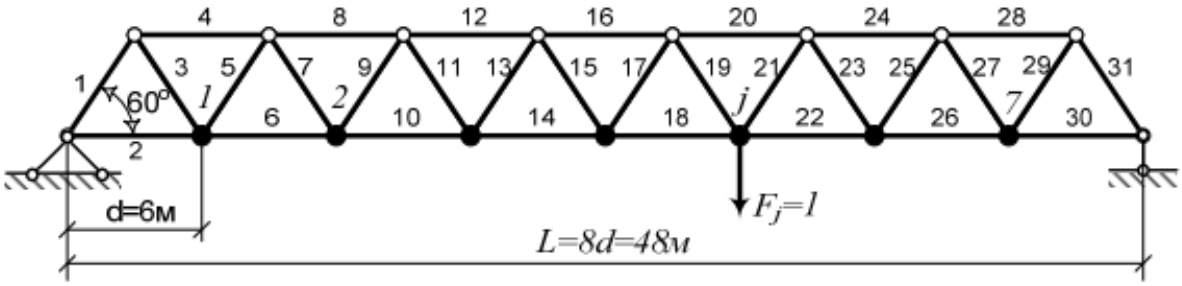


Рисунок 1. Загружение фермы единичными нагрузками для составления матрицы L_N

Для определения внутренних усилий в стержнях заданной статически определимой фермы рассмотрим равновесие изолированных фрагментов с помощью метода сечений. Для получения аналитического решения воспользуемся методом вырезания узлов.

Найдем матрицу G, полученную при перемножении линейных эпюр. Ненулевые элементы матрицы находятся на главной диагонали: $G = diag|g_i|$, $g_i = \frac{d}{EA}$ – для элементов нижнего пояса и раскосов, $g_i = \frac{d}{2EA}$ – для элементов верхнего пояса.

Рассмотрев все единичные перемещения системы и определив матрицу влияния внутренних усилий, найдем матрицу податливости.

$$\overline{D} = {L_N}^T \cdot U^T \cdot G \cdot U \cdot L_N \quad (4)$$

Для статически определимой фермы $U = E$, получим

$$\mathrm{D} = {L_N}^T \cdot G \cdot L_N = \frac{d}{EA} \begin{vmatrix} 6{,}417 & 8{,}75 & 9{,}583 & 9{,}167 & 7{,}75 & 5{,}583 & 2{,}917 \\ 8{,}75 & 16 & 17{,}917 & 17{,}333 & 14{,}75 & 10{,}667 & 5{,}583 \\ 9{,}583 & 17{,}917 & 23{,}75 & 23{,}5 & 20{,}25 & 14{,}75 & 7{,}75 \\ 9{,}167 & 17{,}333 & 23{,}5 & 26{,}667 & 23{,}5 & 17{,}333 & 9{,}167 \\ 7{,}75 & 14{,}75 & 20{,}25 & 23{,}5 & 23{,}75 & 17{,}917 & 9{,}583 \\ 5{,}583 & 10{,}667 & 14{,}75 & 17{,}333 & 17{,}917 & 16 & 8{,}75 \\ 2{,}917 & 5{,}583 & 7{,}75 & 9{,}167 & 9{,}583 & 8{,}75 & 6{,}416 \end{vmatrix} \quad (5)$$

где $d = 6$ м – длина панели фермы, $E = 2.1 \cdot 10^5$Мпа – модуль упругости материала фермы (сталь 3), $\mathrm{A} = 100\text{см}^2$ – площадь сечения раскоса.

Методом итераций находим собственные значения λ_i и собственные векторы $\bar{\psi}_i$ матрицы $D_m = \sqrt{m}D\sqrt{m} = mD$.

Собственные значения находим по формуле [4]:

$$p_i = \frac{1}{\sqrt{\lambda_i}}. \quad (6)$$

$$p_1 = 0{,}09919\sqrt{\frac{EA}{md}}\,;\; p_2 = 0{,}3192\sqrt{\frac{EA}{md}}\,;\; p_3 = 0{,}5588\sqrt{\frac{EA}{md}}\,;\; p_4 = 0{,}7746\sqrt{\frac{EA}{md}}\,;$$

$$p_5 = 0{,}09512\sqrt{\frac{EA}{md}}\,;\; p_6 = 1{,}0815\sqrt{\frac{EA}{md}}\,;\; p_7 = 1{,}1613\sqrt{\frac{EA}{md}}$$

После подстановки: $E = 2.1 \cdot 10^4$ кН/см^2, $\mathrm{A} = 100$ см^2, $d = 600$ см, $m = \frac{m_{\text{фермы}}}{8} = 6210$ кг вычисляем технические собственные частоты (техническая частота – число циклов колебаний за одну секунду). Технические частоты найдем по формуле:

$$\theta_i = \frac{p_i}{2\pi}. \quad (7)$$

$\theta_1 = 3.75$ гц , $\theta_2 = 12.07$ гц , $\theta_3 = 21.13$ гц , $\theta_4 = 29.28$ гц , $\theta_5 = 35.96$ гц , $\theta_6 = 40.88$ гц , $\theta_7 = 43{,}9$ гц .

Формула для конечного состава с количеством вагонов $n = 50$:

$$\lambda_{50}(t) = \lambda_j(t) - \lambda_j(t + 50\Delta t) \quad (8)$$

Величина импульса S зависит от типа вагонов, от скорости движения поезда, от непосредственной массы вагона и др. В таблице 6.10 книги [5] дано значение $S = 520$ Н $\cdot$ с для четырехосного вагона, движущегося со скоростью 53,3 км/ч по мосту с пролетом 45 м. В книге [5] приведена также формула:

$$S = k \cdot v_{\text{поезда}}(1 - 0.012 \cdot v_{\text{поезда}})\sqrt{m'}, \quad (9)$$

где m'- неподрессоренная масса, $v_{\text{поезда}}$ – скорость поезда. Используя формулу (9) и данные $S = 520$ Н $\cdot$ с для $v_{\text{поезда}} = 53.3$ км/ч , находим

$$S = 520\frac{v_{\text{поезда}}\left(1 - 0.012 \cdot \frac{v_{\text{поезда}}}{3.6}\right)}{53.3 \cdot \left(1 - 0.012 \cdot \frac{53.3}{3.6}\right)} == 11.84 \cdot v_{\text{поезда}}(1 - 0.0033 \cdot v_{\text{поезда}}). \quad (10)$$

В условиях [6-8] нашей задачи пролет фермы 48 м. Скорость движения поезда, при которой возникают резонансные колебания для первой собственной частоты $\theta_1 = 3.75$ гц, $L_{\text{вагона}} = 14$ м:

$$v_{\text{поезда}} = \frac{14 \cdot 3.75}{v} = \frac{52.5}{v}\frac{\text{м}}{\text{сек}} = \frac{189}{v}\text{км/ч} \quad (11)$$

В таблице 1 приведены значения резонансных скоростей и соответствующие им импульсы для разных скоростей:

Таблица 1

Значение резонансных скоростей

v	1	2	3	4	5	6
$v_{\text{поезда}}(\text{км/ч})$	189	94.5	63	47.25	37.8	31.6
S (Н · сек)	830	768	590	472	392	335

Результаты расчета собственных частот [9-12], полученные аналитически и методом конечных элементов используя программный комплекс ANSYS APDL, сведены в таблицу (Таблица 2).

Таблица 2

Значение собственных частот

	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4
Аналитическое решение	3.75	12.07	21.13	29.28
Расчет МКЭ	3.50	12.20	21.10	29.30

Из таблицы (Таблица 2) видно, что частоты, полученные двумя методами, практически совпадают.

Результаты расчета максимальных вертикальных перемещений четвертого узла нижнего пояса фермы и максимальных напряжений в стержнях 14 и 16, полученные аналитически и методом конечных элементов используя программный комплекс ANSYS APDL, сведены в таблицу (Таблица 3).

Таблица 3

Значение максимального перемещения

	$V_{\text{поезда}}$	94.5	37.8
	S	768	392
v_4 (мм)	Аналитическое решение	5.7	3.18
	Расчет МКЭ	5.75	3.23
N_{14}	Аналитическое решение	329.82	179.97
	Расчет МКЭ	328.73	181.35
N_{16}	Аналитическое решение	369.95	189.75
	Расчет МКЭ	371.32	190.54

Аналогично собственным частотам, максимальные значения вертикальных перемещений и усилий в стержнях практически совпадают.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р. – URL: [https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010?ysclid=mb5f2q7zsc754625531].

2. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле. М. Наука, 1967. 444 с.

3. *Смирнов А.Ф., Александров А.В., Лащеников Б.Я., Шапошников Е.Н.* Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений. М. Стройиздат, 1984. 415 с.

4. *Болотин В.В.* О воздействии подвижной нагрузки на мосты // Тр. МИИТ. 1950. Вып. 74. С. 269-296.

5. *Болотин В.В.* Задача о колебаниях мостов под действием подвижной нагрузки // Изв. АН СССР. ОТН. Механика и машиностроение. 1961. №4. С. 109-115.

6. *Бондарь Н.Г., Козьмин Ю.Г., Ройтбурд З.Г., Тарасенко В.П., Яковлев Г.Н.* Взаимодействие железнодорожных мостов с подвижным составом. М.: Транспорт, 1984. 272с.

7. *Гарг В.К., Дуккипати Р.В.* Динамика подвижного состава. М.: Транспорт, 1988. 391с.

8. *Рыбаков Л.С.* Лекции по курсу «Строительная механика» ч.1.

9. *А.С. Волков, Ю.Г. Плотников.* Динамические расчеты упругих систем. Учебное пособие. 97 с.

10. *Градштейн И.С., И.М. Рыжик И.М.* Таблицы интегралов сумм, рядов и произведений – М.: «Наука», 1971. -1108с.

11. *Бондарь Н.Г., Казей И.И., Лесохин Б.Ф., Козьмин Ю.Г.* Динамика железнодорожных мостов. – М., «Транспорт». 1965. - 412 с.

12. *Шапошников Н.Н., Римский Р.А., Полторак Г.В., Бабаев В.Б.* Применение метода конечных элементов к решению динамических задач // Расчеты на прочность. М., 1982. №23. С. 73-86.

THE DYNAMIC TASK OF DETERMINING THE CRITICAL IMPACT PERIODIC LOADS ON AN ELASTIC TRUSS STRUCTURE

Andreeva A.O.

Supervisor: Russkikh S.V., Doctor of Physico-Mathematical Sciences

(«UAC» Sukhoi Design Bureau, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow)

Abstract. The aim of the work is to study the dynamic effect of a finite-size railway train on an elastic truss structure representing a single-span railway bridge. Within the framework of the study, the maximum movements of the butt joint of the structure and the maximum forces in the most loaded structural elements are determined in two ways: analytically and using finite element modeling.

УДК 621.7

3D ПЕЧАТЬ В УСЛОВИЯХ МИКРОГРАВИТАЦИИ: ПРИНЦИПЫ И ПРИМЕРЫ

Бондарук А.Д., Молоков М.М.

Научный руководитель: Пономарев Д.Ю., доцент, д. т. н., старший научный сотрудник

(ФГАУ «ВИТ «ЭРА», г. Анапа)

Аннотация. В данной статье рассматриваются принципы работы 3D-печати в микрогравитации, обсуждаются технические вызовы и перспективы применения технологии для строительства лунных баз, ремонта оборудования и производства медицинских изделий в космосе, анализируются существующие эксперименты на борту Международной космической станции (МКС). Показано, что адаптация 3D-печати к экстремальным условиям космоса открывает новые возможности для автономного выполнения задач и сокращения зависимости от Земли.

ВВЕДЕНИЕ

С развитием долгосрочных космических миссий на Луну и Марс возникает необходимость в технологиях, способных обеспечить автономное производство компонентов, инструментов и конструкций в условиях отсутствия регулярных поставок с Земли. Одной из наиболее перспективных технологий в этой области является аддитивное производство (3D-печать).

На Земле 3D-печать уже используется в аэрокосмической промышленности для создания легких и прочных деталей. Однако в космосе, в условиях микрогравитации, процессы плавления, подачи материала и формирования слоёв подвергаются значительным изменениям, требующим специальной адаптации оборудования и методов.

Цель данной статьи — проанализировать текущее состояние 3D-печати в микрогравитации, рассмотреть ключевые эксперименты, выявить основные технические и физические вызовы, а также оценить перспективы её применения в будущих космических миссиях.

1. ПРИНЦИПЫ 3D-ПЕЧАТИ В МИКРОГРАВИТАЦИИ

3D-печать в космосе основывается на тех же принципах, что и на Земле: построение объекта слой за слоем из цифровой модели. Однако микрогравитация (условия, приближённые к 10^{-6} g) влияет на несколько ключевых процессов:

- Поведение расплавленного материала – отсутствие конвекции и оседания изменяет форму капли и процесс затвердевания.
- Подача материала – в условиях отсутствия гравитации возможны проблемы с подачей филамента или порошка.
- Охлаждение и усадка – неравномерное охлаждение может приводить к деформации изделий.
- Адгезия между слоями – зависит от температуры, скорости экструзии и состава материала.
- Наиболее распространёнными методами 3D-печати в космосе являются:
- FDM (Fused Deposition Modeling) – экструзия термопластиков (например, ABS, PLA).
- SLS (Selective Laser Sintering) – спекание полимерных или металлических порошков лазером.
- Binder Jetting – склеивание порошкового материала жидким связующим.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Несмотря на успехи, 3D-печать в космосе сталкивается с рядом сложностей:

- Ограничение по материалам – большинство текущих принтеров работают с термопластиками, которые не обладают достаточной прочностью и термостойкостью для критических конструкций.
- Проблемы с теплоотводом – в условиях вакуума и микрогравитации охлаждение происходит только за счёт излучения, что замедляет процесс.
- Пыль и частицы – при использовании порошковых технологий (SLS, Binder Jetting) свободно парящие частицы могут повредить оборудование или попасть в легкие экипажа.
- Энергопотребление – высокое для лазерных систем, что критично для автономных миссий.
- Контроль качества – отсутствие стандартных методов неразрушающего контроля в условиях МКС.

ПЕРСПЕКТИВЫ И БУДУЩИЕ НАПРАВЛЕНИЯ

3D-печать из местных материалов (regolith) рассматривается как основа для строительства баз на Луне и Марсе. Проекты ESA’s Moon Village и NASA’s Artemis Base Camp активно исследуют использование автономных 3D-принтеров, управляемых роботами.

В перспективе 3D-печать может использоваться для создания индивидуальных имплантов, хирургических инструментов и даже биопечати тканей в условиях длительных миссий.

Разработка металлических принтеров (например, на основе электронно-лучевого плавления – EBM) является приоритетом. Такие системы позволят изготавливать высокопрочные детали для двигателей и конструкций.

Использование искусственного интеллекта для оптимизации процессов печати, диагностики дефектов и адаптации к изменяющимся условиям повысит надёжность и эффективность производства.

2. ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА БОРТУ МКС

3D-печать в условиях микрогравитации впервые была реализована на борту МКС в 2014 году. С тех пор проведено несколько масштабных экспериментов, направленных на изучение возможности локального производства деталей, инструментов и конструкций в космосе. Эти эксперименты стали важным шагом на пути к автономным космическим миссиям.

PROJECT: ZERO-G 3D PRINTER

Разработчик: Made In Space, Inc. (в сотрудничестве с NASA). Запуск на МКС: сентябрь 2014 года. Установка: модуль Destiny (американский сегмент МКС) [1].

Цель:

- Впервые продемонстрировать возможность 3D-печати в условиях микрогравитации.
- Проверить, сохраняются ли механические свойства напечатанных деталей в космосе.
- Оценить безопасность и надёжность оборудования в замкнутой среде станции.

Технология:

- Использовалась технология FDM (Fused Deposition Modeling).
- Материал: термопластик ABS (акрилонитрилбутадиенстирол) и Green PE (биополиэтилен).
- Принтер был специально адаптирован для работы в микрогравитации: герметичная камера, система контроля температуры, защита от выброса частиц.

Ход эксперимента:

- В ноябре 2014 года был напечатан первый объект в космосе – пластиковый зажим для кабеля (с логотипом NASA).
- За первые недели было напечатано 20 различных деталей, включая инструменты, образцы для тестирования и элементы конструкций.
- Все детали были отправлены обратно на Землю для анализа.
- Результаты:
- Качество напечатанных деталей оказалось сопоставимым с земными образцами.
- Не было зафиксировано утечки частиц или дыма – система безопасности работала корректно.
- Подтверждена возможность дистанционного управления принтером с Земли.

Значение:

- Первое практическое доказательство работоспособности аддитивного производства в космосе.
- Открытие новой эры – производство в космосе.

ADDITIVE MANUFACTURING FACILITY (AMF)

Разработчик: Made In Space / Redwire Space. Запуск: март 2016 года. Место установки: модуль Tranquility (Node 3) [2].

Цель:

- Создание универсального, многоразового 3D-принтера для постоянного использования на МКС.
- Обеспечение регулярного производства деталей по запросу экипажа или исследователей на Земле.

Технология:

- Модульный FDM-принтер с возможностью смены материалов.
- Поддерживает более 30 типов полимеров и композитов, включая: ABS, PLA, полиэфиримид (PEI), углепластиковые композиты.
- Возможность печати с точностью до 100 микрон.

Особенности:

- Работает автономно или под управлением с Земли.

- Может получать 3D-модели через интернет.
- Используется как для научных экспериментов, так и для практического ремонта оборудования.

Примеры напечатанных объектов:

- Держатели для инструментов
- Крышки для разъёмов
- Элементы научных приборов
- Детали для экспериментов по биологии и физике

Результаты и применение:

- На AMF уже напечатано сотни деталей.
- Сокращено время ожидания запчастей с месяцев до часов.
- Принтер используется как платформа для исследований в области материаловедения в микрогравитации.

REFABRICATOR

Разработчик: Tethers Unlimited (при поддержке NASA). Запущен на МКС: ноябрь 2018 года [3].

Цель:

- Создать замкнутый цикл переработки пластика в космосе.
- Превратить отходы (например, старые детали, упаковку) в сырьё для 3D-печати.

Принцип работы: пластиковые отходы загружаются в устройство, плавятся и экструдируются в филамент (нить), используемый в интегрированном 3D-принтере.

Значение:

- Снижение зависимости от поставок с Земли.
- Решение проблемы космического мусора на борту.
- Шаг к замкнутым жизненным циклам в долгосрочных миссиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

3D-печать в условиях микрогравитации демонстрирует высокий потенциал для обеспечения устойчивости и автономности космических миссий. Успешные эксперименты на МКС подтвердили работоспособность технологии, однако остаются значительные вызовы, связанные с материалами, энергопотреблением и безопасностью. Дальнейшее развитие аддитивных технологий, включая использование местных ресурсов и интеграцию с робототехникой, будет играть ключевую роль в освоении Луны, Марса и за его пределами. 3D-печать становится не просто инструментом, а фундаментальной технологией космической инфраструктуры будущего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Prater T., Werkheiser N., Ledbetter F., Timucin D., Wheeler K., Snyder M. 3D Printing in Zero G Technology Demonstration Mission: Complete Experimental Results and Summary of Related Material Modeling Efforts // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 2019. — Vol. 101, № 1–4. — P. 391–417. — DOI: 10.1007/s00170-018-2827-7. — PMID: 32454552; PMCID: PMC7243176. — URL: https://doi.org/10.1007/s00170-018-2827-7 (дата обращения: 20.08.2025).

2. Trujillo Alejandro E., Moraguez Matthew T., Owens Andrew, Wald Samuel I., De Weck Olivier. Feasibility Analysis of Commercial In-Space Manufacturing Applications // AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference. — 2017. — Art. AIAA 2017-5360. — URL: https://doi.org/10.2514/6.2017-5360 (дата обращения: 20.08.2025).

3. Prater Tracie, Werkheiser Mary J., Ledbetter Frank, Morgan Kristin. In-Space Manufacturing at NASA Marshall Space Flight Center: A Portfolio of Fabrication and Recycling Technology Development for the International Space Station // AIAA SPACE and Science Technology Conference. — 2018. — Art. AIAA 2018-5364. — URL: https://doi.org/10.2514/6.2018-5364 (дата обращения: 20.08.2025).

3D PRINTING IN MICROGRAVITY: PRINCIPLES AND EXAMPLES

Bondaruk A.D., Molokov M.M.
Supervisor: Ponomarev D.U., Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences, Senior Researcher
(Federal State Autonomous Institution «VIT «ERA», Anapa)

Abstract. This article discusses the principles of 3D printing in microgravity, technical challenges and prospects of application of the technology for the construction of lunar bases, repair of equipment and production of medical products in space, analyzes existing experiments onboard the International Space Station. It is shown that adaptation of 3D printing to extreme conditions of space opens up new opportunities for autonomous missions and reducing dependence on Earth.

УДК 539.31

СТАТИКА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК КИРХГОФА-ЛЯВА И ТИМОШЕНКО С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ОПОРАМИ

***Боршевецкий С.А.*[1,2]**
Научный руководитель: Локтева Н.А.[2], доцент, к. т. н.
([1]ПАО «Яковлев», г. Москва,
[2]Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет), г. Москва)

Аннотация. В работе описывается применение разработанной ранее методики для расчета цилиндрической оболочки с дополнительными опорами. Рассматривается случай статического сосредоточенного нагружения для двух моделей движения: Кирхгофа-Лява и Тимошенко.

Главной тенденцией современного машиностроения является упрощение производства и повышение экономичности конечного продукта. Для этого повсеместно используются тонкостенные конструкции в виде обшивок, панелей и обтекателей. Данный вид конструкций имеет наименьший вес, однако, по причине тонкостенности, подобные конструкции наиболее подвержены потерям устойчивости и неспособны нести сколь значимые нормальные нагрузки. Для увеличения жесткости конструкции используются дополнительные закрепления. Однако расположение локальных опор надо сначала определить.

Для решения подобной задачи была разработана авторская методика, которая хорошо зарекомендовала себя для прямоугольных пластин. В ее основе лежат известные математические методы, а сам алгоритм прошел апробирование в следующих работах [1 – 4]. Главным достоинством методики отмечается ее универсальность за счет использования аналитических соотношений. Также отмечается ее применимость и к оболочкам. В качестве примера было решено рассмотреть цилиндрическую оболочку сразу для двух моделей движения: Кирхгофа-Лява и Тимошенко.

Целью работы является установление зависимости между расположением локальных закреплений в цилиндрической оболочке и нормальными перемещениями для выполнения условия жесткости конструкции при произвольном статическом сосредоточенном воздействии. Максимальный прогиб не должен превышать заранее заданного значения.

Предлагаемая в работе методика позволит уже на этапе проектирования оценить жесткостные свойства разрабатываемой конструкции, что, в дальнейшем, потребует лишь верификации, например, методом конечных элементов.

Общая постановка. Рассматривается тонкая цилиндрическая оболочка известного радиуса R, высоты H и постоянной толщины h, выполненная из упругого изотропного материала. Оболочка имеет шарнирное подвижное закрепление по торцам, а также имеет

множество дополнительных опор по площади. Для лучшего сопоставления с описанным методом для прямоугольных пластин, цилиндр изображается следующим образом (Рисунок 1). Локальные опоры, по аналогии с прямоугольной пластиной, не воспрещают тангенциальные перемещения срединной поверхности оболочки, а ограничивают лишь нормальные прогибы в радиальном направлении. Начало цилиндрической системы координат расположено таким образом, что угол α изменяется в пределах [-π, π]. Аналогично прямоугольной пластине, под рациональным расположением дополнительных опор считается их регулярность: расстановка по образующим осям цилиндрической оболочки (высота и угловая координата) с одинаковым шагом. Дополнительные опоры образуют равные сегменты, удовлетворяющие условию жесткости конструкции. Однако, для теории тонких оболочек максимальный нормальный прогиб не должен превышать половину толщины оболочки (1) [5].

$$\begin{aligned} &\left|w_{\max}\left(\alpha,z,t\right)\right| \le w_0, \\ &w_0 \le \frac{h}{2}. \end{aligned} \tag{1}$$

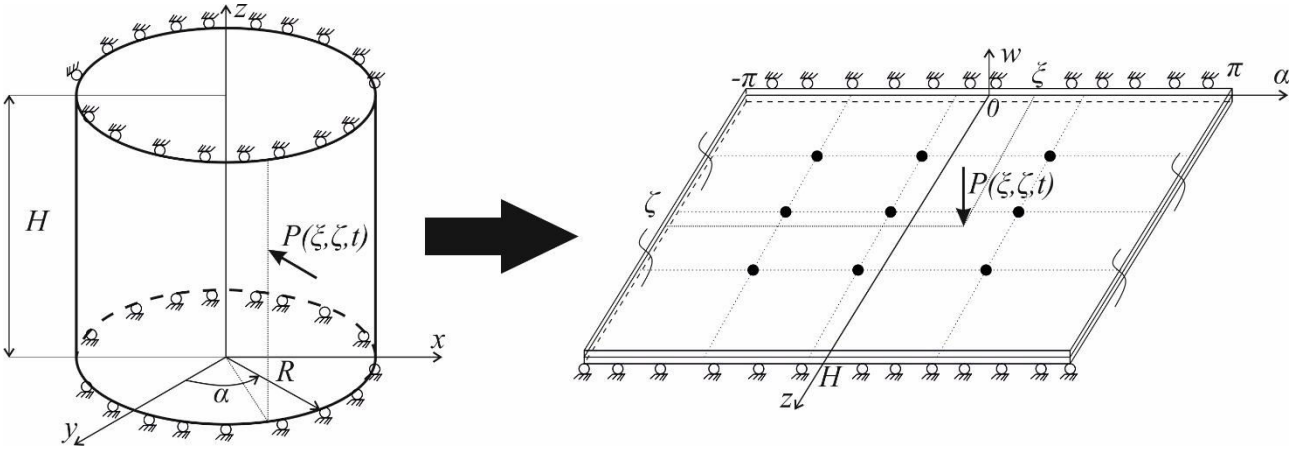


Рисунок 1. Общая постановка задачи

В начальный момент времени в произвольное место конструкции действует по нормали, в общем случае, нестационарное сосредоточенное воздействие. Требуется определить необходимое количество и расположение дополнительных опор, удовлетворяющих условию жесткости конструкции. Но чтобы расставить множество локальных опор, определяется размер единичного сегмента из следующей вспомогательной задачи, аналогичной случаю прямоугольной пластины (Рисунок 2).

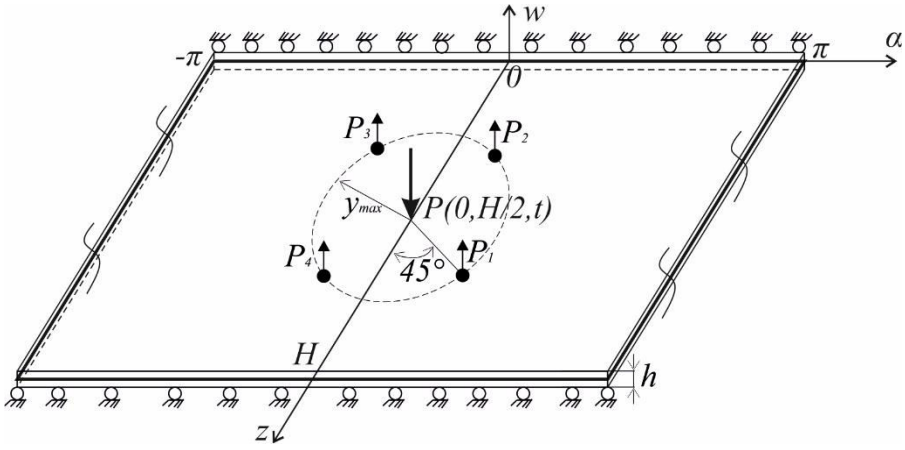


Рисунок 2. Постановка задачи для определения размера сегмента

В середину оболочки, как равноудаленную точку конструкции, приложена нестационарная сосредоточенная нагрузка $P\left(0,\frac{H}{2},t\right)$. Вокруг точки приложения нагрузки на некотором радиусе $y_{\max}$, подлежащем определению, установлены четыре локальные опоры, образующие квадратный сегмент. Требуется определить радиус расположения дополнительных опор, удовлетворяющий условию жесткости, по алгоритму решения для прямоугольной пластины.

Уравнение движения цилиндрической оболочки Кирхгофа-Лява в общем случае запишется следующим образом [6]:

$$\frac{\partial^2 \mathbf{w}}{\partial t^2} = \mathbf{K}\mathbf{w} + \mathbf{p},\ \mathbf{K} = \left(K_{ij}\right)_{3\times 3},$$

$$\mathbf{w} = (u_\alpha, u_z, w)^T,\ \mathbf{p} = \frac{1}{\rho h}(q_\alpha, q_z, p)^T,$$

где u_α и u_z – функции перемещений вдоль соответствующих осей координат, q_α q_z и p – функции тангенциальных и нормальных нагрузок вдоль соответствующих осей координат, K_{ij} – дифференциальные операторы следующего вида:

$$K_{11}\left(u_\alpha\right) = \frac{h\left(\lambda+2\mu\right)}{R^2}\frac{\partial^2 u_\alpha}{\partial\alpha^2} + \mu\left(h+\frac{I}{R^2}\right)\frac{\partial^2 u_\alpha}{\partial z^2},$$

$$K_{12}\left(u_z\right) = \frac{1}{R}\left(h\left(\lambda+\mu\right) - \frac{\mu I}{R^2}\right)\frac{\partial^2 u_z}{\partial\alpha\partial z},\ K_{13}\left(w\right) = \frac{h\left(\lambda+2\mu\right)}{R^2}\frac{\partial w}{\partial\alpha} - \frac{2\mu I}{R^2}\frac{\partial^3 w}{\partial\alpha\partial z^2},$$

$$K_{21}\left(u_\alpha\right) = K_{12}\left(u_\alpha\right),\ K_{31}\left(u_\alpha\right) = -K_{13}\left(u_\alpha\right),\ K_{32}\left(u_z\right) = -K_{23}\left(u_z\right),$$

$$K_{22}\left(u_z\right) = \frac{\mu}{R^2}\left(h+\frac{I}{R^2}\right)\frac{\partial^2 u_z}{\partial\alpha^2} + h\left(\lambda+2\mu\right)\frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2},\ K_{23}\left(w\right) = \frac{2\mu I}{R^3}\frac{\partial^3 w}{\partial\alpha^2\partial z} + \frac{h\lambda}{R}\frac{\partial w}{\partial z},$$

$$K_{33}\left(w\right) = -\frac{I\left(\lambda+2\mu\right)}{R^4}\frac{\partial^4 w}{\partial\alpha^4} - \frac{4\mu I}{R^2}\frac{\partial^4 w}{\partial\alpha^2\partial z^2} - I\left(\lambda+2\mu\right)\frac{\partial^4 w}{\partial z^4} -$$

$$-\frac{2I\left(\lambda+2\mu\right)}{hR^4}\frac{\partial^2 w}{\partial\alpha^2} - \frac{\lambda+2\mu}{R^2}\left(h+\frac{I}{R^2}\right)w.$$

Здесь используются следующие сокращения: λ и μ – параметры Ламе, $I = \frac{h^3}{12}$ – момент инерции, $c_1 = \sqrt{\frac{\lambda+2\mu}{\rho}}$ и $c_2 = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$ – скорости распространения возмущений.

Запишем начальные условия:

$$u_\alpha\left(\alpha,z,t\right)\Big|_{t=0} = u_z\left(\alpha,z,t\right)\Big|_{t=0} = w\left(\alpha,z,t\right)\Big|_{t=0} = 0,\ \left.\frac{\partial u_\alpha\left(\alpha,z,t\right)}{\partial t}\right|_{t=0} = \left.\frac{\partial u_z\left(\alpha,z,t\right)}{\partial t}\right|_{t=0} = \left.\frac{\partial w\left(\alpha,z,t\right)}{\partial t}\right|_{t=0} = 0,$$

и граничные условия:

$$w\left(\alpha,z,t\right)\Big|_{z=0,H} = 0,\quad \left.\frac{\partial^2 w\left(\alpha,z,t\right)}{\partial z^2}\right|_{z=0,H} = 0,$$

$$T_{\alpha\alpha}\left(\alpha,z,t\right)\Big|_{z=0,H} = T_{zz}\left(\alpha,z,t\right)\Big|_{z=0,H} = 0,$$

$$w\left(\alpha,z,t\right)\Big|_{\alpha=-\pi} = w\left(\alpha,z,t\right)\Big|_{\alpha=\pi},\quad \left.\frac{\partial w\left(\alpha,z,t\right)}{\partial\alpha}\right|_{\alpha=-\pi} = \left.\frac{\partial w\left(\alpha,z,t\right)}{\partial\alpha}\right|_{\alpha=\pi}.$$

Касательные усилия определяются как

$$T_{\alpha\alpha}(\alpha,z,t)=h\left[\frac{\lambda+2\mu}{R}\left(\frac{\partial u_\alpha}{\partial\alpha}+w\right)+\lambda\frac{\partial u_z}{\partial z}\right]+\frac{I}{R}\left[\frac{\lambda+2\mu}{R^2}\left(\frac{\partial^2 w}{\partial\alpha^2}+w\right)+\lambda\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right],$$

$$T_{zz}(\alpha,z,t)=h\left[(\lambda+2\mu)\frac{\partial u_z}{\partial z}+\frac{\lambda}{R}\left(\frac{\partial u_\alpha}{\partial\alpha}+w\right)\right].$$

Граничные условия в дополнительных опорах имеют вид:

$$w(z_i,q_i)=0,\qquad i=1..4. \tag{2}$$

Здесь z_i, q_i – координаты расположения дополнительных опор, имеющие вид:

$$z_1=\frac{y_{\max}}{R}\cos\left(\frac{\pi}{4}\right),\quad q_1=\frac{H}{2}+y_{\max}\sin\left(\frac{\pi}{4}\right),$$

$$z_i=z_{i-1}+\sin\left(\frac{\pi}{4}\right)\frac{y_{\max}}{R}\cos\left(\frac{i\alpha\pi}{180}\right),\qquad i=2..4,$$

$$q_i=q_{i-1}+\cos\left(\frac{\pi}{4}\right)y_{\max}\sin\left(\frac{i\alpha\pi}{180}\right).$$

Статический случай нагрузки на пластину Кирхгофа-Лява. В качестве примера рассмотрим случай статического нагружения. Для решения задачи представляем функции перемещений через функции влияния:

$$u_\alpha(\alpha,z)=G_{\alpha s}^{cK}(\alpha,z;0,\xi)*P_A+\sum_{i=1}^{4}G_{\alpha s}^{cK}(\alpha,z;z_i,q_i)*P_{\alpha i},$$

$$u_z(\alpha,z)=G_{zs}^{cK}(\alpha,z;0,\xi)*P_A+\sum_{i=1}^{4}G_{zs}^{cK}(\alpha,z;z_i,q_i)*P_{zi}, \tag{3}$$

$$w(\alpha,z)=G_{ws}^{cK}(\alpha,z;0,\xi)*P_A+\sum_{i=1}^{4}G_{ws}^{cK}(\alpha,z;z_i,q_i)*P_i.$$

Тогда постановка задачи через функцию влияния перепишется следующим образом:

$$0=\mathbf{K}G+\mathbf{p},\ \mathbf{K}=\left(K_{ij}\right)_{3\times3},$$

$$G=(G_{\alpha s}^{cK},G_{zs}^{cK},G_{ws}^{cK})^T,\ \mathbf{p}=\frac{1}{\rho h}(0,0,\delta(\alpha,z-\xi))^T.$$

Для отыскания функции влияния раскладываем все функции, входящие в уравнение движения в тригонометрические ряды Фурье [7, 8]:

$$G_{\alpha s}^{cK}(\alpha,z)=\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty}G_{\alpha s\ nm}^{cK}(\xi)\sin(\lambda_n z)\sin(m\alpha),$$

$$G_{zs}^{cK}(\alpha,z)=\sum_{n=0}^{\infty}\sum_{m=0}^{\infty}G_{zs\ nm}^{cK}(\xi)\cos(\lambda_n z)\cos(m\alpha),$$

$$G_{ws}^{cK}(\alpha,z)=\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=0}^{\infty}G_{ws\ nm}^{cK}(\xi)\sin(\lambda_n z)\cos(m\alpha),$$

$$\delta(\alpha,z-\xi)=\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=0}^{\infty}\delta_{nm}(\xi)\sin(\lambda_n z)\cos(m\alpha),$$

где

$$\delta_{nm}=\frac{2}{\pi H}\sin(\lambda_n\xi),\quad \lambda_n=\frac{\pi n}{H},\quad \delta_{n0}=\frac{1}{\pi H}\sin(\lambda_n\xi).$$

Подставляя все обратно в уравнение движения, опустив знаки суммирования и сокращая тригонометрические множители, получаем систему трех уравнений относительно коэффициентов функций влияния. Введя сокращения коэффициентов, система выглядит следующим образом:

$$\left(A_{ij}\right)_{3x3} G = \mathbf{p},$$

$$G = \left(G_{\alpha s\ nm}^{\ cK}, G_{zs\ nm}^{\ cK}, G_{ws\ nm}^{\ cK}\right), \qquad \mathbf{p} = -\frac{1}{\rho h}\left(0, 0, \delta_{nm}(\xi)\right),$$

$$A_{11} = -\frac{c_1^2}{R^2} m^2 - c_2^2\left(1 + \frac{I}{hR^2}\right)\lambda_n^2, \quad A_{12} = \frac{1}{R}\left(\frac{\lambda + \mu}{\rho} - \frac{Ic_2^2}{hR^2}\right)\lambda_n m, \quad A_{13} = -\frac{c_1^2}{R^2} m - \frac{2Ic_2^2}{hR^2} m\lambda_n^2,$$

$$A_{21} = A_{12}, \qquad A_{31} = A_{13}, \qquad A_{32} = A_{23},$$

$$A_{22} = -\frac{c_2^2}{R^2}\left(1 + \frac{I}{hR^2}\right)m^2 - c_1^2\lambda_n^2, \qquad A_{23} = -\frac{2Ic_2^2}{hR^3} m^2\lambda_n + \frac{\lambda}{\rho R}\lambda_n,$$

$$A_{33} = -\frac{Ic_1^2}{hR^4} m^4 - \frac{2Ic_1^2}{hR^2}\lambda_n^2 m^2 - \frac{Ic_1^2}{h}\lambda_n^4 + \frac{2Ic_1^2}{hR^4} m^2 + \frac{2I\lambda}{\rho hR^2}\lambda_n^2 - \frac{c_1^2}{R^2}\left(1 + \frac{I}{hR^2}\right).$$

Решив системы уравнений, искомые функции влияния имеют вид:

$$G_{\alpha s}^{\ cK}(\alpha, z) = \sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty} \frac{2\left(A_{13}A_{22} - A_{12}A_{23}\right)\sin(\lambda_n\xi)\sin(\lambda_n z)\sin(m\alpha)}{\pi H\rho h\left(A_{11}A_{22}A_{33} - A_{11}A_{23}^2 - A_{12}^2A_{33} + 2A_{12}A_{13}A_{23} - A_{13}^2A_{22}\right)},$$

$$G_{zs}^{\ cK}(\alpha, z) = \sum_{n=0}^{\infty}\left[\frac{\sin(\lambda_n\xi)}{\pi H} + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2\left(A_{11}A_{23} - A_{12}A_{13}\right)\sin(\lambda_n\xi)\cos(\lambda_n z)\cos(m\alpha)}{\pi H\rho h\left(A_{11}A_{22}A_{33} - A_{11}A_{23}^2 - A_{12}^2A_{33} + 2A_{12}A_{13}A_{23} - A_{13}^2A_{22}\right)}\right],$$

$$G_{ws}^{\ cK}(\alpha, z) = \sum_{n=1}^{\infty}\left[\frac{\sin(\lambda_n\xi)}{\pi H} + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2\left(A_{12}^2 - A_{11}A_{22}\right)\sin(\lambda_n\xi)\sin(\lambda_n z)\cos(m\alpha)}{\pi H\rho h\left(A_{11}A_{22}A_{33} - A_{11}A_{23}^2 - A_{12}^2A_{33} + 2A_{12}A_{13}A_{23} - A_{13}^2A_{22}\right)}\right].$$

Однако, так как в задаче рассматривается нормальный прогиб оболочки, то дальнейшая основная работа ведется с компонентой $G_{ws}^{\ cK}(\alpha, z)$. Функции влияния $G_{\alpha s}^{\ cK}(\alpha, z)$, $G_{zs}^{\ cK}(\alpha, z)$ используются при определении тангенциальных перемещений на проверочном этапе численного расчета.

Далее, найденная функция влияния подставляется в функцию прогиба (3) и раскрывается свертка. Применяя граничные условия в дополнительных опорах (2), приходим к СЛАУ относительно реакций в опорах. Найдя их все, приходим к уравнению условия жесткости цилиндрической оболочки относительно неизвестного радиуса y_{max}.

$$w\left(0, \frac{H}{2}; y_{\max}\right) + w_0 = 0.$$

Статический случай нагрузки для пластины Тимошенко. Принцип решения аналогичен для оболочки типа Тимошенко. Искомые коэффициенты разложений функции влияния имеют вид:

$$G_{\alpha s\ nm}^{\ cT}(\xi) = -\frac{\delta_{nm}(\xi)}{\rho h}\frac{\Delta_\alpha}{\Delta}, \quad G_{zs\ nm}^{\ cT}(\xi) = -\frac{\delta_{nm}(\xi)}{\rho h}\frac{\Delta_z}{\Delta}, \quad G_{ws\ nm}^{\ cT}(\xi) = -\frac{\delta_{nm}(\xi)}{\rho h}\frac{\Delta_w}{\Delta},$$

$$X_{\alpha s\ nm}^{\ cT}(\xi) = -\frac{\delta_{nm}(\xi)}{\rho h}\frac{\Delta_{X_\alpha}}{\Delta}, \qquad X_{zs\ nm}^{\ cT}(\xi) = -\frac{\delta_{nm}(\xi)}{\rho h}\frac{\Delta_{X_z}}{\Delta}.$$

Здесь были введены следующие сокращения:

$$\Delta_\alpha = \begin{vmatrix} B_{12} & B_{13} & B_{14} & B_{15} \\ B_{22} & B_{23} & B_{24} & B_{25} \\ B_{42} & B_{43} & B_{44} & B_{45} \\ B_{52} & B_{53} & B_{45} & B_{55} \end{vmatrix}, \quad \Delta_z = \begin{vmatrix} B_{11} & B_{13} & B_{14} & B_{15} \\ B_{12} & B_{23} & B_{24} & B_{25} \\ B_{41} & B_{43} & B_{44} & B_{45} \\ B_{51} & B_{53} & B_{45} & B_{55} \end{vmatrix}, \quad \Delta_w = \begin{vmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{14} & B_{15} \\ B_{12} & B_{22} & B_{24} & B_{25} \\ B_{41} & B_{42} & B_{44} & B_{45} \\ B_{51} & B_{52} & B_{45} & B_{55} \end{vmatrix},$$

$$\Delta_{X_\alpha}=\begin{vmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & B_{15} \\ B_{12} & B_{22} & B_{23} & B_{25} \\ B_{41} & B_{42} & B_{43} & B_{45} \\ B_{51} & B_{52} & B_{53} & B_{55} \end{vmatrix},\quad \Delta_{X_z}=\begin{vmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & B_{14} \\ B_{12} & B_{22} & B_{23} & B_{24} \\ B_{41} & B_{42} & B_{43} & B_{44} \\ B_{51} & B_{52} & B_{53} & B_{45} \end{vmatrix},\quad \Delta=\begin{vmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} & B_{14} & B_{15} \\ B_{12} & B_{22} & B_{23} & B_{24} & B_{25} \\ B_{13} & B_{23} & B_{33} & B_{34} & B_{35} \\ B_{41} & B_{42} & B_{43} & B_{44} & B_{45} \\ B_{51} & B_{52} & B_{53} & B_{45} & B_{55} \end{vmatrix}.$$

$$B_{11}=-\frac{c_1^2}{R^2}\left(1+\frac{I}{hR^2}\right)m^2-c_2^2\left(\lambda_n^2+\frac{k^2}{R^2}\right),\qquad B_{12}=\frac{\lambda+\mu}{\rho R}\lambda_n m,$$

$$B_{13}=-\frac{1}{R^2}\left[c_1^2\left(1+\frac{I}{hR^2}\right)+c_2^2k^2\right]m,\quad B_{14}=\frac{1}{R}\left(\frac{Ic_1^2}{hR^2}m^2+c_2^2k^2\right),\quad B_{15}=-\frac{\lambda I}{\rho hR^2}\lambda_n m,$$

$$B_{21}=B_{12},\qquad B_{31}=B_{13},\qquad B_{32}=B_{23},\qquad B_{54}=B_{45},$$

$$B_{22}=-\frac{c_2^2}{R^2}\left(1+\frac{I}{hR^2}\right)m^2-c_1^2\lambda_n^2,\quad B_{23}=\frac{\lambda}{\rho R}\lambda_n,\quad B_{24}=-\frac{Ic_2^2}{hR^2}\lambda_n m,\quad B_{25}=\frac{Ic_2^2}{hR^3}m^2,$$

$$B_{33}=-c_2^2k^2\left(\frac{m^2}{R^2}+\lambda_n^2\right)-\frac{c_1^2}{R^2}\left(1+\frac{I}{hR^2}\right),\quad B_{34}=\frac{1}{R}\left(\frac{Ic_1^2}{hR^2}+c_2^2k^2\right)m,\quad B_{35}=-\left(\frac{I\lambda}{\rho hR^2}+c_2^2k^2\right)\lambda_n,$$

$$B_{41}=\frac{1}{R}\left(\frac{c_1^2}{R^2}m^2+\frac{c_2^2k^2h}{I}\right),\qquad B_{42}=-\frac{c_2^2}{R^2}\lambda_n m,$$

$$B_{43}=\frac{1}{R}\left(-\frac{c_1^2}{R^2}+\frac{c_2^2k^2h}{I}\right)m,\quad B_{44}=-\frac{c_1^2}{R^2}m^2-c_2^2\lambda_n^2-\frac{c_2^2k^2h}{I},\quad B_{45}=\frac{\lambda+\mu}{\rho R}\lambda_n m,$$

$$B_{51}=-\frac{\lambda}{\rho R^2}\lambda_n m,\quad B_{52}=\frac{c_2^2}{R^3}m^2,\quad B_{53}=-\left(\frac{\lambda}{\rho R^2}+\frac{c_2^2k^2h}{I}\right)\lambda_n,\quad B_{55}=-\frac{c_2^2}{R^2}m^2-c_1^2\lambda_n^2-\frac{c_2^2k^2h}{I}.$$

Численный расчет. Далее можно подставлять характеристики материалов, значения амплитуды и геометрические параметры изучаемой конструкции. Выполняется решение условия жесткости и находится радиус расположения дополнительных опор y_{max}. Далее, из геометрических соотношений расположения локальных закреплений, определяется размер единичного сегмента, удовлетворяющий требованию жесткости. Затем, можно проводить проверочные расчеты, путем подстановки найденного значения обратно в уравнения движения или функции перемещений.

Верифицировать полученные значения удобнее всего при помощи метода конечных элементов в программном комплексе Ansys Workbench. Также, как это было сделано для расчетов пластин, строится модель с четырьмя дополнительными опорами, образующие единичный сегмент, в центр которой прикладывается искомая нагрузка. В качестве конечного элемента используется оболочечный элемент Shell181 [9]. В работе [10] проведены численные расчеты цилиндрических оболочек для обоих моделей движения с последующим сравнением. По результатам апробации, требуемое условие жесткости конструкции удовлетворяется, имеется небольшой запас жесткости. Разница результатов между теориями составляет 6%. Также удовлетворяются граничные условия по торцам оболочки и в локальных закреплениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Боршевецкий С.А.* Определение расположения дополнительных опор шарнирно опертой пластины при гармоническом воздействии / С.А. Боршевецкий // Труды МАИ. 2023. №128. URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=171384 DOI: 10.34759/trd-2023-128-03.

2. *Боршевецкий С.А.* Определение расположения дополнительных опор шарнирно опертой пластины Кирхгофа при произвольном нестационарном воздействии / С.А. Боршевецкий // XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная

молодежная научная конференция, 9–10 ноября 2023 года: Материалы конференции. Сборник докладов. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. — С. 1272 – 1279.

3. *Боршевецкий С.А.* Методика определения расположения дополнительных опор шарнирно опертой пластины Кирхгофа при произвольном воздействии / С.А. Боршевецкий // Труды МАИ. 2024. № 135. URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=179681.

4. *Боршевецкий С.А.* Определение расположения дополнительных опор в пластине Кирхгофа при произвольном сосредоточенном воздействии / С.А. Боршевецкий // Сборник тезисов докладов участников IX Всероссийского молодежного научного форума «Наука будущего – наука молодых» – Самара, 29 октября – 1 ноября 2024 г. – 118 с.

5. *Лукашевич А.А.* Теория расчета пластин и оболочек: учеб. пособие / А.А. Лукашевич, СПбГАСУ. – СПб., 2017. – 127 с.

6. *Горшков А.Г., Медведский А.Л., Рабинский Л.Н., Тарлаковский Д.В.* Волны в сплошных средах. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 472 с.

7. *Чернина В.С.* Статика тонкостенных оболочек вращения М.: Наука, 1968. – 456 с.

8. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1974. – 832 с.

9. *Басов К.А.* ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с., ил.

10. *Боршевецкий С.А.* Применение новой методики определения расположения дополнительных опор для цилиндрической оболочки Кирхгофа-Лява / С.А. Боршевецкий // Труды МАИ. 2025. № 141. URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=184494.

STATIC CYLINDRICAL SHELLS OF KIRCHHOFF-LOVE AND TIMOSHENKO WITH ADDITIONAL SUPPORTS

***Borshevetskiy S.A.*[1,2]**

Supervisor: Lokteva N.A.[2], Assistant Professor, Candidate of Engineering Sciences

([1]*Yakovlev Public Joint-Stock Company, Moscow,*

[2]*Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow)*

Abstract. The paper describes the application of a previously developed methodic for calculating a cylindrical shell with additional supports. The case of static concentrated loading for two motion models is considered: Kirchhoff-Love and Timoshenko.

УДК 534.014.1

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛАСТИНЫ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРНОГО УДАРА

Евтушенко М.А., Глушкова А.Г., Скворцов Ю.В.

Научный руководитель: Седельников А.В., профессор, д. т. н.

(Самарский национальный исследовательский

университет имени академика С.П. Королева, г. Самара)

Аннотация. В работе представлены результаты численного эксперимента по собственным колебаниям пластины после температурного удара. В процессе развертывания солнечных панелей могут возникать собственные колебания, после чего на них накладываются термоколебания. Результаты могут быть использованы при расчете колебаний солнечных панелей.

Актуальность

Проблема термоколебаний является актуальной в космической технике. Она появляется в случае движения малого космического аппарата по орбите Земли. Тогда он периодически оказывается в тени Земли. При погружении и выходе из тени малый космический аппарат испытывает температурный удар [1].

Собственные колебания панелей солнечных батарей снижают эффективность их работы. Так, при проведении экспериментов с ROSA (Roll Out Solar Array) на борту международной космической станции панель солнечной батареи не удалось свернуть из-за интенсивных термоколебаний [2]. Первые миссии с панелями солнечных батарей ROSA уже успешно проведены (например, DART (Double Asteroid Redirection Test) [3]). Однако говорить о достаточном количестве исследований ещё рано. Необходим глубокий и всесторонний анализ термоколебаний.

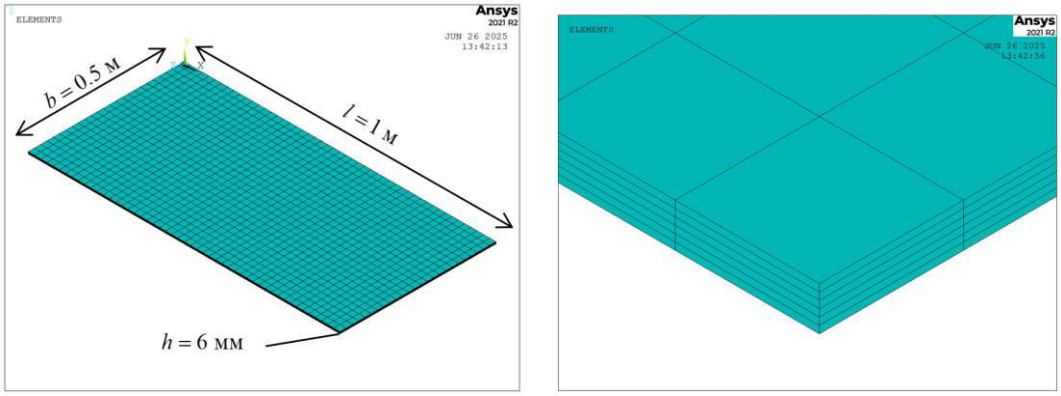
Колебания панелей солнечных батарей вместе с другими возмущающими факторами приводят к необходимости виброизоляции целевой аппаратуры [4]. Обязательной виброизоляции подлежит технологическая аппаратура для реализации гравитационно-чувствительных процессов.

Таким образом, исследование влияния температурного удара на характеристики собственных колебаний панели солнечной батареи космического аппарата является важными и актуальными исследованиями при решении задачи повышения эффективности функционирования космической техники.

Численное решение

Реальная конструкция панели солнечной батареи является достаточно сложной [5]. Она уникальна и не может быть унифицирована для численного моделирования. Поэтому многие авторы в своих исследованиях упрощают конструкцию панели солнечной батареи. Чаще всего используют однородную пластину.

Численное моделирование проводится в среде ANSYS (Analysis System). Расчётная схема пластины показана на рис. 1 (верхний левый край пластины жёстко заделан).



а) б)

Рис. 1. Конечно-элементная модель пластины (а) и ее увеличенный фрагмент (б)

Исходные данные для моделирования пластины представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры пластины

Параметр	Обозначение	Значение	Размерность
Материал Пластины	-	МА2	-
Плотность	ρ	1780	$кг/м^3$
Модуль упругости	E	$4 \cdot 10^{10}$	Па
Коэффициент Пуассона	ν	0,3	-
Длина пластины	l	1	м
Ширина пластины	b	0,5	м
Толщина пластины	h	0,006	м
Константа демпфирования Рэлея	β	0,00016	сек
Начальный прогиб свободного края	u_{y0}	0,0002	м

Для трехмерного термоанализа использовались элементы:

- SOLID226 – объёмный 20-ти узловой элемент сопряжённого анализа с опциями конструкционно-теплового решения;

- SURF152 – элемент поверхностного слоя с одним дополнительным узлом пространства и опциями задания свойств через постоянные элементы (используется для моделирования излучающих поверхностей пластины).

При моделировании сначала было реализовано отогнутое деформированное состояние пластины. Поле температур при этом не фиксировалось. Из-за начального прогиба возникали свободные колебания пластины. Начальное значение прогиба было выбрано таким, что оно имело один порядок с амплитудой термоколебаний [6].

Для точного описания колебательного процесса в среде ANSYS, необходимо задавать не менее 12 точек временного шага на один период колебаний, что требует больших вычислительных затрат. Поэтому было принято решение моделировать пластину в постановке плоской деформации, предварительно сравнив результаты собственных колебаний с трехмерным расчетом (рис. 2).

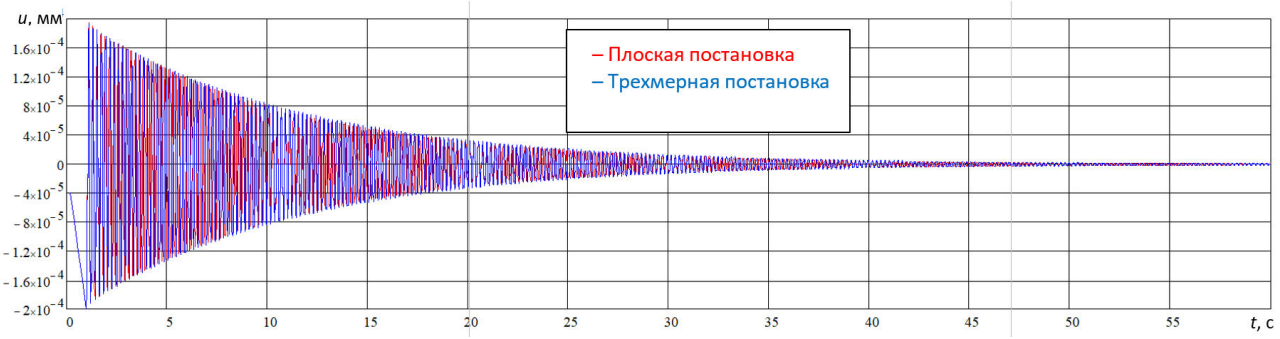


Рис. 2. Собственные колебания свободного края пластины

Для двумерного термоанализа использовались аналогичные по опциям элементы: PLANE223 и SURF151.

Как видно из рис. 2, колебания являются затухающими ввиду учёта при их моделировании внутреннего трения в материале пластины. первая собственная частота консольно закреплённой пластины может быть приблизительно рассчитана по следующей формуле [7]:

$$p_1 = \frac{3{,}52}{l^2}\sqrt{\frac{D}{\rho h}} \qquad (1)$$

где p_1 - частота колебаний; D - цилиндрическая жёсткость пластины на изгиб.

Расчёты по формуле (1) показывают, что теоретическая частота колебаний примерно равна 4,822 Гц. Расчетная частота в ANSYS варьируется в пределах 4,712-4,721 Гц в зависимости от числа элементов, а погрешность расчетной частоты относительно теоретической не превышает 2,3%.

Далее проводится вычислительный эксперимент, где в момент времени 3 сек. (после нескольких свободных колебаний) пластина подвергается температурному удару. При этом предполагается, что пластина в момент удара находится в плоском напряженном состоянии.

Основные параметры температурного удара представлены в таблице 2.

Таблица 2

Основные параметры температурного удара и теплофизические параметры моделируемой пластины

Параметр	Обозначение	Значение	Размерность
Коэффициент теплопроводности	λ	96,3	Вт/(м·К)
Коэффициент Стефана-Больцмана	Θ	$5{,}67\cdot10^{-8}$	$Вт/(м^2\cdot К^4)$

Тепловой поток	Q	1400	$Вт/м^2$
Температура окружающей среды	T_c	3	K
Начальная температура пластины	T_0	200	K
Коэффициент излучения	e	0,8	-
Удельная теплоемкость	C	1130,4	$Дж/(кг \cdot К)$
Коэффициент линейного температурного расширения	α	$26 \cdot 10^{-6}$	1/K
Момент наступления температурного удара	t^*	3	сек

Динамика колебаний с учётом температурного удара показана на рис. 3.

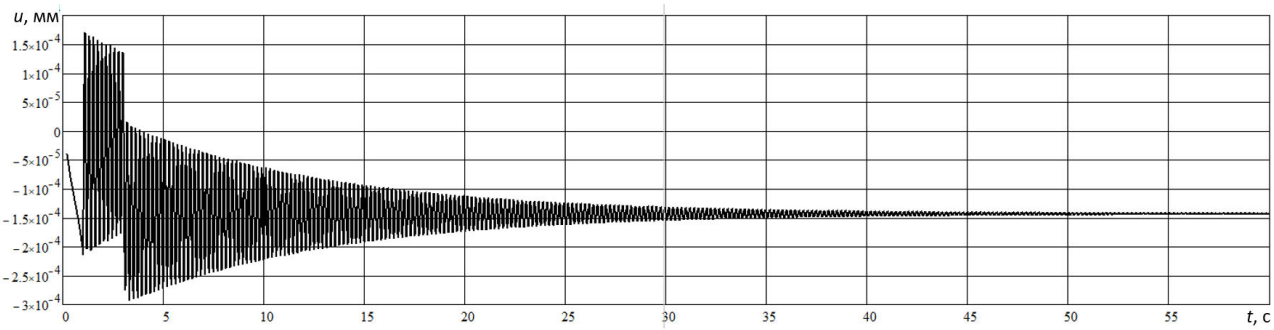


Рис. 3. Собственные колебания свободного края пластины с учётом температурного удара

Заключение

Результаты проведённого вычислительного эксперимента показали, что температурный удар повлиял на собственные колебания исследуемой пластины.

Собственные колебания без учёта температурного удара происходили около статического положения равновесия (плоской недеформированной формы пластины). Температурный удар создаёт градиент температур по толщине пластины. Это приводит к её прогибу. Таким образом, происходит изменение положения равновесия процесса колебаний при температурном ударе. Это положение определяется разностью температур поверхностных слоёв пластины.

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ (номер проекта FSSS-2023-0007).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Sedelinkov A., Nikolaeva A., Serdakova V., Khnyryova E.* Technologies for Increasing the Control Efficiency of Small Spacecraft with Solar Panels by Taking into Account Temperature Shock. Technologies. 2024, 12(10) 207.

2. *Spence B.R., White S., LaPointe M., Kiefer S., LaCorte P., et al.* International Space Station (ISS) Roll-Out Solar Array (ROSA) Spaceflight Experiment Mission and Results. In Proceedings of the IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC) (A Joint Conference of 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC & 34th EU PVSEC), Waikoloa Village, HI, USA, 10–15 June 2018; pp. 3522–3529.

3. *Rush B.P., Mages D.M., Vaughan A.T., Bellerose J. Bhaskaran S.* Optical navigation for the DART mission. In Proceedings of the 33rd AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting, Austin, Texas USA, 14–19 January 2023; AAS 23-234.

4. *Wang A., Wang S., Xia H., Ma G.* Dynamic Modeling and Control for a Double-State Microgravity Vibration Isolation System. Microgravity Science and Technology. 2023, 35(1), 9.

5. *Liu L., Sun S., Cao D.Q., Liu X.* Thermal-structural analysis for flexible spacecraft with single or double solar panels: A comparison study. Acta Astronautica. 2019, 154, 33–43.

6. *Lee B.H., Yamasaki M., Murozono M.* Experimental Verification of Thermal Structural Responses of a Flexible Rolled-Up Solar Array. Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences. 2013, 56(4), 197–204.

7. *Barton M.V.* Vibration of rectangular and skew cantilever plates. Journal Applied Mechanics. 1951, 18(1), 129–134.

NUMERICAL SIMULATION OF NATURAL VIBRATIONS OF A PLATE CONSIDERING TEMPERATURE SHOCK

Evtushenko M., Glushkova A., Skvortsov Yu.

Supervisor: Sedelnikov A., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(*Samara National Research University, Samara*)

Abstract. The paper presents the results of a numerical experiment on the plate's own oscillations after a temperature shock. During the deployment of solar panels, their own oscillations may occur, after which thermal oscillations are superimposed on them. The results can be used to calculate the fluctuations of solar panels.

УДК 629.7.01

МОДЕРНИЗАЦИЯ Ил-96-300 В СОВРЕМЕННЫХ РЕАЛИЯХ

Евтушенко Н.А.

Научный руководитель: Ачкасова Е.А., старший преподаватель

(Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск)

Аннотация. В современных условиях, как политических, так и экономических, в ближайшее время перед российским авиастроением стоит задача обеспечения транспортом авиаперевозок. На данный момент используются импортные широкофюзеляжные самолёты, но наше авиастроение ничуть не хуже. Мы хотим доказать это через модернизацию самолёта Ил-96-300, рассчитав целесообразность такого решения.

Введение

В современных условиях, как политических, так и экономических, в ближайшее время перед российским авиастроением стоит задача обеспечения транспортом авиаперевозок. На данный момент используются импортные широкофюзеляжные самолёты, но наше авиастроение ничуть не хуже. Мы хотим доказать это через модернизацию самолёта Ил-96-300, рассчитав целесообразность такого решения.

1. Модернизация Ил-96-300

Самолеты – это самый быстрый способ передвижения, различные современные технологии приборостроения применяются в этих воздушных гигантах. Даже во времена холодной войны ведущие мировые державы боролись за звание главного авиастроителя. Широкофюзеляжный тип самолетов является самым востребованным на данное время. Многие туристические рейсы на дальние расстояния используют этот тип самолетов. В текущей ситуации, с учетом санкций, необходимо восстановить отечественное авиастроение. И начать мы хотим с предложений по модернизации самолета ИЛ-96-300. Цель исследования – рассмотрение возможности модернизации ИЛ-96-300. Для достижения этой цели необходимо изучить устройство Boeing 767 и ИЛ-96-300, провести сравнительный анализ характеристик этих воздушных судов, предложить вариант модернизированного ИЛ-96-300 и сделать выводы.

Boeing 767 — семейство двухдвигательных средних и дальнемагистральных широкофюзеляжных авиалайнеров, разработанных американской компанией Boeing. Boeing 767 - первый двухмоторный авиалайнер, получивший право выполнять регулярные

пассажирские рейсы через Атлантический океан. Производится американской компанией «Boeing» с 1983 года. Сравнивая основные характеристики Boeing 767-300 и Boeing 767-300ER заметим, что данные самолеты отличаются только весом - более новая версия тяжелее, чем более ранняя. За счет увеличенных топливных баков дальность полета данного самолета составляет 2 тыс. километров. Длина разбега составляет 2400 метров, что позволяет ему работать со средними аэропортами, такими, как Международный аэропорт Красноярск Дмитрия Хворостовского. Еще можно отметить, что у Боинга всего два двигателя [4]. Это двигатели pw 4000-94 и pw 4000, они отличаются только часовым расходом топлива. Также у самолета конфигурация 2-4-2 в эконом-классе, в бизнес- классе конфигурация 2-2-2.

Ил-96-300 был сделан в 1980 году, введен в эксплуатацию 1986 году, выполнение коммерческих рейсов с 1996 и в 2014 снят с коммерческих рейсов. Характеристики ИЛ-96-300 [1]. У него 4 двигателя, максимальная дальность полета-13000 км. ИЛ-96-300 мог летать на 13 тысяч км с самого начала производства. Крейсерская скорость у ИЛ-96-300 и Boeing 767 одинаковая, но ему нужна большая полоса для разбега, чем Boeing 767 за счет установленных 4 двигателей. Экипаж в ИЛ-96-300 состоит из 3 человек: первый, второй пилот и штурман, а у Boeing 767 из 2 человек. Календарный ресурс у Ил 96 составляет 25 лет или 10000 полетов, или 70000 часов. Компоновка аналогичная Boeing 2-4-2 эконом-класс также, 2-2-2 бизнес-класс. Но в то же время ИЛ-96-300 вмещает больше пассажиров за счёт уменьшения пространства между креслами [3].

После изучения устройства двух самолетов возник вопрос, почему от эксплуатации ИЛ-96-300 отказались, летно-технические характеристики рассмотренных воздушных судов почти ничем не отличаются. Был проведен опрос эксплуатантов данных воздушных судов, они указали на сильные и слабые стороны самолета ИЛ-96-300. Со слов эксплуатантов, на ИЛ-96-300 не окупаемые расходы на ГСМ (горюче-смазочные материалы), а также на техническое обслуживание [5]. Но для авиакомпаний приобретение ИЛ-96-300 обойдется меньшими расходами, аналогично дешевле обойдется и подготовка экипажа, так как все обучение на Boeing 767 проходит за границей. При этом у Boeing 767 меньший расход на техническое обслуживание, на ГСМ и аэронавигацию. По изученным летно-техническим характеристикам самолетов можно заключить, что Boeing 767 меньше расходуют топлива вследствие установленных двух двигателей, меньше состав летного экипажа. Подсчитав, во сколько обходится обслуживание самолетов обоих типов в месяц, мы сделали выводы, что разницы в технической эксплуатации в 1 миллион долларов в пользу Boeing 767. Это обусловлено большим расходом на экипаж и техническое обслуживание. Изучив статистику регулярных полетов обоих типов самолетов в 2005 года, мы заметили, что два Boeing 767 выполняли такую же работу, как четыре ИЛ-96-300. Полагаем, это обусловлено тем, что ИЛ-96-300 с четырьмя двигателями тратил больше средств авиапредприятия на топливо и на поддержание летной годности двигателей. Сравнивая стоимость самолетов и их двигателей, заметим, что стоимость 4 двигателей Ил-96-300 дешевле, чем 2 двигателя Boeing 767. Так как у последних низкий КПД и чаще происходят технические неполадки. Низкий КПД у двигателя Пс-90, установленного на ИЛ-96-300 и частое его списание объясняется тем, что данный двигатель, имеет несколько конструктивных проблем [2]. Эти проблемы могут привести к поломкам и авариям. Одной из самых распространенных проблем является отказ в работе системы контроля двигателя FADEC (англ. FullAuthority Digital Engine Control), которая управляет работой двигателя и обеспечивает оптимальную производительность [5]. Также, у двигателя Пс-90 наблюдаются проблемы с турбинами высокого и низкого давления, а также с системой смазки.

В работе была рассмотрена схема Ил-96-300 с 4 двигателями Пс-90. Тяга каждого такого двигателя дает 18 тысяч кгс (килограмм-силы), то есть в сумме 72 тысячи кгс. На Боинге установлены два двигателя тягой каждый 42кгс, то есть в сумме они дают 82 тысячи кгс. Изучив расположение двигателей, рассчитав взлетную тягу, был предложен вариант компоновки, при котором на Ил 96 установлены два двигателя PW4000. Они дадут самолету ИЛ-96-300 большую тягу, при которой он сможет работать с малыми аэропортами с

укороченной длинной взлетно-посадочной полосы. Оптимальная аэродинамическая эффективность достигнута за счёт расположения в зоне 25-35% полуразмаха, обеспечивающей минимальное сопротивление, а также благодаря уменьшению интерференции с закрылками, что существенно улучшает обтекаемость. В части прочностных требований выполнено усиление нервюр №12-18 и увеличена толщина обшивки в зоне крепления на 15-20%, что гарантирует повышенную надёжность конструкции. Центровка скорректирована за счёт смещения центра тяжести на 4,2% САХ вперёд при сохранении требуемой балансировки в диапазоне 18-22% САХ. Ключевые конструктивные изменения включают новые пилоны длиной 3,8 м и массой 850 кг каждый, установленные под углом 3 вниз и 2 наружу, а также модификации крыла с усилением шпангоутов №14-16 для обеспечения необходимой жёсткости и долговечности.

2. Экономический анализ

Анализ стоимости оперирования воздушных судов Ил-96 и Boeing 767 демонстрирует существенную разницу в эксплуатационных расходах. Как видно из представленных данных, суммарная себестоимость летного часа для Ил-96 составляет 8306,2 долларов против 7047,0 долларов у Boeing 767. Ключевыми факторами, определяющими данное различие, являются более высокие расходы на содержание и техническое обслуживание Ил-96 (2183,6 долларов против 1405,2 долларов) и значительно превышающие затраты на авиаГСМ (4165,9 долларов против 2625,0 долларов). При этом расходы на владение (амортизацию/лизинг) для отечественного самолета существенно ниже (156,1 долларов против 1455,1 долларов), что является его конкурентным преимуществом.

Для более детального сравнения эксплуатационных показателей был проведен расчет на примере перевозки 100 тысяч пассажиров на маршруте Москва-Бангкок-Москва. Анализ показывает, что несмотря на большую пассажировместимость Ил-96 (235 кресел против 213), необходимое количество воздушных судов для выполнения данной программы перевозок составляет 1,7 для Ил-96 против 1,0 для Boeing 767. Это обусловлено значительно более низким среднестатистическим количеством летных часов, достигнутым в эксплуатации "Аэрофлотом" - 3067 часов для Ил-96 против 5168 часов для Boeing 767.

Существенные различия наблюдаются в структуре эксплуатационных расходов. Потребление керосина для Ил-96 составляет 7977 кг/час против 4979 кг/час у Boeing 767, что в годовом выражении для рассматриваемой программы перевозок дает 42757 тонн против 26658 тонн соответственно. Также значимым фактором является разница в численности летного состава: при одинаковом количестве экипажей на одно ВС (7 экипажей) состав экипажа Ил-96 включает 4 человека против 2 у Boeing 767, что в итоге требует привлечения 44 летных специалистов против 14 для американского самолета.

В стоимостном выражении расходы, связанные с полетом ВС, учитывающие взлетную массу и затраты на эстафеты и летную составляющую оплаты труда экипажей, составляют 12824 тыс. долларов для Ил-96 против 10952 тыс. долларов для Boeing 767. При этом расходы на поддержание ВС в исправном состоянии, лизинговые платежи и содержание летно-технического персонала демонстрируют обратную тенденцию - 10,08 млн долларов для Ил-96 против 14,98 млн долларов для Boeing 767, что подтверждает преимущество отечественного самолета по статьям расходов, связанных с владением.

Заключение

Предложенная модернизация представляет собой простую модель автоматической посадки воздушного судна, демонстрируя основные этапы и логику, которые могут быть использованы в реальных системах управления полетом. Предложив вариант модернизации, мы предполагаем уменьшение числа отказов и неисправностей. Сравнивая стоимость воздушного судна и автопилота, можно прийти к выводу, что устанавливая дополнительный алгоритм мы увеличиваем стоимость производства самолета на 1,25 млн долл.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Объединенная авиастроительная корпорация (ОАК).* [Электронный ресурс]. URL: https://uacrussia.ru/ru/ (дата обращения: 09.09.2024).

2. АО Ильюшин [Электронный ресурс]. URL: https://ilyushin.org (дата обращения: 09.9.2024).

3. IKAO The International Civil Aviation Organization [Электронный ресурс]. URL: https://www.icao.int (дата обращения: 10.09.2024).

4. The *Boeing* Company. [Электронный ресурс]. URL: https://www.boeing.com (дата обращения: 10.09.2024).

5. Агенство Воздушного Транспорта. [Электронный ресурс]. URL: https://favt.gov.ru (дата обращения: 09.09.2024).

MODERNIZATION OF THE IL-96-300 IN MODERN REALITIES

Evtushenko N.A.

Supervisor: Achkasova E.A., Senior Lecturer

(Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk)

Abstract. In modern conditions, both political and economic, in the near future the Russian aircraft industry is faced with the task of providing air transportation with transport. At the moment, imported wide-body aircraft are used, but our aircraft industry is no worse. We want to prove this through the modernization of the Il-96-300 aircraft, calculating the feasibility of such a solution.

УДК 539.31

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СОСТАВНОГО КОЛЬЦА ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ДО КРИОГЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

Егоров А.В., Васильев Ф.А.

Научный руководитель: Егоров А.В., профессор, д. т. н.

(МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва)

Аннотация. В работе рассматривается составное кольцо как упрощённая модель части цилиндрического криогенного бака. Исследуется напряжённо-деформированное состояние составного кольца при охлаждении внутренней металлической поверхности до температуры жидкого водорода, что имитирует захолаживание бака. Рассматривается вопрос раскрытия контакта между металлическим слоем и слоем теплоизоляции.

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из направлений повышения энергетических характеристик ракетной техники считается применение криогенных топлив, для которых создаются специальные несущие конструкции, например, топливные баки. С целью снижения теплообмена с окружающей средой в качестве теплоизоляции может использоваться пенопласт. Исходя из обзорной статьи [1] и источников [2-4], особенностями данного материала являются низкая теплопроводность, низкий удельный вес, а также работоспособность при криогенных температурах и стойкость к высоким градиентам температур по длине и толщине покрытия. В соответствии с патентом [3], пенопласт напыляется на клей и адгезионное покрытие. Наклеенный на металлический бак снаружи слой пенопласта эффективно удерживает тепловой баланс. Проектирование такой составной конструкции «металл-пенопласт» должно учитывать переменное поле температур, деформационные поля и контактное взаимодействие.

Однако в процессе захолаживания и заправки составного изделия между слоями может образоваться воздушный зазор. В соответствии с полученными результатами расчёта теплопроводности конструкции с различными размерами воздушных зазоров, приведённых в работе [5], наличие воздушного зазора между металлической оболочкой и слоем теплоизоляции может нарушить температурный режим внутри бака. Это обусловлено тем, что слои составной конструкции имеют различные коэффициенты линейного температурного расширения. Пенопласт имеет значение коэффициента теплового расширения выше, чем у алюминия, поэтому пенопласт обжимает металл, при этом почти не деформируя его в силу низкой жёсткости и высокой податливости пенопласта. Однако в местах, где имеется непроклей или технологическое отклонение по толщине алюминиевой оболочке, возможны неравномерные распределения деформаций, что может привести к отслоению части теплоизоляции, в результате чего возникнет воздушный зазор.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЁТА

Объектом исследования является составное кольцо, состоящее из двух слоёв: слоя металла и слоя пенопласта (рис. 1,2). Внутренний диаметр металлического кольца составляет 500 мм, толщина металлического слоя 1,2 мм, толщина слоя пенопласта – 15 мм, ширина кольца принята 20 мм.

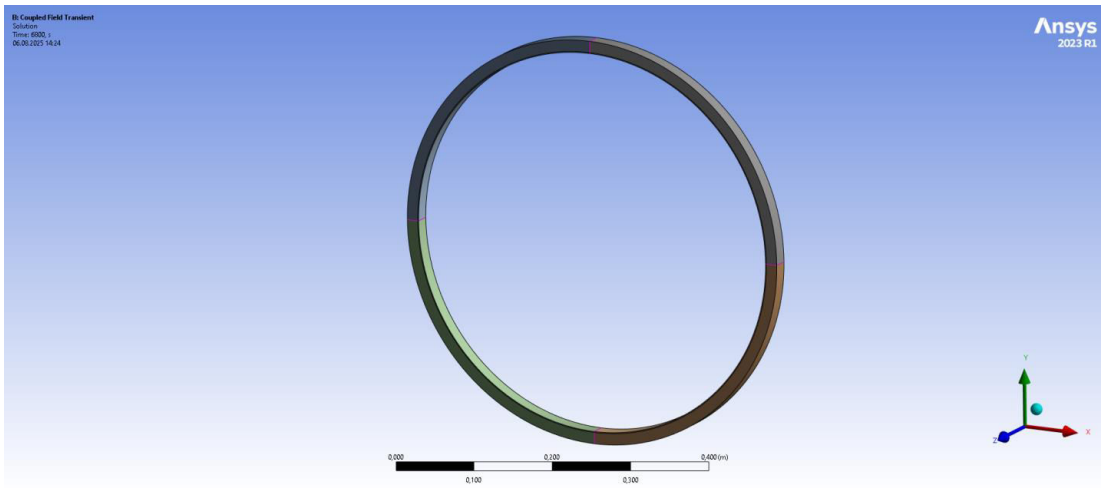


Рис. 1. Модель составного кольца (представительного элемента криогенного цилиндрического бака)

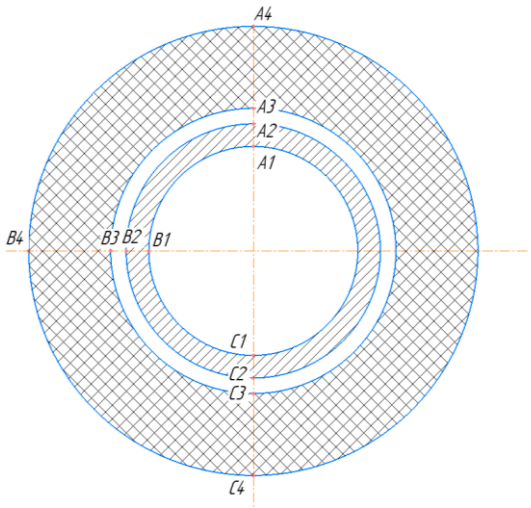


Рис. 2. Схема составного кольца (представительного элемента криогенного цилиндрического бака)

В качестве материала металлического кольца принят алюминиевый сплав 1201, физико-механические характеристики которого представлены в таблице 1 [6]. Характеристики пенопласта приняты следующими: E = 180000 Па, $\alpha=2{,}5\cdot10^{-5}$ $К^{-1}$.

Таблица 1

Механические характеристики алюминиевого сплава 1201 при различных температурах

Т, К	Е, ГПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{В}$, МПа	δ, %	ρ, кг/м^3	α, 10^5 $К^{-1}$
20	78,8	460	650	11,5	2850	2
77	77,8	400	550	10	2850	2
293	72	350	440	8,5	2850	2

В качестве внешних нагрузок, действующих на составное кольцо, необходимо выделить следущее:

- температура внутренней поверхности металлического кольца меняется линейно с 293 К до 20 К за 6600 с (рис. 3);
- постоянное внутреннее давление 0,3 МПа, действующее в течение всего времени захолаживания на внутреннюю поверхность металлического слоя;
- контактное термическое сопротивление между слоями 1/3000 м^{2}К/Вт;
- конвективный теплообмен на внешней поверхности пенопласта с окружающей средой: температура среды 293 К, коэффициент теплоотдачи составляет 30 Вт/(м^{2}К);
- боковые поверхности кольца идеально теплоизолированы.

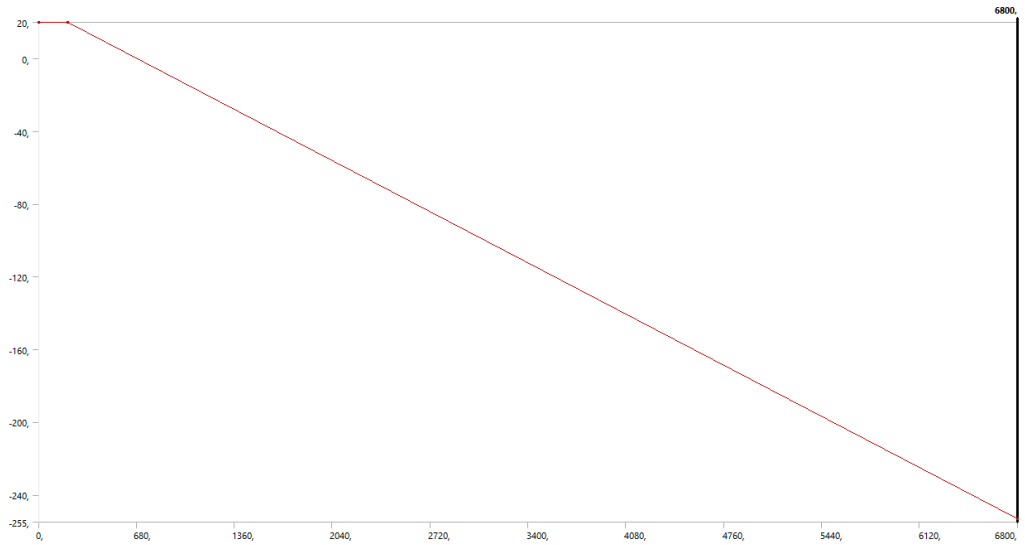


Рис. 3. Зависимость температуры на внутренней поверхности металлического кольца от времени захолаживания

3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО РАСЧЁТА

Расчёт проводится методом конечных элементов в динамической постановке в программном комплексе Ansys. Для проведения двух параллельных зависимых расчётов – расчёта теплового режима и термических деформаций используется программный модуль Coupled Field Transient. Контакт между слоями – идеальный контакт с односторонней связью, заданный как Frictionless.

Закрепление кольца осуществляется по металлическому слою в точках A1, B1, C1, расположенных на внутренней поверхности металлического кольца (рис. 2). Ограничения на перемещения с учётом представленной системы координат следующие:

- т. A1: x=0, z=0;
- т. B1: y=0, z=0;
- т. C1: x=0, z=0.

Конечно-элементная сетка состоит из твердотельных конечных элементов типа SOLID225, которые представляют собой восьмиузловой параллелепипед. Сетка содержит 883932 узлов и 655830 конечных элементов (рис. 4). Расчёт содержит 80 итераций по времени. Приложенные термические и силовые нагрузки были обозначены ранее. Допускается незначительное (до 0,1 мм) проникновение одного слоя в другой для сходимости решения.

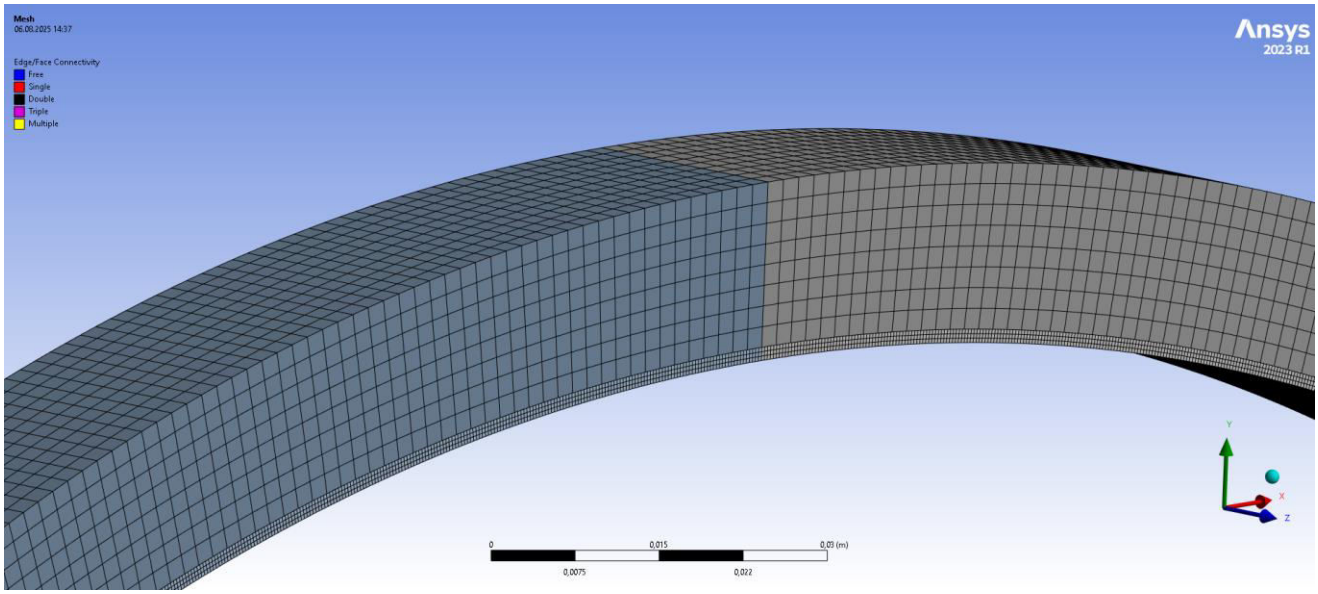


Рис. 4. Конечно-элементная модель составного кольца

4. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты определения напряжённо-деформированного состояния составной конструкции представляют собой эпюры, равномерно распределённые по длине окружности в силу того, что задача симметричная. Поэтому в любом радиальном сечении кольца распределение параметров напряжённо-деформированного и теплового состояний будут принимать одинаковую картину.

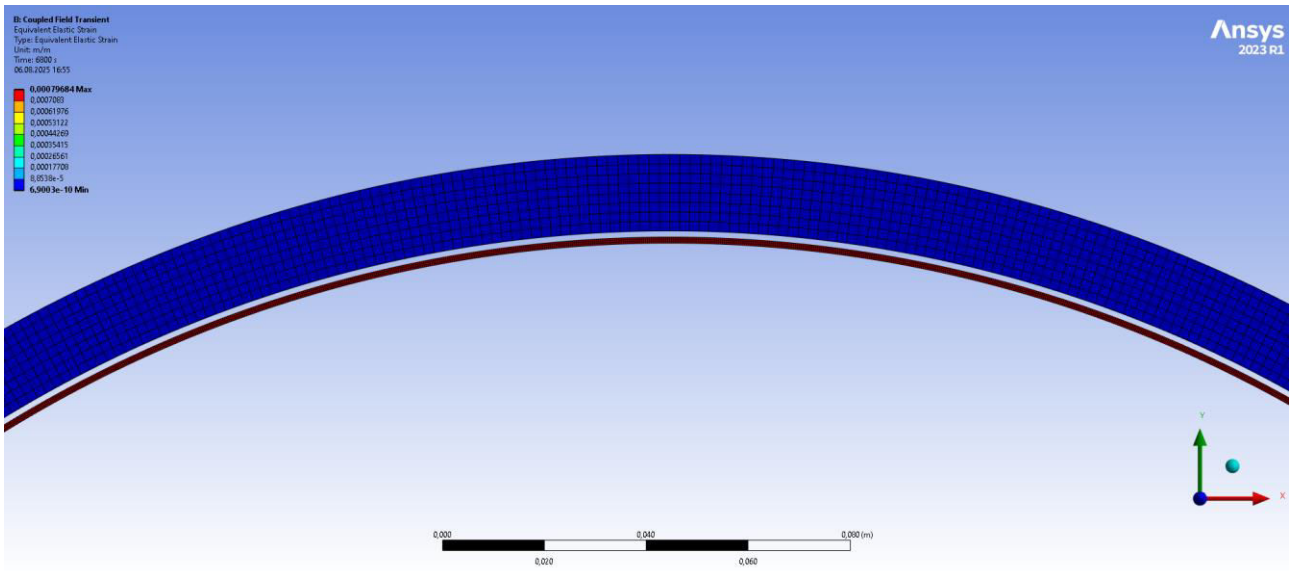


Рис. 5. Эпюра интенсивности деформаций по длине составного кольца

По представленной на рис. 5 эпюре можно сделать вывод, что в течение процесса захолаживания происходит нарушение контакта между слоями – отслоение. Момент времени, при котором происходит отслоение – 2450 с.

Так как решается объёмная задача, будет целесообразно рассмотреть параметры напряжённо-деформированного состояния в радиальном сечении кольца, например, А1-А4. На рис. 6-8 представлены эпюры распределения интенсивности деформаций, эквивалентных напряжений и температуры соответственно в сечении А1-А4 составного кольца в моменты времени 200 с, 2450 с (момент отслоения), 3000 с и 6800 с.

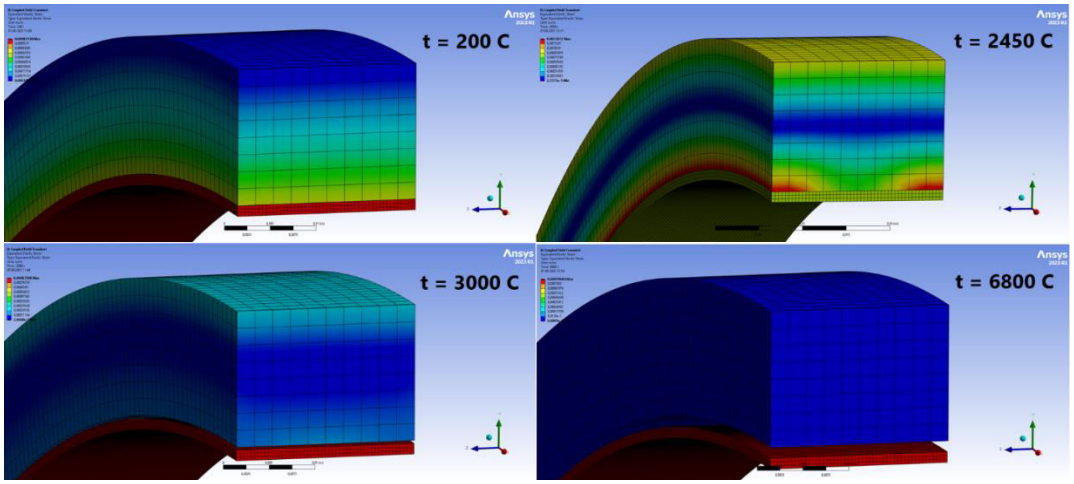


Рис. 6. Эпюра распределения интенсивности деформаций в составном кольце в зависимости от времени захолаживания

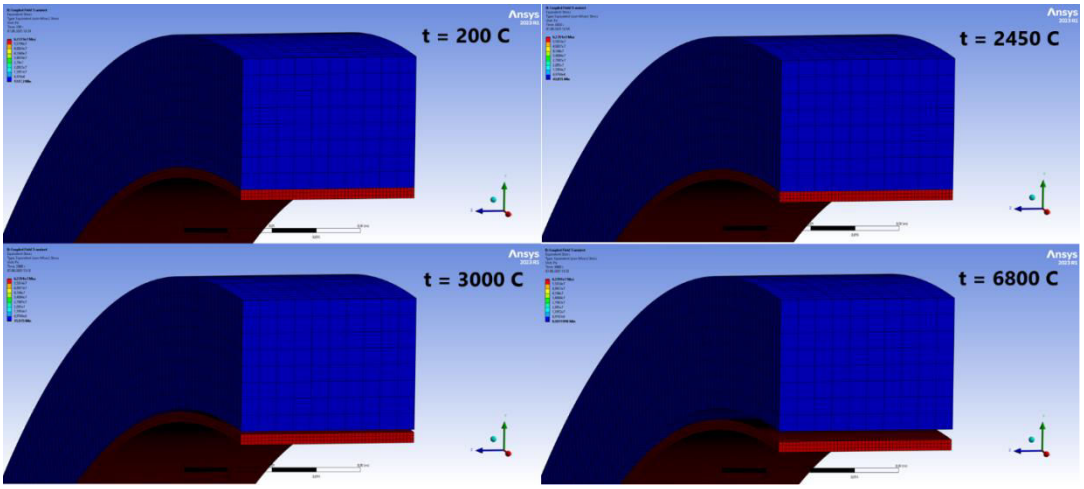


Рис. 7. Эпюра распределения эквивалентных напряжений в составном кольце в зависимости от времени захолаживания

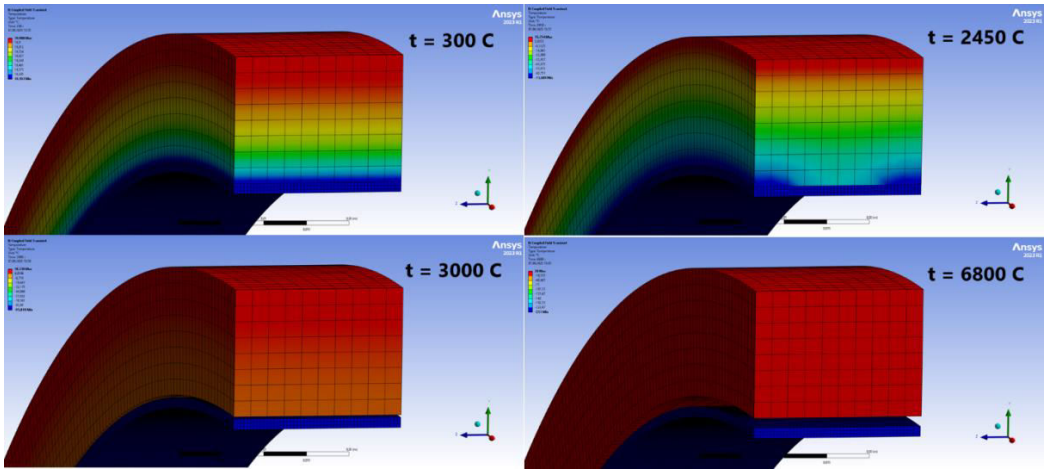


Рис. 8. Эпюра распределения температуры в составном кольце в зависимости от времени захолаживания

Можно заметить, что коэффициент линейного теплового расширения пенопласта выше, чем у металла, поэтому металлическое кольцо должно обжиматься пенопластом. Но это возможно лишь в том случае, если составное кольцо будет иметь бесконечно большую ширину. А так как мы рассматриваем составное кольцо шириной 20 мм, то на процесс деформирования оказывают влияние краевые эффекты в слое пенопласта, вызванные неравномерным распределением температуры возле боковых поверхностей. Пенопласт деформируется в месте контакта с металлическим кольцом, принимая форму, изображённую на рис. 9. Потеряв контакт в центре сечения, слой пенопласта начинает интенсивно нагреваться в результате конвективного теплообмена с окружающей средой, после чего вследствие термического расширения из-за нагрева пенопласт полностью теряет контакт с металлическим кольцом.

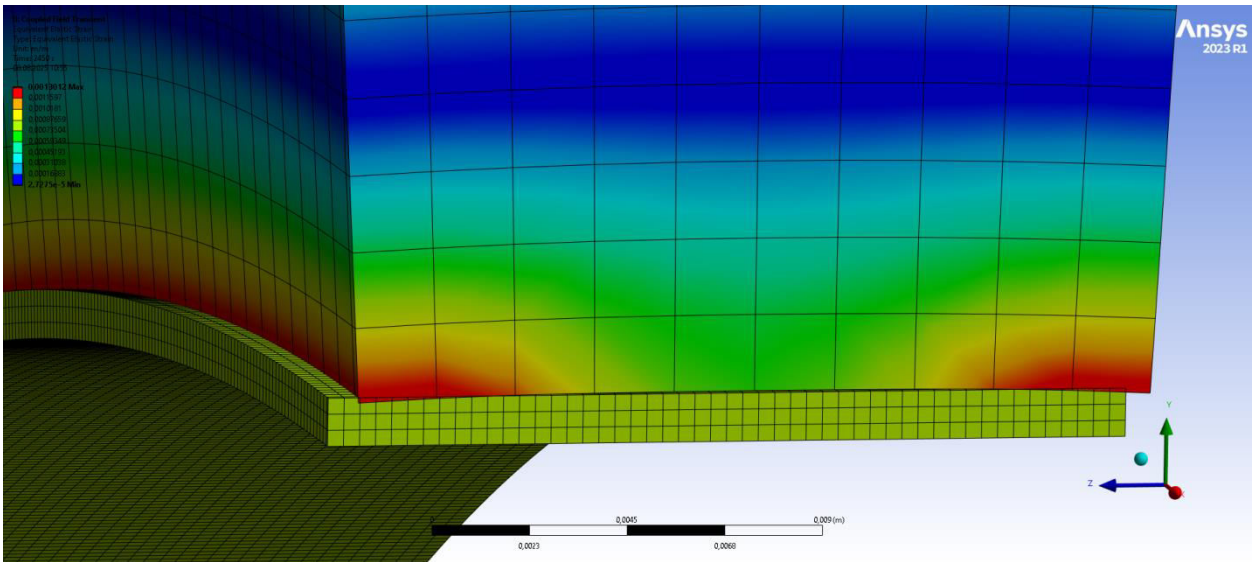


Рис. 9. Эпюра распределения интенсивности деформаций в момент времени 2450 с – момент возникновения отслоения (для наглядности перемещения увеличены в 30 раз)

ВЫВОД. В процессе захолаживания криогенных баков возможны значительные термические деформации в теплоизоляционном покрытии. Эти деформации могут стать причиной возникновения воздушных зазоров между металлической силовой оболочкой и теплоизоляцией.

В данной работе рассмотрена задача нелинейной термоупругости в динамике, заключающаяся в охлаждении внутренней металлической поверхности составного кольца с 293 К до 20 К. Конечно-элементный расчёт показал, что в процессе охлаждения возникает отслоение слоя пенопласта от металлического слоя. Это связано с тем, что при рассмотрении кольца конечной ширины возникают краевые эффекты на боковых поверхностях пенопласта, в результате которых нарушается равномерность распределения температуры и, как следствия, термических деформаций по ширине кольца. Таким образом деформируется контактная поверхность пенопласта, что приводит к полной потери контакта.

Из данной работы можно прийти к выводу: при наличии незначительных возмущений – технологических отклонений или дефектов в конструкции криогенных баков возможны значительные термические деформации в окрестностях этих дефектов, что может привести к отслоению слоя теплоизоляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Егоров А.В., Васильев Ф.Ал.* Конструктивное исполнение криогенных топливных баков для ракетной техники // Инженерный журнал: наука и инновации, 2025, №1.

2. *Акилов Г.К., Ольховская С.П., Танюшин Б.А.* Создание кислородно-водородных ракетных блоков для ракетно-космического комплекса Н1-Л3 // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», 2008, № 3 (59). С. 55–58.

3. Пат. RU 2298480 C1 Российская Федерация. Многослойное изделие и способ его изготовления (варианты). Заявл. 28.11.2005. Опубл. 10.05.2007. Бюл. № 13.

4. Пат. RU 2459743 C1 Российская Федерация. Пакет тепловой изоляции и способ его изготовления. Заявл. 11.04.2012. Опубл. 27.07.2012. Бюл. № 21.

5. *Егоров А.В, Васильев Ф.А.* Задача нестационарной теплопроводности в конструкции топливного водородного бака для ракетно-космической техники // Будущее машиностроения России: XVII Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов (с международным участием) (Москва, 24–27 сентября 2024 года): сборник докладов: т. 2 / Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»; Союз машиностроителей России. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025. – С. 7–10.

6. *Мишин В.П., Карраск В.К., ред.* Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов. Москва, Машиностроение, 1991, 416 с.

DETERMINATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF A COMPOSITE RING WHEN COOLING THE INNER SURFACE TO CRYOGENIC TEMPERATURES

Egorov A.V., Vasiliev F.A.

Supervisor: Egorov A.V., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(BMSTU, Moscow)

Abstract. The paper considers a composite ring as a simplified model of a part of a cylindrical cryogenic tank. The paper studies the stress-strain state of the composite ring when the inner metal surface is cooled to the temperature of liquid hydrogen, which simulates the tank's cooling. The paper also examines the opening of the contact between the metal layer and the insulation layer.

УДК 621.642.2

УЧЁТ ГАБАРИТНОГО ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОРПУСА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В ВИДЕ ТОРА ИЛИ ЛЕПЕСТКОВОГО ТОРА

Екимовская А.А.

Научный руководитель: Лебедев В.В., д. т. н.

(Благотворительный фонд «Образование+», Московский авиационный институт, г. Москва)

Аннотация. Традиционный корпус космического аппарата в виде тора часто признаётся наиболее рациональной конструкцией из-за малой массы и большой вместимости. Но это утверждение справедливо при отсутствии внутренних перегородок. Такие перегородки часто необходимы, например, для раздельного хранения компонентов топлива. Если учесть массу внутренних перегородок, то более лёгкой конструкцией становится лепестковый тор, выполненный в виде кольцевой конфигурации из сферических сегментов. В предыдущих работах было выполнено сравнение масс таких двух корпусов при допущении общей центральной кольцевой линии. Однако при проектировании космического аппарата или его составных частей важным требованием является габаритный размер. Согласно этому требованию Технического задания выполнено уточнение сравнения двух корпусов. Лепестковый тор с внутренними перегородками опять оказался легче традиционного тора на 3-8%, в зависимости от количества составных модулей.

Согласно Техническому заданию потребовалось провести сравнение площадей поверхностей двух конструкций. Фактически – это сравнение масс двух корпусов, потому что конструкции выполнены из листового материала. Толщина листового материала равна h, общая площадь листа равна S, поэтому общий объём материала равен $V=Sh$. При известной плотности материала масса конструкции определяется формулой $m = \rho V = \rho Sh$. Толщина h листового материала в этой работе не обсуждается. Следовательно, между общей площадью листа и массой установлено взаимно однозначное соответствие.

Цель работы заключается в выборе самой лёгкой конструкции корпуса космического аппарат (КА) из двух вариантов, определённых Техническим заданием [1]. Первый вариант – это традиционный, классический в строгом математическом понимании тор. Второй вариант – это лепестковый тор, состоящий из сферических сегментов.

Техническим заданием определены условия для сравнения двух видов корпусов.

1. Объёмы двух геометрических тел должны быть одинаковыми.

2. Количество перегородок внутри корпусов, если таковые предусмотрены, одинаковое в обеих конструкциях.

3. Главное требование – внешний габарит, то есть радиус описанной окружности в поперечном сечении тела, должен иметь одно и то же значение для обоих корпусов.

Новизна работы заключается в учёте третьего требования, то есть фиксации габаритного радиуса по внешнему размеру. Такое требование следует из практики эскизного проектирования КА. Действительно, созданы конкретные ракеты-носители (РН), в которых головные обтекатели имеют заданные диаметры. Вновь разрабатываемый КА должен размещаться под обтекателем. На габаритные размеры проектируемого КА дополнительно накладываются внешние ограничения, например, связанные с условиями транспортировки. Например, при транспортировке по железным дорогам габарит ширины груза не должен превышать значения 4 метра. Следовательно, габаритное требование является реальным фактором, определяющим конструкцию проектируемого КА.

Содержательная формулировка задачи свелась к сравнению масс двух видов корпусов. Традиционный, классический тор часто применяется в конструкциях корпусов КА как самое лёгкое и вместительное тело. Однако при этом часто не учитывается наличие внутренних перегородок, необходимых, например, для разделения отсеков для хранения различных жидкостей или газов, а также аппаратуры. Закономерен вопрос влияния внутренних перегородок на массу корпуса в виде классического тора. Если добавочная масса от перегородок окажется слишком большой, в условном понимании этого значения, то вполне обоснованным будет отказ от традиционного тора и поиск других форм корпусов КА.

В качестве альтернативной формы корпуса КА выбран лепестковый тор, то есть кольцевая конструкция, составленная из сферических сегментов. Свойства такой конструкции изучены в авторских работах на основе теории сложных технических систем [2]. Показателем качества по Н.П.Бусленко выбрано отношение $f = \dfrac{V}{S}$ объёма корпуса к общей площади его поверхности, включая возможные перегородки или крышки. Найденные характеристики основаны на геометрических формулах стереометрии для сферического слоя (поверхности) и шарового сегмента (тела) [3]. На рис.1 показан пример сферического слоя. На сфере радиуса R выполнен плоский срез на высоте h, считая от поверхности среза. При этом получилось круговое отверстие радиуса r_0, размер которого зависит от высоты h среза.

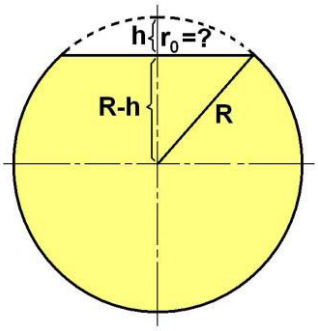


Рис. 1. Обозначения для расчёта единичного сферического слоя

В начале исследования были получены расчётные формулы, выражающие объёмы и площади фигур через величину $x = \frac{h}{R}$ относительного среза сферы. Затем был изучен сферический сегмент с двумя одинаковыми плоскими срезами [4]. Было доказано, что при одной перегородке (крышке) выбранный показатель качества $f = \frac{V}{S}$ принимает максимальное значение при относительной величине среза $x \approx 0,254991107$. Эта величина запатентована автором [4]. Не изменяя оптимальной величины относительного среза $x \approx 0,254991107$, была предложена сначала герметичная конструкция корпуса из двух сферических сегментов [5]. Затем герметичная конструкция корпуса была доработана до лепесткового тора, каждый модуль которого в виде сферического сегмента имеет по два не пересекающихся доказанных оптимальных среза, между модулями установлены плоские круговые перегородки, изготовленные из того же листового материала, что и сфера [6, 7]. На рис.2 показана схема лепесткового тора с возможными внутренними перегородками между модулями, а также фотография пенопластовых моделей с различным числом модулей из сферических сегментов.

При дальнейших расчётах удобно предположить радиус сферического слоя *R=1*, чтобы потом по правилам подобия пересчитать линейные размеры, площади и объёмы тел. При расчётах надо воспользоваться выражением площадей и объёмов фигур через величину относительного среза, оптимальное значение которой равно $x \approx 0,254991107$. Таким образом переменные величины *R* и *x* во всех расчётных формулах стали константами, но могут быть изменены при последующих исследованиях.

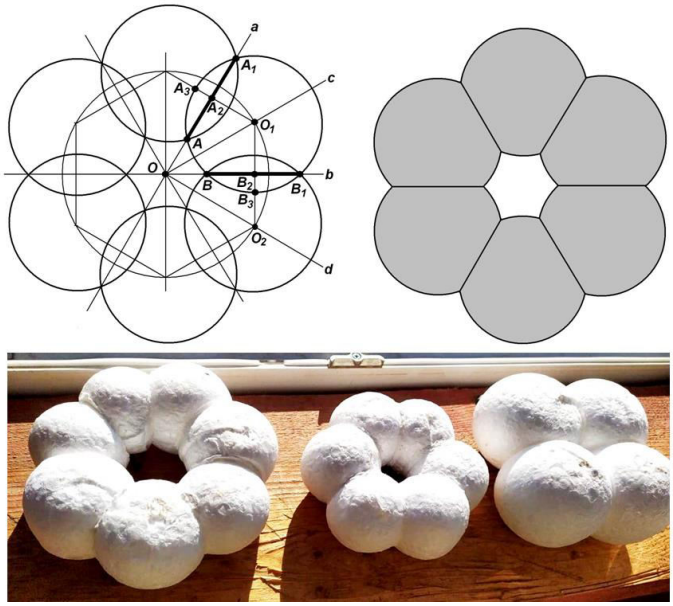


Рис. 2. Лепестковый тор из сферических сегментов

Площадь одного срезанного сферического слоя без площади плоского среза (перегородки) $S_c = 2\pi Rh = 2\pi R^2 x$.

Площадь основания плоского среза, то есть круга радиусом r_0, определяется формулой

$$S_0 = \pi r_0^2 = \pi\left(R^2 - \left(R-h\right)^2\right) = \pi R^2\left(-x^2 + 2x\right).$$

Объём одного сферического сегмента с высотой среза *h* равен

$$V_c = \pi h^2\left(R - \frac{1}{3}h\right) = \frac{\pi R^3}{3}\left(3x^2 - x^3\right).$$

Объём одного сферического сегмента с двумя одинаковыми срезами равен

$$V_{2CP} = \frac{4\pi R^3}{3} - 2\cdot V_c = \frac{2\pi R^3}{3}\left(x^3 - 3x^2 + 2\right).$$

Площадь сферического сегмента с двумя одинаковыми срезами, но без перегородок

$$S_{2CP} = 4\pi R^2 - 2\cdot S_c = 4\pi R^2\left(1-x\right).$$

Общая площадь одного сферического сегмента с одной перегородкой

$$S_{2CP} + S_0 = 4\pi R^2\left(1-x\right) + \pi R^2\left(-x^2 + 2x\right) = \pi R^2\left(-x^2 - 2x + 4\right).$$

Когда все расчётные формулы получены, нужно сформулировать условия сравнения двух конструкций: тора и лепесткового тора, с перегородками или без них.

Ранее была выведена формула взаимосвязи между радиусом центральной линии R_{cl} в лепестковом торе с *n* блоками и радиусом *R* одного сферического сегмента $\frac{R_{cl}}{R} = \frac{1-x}{\sin\frac{180^0}{n}}$, которая означает плотное прилегание модулей друг в другу в местах срезов сфер (рис.3). Однако далее проводилась сравнительная оценка лепесткового тора с эквивалентным традиционным тором при условии совпадения круговых центральных линий обеих фигур, которые на рис.3 показаны кольцевой штрих пунктирной линией. Было доказано, что при наличии внутренних перегородок лепестковый тор на 2-4% легче традиционного, в зависимости от количества *n*>3 модулей. Три модуля и менее стыковать нельзя, потому что пересекутся срезы сфер, что соответствует совершенно другой форме корпуса.

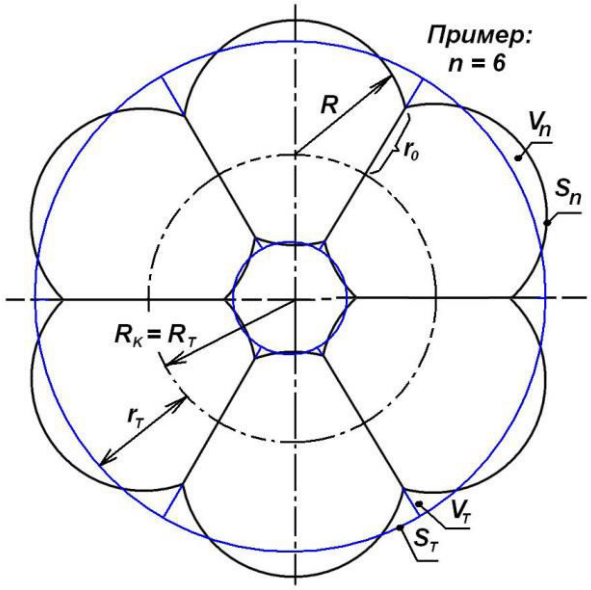


Рис. 3. Совмещение двух форм корпусов КА по центральной линии (первый вариант)

В этой работе Техническое задание потребовало изменить условие формирования эквивалентного тора, сделать одинаковым для обеих фигур внешний габаритный радиус. При такой новой формулировке задачи сразу появился вопрос: сохранится ли прежний вывод о более лёгкой конструкции лепесткового тора с перегородками по сравнению с обычным тором с тем же количеством перегородок? На рис.4 показаны два случая сравнительного анализа: слева – с общей кольцевой центральной линией, справа – с общим внешним габаритным радиусом.

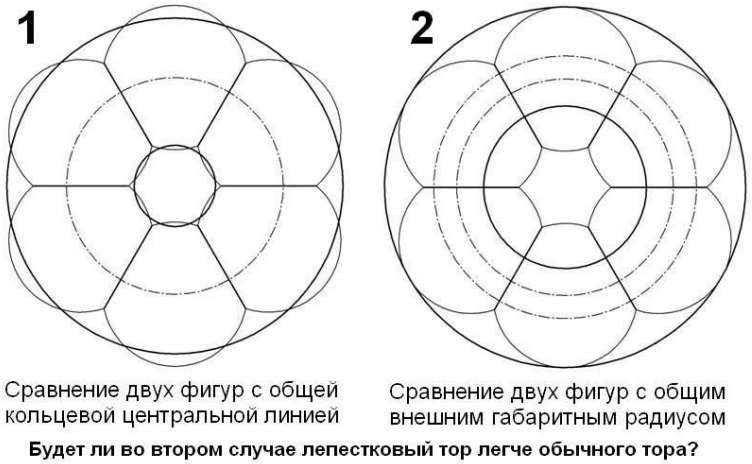


Рис. 4. Второй вариант сравнительного анализа двух форм корпусов КА

Алгоритм решения задачи был изменён по сравнению с предыдущим случаем сравнения, но прежними остались радиус модуля сферического сегмента $R=1$ и оптимальный срез $x \approx 0,254991107$. Этот алгоритм поясняется схемой справа на рис.4.

1. Определяем внешний габаритный радиус описанной окружности по лепестковому тору – он больше радиуса центральной линии лепесткового тора на радиус R сферического сегмента:

$$R_{BH} = R_{cl} + R = \frac{1-x}{\sin\dfrac{180^0}{n}} \cdot R + R = \left(\frac{1-x}{\sin\dfrac{180^0}{n}} + 1 \right) R .$$

2. Для сравнения формируем эквивалентный тор с таким же внешним радиусом, то есть с таким же габаритным размером. Для этого надо определить радиус r образующего сечения эквивалентного тора, который находится из условия равенства объёмов двух тел. Центральные кольцевые линии двух фигур теперь не совпадают, как в первом варианте. Радиус центральной линии эквивалентного тора на искомую величину r меньше внешнего габаритного радиуса.

3. Применяем теорему Гульдена-Паппа для определения объёма эквивалентного тора:

$$V_T = \pi r^2 \cdot 2\pi \left(R_{cl} - r \right) = 2\pi^2 r^2 \left(\left(\frac{1-x}{\sin\dfrac{180^0}{n}} + 1 \right) R - r \right) .$$

4. Записываем условие равенства объёмов эквивалентного тора и n сферических сегментов с двумя срезами в каждом: $V_T = nV_{2CP}$. Получаем уравнение для определения радиуса r образующего сечения эквивалентного тора:

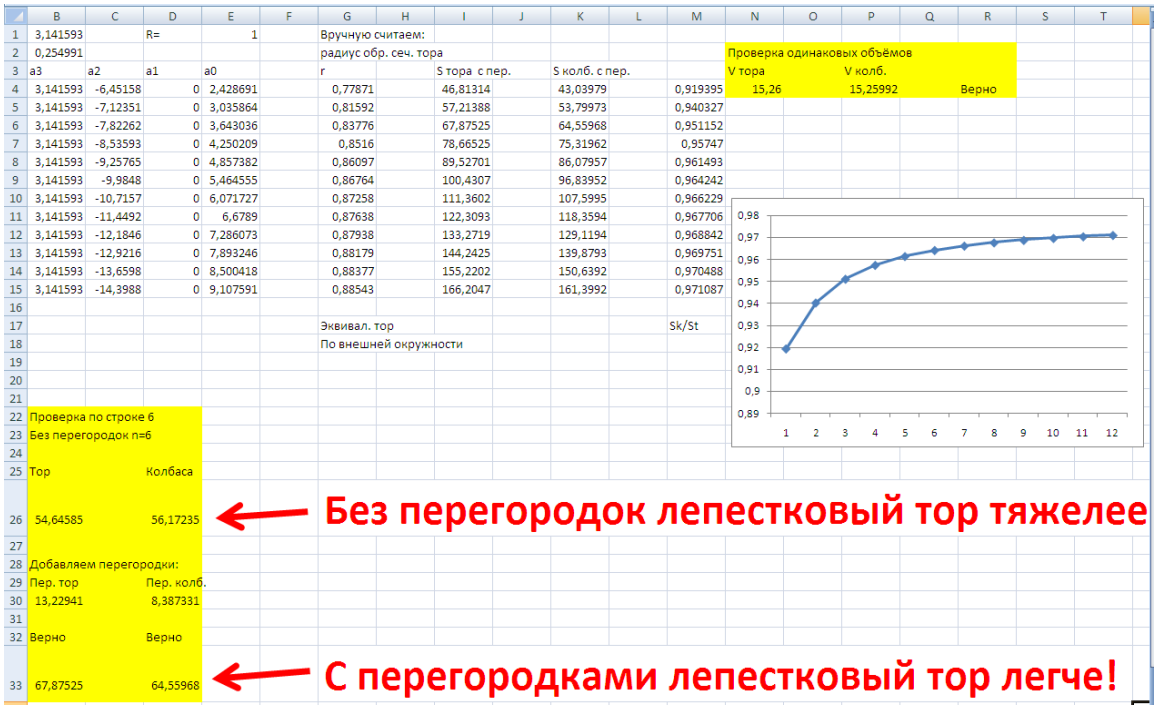
$$2\pi^2 r^2\left(\left(\frac{1-x}{\sin\frac{180^0}{n}}+1\right)R-r\right)=n\cdot\frac{2\pi R^3}{3}\left(x^3-3x^2+2\right).$$

Раскрываем скобки, делим на 2π каждое слагаемое:

$$\pi r^3-\pi\left(\frac{1-x}{\sin\frac{180^0}{n}}+1\right)r^2+n\cdot\frac{R^3}{3}\left(x^3-3x^2+2\right)=0\,.$$

Величины x и R заданы ранее. Значит, для каждого значения числа модулей $n>3$ получилось кубическое уравнение. Вычисляем коэффициенты кубического уравнения в программе EXCEL для каждого значения $n>3$.

5. Решаем каждое кубическое уравнение для $n=4\div15$ с помощью онлайн калькулятора для решения кубических уравнений [8]. Ниже показана расчётная таблица.



	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	3,141593		R=	1		Вручную считаем:													
2	0,254991					радиус обр. сеч. тора							Проверка одинаковых объёмов						
3	a3	a2	a1	a0		r		S тора с пер.		S колб. с пер.			V тора		V колб.				
4	3,141593	-6,45158	0	2,428691		0,77871		46,81314		43,03979		0,919395	15,26		15,25992		Верно		
5	3,141593	-7,12351	0	3,035864		0,81592		57,21388		53,79973		0,940327							
6	3,141593	-7,82262	0	3,643036		0,83776		67,87525		64,55968		0,951152							
7	3,141593	-8,53593	0	4,250209		0,8516		78,66525		75,31962		0,95747							
8	3,141593	-9,25765	0	4,857382		0,86097		89,52701		86,07957		0,961493							
9	3,141593	-9,9848	0	5,464555		0,86764		100,4307		96,83952		0,964242							
10	3,141593	-10,7157	0	6,071727		0,87258		111,3602		107,5995		0,966229							
11	3,141593	-11,4492	0	6,6789		0,87638		122,3093		118,3594		0,967706							
12	3,141593	-12,1846	0	7,286073		0,87938		133,2719		129,1194		0,968842							
13	3,141593	-12,9216	0	7,893246		0,88179		144,2425		139,8793		0,969751							
14	3,141593	-13,6598	0	8,500418		0,88377		155,2202		150,6392		0,970488							
15	3,141593	-14,3988	0	9,107591		0,88543		166,2047		161,3992		0,971087							
16																			
17						Эквивал. тор						Sk/St							
18						По внешней окружности													
19																			
20																			
21																			
22	Проверка по строке 6																		
23	Без перегородок n=6																		
24																			
25	Тор		Колбаса																
26	54,64585		56,17235																
27																			
28	Добавляем перегородки:																		
29	Пер. тор		Пер. колб.																
30	13,22941		8,387331																
31																			
32	Верно		Верно																
33	67,87525		64,55968																

Рис. 5. Применение табличного редактора EXCEL для решения задачи

<u>Алгоритм решения задачи в табличном редакторе EXCEL</u>

1. Число блоков n записывается в столбце A.

2. Коэффициенты кубического уравнения программируются в столбцах B, C, D, E.

3. Вручную с столбце G онлайн калькулятором GELEOT решается каждое кубическое уравнение. Вычисляем радиус r образующего сечения эквивалентного тора. Внимание! Калькулятор выдаёт три корня. Исключаем отрицательный корень и корень, который больше единицы, так как эквивалентный тор должен быть тоньше лепесткового тора из-за наличия пустот в лепестковой конструкции.

4. Проверяем равенство объёмов двух тел (столбцы N-R). Верно!

5. Вычисляем площадь эквивалентного тора. Внимание! Добавляем площадь n внутренних перегородок. Расчётная формула для столбца I:

$$S_{Tпер} = 2\pi r \cdot 2\pi\left(R_{ВН} - r\right) = 4\pi^2 r\left(\left(\frac{1-x}{\sin\frac{180^0}{n}}+1\right)R - r\right) + n\cdot\pi r^2 .$$

6. Вычисляем площадь лепесткового тора из *n* сферических сегментов. Внимание! Добавляем площадь *n* внутренних перегородок. Расчётная формула для столбца К:

$$S_{LEPпер} = n\cdot\pi R^2\left(-x^2 - 2x + 4\right).$$

7. Сравниваем площади поверхностей двух тел делением (столбец М). Строим график. По горизонтальной оси отложен номер расчётного случая: 1 – это четыре модуля, 2 – это пять модулей, и т.д. до случая 12 - это 15 модулей включительно. Лепестковый тор с перегородками оказался на 3-8% легче традиционного тора такого же объёма с тем же количеством перегородок.

8. Ниже приведена справка с расчётами площадей двух геометрических тел без перегородок. Если перегородки отсутствуют, то обычный тор оказывается более лёгким. Но в этом случае сравнительный анализ нельзя считать корректным, потому что условие оптимальности среза в сферическом сегменте будет другим, если максимум выбранного показателя качества существует. Следовательно, расчёт двух конструкций без внутренних перегородок является исключительно иллюстративным.

Выводы

1. Без перегородок обычный тор легче лепесткового. Этот вывод часто применяется в практике космического машиностроения. Например, это традиционные баки для компонентов топлива в виде традиционных торов.

2. С перегородками, наоборот, лепестковый тор легче обычного на 3-8% в зависимости от количества модулей и перегородок. Наибольший эффект экономии массы корпуса получается при четырёх модулях в виде сферических сегментов в кольцевой конструкции лепесткового тора.

3. Вряд ли есть смысл проводить сравнение двух конструкций по внутреннему радиусу, потому что этот размер не является габаритным. Это третий вариант сравнения форм корпусов. Однако разработанная методика позволяет выполнить такое исследование, если в Техническом задании будет содержаться требование о компановке оборудования внутри указанной окружности.

4. Разработанная методика позволяет выполнять сравнение корпуса в виде лепесткового тора с перегородками с другими формами КА или их составных частей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Волоцуев В.В., Ткаченко И.С.* Введение в проектирование космических аппаратов: учеб. пособие. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. – 144 с., ил. – ISBN 978-5-7883-13-16-0.

2. *Бусленко Н.П.* Лекции по теории сложных систем. – М.: Советское радио, 1973. – Электронный ресурс (дата обращения 22.06.2024): https://lib-bkm.ru/13940.

3. *Екимовская А.А.* Проектирование ёмкостей для хранения и транспортировки сжиженного газа / В сборнике: XXXV Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2023). Сборник трудов конференции. Москва, 2023. С. 447-454.

4. *Екимовская А.А.* Открытая ёмкость максимального объёма с плоским дном и сферической стенкой / Патент на полезную модель RU 223867 рег. 05.03.2024. Заявка на полезную модель RU 2023124105, от 19.09.2023. Публ. 05.03.2024, Бюлл. №7. Электронный ресурс: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber223867&TypeFile=html.

5. *Екимовская А.А.* Герметичная ёмкость из сферических слоёв. Патент RU 226295, рег. 30.05.2024, публ. Бюлл. №16 от 30.05.2024. Заявка на полезную модель RU 2024106143 от 11.03.2024. – Электронный ресурс: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=226295&TypeFile=html.

6. *Екимовская А.А.* Герметичная ёмкость из сферических слоёв с перегородками. Патент на полезную модель RU 226143, рег. 22.05.2024, публ. Бюлл. №15 от 22.05.2024, заявка на полезную модель RU 2024106140 от 11.03.2024, входящий ФИПС 013553. – Электронный ресурс: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM& DocNumber=226143&TypeFile=html.

7. *Екимовская А.А.* Лепестковый тор как перспективная форма корпуса космического аппарата / В сборнике: Аэрокосмическая декада Сборник трудов XVII Всероссийской студенческой научной школы. Москва, 2025. С. 25-30.

8. GELEOT – Решение кубических уравнений. Калькулятор онлайн. - https://geleot.ru/education/math/algebra/equation/cubic_equation.

CONSIDERING THE DIMENSIONAL RESTRICTION WHEN DESIGNING A SPACE VEHICLE BODY IN THE FORM OF A TORUS OR PETAL TORUS

Ekimovskaya A.A.

Supervisor: Lebedev V.V., Doctor of Engineering Sciences

(Charity Foundation "Education+", Moscow Aviation Institute, Moscow)

Abstract. Traditsionnyy korpus kosmicheskogo apparata v vide tora chasto priznayotsya naiboleye ratsional'noy konstruktsiyey iz-za maloy massy i bol'shoy vmestimosti. No eto utverzhdeniye spravedlivo pri otsutstvii vnutrennikh peregorodok. Takiye peregorodki chasto neobkhodimy, naprimer, dlya razdel'nogo khraneniya komponentov topliva. Yesli uchest' massu vnutrennikh peregorodok, to boleye logkoy konstruktsiyey stanovitsya lepestkovyy tor, vypolnennyy v vide kol'tsevoy konfiguratsii iz sfericheskikh segmentov. V predydushchikh rabotakh bylo vypolneno sravneniye mass takikh dvukh korpusov pri dopushchenii obshchey tsentral'noy kol'tsevoy linii. Odnako pri proyektirovanii kosmicheskogo apparata ili yego sostavnykh chastey vazhnym trebovaniyem yavlyayetsya gabaritnyy razmer. Soglasno etomu trebovaniyu Tekhnicheskogo zadaniya vypolneno utochneniye sravneniya dvukh korpusov. Lepestkovyy tor s vnutrennimi peregorodkami opyat' okazalsya legche traditsionnogo tora na 3-8%, v zavisimosti ot kolichestva sostavnykh moduley.

УДК 533.6.013.12.

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ СТЕНД С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОДИНАМИКИ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ТРАНСПОРТНОГО САМОЛЕТА

Епейкин А.А.

(Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж)

Аннотация. В данной работе выполнен анализ задач транспортной авиации, а также преждевременного съема двигателей с эксплуатации по причине выхода их из строя и методов заброса посторонних предметов в силовую установку самолета. Рассмотрена технология создания стенда для изучения заброса сторонних предметов в силовую установку в режиме работы «Реверс».

С развитием авиационного двигателестроения и перехода силовых установок летательных аппаратов с поршневых на газотурбинные двигатели, сопровождался рядом сопутствующих проблем. Одна из них – попадание твердых посторонних предметов в тракт двигателя и дальнейшее повреждение его компрессора. Проблема преждевременного съема с

эксплуатации ГТД по причине его повреждения посторонними предметами, попавшими с поверхности аэродрома, в настоящий момент является актуальной.

Одним из основных факторов попадания посторонних предметов в ГТД является заброс при использовании реверса на пробеге.

Согласно многим исследованиям выявлено, что на вероятность попадания посторонних предметов при использовании обратной тяги, влияют: геометрическая компановка летательного аппарата, режим работы силовой установки, скорость и направления ветра, параметры посторонних предметов [1].

При проведении исследований на данную тематику стоит обратится к статистике попадания посторонних предметов в тракт авиационных двигателей. Попадание посторонних предметов в двигатели самолета при работе реверсивного устройства является серьезной угрозой безопасности полетов. Хотя точные цифры варьируются в зависимости от типа воздушного судна, условий эксплуатации и технических характеристик двигателя, общая тенденция показывает довольно низкий уровень случаев подобного инцидента благодаря строгим процедурам обслуживания и контроля качества аэродромов.

Тем не менее, инциденты происходят редко, но последствия могут быть серьезными. Посторонними предметами в таком случае могут являться: гранитные камни, щебень и мелкие обломки покрытия взлетно-посадочных полос. Мелкий мусор, веточки деревьев, листья и прочие элементы природы. Точные показатели частоты встречаемости зависят от конкретного авиапарка и уровня авиационной инфраструктуры, однако случаи серьезных повреждений достаточно редки. Например, Международная организация гражданской авиации (ИКАО) фиксирует примерно одну аварию, вызванную повреждением двигателя посторонними предметами, каждые несколько тысяч рейсов. Тем не менее, любая авария представляет угрозу для пассажиров и экипажа.

Создание аэродинамического стенда для изучения внешней аэродинамики силовых установок самолета и особенностей поведения реверсивной тяги имеет высокую актуальность по многим причинам.

Например аэродинамический стенд позволяет моделировать реальные эксплуатационные условия полета и детально исследовать взаимодействие потоков воздуха с элементами конструкции самолета, такими как воздухозаборники, двигатели и крылья. Это помогает оптимизировать конструкцию элементов самолета для повышения топливной экономичности и общей производительности. Стендовые испытания позволяют выявить возможные нежелательные эффекты взаимодействия воздушных потоков, уменьшить риски отказа системы реверса и обеспечить стабильную работу двигателя даже в экстремальных условиях. Необходимо также вспомнить о финансовой составляющей и использования различного рода ресурсов, использование аэродинамических стендов сокращает необходимость дорогостоящих натурных испытаний, позволяя проводить предварительные расчеты и эксперименты в лабораторных условиях. Моделирование и тестирование в виртуальной среде помогают быстрее выявлять недостатки и исправлять их до этапа строительства прототипов.

Опираясь на материалы, описывающие физическое явление заброса посторонних предметов в силовую установку при помощи реверсивных струй, возникающих при использовании обратной тяги двигателя транспортного самолета во время пробега. Верификация полученных результатов возможна путем проведения экспериментальных исследований с применением стенда для исследования заброса посторонних предметов на вход в авиационную силовую установку на режиме работы «Реверс». (Рисунок 1)

Создание натурной модели самолета возможно путем расслоения 3D – модели на сечения и их дальнейшей печати на бумаге. Сечения используются в качестве трафаретов для изготовления элементов планера их пеноплекса и их соединение с помощью полимерного клея.

Изготовление модели силовой установки с двигателями и реверсивным устройством возможно за счет применения адаптивных технологий методом 3D – печати.

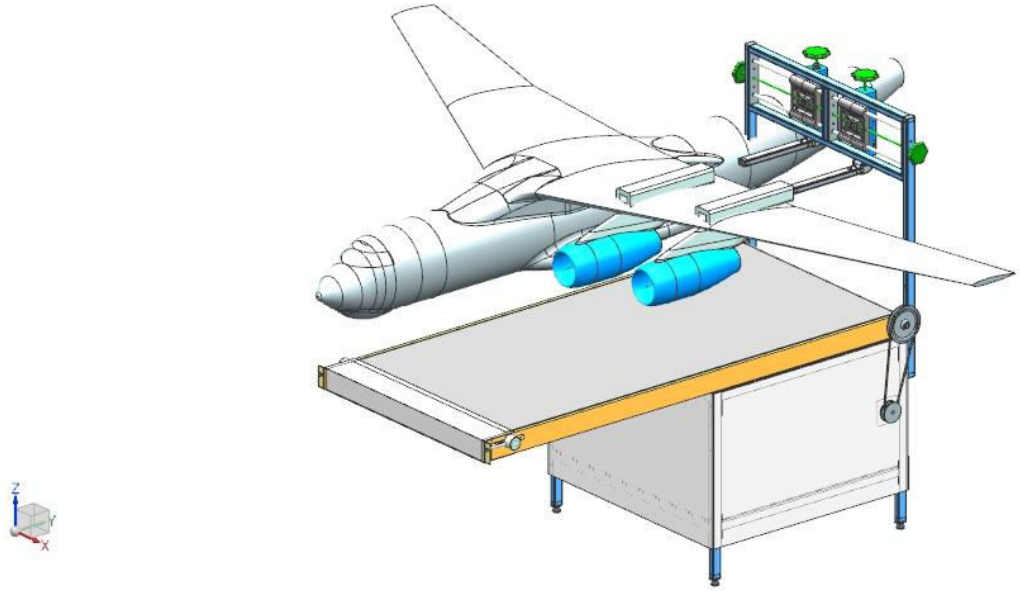


Рисунок 1. Стенд для исследования заброса посторонних предметов на вход в авиационную силовую установку на режиме работы «Реверс»

В модели силовой установки предусмотрены коммуникационные каналы для прокладки электропроводки. Модель силовой установки является модульной и предоставляет возможность применения различных вариантов реверсивных устройств.

В каждом воздухозаборнике установлена система, обеспечивающая прокачку воздуха, что позволяет моделировать секундно - массовый расход воздуха подобный реальному ГТД на режимах работы от «Малый газ» до режима «Максимал». Модель многодвигаетльной силовой установки включает в себя механизмы поперечного и вертикального возвратно – поступательного движения [2].

Для стенда была разработана собственная система измерений, в основу который вошли: Arduino UNO (отладочный комплекс, выполенный на базе микроконтроллера ATMega328, шина для подключения множества датчиков, датчики давления HX710B, макетной платы для установки и математической модели, написанной на языке C++, для вывода измеряемых параметров. Создание специальной системы измерений для данного стенда решило сразу несколько проблем. Для более точного исследования параметров приземных вихрей были использованы датчики с максимальной чувствительностью к изменению давления, а объединение их в общую матрицу из 25 штук, позволяет улавливать вихревые массы на достаточной площади. Следующим достоинством стало то, что схема сборки системы воедино достаточно проста, а вывод данных происходит на персональный ПК. Датчик HX710B (Рисунок 2), работает в диапазоне от 0 до 40 000 Па и имеет достаточно низкую инерционность.

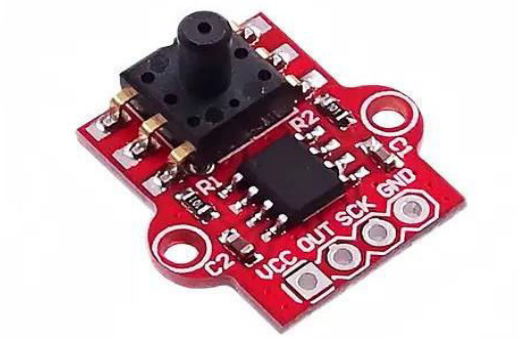


Рисунок 2. Датчик воздушного давления HX710B

Планируется также внедрение на поверхность стенда лазерных светоэлементов для более наглядного обоснования появления вихревых потоков на входе в столовую установку самолёта.

Конструкция стенда и его многозадачность позволяет задавать необходимую конфигурацию воздухозаборников, а именно их высоту, поперечное расположение, а также их смещение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Евдокимов А.И.* Обоснование выбора эффективных систем защиты от повреждений посторонними предметами двигателей самолётов военного назначения. Дис. ... док. техн. наук. ВВИА; М., 1993. 520 с.

2. Патент № 2775185 Российская Федерация, (51) МПК G01M 9/08 (2006.01). Аэродинамический стенд для исследования особенностей обтекания многодвигательной силовой установки при движении летательного аппарата: № 2775185: заявл. 13.12.2021 г.: опубл. 28.06.2022 г. / Бороздин С.А., Нескоромный Е.В., Артанов В.В., Кинякин В.А.; заявитель и патендообладатель ФГКВОУ ВО ВУНЦ ВВС «ВВА». – 8 с.

THE AERODYNAMIC STAND WITH THE CAPABILITY OF STUDYING AERODYNAMICS OF THE POWER PLANT OF THE TRANSPORT AIRCRAFT

Epeikin A.A.

(Military Educational and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", Voronezh)

Abstract. The work analyzes the tasks of transport aviation, as well as premature removal of engines from operation due to their failure and methods of throwing foreign objects into the aircraft power plant. The technology of creating a stand for studying the throwing of foreign objects into the power plant in the "Reverse" mode is considered.

УДК 629.7.023.44, 539.431.1

ЗАВИСИМОСТЬ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРИНГЕРА ОТ РАЗМЕРОВ КОНЦЕВЫХ СРЕЗОВ

Заляев Р.А.

Научный руководитель: Кирпичёв В.А., профессор, д. т. н.

(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, г. Самара)

Аннотация. В среде «SolidWorks Simulation» проведены испытания на усталость стрингеров Г-образного поперечного сечения с концевыми срезами различных размеров. По их результатам установлено существенное уменьшение ресурса этих силовых элементов. Рекомендуется избегать использования концевых срезов в продольном наборе тяжеловооружённых хвостовых отсеков ракет-носителей.

Традиционно в конструкции осевых элементов силового каркаса хвостовых отсеков ракет космического назначения используются так называемые концевые срезы, призванные оптимизировать сухую массу за счёт удаления зон материала, не несущих значительной силовой функции (рис. 1-2) [1-2].

Рис. 1. Применение подрезанных стрингеров в конструкции ракет-носителей [1]

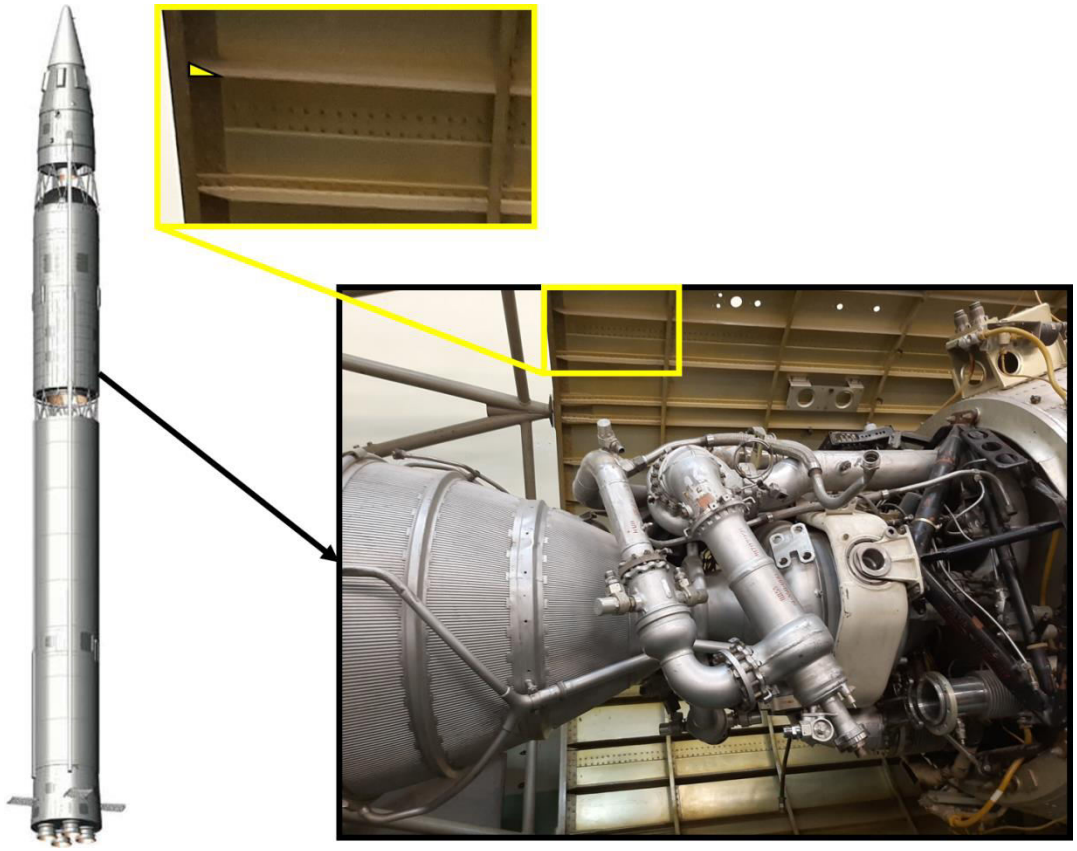


Рис. 2. Применение подрезанных стрингеров в конструкции ракет-носителей [2]

При этом концевые срезы, создавая существенную концентрацию напряжений, способствуют снижению ресурса продольного силового набора в случае восприятия высокочастотного динамического нагружения (к примеру, в хвостовых отсеках тяжелонагруженных ракетных блоков).

Объектом настоящего исследования является стрингер хвостового отсека ракеты, подвергнутый повторно-переменной деформации осевой силой.

Цель работы – оценить влияние геометрических параметров (ширины и высоты) концевых срезов на усталостную долговечность стрингера.

Материал стрингера – дюралюминиевый сплав Д16чТ, его химический состав приведён в табл. 1 [3]. Поперечное сечение соответствует уголковому профилю 410081 по сортаменту [4].

Таблица 1

Содержание легирующих компонентов для сплава Д16чТ, % массы

Компонент	Cu	Mg	Mn	Fe
Доля	3,8-4,9	1,2-1,8	0,3-0,9	0,3

Испытания проводились при симметричном цикле растяжения-сжатия, схема закрепления и приложения нагрузки – на рис. 3.

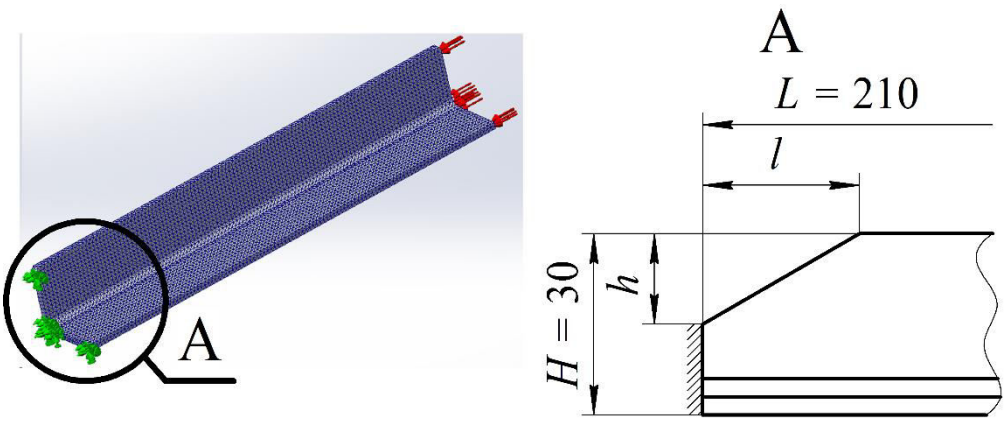


Рис. 3. Нагружение и закрепление стрингера

Чтобы избежать дальнейшей зависимости результирующих характеристик от размерных величин, было решено перейти к следующим параметрам:

$$\begin{cases} \alpha = \dfrac{h}{H} \\ \beta = \dfrac{l}{L/2} = \dfrac{2l}{L} \end{cases}.$$

Для оценки же влияния габаритов выреза на усталостную долговечность решено ввести показатель:

$$K_c = \frac{N(\alpha,\beta)}{N(\alpha=0,\beta=0)},$$

где N – количество циклов нагружения до разрушения стрингера ввиду малой выносливости.

Результаты испытаний в среде «SolidWorks Simulation» [5] проиллюстрированы рис. 4.

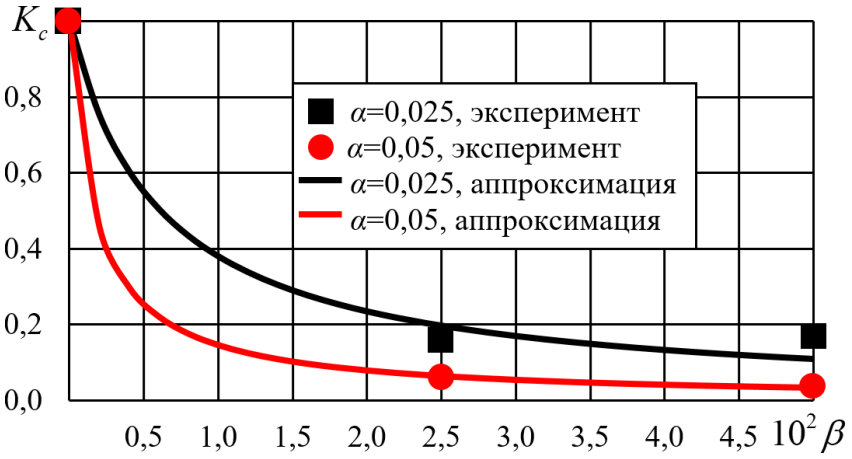


Рис. 4. Результаты виртуальных испытаний на выносливость

Как видно из рис. 4, даже наличие выреза габаритами 1…2 мм приводит к падению долговечности конструкции в 5 раз. Наличие концевых срезов способствует многократному снижению усталостного ресурса стрингера, поэтому рекомендуется избегать их подрезки в случае применения на высоконагруженных хвостовых отсеках ракет космического назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Куренков, В. И.* Основы проектирования ракет-носителей. Выбор основных характеристик и формирование конструктивного облика / В. И. Куренков. – Самара: СГАУ, 2015. – 448 с.

2. *Шулепов, А. И., Степанцов, И. С.* Конструкция и компоновка РН с последовательным соединением блоков / А. И. Шулепов, И. С. Степанцов. – Самара: Самарский университет, 2020. – 14 с.

3. ГОСТ 4784-2019. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки. М.: Стандартинформ, 2019. 34 с.

4. ГОСТ 13737-90. Профили прессованные прямоугольные равнополочного уголкового сечения из алюминиевых и магниевых сплавов. Сортамент. М.: Издательство стандартов, 1990. 19 с.

5. *Akin, J. E.* Finite Element Analysis Concepts via Solidworks. Singapore: World Scientific, 2010. 348 p.

THE DEPENDENCE OF STRINGER'S FATIGUE DURABILITY ON THE EDGE NOTCH DIMENSIONS

Zalyaev R.

Supervisor: Kirpichev V., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(*Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara*)

Abstract. The fatigue tests for L-section stringers with edge notches of various dimensions conducted in «SolidWorks Simulation» showed that these features significantly lessen the durability of such frame elements. The principle of avoiding edge notches for heavily-loaded rocket tail sections stringers is proposed.

УДК 629.7.025.84

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИНГЛЕТОВ С ИЗМЕНЯЕМЫМ УГЛОМ ОТКЛОНЕНИЯ

Каучакова М.А.

Научный руководитель: Лэй Р.А., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе анализируются винглеты с изменяемым углом отклонения, их влияние на аэродинамику и топливную эффективность самолета. Исследование включает моделирование, построение поляр и оценку изменения лобового сопротивления. Результаты исследования указывают на потенциал применения данных винглетов.

Винглеты, или законцовки крыла различных типов являются распространенным средством повышения топливной экономичности на современных воздушных судах. Поиск новых типов винглетов активно ведется авиастроительными предприятиями и научными коллективами. Анализ аэродинамического сопротивления типичного транспортного самолета показывает, что индуктивное сопротивление может составлять до 40% от общего лобового сопротивления в крейсерских условиях и 80-90% - взлета и набора высоты. Поэтому снижение индуктивного сопротивления имеет первостепенное значение для повышения эффективности самолета.

Поиск решения по увеличению летно-технических характеристик крыла за счет изменения параметров винглетов проводился и ранее, но большинство из предложенных решений были сосредоточены на использование материалов из сплавов с памятью формы [1], складных крыльев во время наземных операций [2], концепция трансформируемой законцовки крыла (morphing winglet) [3].

Данное исследование актуально для современного авиастроения, так как представленный в статье материал представляет один из путей улучшения летно-технические характеристики самолета за счет уменьшения индуктивного сопротивления и, как следствие, увеличения его топливной эффективности.

Новизна данной работы заключается в том, что в данной статье представлен малораспространённый, но перспективный тип винглетов с изменяемым углом отклонения, который не применяется на самолетах в данный момент, однако обладает большим потенциалом для улучшения летно-технических характеристик самолета и его топливной эффективности.

Мы предполагаем, что внедрение винглетов с изменяемым углом отклонения позволит:

1. снизить расхода топлива, увеличивая топливную эффективность до 7%;
2. уменьшить количество выбросов вредных веществ в атмосферу, в частности углекислого и парникового газов;
3. повысить подъёмную силу крыла;
4. увеличить коэффициент аэродинамического качества;
5. улучшить управляемость самолёта на малых скоростях.

Крылья с ограниченным размахом создают подъемную силу из-за дисбаланса давления между нижней поверхностью (высокое давление) и верхней поверхностью (низкое давление). Однако в следствии этого перепада давления возникают составляющие скорости поперечного потока (которые неизбежны, но могут быть уменьшены). Воздух с более высоким давлением под крылом обтекает законцовки крыла и пытается вытеснить воздух с более низким давлением в верхней части крыла. Это движение создает вихрь на задней кромке и законцовках, который в свою очередь создает нисходящий поток вблизи крыла.

Наличие нисходящего потока уменьшает угол атаки, что приводит к созданию индуктивного сопротивления - составляющей лобового сопротивления, вызванного

подъемной силой. Индуктивное сопротивления является неизбежным следствием создания подъемной силы в крыльях с ограниченным размахом.

Проектное решение по использованию винглетов имеет ряд преимуществ и недостатков. С одной стороны, они позволяют уменьшить размах крыла при стоянке, уменьшить индуктивное сопротивление, сократить взлетную дистанцию, снизить уровень шума, количество выбросов в атмосферу, увеличить топливную эффективность и максимальную дальность полета, сэкономить топливо. С другой стороны, увеличивается масса крыла из-за добавочной массы винглета, поворотного устройства, элемента, обеспечивающего фиксацию винглета в определенном положении, силовой вставки вместе крепления, что требует увеличения жесткости всего крыла.

В данном исследовании использовалось крыло самолета Ил-96-300 с установленным винглетом. Для изучения влияния винглета с изменяемым углом наклона на аэродинамические характеристики были смоделированы разные винглеты с разными углами наклона, «продувка» данных моделей была осуществлена в программе Ansys Fluent, для эспресс-моделирования применялась программа Kompas Flow. На основе решения вычислительной газодинамической задачи построены поляры для крыльев с различным углом отклонения винглетов и без них при числах Маха M=0,3 и M=0,8 (рис.1).

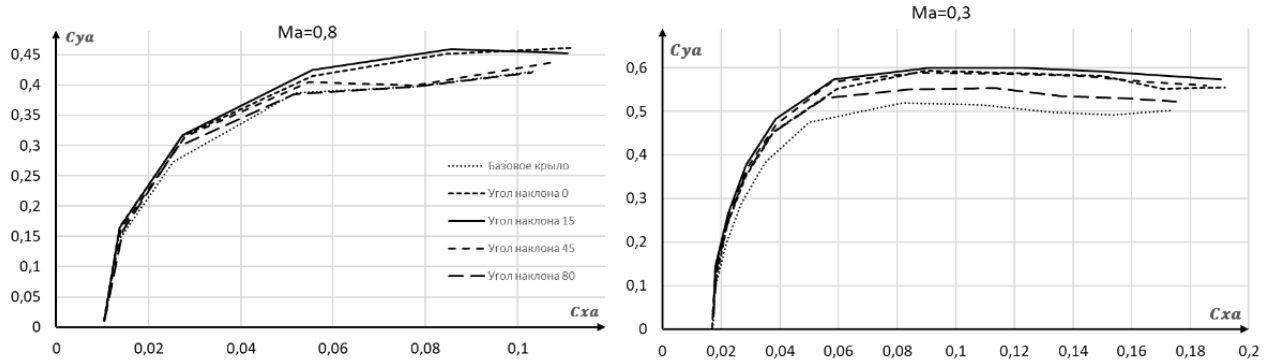


Рис. 1. Поляры для крыльев с винглетами разного угла наклона при Ma=0,8 Ma=0,3

На основе представленного анализа очевидно, что не существует единой конфигурации винглета, которая могла бы обеспечить оптимальное снижение индуктивного сопротивления на всех режимах полета. На основе нашего и проводимых ранее исследований [4,5] можно сделать вывод о том, что конфигурация винглета с углом стреловидности 60° является наилучшей. Предложим рекомендации по настройке винглетов на разных этапах полета с учетом улучшения аэродинамических характеристик по сравнению с крылом без винглетов (рис.2).

1. При взлете и начальном наборе высоты (где влияние сжимаемости незначительно) рекомендуется использовать угол наклона винглета 45∘. Эта конфигурация имеет более высокую подъемную силу и создает меньшее сопротивление для заданной высоты.

2. На крейсерском режиме (высокое число Маха) рекомендуется использовать угол наклона 15∘. Эта настройка обеспечит максимальное снижение лобового сопротивления при заданной подъемной силе.

3. При изменении крейсерского эшелона рекомендуется использовать угол наклона 45∘, но значение 15∘ также приемлемо. Эти конфигурации имеют большую подъемную силу и создают меньшее лобовое сопротивление при заданной подъемной силе.

4. Во время снижения рекомендуется использовать угол наклона 45∘.

5. После посадки и при рулении к выходу на посадку рекомендуется использовать угол наклона 80∘ для уменьшения размаха крыльев и удовлетворения требований к посадочному зазору.

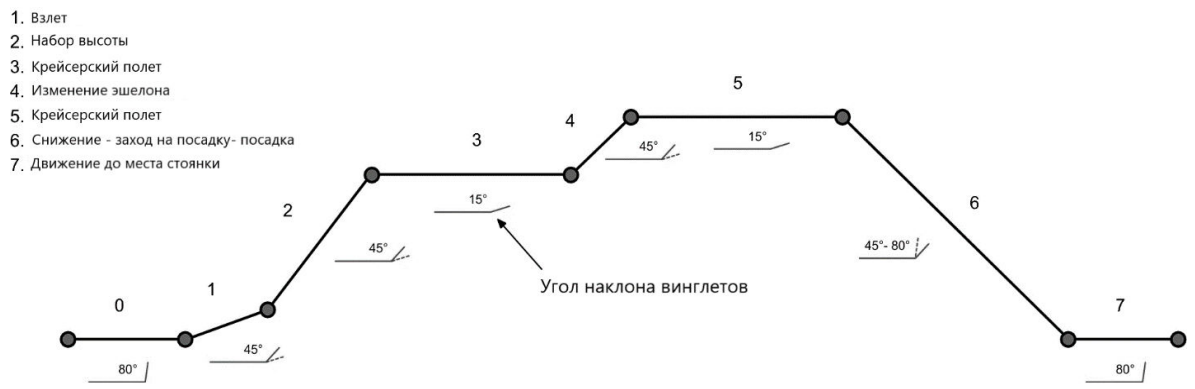


Рис. 2. Рекомендации по настройке винглета на различных этапах полета

Для оценки аэродинамики винглетов воспользуемся методом предложенным автором статьи [6]. Вычислим k_{WL}, обратная величина которой называется собственная аэродинамическая эффективность винглета:

$$k_{WL} = 2\frac{h}{b}\frac{1}{\sqrt{k_{e,WL,v} - 1}} \quad (1)$$

где h – высота винглета, b – размах крыла, $h_h = h\cos\vartheta$ -высота винглета при ненулевом угле развала.

Вклад винглетов в эффективность размаха крыла с винглетом:

$$k_{e,WL,v} = \frac{k_{e,WL,total}}{\left(1 + 2\frac{h_h}{b}\right)^2} \quad (2)$$

Полная аэродинамическая эффективность винглета:

$$k_{e,WL,total} = \frac{1}{1 + \frac{k_{D,WL}}{k_{Di}}} \quad (3)$$

Относительное общее приращение лобового сопротивления из-за установления винглетов:

$$k_{D,WL} = \frac{\Delta C_{D,WL}}{C_D} \quad (4)$$

где $\Delta C_{D,WL}$ - общее приращение лобового сопротивления из-за установки винглетов.

Относительная величина индуцированного сопротивления:

$$k_{Di} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{1}{\left(V / V_{md}\right)^4}} \quad (5)$$

где V - истинная скорость, V_{md} - истинная скорость при минимальном сопротивлении.

Заметим, что для классических винглетов аэродинамическая эффективность будет меняться в зависимости от режима полета. Использование же винглетов с изменяемым углом отклонения позволит сохранять оптимальными значения аэродинамической эффективности во время всего полета. В таблице 1 приведены значения данных коэффициентов для различных типов воздушных судов. Аэродинамическая эффективность указана усредненно

для всех режимов полета. Коэффициенты h, b, h_h - выбирались на основе рекомендаций [7]. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение собственной аэродинамической эффективности винглетов различных моделей

№	Тип воздушного судна	h/b	h_h/b	$k_{e,WL,total}$	$k_{e,WL,v}$	k_{WL}	$1/k_{WL}$
1	B747-400	6.25%	4.00%	1.096	0.940	-	-
2	B737-800	7.58%	2.14%	1.105	1.016	18.94	5.3%
3	MD-11	5.57%	0.44%	1.096	1.077	2.95	33.9%
4	A320 neo	6.79%	0.00%	1.111	1.111	2.51	39.8%
5	A380 plus	5.89%	1.50%	1.111	1.047	5.06	19.8%
6	Самолет с винглетами изменяемого угла наклона	5.63%	0.53%	1.103	1.016	2.05	48,8%

Для количественной оценки топливной эффективности установки винглета с изменяемым углом отклонения, с учетом того, что во время полета изменяется площадь и удлинение крыла (из-за изменения угла наклона винглетов) в соответствии с изменением скорости полета, перегрузки и угла атаки воспользуемся методом, предложенным в статьях [8-9]. Заметим, что вклад массы поворотного механизма, можно оценить аналогичным образом, как и массу складного механизма крыла самолета палубного базирования. Для удобства обобщим данные в таблицу.

Таблица 2

Сравнение характеристик самолета с винглетами с самолетом без них на примере Ил-96-300

Летно-технические характеристики	Ил-96-300 базовый	Ил-96-300 с винглетами
Размах крыла $l, м$	60,1	67,1
$l_{аэр}, м$	-	64,9
Площадь крыла в плане $S, м^2$	391,6	391,6
Угол стреловидности крыла по линии четверти хорды $\chi_{п.к.}$, °	32	32
Удлинение крыла λ	9,2	11,5
Сужение крыла η	3,5	3,5
Расстояние от плоскости симметрии самолета до средней аэродинамической хорды крыла $z_a, м$	12,2	13,7
Коэффициент индуктивного сопротивления $C_{ха\,инд}$	0,0104	0,00781
Коэффициент аэродинамического сопротивления $C_{ха}$	0,0386	0,0361
Уменьшение общего лобового сопротивления $\Delta C_{ха}$, %	-6,5	
Максимальная взлетная масса самолета $m, т$	250	?
Масса топлива $m_т, т$	80	?
Масса крыла по (11) $m_{кр}, т$	28,5	-

Масса крыла по (11)+(12) $m_{кр}, m$	-	28,9
Прирост массы самолета за счет установки винглетов и поворотного механизма $\Delta m_{кр\,скл\,0}, m$	-	0,3
Изменение массы топлива за счет изменения сопротивления $\Delta m_{m\,\Delta C_{ха\,0}}, m$	-	-4
Коэффициент чувствительности взлетной массы μ_m	1,32	-
Конечное изменение взлетной массы $\Delta m, m$	-4,45	
Изменение в массе топлива $\Delta m_m, m$	-6,3	
Относительное изменение в массе топлива $\Delta m_m / m_m$ 100%	-7,87	

В качестве характерного размера используем расстояние от плоскости симметрии самолета до средней аэродинамической хорды крыла $z_a, м$ [10]:

$$z_a = \frac{l}{6}\left(1 + \frac{1}{\eta + 1}\right) \tag{6}$$

Коэффициент индуктивного сопротивления [11]:

$$C_{ха\,инд} = \frac{C_{уа}^2}{\pi \lambda e w} \tag{7}$$

Коэффициент подъемной силы:

$$C_{уа} = \frac{2m\left(1 - 0,4\bar{m}_m\right)g}{\rho V^2 S} \tag{8}$$

Коэффициент Освальда:

$$e = 4,61\left(1 - 0,045\lambda^{0,68}\right)\left(cos\chi_{1e}\right)^{0,15} - 3,1 \tag{9}$$

Коэффициент, учитывающий наличие винглетов:

$$w = 1 + 1,9\frac{h_{винглет}}{l} \tag{10}$$

где $h_{винглет}$ – высота винглета.

Коэффициент аэродинамического сопротивления при полете на дозвуковой скорости:

$$C_{ха} = C_{ха\,инд} + C_{ха\,проф} = C_{ха\,0} + \frac{C_{уа}^2}{\pi \lambda e} \tag{11}$$

Масса крыла [12]:

$$m_{кр} = \frac{n_y^P \lambda \psi 0,022\sqrt[4]{m}}{p_0 \bar{c}_0^{0.75}\left(cos\chi_{0,25}\right)^{1,5}}\left(0,85 + \frac{\frac{\bar{c}_0}{\bar{c}_к} - 1}{\eta + 3}\right)k_1 + \frac{4,5k_2k_3}{p_0} + 0,01 \tag{12}$$

где n_y^P – расчетная перегрузка, $p_0 = mg/S$ – удельная нагрузка на крыло, $\bar{c}_0, \bar{c}_к$ – относительные толщины профиля в корневом и концевом сечениях;

$\psi = 0,92 - 0,5\bar{m}_m - 0,1k_{дв}$ – коэффициент, учитывающий разгрузку крыла изгибающими моментами от топлива и сосредоточенных нагрузок на крыле, $k_{дв}$ – коэффициент, учитывающий расположение двигателей на крыле (для двигателей на крыле $k_{дв} = 1$), k_1 –

коэффициент, учитывающий ресурс крыла ($k_1 = 1{,}1$), k_2 – коэффициент, учитывающий используемый вид механизации крыла ($k_2 = 1{,}5$), k_3 – коэффициент, учитывающий вид герметизации топливных баков ($k_3 = 1{,}1$).

Масса всего устройства, связанная с отклонением винглетов по аналогии с работой, проведённой в [13] (рис.3):

$$m_{пов} = m_{вст} + m_{мех.пов} + m_{мех.фикс} \tag{13}$$

где $m_{вст}$ – масса силовой вставки в районе узла поворота, $m_{мех.\ пов}$ – масса механизма с приводом для поворота, $m_{мех.фикс}$ – масса элемента, обеспечивающего фиксацию винглета в определённом положении.

Изменение массы топлива за счет изменения сопротивления:

$$\Delta m_{m\,\text{Х}C_{ха\,0}} = \frac{k_{т\,кр} m_m \Delta C_{ха}}{C_{ха}} \tag{14}$$

где $k_{т\,кр} = m_{т\,кр} / m_m$ статистический коэффициент, учитывающий долю массы топлива, расходуемого на крейсерском режиме полета к общей массе топлива.

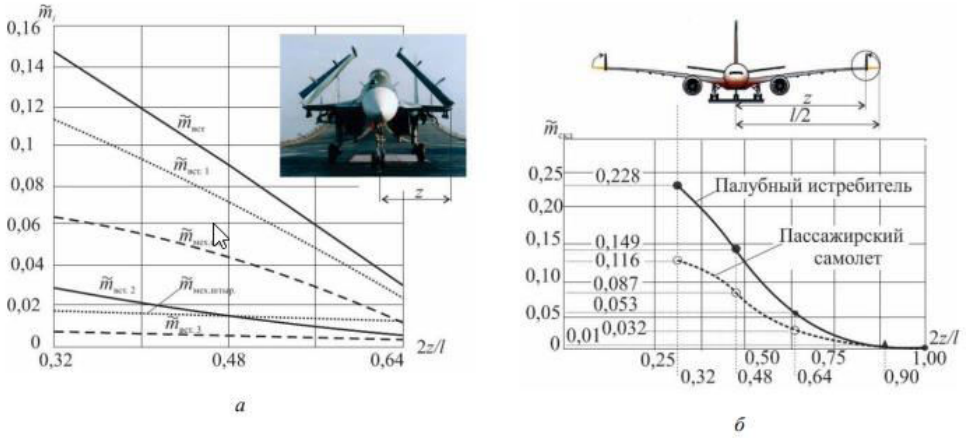


Рис. 3. Относительные массы элементов устройств для складывания по размаху крыла кессонной силовой схемы: а – для палубного истребителя [12]; б – относительные массы всего устройства для истребителя [12] и пассажирского самолета

Коэффициент чувствительности взлетной массы:

$$\mu_m = \frac{1}{1 - \left(\bar{m}_{кр} + \dfrac{\bar{m}_m c_{ха\,кр}}{c_{ха}} \right)} \tag{15}$$

Конечное изменение взлетной массы при начальном изменении i–й функциональной массы Δm_{i0}:

$$\Delta m = \frac{\partial m}{\partial m_i} \Delta m_{i0} = \mu_{mi} \Delta m_{i0} \tag{16}$$

где μ_{mi} – коэффициент чувствительности взлетной массы.

Изменение в расходе топлива (14):

$$\Delta m_m = \Delta m_{m\,0} + \bar{m}_m \left(1 - \frac{c_{ха\,ф}}{c_{ха}} \right) \Delta m \tag{17}$$

В ходе работы проведено сравнение имеющихся функциональных типов винглет. Смоделированы процессы обтекания крыла при различных углах наклона вингелта, построены соответствующие поляры для данных углов наклона винглета, определен

коэффициент аэродинамического качества. Предложили рекомендации по настройке винглетов на разных этапах полета с учетом улучшения аэродинамических характеристик по сравнению с крылом без винглетов и концепцию механизма, обеспечивающего отклонение винглет. Средние затраты топлива снизились на 7,87%. Сделана общая оценка эффективности использования данного типа законцовок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Sankrithi M., Frommer J.* Controllable winglets// United States Patent US7744038B2, 2010.
2. *Allen J.* Articulating winglets// United States Patent US5988563A, 1999.
3. *Fox S., Kordel J., Townsend K., Lassen M., Gardner M., Good M.* Wing fold system rotating latch// United States Patent US9469392B2, 2016.
4. *Zhang L., Ma D., Yang M., Wang S.* Optimization and analysis of winglet configuration for solar aircraft// Chinese Journal of Aeronautics, 2020.
5. *Москаленко В.О., Цой А.И., Недогарок А.А.* Исследование аэродинамических характеристик с законцовками различной формы// Инженерный журнал: наука и инновации, 2019, вып. 10.
6. *Scholz D.* Definition and discussion of the intrinsic efficiency of winglets// Aerospace Europe CEAS 2017 Conference, 2017.
7. *Гуереш Д., Попов С.А.* Улучшение аэродинамики крыла пассажирского самолета с помощью законцовки треугольной формы в плане // Научный вестник МГТУ ГА. 2018;21(1):124-136. https://doi.org/10.26467/2079-0619-2018-21-1-124-136.
8. *Ярыгина М.В., Попов Ю.И.* Формирование весовой формулы складного крыла // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2012. № 2. С. 8–12.
9. *Попов Ю.И., Ярыгина М.В.* Методика весового анализа складного крыла самолета палубного базирования [Электронный ресурс] // Труды МАИ. 2011. № 43. 23 с. URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=24860 (дата обращения: 01.03.2022).
10. *Микеладзе В.Г., Титов В.М.* Основные геометрические и аэродинамические характеристики самолетов и ракет // справочник. М.: Машиностроение, 1982. 149 с.
11. *Raymer D.P.* Aircraft design: A conceptual approach // 6th ed. Publisher: American Institute of Aeronautics & Ast, 2018. 1062 p.
12. *Погосян М.А., Лисейцев Н.К., Стрелец Д.Ю. и др.* Проектирование самолетов: учебник для вузов // Под ред. М.А. Погосяна. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Инновационное машиностроение, 2018. 864 с.
13. *Kretov A.* Sensitivity factors of aircraft mass for the conceptual design // Aircraft Engineering and Aerospace Technology. 2021. Vol. 93, no. 9. Pp. 1470–1477. DOI: 10.1108/ AEAT-11-2020-0256.

ANALYSIS OF WINGLETS WITH VARIABLE DEFLECTION ANGLE

Kauchakova M.

Supervisor: Lai R., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper analyses winglets with variable deflection angle, their effect on aerodynamics and fuel efficiency of the aircraft. The study includes modelling, polar plotting and estimation of drag changes. The results of the study indicate the potential application of these winglets.

УДК 53.093:67.017

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТЕКЛОПЛАСТИКА ВПС-53/Т-25 ПРИ НАТУРНОМ И УСКОРЕННОМ КЛИМАТИЧЕСКОМ СТАРЕНИИ

Нечаев А.А., Павлов М.Р.

Научный руководитель: Старцев В.О., начальник лаборатории, д. т. н.

(Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ), г. Москва)

Аннотация. В данной работе проведены сравнительные испытания на стойкость стеклопластика ВПС-53/Т-25 к старению при экспозиции в натурных условиях умеренного теплого и умеренного климата до 12 месяцев и имитационных воздействий двумя режимами лабораторных ускоренных испытаний по показателям механической прочности.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) активно используются в разных сферах промышленности в силу своих конструкционных свойств. Тем не менее, эти материалы склонны к атмосферному старению, негативно отражающемуся на их механических характеристиках. Ключевым фактором, снижающим прочностные показатели полимерных композитов при продолжительной экспозиции, выступает влага, диффундирующая в материал. Сорбированная влага провоцирует структурную релаксацию полимерных матриц [1, 2], запускает необратимые процессы гидролиза и доотверждения [3, 4,], а также оказывает обратимый пластифицирующий эффект на композиты [5, 6]. Подобное влияние влаги в эпоксидных матрицах композитов служит причиной значительных изменений их физико-механических параметров.

Для оценки климатического воздействия на механические характеристики ПКМ требуется контролировать влагосодержание и определять необходимые механические параметры после полного высушивания и предельного влагонасыщения материала.

Целью данной работы является определение изменения предела прочности при изгибе стеклопластика ВПС-53/Т-25 с учетом обратимого воздействия влаги после 12 месяцев экспонирования в натурных условиях умеренного теплого климата и умеренного климата и имитационные лабораторные испытания, отличающихся очередностью чередования агрессивных воздействий.

Для исследований был выбран стеклопластик ВПС-53/Т-25 на основе стеклянной ткани Т-25(ВМП) и связующего ВСЭ-34 [7.8].

Плиты стеклопластика экспонировались на открытых стендах в условиях умеренного теплого климата Геленджикского центра климатических испытаний ВИАМ (ГЦКИ) и умеренного климата Московского центра климатических испытаний ВИАМ (МЦКИ).

Ускоренные климатические испытания (УКИ) были проведены по двум режимам:

Режим УКИ 1 моделирует 1 год ускоренных климатических испытаний для условий умеренного климата и включает последовательные этапы:

1. Тепловлажностное воздействие (40 °С, и 93% относительной влажности, 19 суток; ГОСТ Р 51369-99, метод 207-2).
2. Низкотемпературное воздействие (-41 °С, 6 часов; ГОСТ 9.707-81, метод 2, п. 2.5.3; ГОСТ 16350-80]).
3. Циклические перепады температуры через 0 °С (56 циклов: -15 °С − +25 °С; ГОСТ 9.707-81, метод 2, п. 2.5.4.7]; эквивалентно макс. числу дней в году с переходом через 0 °С по ГОСТ 16350-80).
4. Солнечное излучение (58 суток, интегральная плотность потока излучения 1120 Вт/м², плотность потока излучения 65 Вт/м², интервал длин волн 300-400 нм, суммарная доза солнечного излучения 5 612 МДж/м²; ГОСТ Р 51370-99).

Режим УКИ 2 моделирует 1 год ускоренных климатических испытаний для условий умеренного климата и включает последовательные этапы:

1. Непрерывное солнечное излучение с циклическим увлажнением (47 суток; интегральная плотность потока излучения 1400 Вт/м², интервал длин волн 300-400 нм, плотность потока излучения 80 Вт/м²; суммарная доза солнечного излучения 5612 МДж/м²) со сменой условий:

14 сут: +45 °С (без контроля влажности), 9.5 сут: +40 °С, 93% относительной влажности, 14 сут: +45 °С (без контроля влажности), 9.5 сут: +40 °С, 93% относительной влажности

2. Низкотемпературное воздействие (-41 °С, 6 ч; ГОСТ 9.707-81, метод 2, п. 2.5.3; ГОСТ 16350-80).

3. Циклические перепады температуры через 0 °С (56 циклов: -15 °С − +25 °С; ГОСТ 9.707-81, метод 2, п. 2.5.4.7 ; эквивалентно макс. числу дней в году с переходом через 0 °С по ГОСТ 16350-80).

После экспозиции были проведены испытания на определение предела прочности при изгибе σ_b по ГОСТ Р 56805-2015. Использовали исходные и экспонированные образцы, без дополнительного кондиционирования, а также образцы, высушенные при 60 С до равновесного состояния массы. Для определения температуры стеклования проводили испытания после экспозиции по ГОСТ Р 56753-2015.

В работе рассмотрены результаты начального этапа сравнительных климатических испытаний. В таблице 1 показано влияние режимов и продолжительности старения на предел прочности при изгибе.

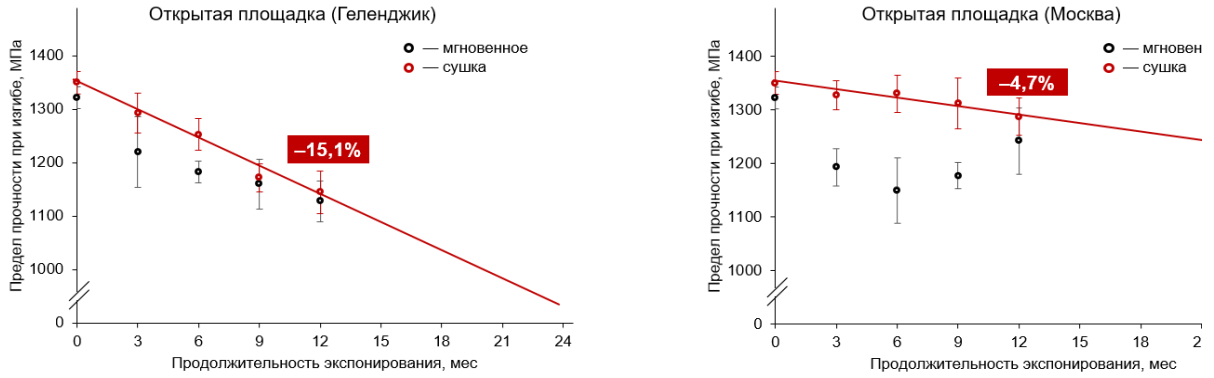
Таблица 1

Влияние режимов и продолжительности старения на предел прочности при изгибе стеклопластика ВПС-53/Т-25

Состояние	Время старения, мес.	Без сушки		После сушки		$\sigma_{b\ без\ сушки}$ / $\sigma_{b\ после\ сушки}$
		σ_b, МПа	$k=\sigma_b/\sigma_{b0}$	σ_b, МПа	$k=\sigma_b/\sigma_{b0}$	
Исходные	0	1322±21	1,00	1350±21	1,00	0,98
Старение в ГЦКИ	3	1220±66	0,92	1293±38	0,96	0,94
	6	1183±20	0,90	1253±30	0,93	0,94
	9	1160±47	0,87	1172±26	0,87	0,99
	12	1128±38	0,85	1145±40	0,85	0,96
Старение в МЦКИ	3	1193±35	0,90	1327±27	0,98	0,90
	6	1150±61	0,87	1330±35	0,99	0,87
	9	1177±24	0,90	1312±48	0,97	0,90
	12	1242±62	0,93	1287±35	0,95	0,97
Старение по режиму УКИ 1	6	1155±100	0,87	1250±26	0,93	0,92
	12	1257±42	0,95	1255±62	0,93	1,00
	18	1205±28	0,94	1245±38	0,92	1,00
	24	1053±76	0,79	1255±33	0,93	0,84
Старение по режиму УКИ 2	6	1158±38	0,88	1195±9	0,89	0,97
	12	1118±35	0,85	1160±74	0,86	0,96
	18	1186±44	0,90	1213±27	0,90	0,98
	24	1108±15	0,84	1222±64	0,91	0,91

После 12 месяцев натурных климатических испытаний в ГЦКИ и МЦКИ наблюдается необратимое уменьшение предела прочности при изгибе (Рисунок 1). Экспонирование в ГЦКИ демонстрирует снижение прочности на 15,1%, в то время как в МЦКИ необратимое снижение прочности составило 4,7%. Данный результат говорит об общей закономерности [9], согласно которой умеренно теплый климат с мягкой зимой по отношению к ПКМ более агрессивен, чем умеренный. Снижение k=0.93 после 12 месяцев экспонирования в МЦКИ

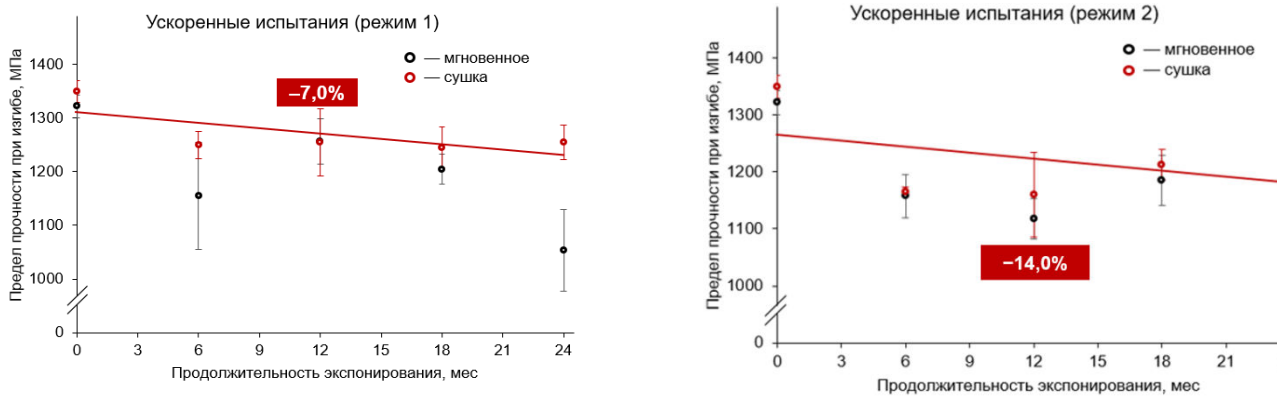
вызвано пластифицирующим действием сорбированной влаги, которое перестает действовать после сушки.



а) б)

Рисунок 1. Изменение предела прочности при изгибе от продолжительности экспонирования на открытой площадке ГЦКИ (а) и МЦКИ (б)

Сравнение результатов после воздействия по режимам УКИ 1 и УКИ 2 (Рисунок 2) по показателю k показывает их неэквивалентность (0,93 и 0,86, соответственно). Это позволяет предположить, что УФ облучение в сочетании с термовлажностным воздействием и температурными перепадами оказывает более активное воздействие на свойства материала при имитации 12 месяцев старения. Однако, после имитации 24 месяцев УКИ 1 и УКИ 2 оказывает одинаковое воздействие, в результате которого необратимое изменение составило 7-9%.



а) б)

Рисунок 2. Изменение предела прочности при изгибе от продолжительности экспонирования на открытой площадке УКИ 1 (а) и УКИ 2 (б)

Сопоставление режимов УКИ 1 и УКИ 2 и натурных климатических испытаний в ГЦКИ и МЦКИ по показателю k показывает, что режим УКИ 1 в большей мере соответствует старению в условиях умеренного климата, а режим УКИ 2 соответствует натурному климатическому старению в условиях умеренного теплого климата с мягкой зимой.

Для оценки теплофизических изменений в полимерной матрице композита была определена температура стеклования после экспозиции. В таблице 2 показано влияние режимов и продолжительности старения на температуру стеклования стеклопластика ВПС-53/Т-25 [10].

Таблица 2

Влияние режимов и продолжительности старения на температуру стеклования стеклопластика ВПС-53/Т-25

Состояние	Время старения, мес.	Температура стеклования, °С
Исходные	0	158
Старение в ГЦКИ	3	151
	6	154
	9	147
	12	142
Старение в МЦКИ	3	149
	6	155
	9	154
	12	146
Старение по режиму УКИ 1	6	155
	12	157
	18	165
	24	149
Старение по режиму УКИ 2	6	155
	12	154
	18	157
	24	159

Старение при натурных условиях в ГЦКИ и МЦКИ приводит к изменению характеристики на 7-11%. После имитационных воздействий по режиму УКИ 1 в течение 24 месяцев наблюдается снижение температуры стеклования на 7%. Однако при имитации 18 месяцев старения по режиму УКИ 1 наблюдается рост показателя на 5%. Данный результат можно объяснить релаксационными процессами в полимерной матрице, которые протекают из-за отсутствия пластифицирующего эффекта влаги на стадии УФ облучения. По режиму УКИ 2 характеристика демонстрирует минимальные изменения в пределах 1-3%.

По результатам работы подтверждено, что умеренно теплый климат с мягкой зимой по отношению к ПКМ более агрессивен, чем умеренный. После 12 месяцев экспозиции стеклопластика ВПС-53/Т-25 в ГЦКИ и МЦКИ наблюдается необратимое уменьшение предела прочности при изгибе на 4,7 и 15%, соответственно.

Результаты по ускоренным климатическим режимам УКИ 1 и УКИ 2 показывают их неэквивалентность. Режим УКИ 2 оказывает более агрессивное воздействие на прочностные свойства материала.

Режим УКИ 1 в большей мере соответствует старению в условиях умеренного климата, а режим УКИ 2 соответствует натурному климатическому старению в условиях умеренного теплого климата с мягкой зимой.

Старение при натурных условиях в ГЦКИ и МЦКИ приводит к изменению температуры стеклования на 7-11%. После 24 месяцев по ускоренному режимам УКИ 1 наблюдается падение характеристики на 7%, а по режиму УКИ 2 параметр практически вышел на исходные значения.

После продолжения испытаний до 18-24 месяцев можно ожидать дальнейшее изменение показателя k и теплофизических характеристик, что позволит более обосновано сопоставить эквивалентность режимов УКИ 1 и УКИ 2, выяснить причины возможных различий и дать рекомендации по выбору режимов ускоренных испытаний ПКМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Старцев О.В., Машинская Г.П, Ярцев В.А.* Молекулярная подвижность и релаксационные процессы в эпоксидной матрице композита. 2. Эффекты старения во влажном субтропическом климате // Механика композитных материалов. 1984. No 4. С. 593-597.
2. *Старцев О.В. Перепечко И.И., Старцева Л.Т., Машинская ГП.* Структурные изменения в пластифицированном сетчатом аморфном полимере // Высокомолекулярные соединения. Серия Б, 1983. Т. 25. N 6, С, 457-461.
3. *Startsev V.O., Panin S.V., Startsev O.V.* Sorption and diffusion of moisture in polymer composite materials with drop-weight impact damage // Mechanics of Composite Materials. 2016. Vol.51. No. 6. P. 761-770.
4. *Панин С.В., Старцев О.В., Кротов А.С.* Диагностика начальной стадии климатического старения ПКМ по изменению коэффициента диффузии влаги // Труды ВИАМ. 2014. N 7. Ст. 09.
5. *Startseva L.T., Panin S.V., Startsev O.V., Krotov A.S.* Moisture diffusion in glass-fiber reinforced plastics after their climatic ageing // Doklady Physical Chemistry. 2014. Vol. 456. No. 1. P. 77-81.
6. *Kablov E.N., Startsev O.V., Krotov A.S., Kirillov V.N.* Climatic aging of composite aviation materials: 3. Significant aging factors // Russian Metallurgy (Metally). 2012. No. 4. P. 323-329.
7. *Коваль Т.В. Велигодский И.М., Громова А.А.* Исследование пластифицирующего влияния влаги на свойства ПКМ на основе эпоксидного связующего ВСЭ-34 после 5 лет экспозиции в различных климатических зонах // Труды ВИАМ. 2021. № 9 (103). Ст. 11. URL: http://www.viam-works.ru (дата обращения: 15.08.2024). Dol: 10.18577/2307.6046-2021-0-9-1 05-116.
8. *Старцев В.О., Молоков М.В., Постнов В.И., Старостина И.В.* Оценка влияния климатического воздействия на свойства стеклопластика ВПС-53К // I Известия Самарского научного центра Российской Академии наук. 2017. Т. 19. № 4 (2). С.220–228.
9. *Каблов Е.Н., Старцев В.О. Лаптев А.Б.* Старение полимерных композиционных материалов. М.: ниц «Курчатовский институт» - ВИАМ, 2023. 520 с.
10. *Старцев В.О., Славин А.В.* Стойкость углепластиков и стеклопластиков на основе расплавных связующих к воздействию умеренно холодного и умеренно теплого климата // Труды ВИАМ. 2021. № 5 (99). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/stoykost-ugleplastikov-i-stekloplastikov-na-osnove-rasplavnyh-svyazuyuschih-k-vozdeystviyu-umerenno-holodnogo-i-umerenno-teplogo (дата обращения: 28.08.2024).

STUDY OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF VPS-53/T-25 FIBERGLASS DURING NATURAL AND ACCELERATED CLIMATIC AGING

Nechaev A.A., Pavlov M.R.

Supervisor: Startsev V.O., Head of the Laboratory, Doctor of Engineering Sciences

(Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute» (NRC «Kurchatov institute» - VIAM), Moscow)

Abstract. This paper presents comparative tests of the resistance of VPS-53/T-25 fiberglass to aging under exposure to natural conditions of a moderate warm and moderate climate for up to 12 months, as well as simulated effects using two modes of accelerated laboratory tests for mechanical strength.

УДК 621.45.017

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЧАСТИЦ РАЗЖИЖЕННОГО ГРУНТА ВЫЛЕТАЮЩИХ ИЗ-ПОД КОЛЕС ШАССИ

Орлов Ю.С., Соколов П.М.

(Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж)

Аннотация. В работе проведён анализ задач гражданской авиации, определение ситуаций попадание частиц разжиженного грунта в тракт двигателя. Описан процесс разработки протектора позволяющий уменьшить попадание разжиженного грунта в двигатель и на элементы летательного аппарата.

Цель работы: Разработка авиационной шины для посадки и разгона по грунтовому ВПП.

1. Обоснование проблемы

1.1 Описание случая попадания разжиженного грунта (РГ)

В ходе эксплуатации воздушных судов (ВС), эксплуатирующие организации сталкиваются с ситуациями в которых происходит повреждение входного направляющего аппарата (ВНА) и первых ступеней компрессора низкого давления (турбовентилятора) на ВС оснащёнными различными типами авиационных двигателей ТРД, ТРДД, ТВВД. В ходе эксплуатации ВС на различных типах грунтовых аэродромах во время разгона и посадки возможно попадание частиц РГ в воздухозаборник и на элементы планёра ВС, а также при посадке ВС на грунтовое покрытие ВПП, возможен процесс проскальзывания (аквапланирования) по рулёжным дорожкам (РД), а в местах стоянки (МС) с местами для опробования двигателей ВС при заборе воздуха [1, 2].

1.2 Виды грунтов и грунтовых ВПП

На аэродромах встречаются различные типы покрытий, в том числе на ВПП: глинистые и суглинистые, песчаные и супесчаные, слабые, специфические, многолетнемерзлые.

Так же встречается разжижение грунта под бетонными плитами стандартных ВПП, такие случаи предшествуют попаданию РГ на ВПП и приводят к следующим причинам:

- Потеря несущей способности грунта. Грунт, подвергшийся разжижению, ведёт себя не как твёрдое тело, а как плотная жидкость, и не способен переносить нагрузки.
- Загрязнение самолёта. Разжиженный грунт, выбрасываемый колёсами из колей, может загрязнять шасси, фюзеляж и планер самолёта, а также попадать в двигатели.
- Деформация поверхности ВПП. Разжижение грунта может привести к непроектным перемещениям и деформациям конструкций, что в итоге может вызвать аварии и катастрофы.

Разжижение грунта обычно происходит из-за динамического воздействия, например, во время землетрясений, вибраций или взрывов, частой эксплуатации тяжёлых самолётов (характерно для авиационных соединений в состав которой входят тяжёлые ВТА и ДА) и так же может происходить в аэропортах при посадке загруженных лайнеров.

Так же попадание РГ на ВПП приводит к загрязнению самолёта, происходит это в следствие выбрасывания авиационными шинами из колей РГ, что может привести к загрязнению шасси, фюзеляжа и планера ВС, а так же к досрочному выводу из строя авиационных двигателей.

- Поведение грунтовых покрытий во время посадки встречающихся на грунтовых ВПП согласно СП 121.13330.2019, представлены два случая поведение таких грунтовых покрытий:

- Случай 1. Просадка происходит в пределах сжимаемой толщи грунта (в основном в её верхней части) под действием эксплуатационной нагрузки, а просадка грунта от собственного веса отсутствует или не превышает 0,05 м.
- Случай 2. Помимо просадки грунта от эксплуатационной нагрузки, возможна просадка (преимущественно в нижней части просадочной толщи) от собственного веса грунта, и размер её превышает 0,05 м.

При наличии просадочных грунтов на ВПП, грунтовых РД, МС, и в местах опробования двигателей просадочность должна быть устранена на глубину активной зоны, устанавливаемой расчётом. Во избежания возможных пагубных последствий для ВС.

2. Предлагаемое решение проблемы

В ходе анализа был сформулировано предложение по решению данной проблемы путём проектирования протектора авиационной шины. Необходимость разработки в данном направлении вызывает направленная струя частиц РГ вылетающая из колеи в сторону расположенных на планере частей ВС.

Не учитывая возможность забрасывания частиц РГ в тракты двигателей ВС образованного с помощью потока воздуха отбираемого из внешней среды в воздухозаборники и работающими винтами на самолётах с двигателя типа ТВВД.

Была выявлена возможность разработать протектор таким образом, что бы расслоить направленную струю РГ, что способствует уменьшению плотности потока и увеличит разброс вылетающих частиц РГ.

3. Разработка протектора

За основу был взят протектора стандартной авиационной шины самолёта ИЛ-114.

В ходе проектирования была создана трёхмерная модель авиационной шины с протектором в CAD системе SolidWorks.

Так же был проведён расчёт и моделирование траектории разлёта частиц выбранной авиационной шины, где наглядно видно направление разлёта частиц (рисунок 1).

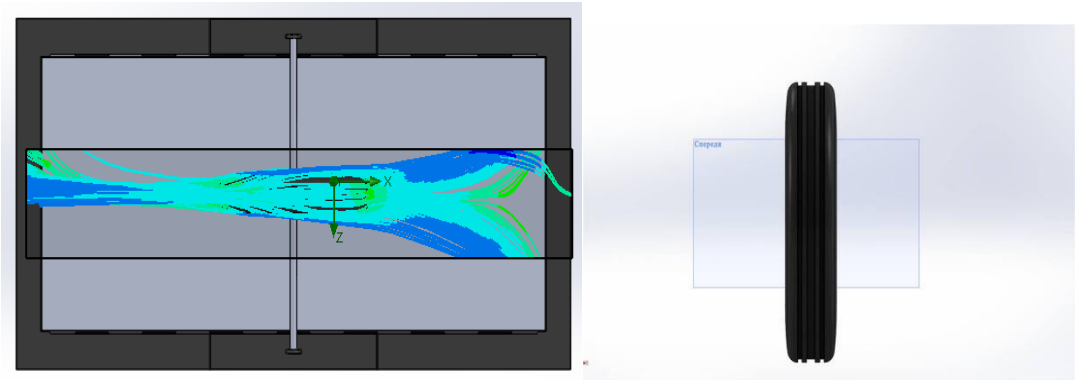


Рисунок 1. Траектории разлёта частиц из-под штатной авиационной шины и демонстрация стандартной шины (течение воды с права на лево)

В ходе работы по проектированью различных вариантов протекторов были приняты некоторые допущения:

- Во время расчётов было принято решение обтекать протектор водой которой мы придали физические свойства равные, при стандартной температуре, и атмосферному давлению равным земным.
- Столкнувшись с проблемой технической реализации одновременного вращения колеса и создания статической воды разной плотности (симуляции ситуации с нахождение на ВПП разной степени разжижения грунта) а так же при присчитывании соприкосновения авиационной шины с поверхностью грунтового ВПП при посадке ВС. Было принято решение создать набегающий поток воды обтекающий протектор со скоростью равной средней посадочной скорости исследуемого ВС, которая составляет 150 км/ч или 55,5 м/с.

В ходе моделирования были разработаны различные варианты которые представлены на рисунках 2-3.

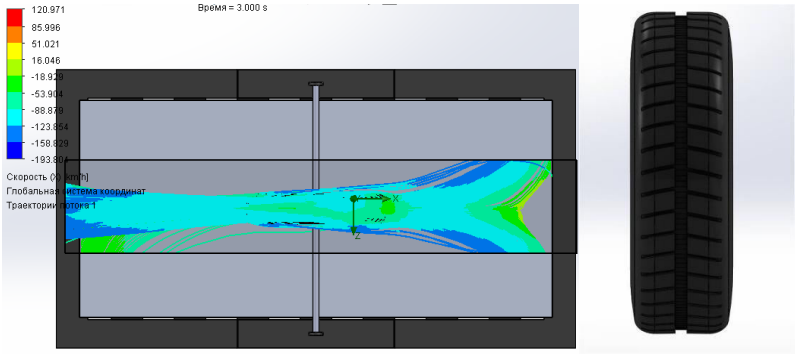


Рисунок 2. Траектории разлёта частиц из-под протектора под №1

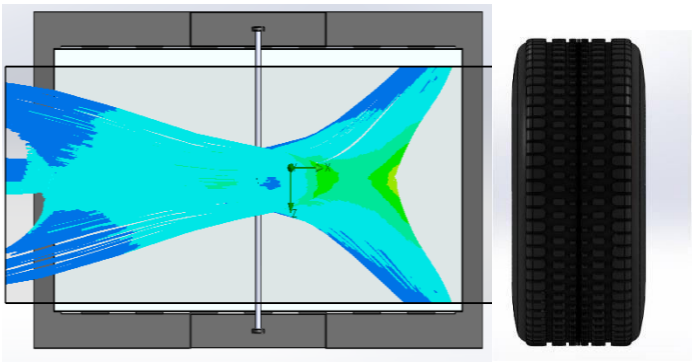


Рисунок 3. Траектории разлёта частиц из-под протектора под №3

В ходе разработки был спроектирован протектор под №3, который удовлетворял целям поставленной проблемы. Он же и был выбран в качестве образца для создания в масштабе ½ установки демонстрирующий наглядный разлет частиц.

4. Разработка установки

В той же CAD системе была проектирована установка благодаря которой можно наглядно наблюдать разлет частиц.

Она состоит из:

- Каркасной основы
- Резервуара для РГ
- Оси вращения приводимой в движение электродвигателям через ременную передачу
- Исследуемого образца протектора авиационной шины.

Данная установка позволит не только продемонстрировать работоспособность разработанной авиационной шины но и позволит проводить наглядные эксперементы с другим разработанными опытными образцами для совершенствования и доработки авиационных шин. Но так же верифицировать полученные данные.

5. Итог проделанной работы

В ходе проделанной работы был спроектирован и воссоздана в макете авиационная шина с новым протектором в масштабе ½.

Данная работа дала возможность разрабатывать авиационные протектора для конкретных ВС с учётом расположения наиболее важных элементов (воздухозаборники, силовые установки ВС, шасси и т.д.) которые наиболее предрасположены и чувствительны к попаданию и повреждению их РГ.

Преимущества:

Уменьшения трудозатрат на использование методов активной борьбы с данным неблагоприятным в эксплуатации явлением.

Возможность исключить из конструкции шасси защитные щитки устанавливаемые на пути разлёта РГ вылетевшие из под авиационного колёса в сторону элементов ВС.

Недостатки:

Данная разработка будет предусматривать изменение на производственной базе по созданию авиационных шин. Требуемая разработка так же создаст необходимость в проектировании авиационной шины для конкретного семейства ВС.

Заключение. В результате проведённого исследования была успешно решена актуальная проблема повышения защищенности силовых установок летательных аппаратов от воздействия частиц разжиженного грунта, вылетающих из-под колёс шасси. Основные результаты работы можно сформулировать следующим образом:

Проведён комплексный анализ проблемы попадания разжиженного грунта в тракт двигателя и на элементы летательного аппарата при эксплуатации на грунтовых взлетно-посадочных полосах. Выявлены основные причины и последствия этого явления.

Разработан инновационный протектор авиационной шины, который позволяет эффективно расслаивать направленную струю разжиженного грунта, что приводит к уменьшению плотности потока и более равномерному рассеиванию частиц.

В CAD-системе SolidWorks была создана трёхмерная модель авиационной шины с новым протектором, а затем проведено компьютерное моделирование траектории разлёта частиц, подтвердившее эффективность предложенного решения.

Спроектирована и изготовлена экспериментальная установка в масштабе 1:2 для практической демонстрации и проверки полученных результатов.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

Снижение риска повреждения критически важных элементов летательного аппарата.

Сокращение эксплуатационных расходов на техническое обслуживание.

Повышение безопасности полётов при эксплуатации на грунтовых аэродромах.

Возможность отказа от дополнительных защитных элементов в конструкции шасси.

Перспективы дальнейших исследований связаны с:

Оптимизация геометрии протектора для конкретных типов воздушных судов.

Проведение натурных испытаний в реальных условиях эксплуатации.

Разработка технологической документации для серийного производства.

Таким образом, предложенное решение представляет собой эффективный способ повышения защищенности силовых установок летательных аппаратов, который может найти широкое применение в гражданской авиации при эксплуатации воздушных судов на грунтовых аэродромах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Патент N 2748562 Российская Федерация, (51) МПК GO1M 17/02 (2006.01). GOIM 17/02 (2021.01) Стенд для исследования траекторий разлета посторонних предметов, выбрасываемых из-под колес: № 2748562: заявл. 12.08.2020: опубл. 26.05.2021 г. / Марков Д.С., Нескоромный Е.В., Артанов В.В., Кинякин В.А.: заявитель и патентообладатель ФГКВОУ ВО ВУНЦ ВВС «ВВА» - 9 с.

2. *Евдокимов А.И.* Обоснование выбора эффективных систем защиты от повреждений посторонними предметами двигателей самолётов военного назначения. Дис. ... док. техн. наук. ВВИА; М., 1993. 520 с.

A METHOD FOR INCREASING THE PROTECTION OF AIRCRAFT POWER UNITS EXPOSED TO LIQUEFIED SOIL PARTICLES ESCAPED FROM UNDER THE WHEELS OF THE LANDING GEAR

Orlov Yu.S., Sokolov P.M.

(Military Educational and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", Voronezh)

Abstract. This paper analyzes civil aviation problems and identifies situations where liquefied soil particles enter the engine tract. A process for developing a protector that reduces the ingress of liquefied soil into the engine and onto aircraft components is described.

УДК 629.735.33

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УГЛА НАКЛОНА УСТУПА НА АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Печерский Б.П.

Научный руководитель: Гарипова Л.И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В настоящей работе рассматривается вопрос оценки изменения аэродинамического сопротивления летательного аппарата от зазоров. Рассматривается влияние угла атаки на дополнительное сопротивление от зазора.

Введение

Летно-технические характеристики летательного аппарата во многом зависят от его аэродинамических характеристик. В частности, аэродинамическое сопротивления летательного аппарата влияет на его дальность полета. При производстве летательного аппарата возможны отклонения реальной геометрии от теоретического контура. Отклонения геометрии возможны по различным причинам:

– технологические: неточности производства, погрешности сборки, и др.

– конструктивные: наличие стыков между агрегатами и панелями обшивки, необходимые температурные зазоры, установка новых агрегатов для специальных бортов и др.

– культура производства: возможны вмятины, деформации готовых изделий в результате нерегламентированного воздействия (случайное падение, ударение и т.д.).

Технологические причины могут быть минимизированы путем совершенствования технологии производства. Случайные вмятины и повреждения могут быть минимизированы повышением культуры производства, увеличением дисциплины производства, модернизацией рабочего процесса. Конструктивные причины в отличии от других факторов минимизировать крайне сложно, так как они вызваны определенными потребностями. В этом случае необходимо учитывать внесенные геометрические изменения от теоретического контура при расчете дальности полета конкретного борта летательного аппарата. Одним из видов конструктивных отличий от теоретического контура является наличие зазоров между панелями обшивки. Наличие некоторых зазоров обусловлено необходимостью обеспечения компенсации температурного расширения длинных панелей обшивки. Для учета влияния зазора на аэродинамические характеристики летательного аппарата, а как следствие и на дальность полета, могут быть использованы эмпирические формулы. Эмпирические формулы получены в результате обработки большого количества экспериментальных исследований. Чаще всего аэродинамическое сопротивление зазора представляется в виде суммы сопротивлений прямого и обратного уступа, умноженной на коэффициенты. Так в работе [1] предлагается следующая формула:

$$Cx_{угл} = k\left(Cx_{пр.уст} + Cx_{обр.уст} \right) b / h,$$

$$где:\ k = 0.045\ при\ M = 0.6 \div 0.8,$$

$$k = 0.02\ при\ M = 1.2 \div 1.5$$

А в работе [2] предлагается несколько иная формула:

$$Cx_{угл} = \left(Cx_{пр.уст} + Cx_{обр.уст} \right) \sin^{\frac{3}{2}} \left(\frac{\pi}{2} \frac{b}{10h} \right).$$

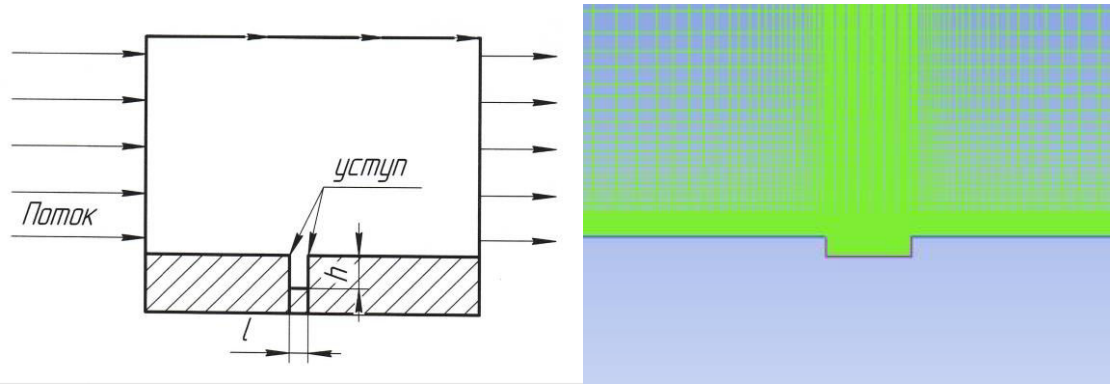
Из анализа представленных формул следует, что коэффициент зазора зависит от отношения ширины и глубины зазора, скорости обтекания. Недостатком представленных формул является отсутствие влияния местного угла атаки потока к поверхности с зазором. Исследование указанного влияния стало целью настоящей работы.

Исследование

Вычислительная аэродинамика является одним из современных методов исследования влияния на аэродинамические характеристики неровностей поверхности элементов конструкции летательного аппарата [3,4]. В настоящей работе рассматривается обтекание элемента поверхности с прямым углублением (имитация зазора между двумя панелями обшивки) под разными углами атаки. Численное моделирование основано на решении осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье – Стокса в нестационарной двумерной постановке. Для замыкания системы уравнений используется модель турбулентности Спаларта – Аллмараса. Расчетная область построена в программном продукте ICEM CFD (Рисунок 1).

Зазор имеет следующие параметры: глубина 1мм, ширина 4мм. Геометрические параметры зазора выбраны в соответствии с работой [1]. Зазор установлен посередине тестовой пластины длиной 0.5м. вверх и вниз по потоку продолжается твердая стенка на длину 1м, для минимизации влияния границ потока на результаты моделирования. На входе задается скорость потока, соответствующая числу Маха 0.65 (соответствует работе [1]). На выходе установлено давление невозмущенного потока.

Построена структурированная расчетная гекса-сетка со сгущением к поверхности так, чтобы обеспечить параметр Y+ равным 1, что позволяет качественно разрешать пограничный слой. Общее количество ячеек составило – 45 тыс.



а) б)

Рисунок 1. Расчетная область: а) схема расчетной области; б) расчетная сетка вблизи зазора

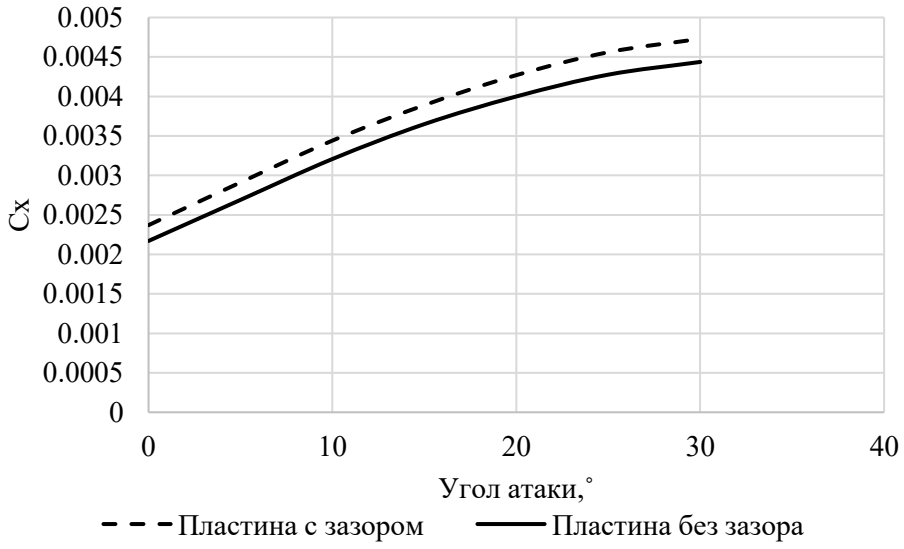
Таблица 1

Результаты численного моделирования

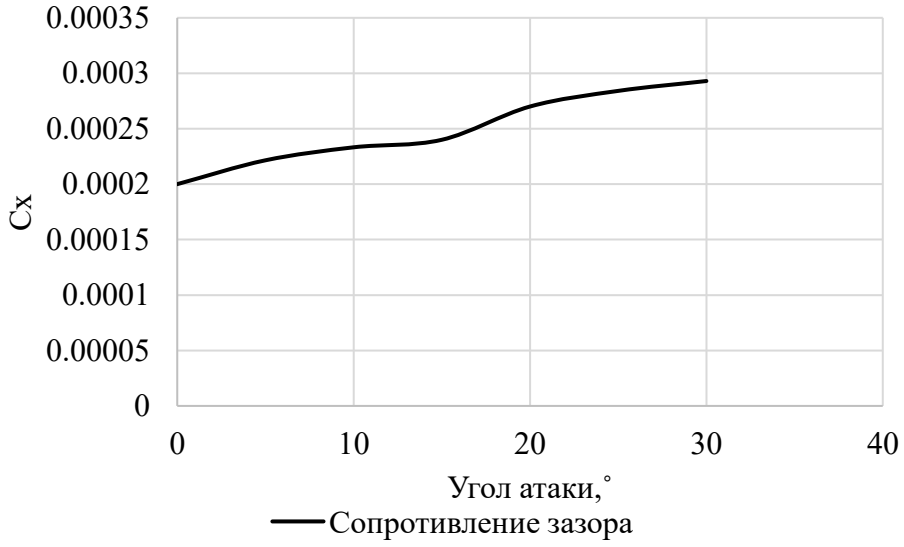
Угол, ˚	Cx (пластина с зазором)	Cx (пластина без зазора)	ΔCx
0	0,00237	0,00217	0,000200
5	0,00291	0,00269	0,000222
10	0,00344	0,00321	0,000233
15	0,00389	0,00365	0,000240
20	0,00427	0,00400	0,000270

25	0,00456	0,00427	0,000284
30	0,00473	0,00444	0,000293

Выполнены расчеты аэродинамического сопротивления пластины при угле атаки от 0 до 30 градусов с шагом 5 градусов. Расчеты выполнены в двух вариантах: ровная пластина и пластина с зазором. Разница полученных результатов позволяет оценить аэродинамическое сопротивление зазора с учетом угла атаки. Результаты численного моделирования представлены в таблице 1 и на рисунке 2.



а)



б)

Рисунок 2. Влияние угла атаки на сопротивление: а) пластины; б) зазора

Заключение

В настоящей работе проведен анализ существующих формул для оценки аэродинамического сопротивления зазора. С помощью численного моделирования выполнена оценка влияния угла атаки на аэродинамические характеристики зазора. Полученные результаты свидетельствуют о том, что необходимо учитывать угол атаки при

определении дополнительного аэродинамического сопротивления летательного аппарата за счет возможных зазоров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Петрушкин, А. Н., Струков А. Г., Федоренко Г. А.* Сопротивление прямоугольных углублений в турбулентном пограничном слое // Материалы XIII школы-семинара «Аэродинамика летательных аппаратов», п. Володарского, 28 февраля – 01 2002 года. – п. Володарского: Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора Н.Е. Жуковского, 2002. – 78 с. – Стр. 63-64.

2. *Попов С. Н.* Анализ внешней поверхности и оценка дополнительного сопротивления на этапе проектирования самолета // Научный вестник МГТУ ГА. – 2008. – №125. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vneshney-poverhnosti-i-otsenka-dopolnitelnogo-soprotivleniya-na-etape-proektirovaniya-samoleta (дата обращения: 26.06.2025).

3. *Брутян М. А., Владимирова Н. А., Потапчик А. В.* Влияние волнистости формы профиля на его аэродинамические характеристики при малых дозвуковых скоростях // Ученые записки ЦАГИ. – 2013. – №5. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-volnistosti-formy-profilya-na-ego-aerodinamicheskie-harakteristiki-pri-malyh-dozvukovyh-skorostyah (дата обращения: 26.06.2025).

4. *Сакорнсин Р.* Аэродинамические характеристики крыла с выступом при разных углах отклонения выступов и различных компоновках крыла гидросамолета в места соединения // Труды МАИ. 2013. №70. URL: https://trudymai.ru/upload/iblock/b2b/b2bcf0c1b39b1dd25d1c268f6f4485e6.pdf?lang=ru&issue=70 (дата обращения: 26.06.2025).

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF STEP ANGLE ON AERODYNAMIC DRAG

Pecherskiy B.

Supervisor: Garipova L.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The present study examines the issue of evaluating changes in the aerodynamic drag of an aircraft due to gaps. The influence of the angle of attack on additional drag caused by gaps is investigated.

УДК 532.517.4

ЧИСЛЕННОЕ СРАВНЕНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ПРОФИЛЕЙ NACA23012, LS(1)-0417 ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ КВП САМОЛЁТОВ МАЛОЙ АВИАЦИИ

Рожнев А.Г.

Научный руководитель: Костылева Е.Е., начальник бюро НТИ и патентов, к. т. н.

(АО "НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа", г. Казань)

Аннотация. В работе проведено численное сравнение аэродинамических характеристик профилей *NACA* 23012 и *LS*(1)-0417 в диапазоне углов атаки 0–15° с использованием *CFD*-моделирования в *ANSYS CFX* для оценки их эффективности в конструкциях малых самолётов с коротким взлётом и посадкой (КВП). Показано преимущество профиля *LS*(1)-0417, обусловленное более высоким коэффициентом подъёмной силы и аэродинамическим качеством при низких скоростях, что подтверждает его потенциал для снижения скорости сваливания и длины разбега. Результаты имеют практическое значение для оптимизации крыльев КВП-самолётов и подчёркивают актуальность дальнейшего исследования трёхмерных эффектов и переходных режимов турбулентности.

Введение

Аэродинамические характеристики профиля крыла являются критически значимыми для эффективности самолетов малой авиации с коротким взлетом и посадкой (КВП), среди которых наиболее важной является высокая подъемная сила на малых скоростях. Профиль *NACA* 23012 (относительная толщина 12%, кривизна 1,8%) представляет собой классический профиль, успешно зарекомендовавший себя в гражданской авиации благодаря оптимальному балансу своих характеристик, в то время как профиль *ASALANGLEY LS*(1)-0417, толщина 17%, кривизна 2,4%) рассчитан на работу в режимах малой скорости и, возможно, имеет значительно лучшие характеристики для КВП.

Научная актуальность работы обусловлена растущим интересом к *CFD*-анализу для проектирования малых КВП-самолётов, как видно из работ [1, 2], опубликованных в последние годы, где акцент на сравнительном анализе профилей для повышения эффективности в условиях ограниченных взлётных полос и экологических требований. Ограничения исследования включают использование упрощённой 2*D*-модели, которая не учитывает трёхмерные эффекты, такие как индуцированное сопротивление, а также предположение о полностью турбулентном потоке без моделирования переходного режима.

Целью настоящего исследования является выполнение *CFD*-анализа аэродинамических характеристик профилей в диапазоне углов атаки 0–15° и оценка их эффективности для КВП. В мои задачи входило построение и настройка модели в программе *ANSYS CFX*, расчет коэффициента подъемной силы (C_L), коэффициента сопротивления (C_D) и аэродинамического качества (K) с учетом проекции сил, а также интерпретация полученных результатов в контексте эксплуатационных параметров.

Материалы и методы

Моделирование выполнялось методом *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*) в программе *ANSYS CFX*. *CFD*-анализ состоит из нескольких ключевых этапов: подготовка геометрии и сетки, задание физических моделей и граничных условий, решение уравнений, анализ результатов и их визуализация. Рассмотрим весь процесс поэтапно на примере профиля *LS*(1)-0417:

1. Создание геометрии

На данном этапе в инструменте *Design modeler* мной была создана геометрическая модель (Рисунок 1), состоящая из расчётного домена и аэродинамического профиля. Координаты для построения профиля были взяты на сайте *airfoiltools.com*. Из соображений удобства эксперимента с помощью инструмента плоттер был выбран размер хорды 300 мм. Данный размер хорды профиля даёт возможность повторить данный эксперимент в аэродинамической трубе. Для исследования аэродинамики профиля крыла принят вычислительный домен с границами: 1500 мм перед передней кромкой, 3000 мм сзади и по 5 хорд 1500 мм сверху/снизу, что соответствует рекомендациям в публикации [3].

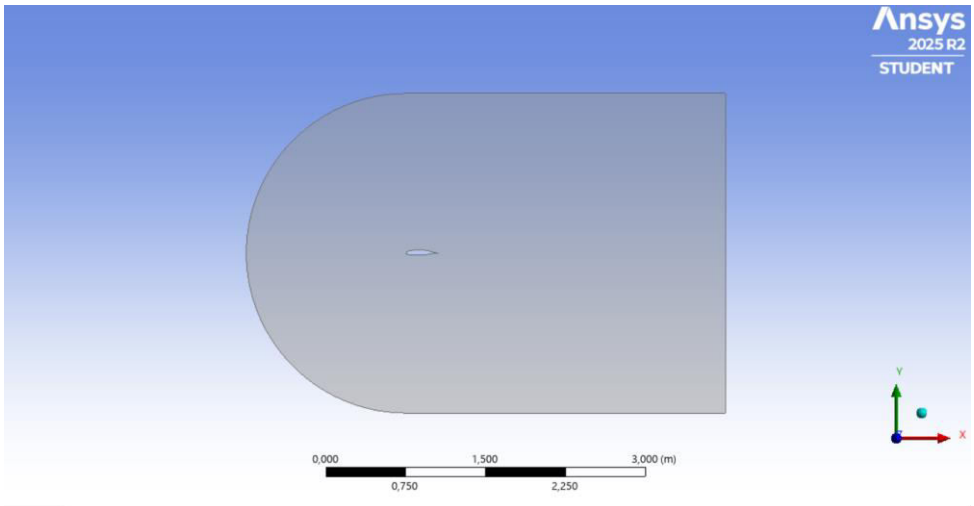


Рисунок 1. Геометрия профиля крыла LS(1)-0417 и вычислительный домен

2. Создание сетки

Для генерации сетки (Рисунок 2) применялась неструктурированная треугольная топология вблизи профиля, что обеспечивало более точную аппроксимацию его формы, а по мере удаления от крыла размер ячеек постепенно увеличивался для снижения вычислительных затрат. В критической области вокруг профиля было реализовано сгущение ячеек (Рисунок 3) с помощью инструмента *Inflation Layers*, что позволило корректно разрешить структуру пограничного слоя. Высота первого слоя определялась целевым значением y+≈1 для модели *k-ε* что требовало первого слоя толщиной около 0,012 мм. Количество слоёв составляло 20.

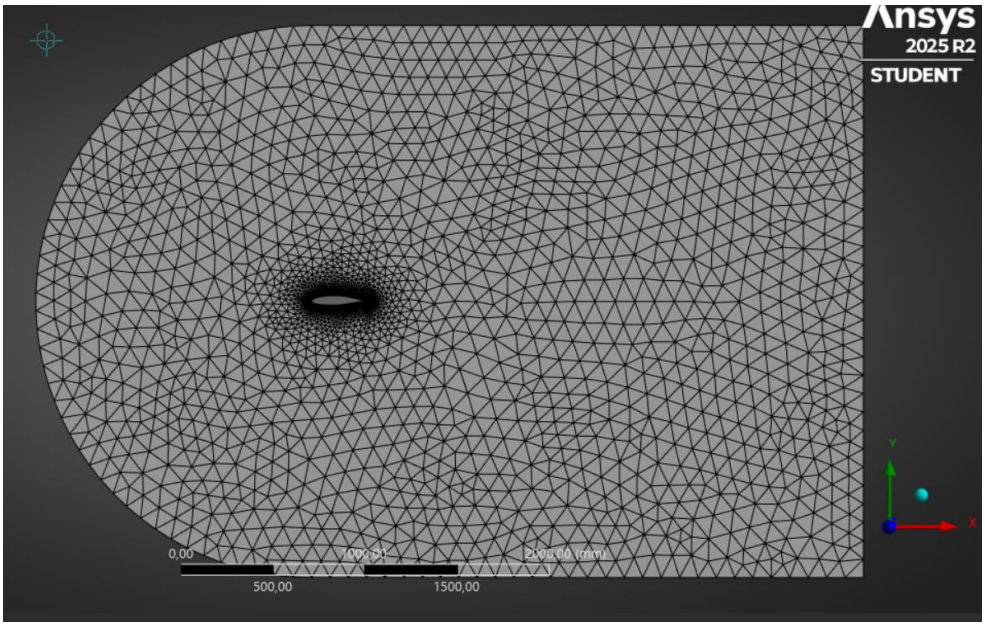


Рисунок 2. Вычислительная сетка

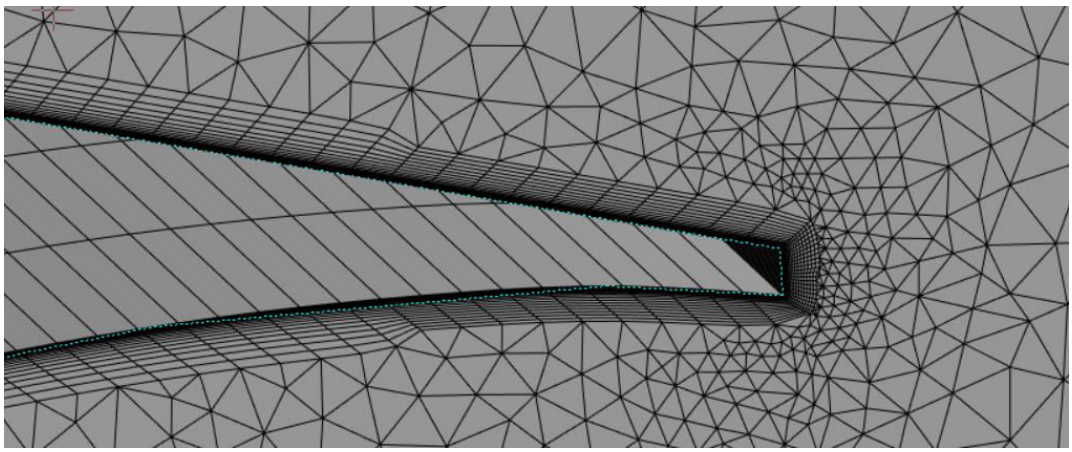


Рисунок 3. Сгущение сетки по периметру профиля крыла

3. Задание физических моделей

В программном модуле ANSYS CFX-Pre была создана физическая модель потока воздуха, заданного как идеальный газ с целью учёта изменений плотности воздуха. Были заданы следующие условия: скорость набегающего потока 28 м/с, температура 288,15 К, давление 101325 Па, плотность воздуха 1,225 кг/м3.

Для описания турбулентности мы использовали решатель *k-ε* – один из самых популярных решателей в вычислительной гидродинамике, основанный на решении двух уравнений переноса (PDE) для турбулентности.

Расчёт выполнялся в стационарной постановке, а проверка сходимости осуществлялась по невязкам и интегральным аэродинамическим коэффициентам – C_L и *Cd*.

4. Решение уравнений, анализ результатов и их визуализация.

В ходе численного моделирования с применением программного обеспечения *CFX-Solver* было выполнено расчётное исследование стационарного течения, в котором использовалась определённая турбулентная модель. Проверка сходимости решения осуществлялась как по динамике снижения невязок основных уравнений, так и по стабилизации значений основных аэродинамических характеристик – коэффициентов подъёмной силы (C_L) и лобового сопротивления (Cd).

Дальнейший анализ результатов в модуле *CFX-Post* включал комплексное исследование картины течения воздуха. Особое внимание уделялось анализу пространственного распределения поля давлений и скоростей вблизи профиля, исследованию особенностей формирования и развития вихревых структур, а также оценке интегральных аэродинамических характеристик, в частности – аэродинамического качества (C_L/C_d).

5. Расчёт коэффициентов подъёмной силы и лобового сопротивления в программе *Microsoft Exel*:

Промежуточные силы *Fx* и *Fy* получены с помощью калькулятора функций. Затем с помощью программы *Microsoft Excel* были пересчитаны данные значения сил на проекции скорости по формуле (1) и (2):

$$D = F_x' \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{180 \cdot \pi}\right) + F_y' \cdot \sin \cdot \left(\frac{\alpha}{180 \cdot \pi}\right) \quad (1),$$

$$L = F_y' \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{180 \cdot \pi}\right) + \cdot F_x' \cdot sin \cdot \left(\frac{\alpha}{180 \cdot \pi}\right) \quad (2).$$

D, L – сила лобового сопротивления и подъёмная сила (Н);
F_y, F_x – промежуточная подъёмная сила и промежуточная сила сопротивления (Н).

Для расчёта коэффициентов подъёмной силы и лобового сопротивления мы должны найти площадь профиля крыла, которая находиться по формуле (3):

$$s = c \cdot b \quad (3).$$

s – площадь профиля крыла (м^2);
c – длина хорды (м);
b – размах профиля (м).

Коэффициенты подъёмной силы и лобового сопротивления, а также аэродинамическое качество мы рассчитали по следующим формулам (4) и (5):

$$C_L = \frac{2L}{\rho \cdot v^2 \cdot s} \quad (4),$$

$$C_D = \frac{2D}{\rho \cdot v^2 \cdot s} \quad (5).$$

D, L – сила лобового сопротивления и подъёмная сила (Н);
C_L, C_D – безразмерный коэффициент подъёмной силы, безразмерный коэффициент лобового сопротивления;
ρ – плотность воздуха (кг/м^3);
v – скорость набегающего потока (м/с);
s – площадь крыла (м^2).

Расчёт аэродинамического качества производился по формуле (6):

$$k = \frac{C_L}{C_D} \quad (6).$$

K – аэродинамическое качество;
C_L, C_D – безразмерный коэффициент подъёмной силы, безразмерный коэффициент лобового сопротивления.

Результаты

Полученные результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Аэродинамические характеристики профиля NACA 23012

Угол атаки, °	C_L	C_D	K
0	0,1027961	0,013899972	7,395414571
5	0,5953874	0,020813151	28,60630903
10	1,0040407	0,038782751	25,88884646
15	1,2301161	0,071693491	17,15798859

Таблица 2

Аэродинамические характеристики профиля LS(1)-0417

Угол атаки, °	C_L	C_D	K
0	0,4010662	0,02071373	19,36233671
5	0,9054057	0,033796726	26,78974589
10	1,2667634	0,057712176	21,94967274
15	1,3939885	0,095122251	14,65470431

Из таблиц видно, LS(1)-0417 показывает более высокий C_L на всех α, особенно при 0° (в 3,9 раза). В то же время при более высоком C_D наблюдается уменьшение K при больших α. Это, вероятно, обусловлено особенностями его геометрии и более ранним развитием циркуляционного механизма. Однако на больших углах атаки наблюдается ускоренный рост сопротивления и снижение аэродинамического качества, что может свидетельствовать о повышенной склонности к срыву потока и усилении вихревых потерь. Таким образом, данный профиль оказывается более эффективным в области малых углов атаки.

Обсуждение результатов

Полученные в ходе CFD-моделирования аэродинамические характеристики профилей NACA 23012 и LS(1)-0417 демонстрируют преимущества последнего в контексте самолётов короткого взлёта и посадки (КВП), где высокая подъёмная сила при низких скоростях критически важна. Профиль LS(1)-0417 обеспечивает более высокие значения коэффициента подъёмной силы (C_L до 1,39 при α=15°) и аэродинамического качества (K_{max} ≈26,8 при α=5°), что согласуется с данными NASA по низкоскоростным профилям, где GA(W)-1 (LS(1)-0417) рекомендован для улучшения характеристик на взлётно-посадочных режимах. В сравнении с NACA 23012 (C_L до 1,23 при α=15°, K_{max} ≈28,5), LS(1)-0417 показывает лучшие показатели на малых углах атаки, что соответствует экспериментам *NACA Report* 530 и современным исследованиям по оптимизации крыльев для *STOL*-аппаратов, подчёркивая его потенциал для снижения скорости сваливания и длины разбега.

Заключение

Выполненное в настоящей работе *CFD*-моделирование и сравнительный анализ аэродинамических характеристик профилей *NACA* 23012 и *LS*(1)-0417 продемонстрировали преимущества последнего для применения в конструкциях самолётов короткого взлёта и посадки.

Конструктивные достоинства профиля *LS*(1)-0417 включают возможность создания более лёгких и компактных крыльевых конструкций без ущерба для несущих характеристик, что упрощает общую компоновку летательного аппарата и повышает безопасность эксплуатации в сложных условиях.

В работе [4] отмечается экономический эффект, когда применение данного профиля в конструкции крыла позволяет значительно сократить длину разбега и пробега, что расширяет возможности базирования в труднодоступных регионах с ограниченной инфраструктурой. Повышенное аэродинамическое качество способствует снижению расхода топлива, сокращая эксплуатационные затраты, что особенно важно для малой авиации.

Экологические преимущества по мнению авторов работы [5] проявляются в сокращении выбросов вредных веществ за счёт оптимизированного топливопотребления, а

также в уменьшении антропогенной нагрузки на окружающую среду благодаря возможности использования более компактных взлётно-посадочных полос.

Полученные результаты подтверждают перспективность дальнейших исследований в области оптимизации аэродинамических характеристик профилей для КВП-самолётов. В дальнейших своих работах мы планируем включить в анализ трёхмерное моделирование и учёт переходных режимов течения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Суман С. Р., Бейера А. Д., Найак С. К. [и др.]*. Анализ различных моделей турбулентности для профиля NACA 23012 // International Journal of Engineering Research & Technology. – 2023. – Т. 12, № 9. – С. 1–10. – Текст: электронный. – URL: https://www.researchgate.net/publication/374388802_ANALYSIS_OF_VARIOUS_TURBULENCE_MODELS_FOR_NACA_23012_AIRFOIL (дата обращения: 16.08.2025).

2. *Судхир Ч.В.С.С. [и др.].* CFD-анализ потока над профилями NACA 23012, NACA 23014 и NACA 63415. – 2022. – 14 с. – Текст: электронный. – URL: https://mechanical.anits.edu.in/PROJECT18-22/D12.pdf (дата обращения: 16.08.2025).

3. IdealSimulation. – CFD computational domain. – Текст: электронный. – URL: https://www.idealsimulations.com/resources/cfd-computational-domain/ (дата обращения: 16.08.2025).

4. *Schrauf G., Horstmann K.* Application of FSW-NLF Technology to Commercial Aircraft // Proceedings of the 28th International Congress of the Aeronautical Sciences (ICAS). – 2012. – P. 1–10. – Текст: электронный. – URL: https://www.icas.org/icas_archive/ICAS2012/PAPERS/029.pdf (дата обращения: 16.08.2025).

5. *Rutherford D.*, *Zeinali M.*, *Graver B.* Aircraft fuel efficiency technology assessment // The International Council on Clean Transportation (ICCT). – 2016. – 42 p. – Текст: электронный. – URL: https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/ICCT-aircraft-fuel-efficiency-cost-assessment_final_09272016.pdf (дата обращения: 16.08.2025).

NUMERICAL COMPARISON OF PROFILES NACA23012 AND LS(1)-0417 AERODYNAMICS FOR THE EFFICIENCY EVALUATION OF SMALL STOL AEROPLANE DESIGNS

Rozhnev A.

Supervisor: Kostyleva E.E., Head of Scientific and Technical Information and Patents Bureau, Candidate of Engineering Sciences

(JSC NIIturbokompressor n.a. V.B.Schnepp, Kazan)

Abstract. This paper provides a numerical comparison of the aerodynamic characteristics of profiles NACA 23012 and LS(1)-0417 within the angle-of-attack range of 0–15° using CFD modeling in ANSYS CFX aiming to evaluate their efficiency in the designs of small short takeoff and landing (STOL) airplanes. The demonstrated advantage of profile LS(1)-0417 results from its higher lift force coefficient and aerodynamic fineness at low speeds which confirms its potential for reducing stall speed and take-off roll length. The results are of practical importance for the optimization of STOL airplane wings and emphasize the relevance of further research into three-dimensional effects and transient turbulence conditions.

УДК 624.074.4:534.1

К РАСЧЕТУ ЗАКОНЦОВОК ЛОПАСТИ ВЕРТОЛЕТА ОТ ПОПЕРЕЧНОЙ НАГРУЗКИ

Шайхаттарова А.Р.
Научный руководитель: Костин В.А., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе представлены преимущества композитных материалов, графическое изображение лопасти, выполненной из композитных материалов, а также расчет законцовок лопасти вертолета, выполненной в виде трехслойной оболочки. Применен метод Бубнова для решения системы уравнений.

Современное вертолетостроение характеризуется активным внедрением полимерных композиционных материалов, которые позволяют существенно снизить массу конструкции при одновременном повышении ее прочностных и жесткостных характеристик.

Лопасть несущего винта является ключевым элементом вертолета, определяющим его летно-технические характеристики, виброакустический комфорт и безопасность. В процессе эксплуатации лопасть подвергается сложному комплексу переменных нагрузок: аэродинамических, инерционных и центробежных. Особенно напряженным режимом является режим авторотации, а также маневры с перегрузкой, когда поперечные нагрузки (направленные вдоль хорды лопасти) достигают значительных величин. Законцовочная часть лопасти, в силу своего расположения, испытывает наибольшие аэродинамические воздействия и вносит существенный вклад в создание подъемной силы и управляемости. Их расчет на прочность является критически важной задачей.

Специфическая слоистая анизотропная структура композитов изменяет картину напряженно-деформированного состояния по сравнению с традиционными изотропными материалами. Классические подходы к расчету, основанные на гипотезе плоских сечений, для таких конструкций оказываются несправедливы. Поэтому разработка методик расчета, адекватно учитывающих особенности работы слоистых композитных структур под действием поперечных нагрузок, представляет собой актуальную научно-практическую задачу.

Основные преимущества применения композитных материалов:

- Снижение массы (до 20–30% по сравнению с металлами), что ведет к экономии топлива.
- Повышенная прочность и жесткость (например, углепластик прочнее алюминия при меньшем весе).
- Устойчивость к коррозии и усталости (долговечность конструкций).
- Гибкость проектирования (возможность интеграции функций, например, встроенные датчики).

В лопастях крыла вертолёта применяются композитные структуры, состоящие из однонаправленных слоёв или тканевых армирующих волокон, имеющих неодинаковую толщину и углы ориентации. Это позволяет создавать конструкции, которые отличаются высокой жёсткостью, прочностью на изгиб и кручение, а также низкой чувствительностью к повреждениям.

Лопасти из композитных материалов (рис.1) испытывают на усталость, прежде всего, на резонансных частотах. По возможности, лопасти испытывают целиком, так как только при испытаниях целой конструкции могут быть отработаны элементы, усталостная прочность которых определяется технологией изготовления и сборки конструкции.

При восприятии поперечной нагрузки наиболее эффективны силовые элементы в виде пластинок, панелей и оболочек. Распространенной конструкцией, сочетающей требования по прочности и весовым ограничениям, оказалась трехслойная как в виде самой трехслойной

конструкции, а также удобной математической модели, позволяющей учитывать сдвиг у композиционных материалов. Расчетные модели для трехслойных пластинок и оболочек сложнее, чем для однослойных. Это связано с тем, что каждый несущий слой рассматривается как тонкостенная пластинка и оболочка, а заполнитель, имеющий значительно большую толщину, в общем случае может быть представлен как трехмерное тело. При изгибе пластин или оболочки основным видом деформации заполнителя, обеспечивающим совместную работу несущих слоев, является сдвиг. При нагружении сосредоточенными силами в направлении, перпендикулярном срединной поверхности пластинки или оболочки, заполнитель сжимается или растягивается в этом направлении.

При описании работы заполнителя предполагается, что тангенциальные перемещения по толщине при деформировании трехслойной конструкции изменяются линейно. Это допущение справедливо при определенных параметрах заполнителей.

При определенных схемах нагружения и параметрах трехслойной конструкции допустимо считать, что сближение слоев по нормали отсутствует. Это часто позволяет упростить расчеты на прочность и устойчивость трехслойной панели, пластинки и оболочки. Такое допущение правомерно при расчете трехслойной конструкции, близкой по структуре к симметричной, на которую действует распределенная нагрузка, описываемая такой функцией, которая имеет малое отношение величины первой производной к самой функции или величины последующей производной к предыдущей.

Кроме того, это допущение справедливо при расчете конструкции вдали от зон с резким изменением параметров конструкции или вдали от опор.

Для трехслойной конструкции со структурой, близкой к симметричной, применимо деление заполнителей на легкие и жесткие. К легким относят такие заполнители, при использовании которых в трехслойных конструкциях продольные силы практически целиком воспринимаются внешними слоями. Жесткие заполнители в конструкции воспринимают заметную часть продольных сил.

Большое влияние на напряженно-деформированное состояние трехслойных конструкций оказывает характер закрепления кромок. Классические граничные условия для трехслойных конструкций не имеют практического применения для реальных условий опирания края. Для трехслойных конструкций специфическим является случай закрепления пластины или оболочки по контуру за несущие слои. Анализ схем соединения панелей друг с другом и другими элементами конструкции показал, что крепить трехслойную пластину или оболочку по контуру за боковую поверхность заполнителя практически невозможно [1].

В некоторых случаях созданию эффективных трехслойных конструкций препятствуют сложности прочностного расчета.

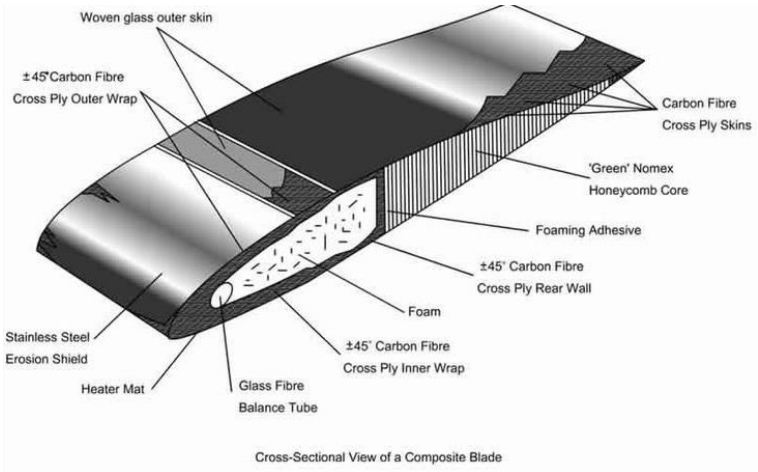


Рис.1. Поперечное сечение лопасти вертолета, выполненная из композитных материалов

В то же время накоплен большой опыт расчета однослойных конструкций, таких как балки и обшивки. Однако, в данной задаче законцовка лопасти не может быть рассмотрена

как однослойная. Учет деформаций сдвига приводит к повышению порядка дифференциальных уравнений равновесия. Формируется сложная математическая модель [2].

Система нелинейных уравнений конечного прогиба трехслойных пологих оболочек переменной толщины после преобразования $\chi = A\omega$ [3] запишется:

$$\left[\frac{F_{,22} - \nu F_{,11}}{Eh}\right]_{,22} + \left[\frac{F_{,11} - \nu F_{,22}}{Eh}\right]_{,11} + \left[\frac{F_{,12}(1+\nu)}{Eh}\right]_{,12} = k_{11}\omega_{,22} - 2k_{12}\omega_{,12} + k_{22}\omega_{,11} + \omega_{,12}^2 - \omega_{,11}\omega_{,22};$$

$$D^*\nabla^2\nabla^2\omega + 2\frac{\partial^2 D^*}{\partial x_1} * \frac{\partial}{\partial x_1}\nabla^2\omega + 2\frac{\partial D^*}{\partial x_2} * \frac{\partial}{\partial x_2}\nabla^2\omega + \nabla^2 D^*\nabla^2\omega - (1-\nu) * \left(\frac{\partial^2 D^*}{\partial x_1^2} * \frac{\partial^2\omega}{\partial x_2^2} - 2\frac{\partial^2 D^*}{\partial x_1\partial x_2} * \frac{\partial^2\omega}{\partial x_1\partial x_2} + \frac{\partial^2 D^*}{\partial x_2^2} * \frac{\partial^2\omega}{\partial x_1^2}\right) - F_{,22}(k_{11} - x_{11}) + 2F_{,12}(k_{12} + x_{12}) - F_{,11}(k_{22} + x_{22}) + q = 0;$$

(1)

$$\nabla^2\left[\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}\nabla^2(\eta_1 A - \eta_2)\omega\right] - GA\left[\left(h_3\omega_{,1}\right)_{,1} + \left(h_3\omega_{,2}\right)_{,2}\right] = 0,$$

где h -суммарная толщина оболочки, E – приведенный модуль упругости, D – цилиндрическая жесткость оболочки, $\beta -$ коэффициент поперечного сдвига заполнителя, $\chi -$ функция, характеризующая сдвиг.

При этом $D^* = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}\theta(\gamma A + 1) = D(\gamma A + 1), E = \frac{1-\nu^2}{h}\sum_{j=1}^{3}\frac{E_j h_j}{1-\nu_j^2}$,

$\beta = \frac{12Gt_3(1-\nu^2)}{E\theta_1}, \nu = \frac{\theta_1\theta_3 - \theta_2^2}{\theta_1(\theta_1 + 2\theta_2 + \theta_3)}$.

Остальные обозначения общепринятые в теории трехслойных оболочек.

Первые два уравнения системы совпадают с соответствующими уравнениями для однослойных оболочек переменной толщины с приведенной изгибной жесткостью D^*. Третье уравнение, как и в случае оболочек постоянной толщины, по-прежнему служит для определения собственного значения, по которому вычисляется неизвестная константа A, входящая в D^*. Совместность этой системы уравнений в данном случае доказать не удается, следовательно, полученные решения будут носить приближенный характер. Чтобы оценить ожидаемую погрешность, обратимся к линейной прочностной задаче о цилиндрическом изгибе консольной пластины с несущими слоями из металла или композиционного ортотропного материала, находящейся под действием равномерного одностороннего давления. Предположим, что толщина несущих слоев постоянна, а общая толщина пластины переменна и линейно зависит от координаты x_1.В этом случае система (1) имеет вид:

$$\frac{\partial^2}{dx_1^2}\left[D^*\frac{d^2\omega}{dx_1^2}\right] + q = 0;$$

$$\frac{d^2}{dx_1^2}\left[\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} * \frac{d^2}{dx_1^2}(\eta_1 A - \eta_2)\omega\right] - GA\left(h_3\omega_{,1}\right)_{,1} = 0.$$

Решение первого уравнения известно [4]:

$$\omega = \frac{ql^2}{4D^*(x=0)}\left\{2a\ln\frac{l}{a+x_1} - (a+x_1)[\ln(a+x_1) - 1] - \frac{4al + a^2}{2l^2}(l - x_1) + (a+x_1)\ln l - \frac{a^2}{2}\left(\frac{l}{a+x_1} - \frac{1}{l}\right) - l\right\};$$

$$h = h(x_1 = 0) - \frac{h(x_1 = 0)}{l}x_1.$$

Для определения константы A, входящей в D^*, найдем собственное значение второго уравнения пользуясь методом И.Г. Бубнова.

Выбирая аппроксимирующую функцию прогиба ω в виде:

$$\omega = f \sin^2 \frac{\pi x_1}{2l},$$

получим

$$A = \frac{E_1 \eta_2 h_1}{E_1 \eta_1 h_1 - 6G(1-\nu^2) l^2 / 75{,}2h(x_1 = 0)}.$$

Для оценки результата эта же задача была решена вариационным методом И.Г. Бубнова в третьем приближении. При этом аппроксимирующая функция для ω выбиралась в виде:

$$\omega = c_0 + c_1 \left(\frac{x_1}{l}\right)^2 + c_3 \left(\frac{x_1}{l}\right)^3 + A_1 \sin\frac{\pi x_1}{2l} + A_2 \sin\frac{3\pi x_1}{2l} + A_3 \sin\frac{5\pi x_1}{2l},$$

а в уравнении равновесия (1) при этом учитываются члены, ранее отброшенные.

Подставляем численные результаты и сравниваем значения вариационного метода и метода «аналогии» [5]. Практическое совпадение этих результатов (5-7%) подтверждает возможность использования для расчетов зависимости $\chi = A\omega$.

Таким образом, предложенная методика на основе метода И.Г. Бубнова позволяет с приемлемой для инженерной практики точностью учесть влияние межслойного сдвига трехслойной законцовки переменной толщины, что является необходимым условием для создания надежных и оптимизированных по массе конструкций перспективных вертолетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кобелев В.Н., Коварский Л.М., Тимофеев С.И.* Расчет трехслойных конструкций // М.: Машиностроение. – 1984г. – 304с.

2. *Григолюк Э.И., Чулков П.П.* Теория упругих трехслойных конструкций в нелинейной постановке // в.4.М., «Машиностроение». – Сб.: Расчеты элементов авиационных конструкций. – 1965г. – с.99-133.

3. *Галимов К.З.* Теория оболочек с учетом поперечного сдвига. – изд. Казанского университета. – 1977г. – с. 174-176.

4. *Писаренко Г.С.* Справочник по сопротивлению материалов. Киев, Наукова думка,1975.

5. *Костин В.А.* К расчету трехслойных оболочек с ортотропными несущими слоями // Деп.ВИНИТИ. №4131-77.

TO THE CALCULATION OF THE HELICOPTER BLADE TIPS FROM THE LATERAL LOAD

Shaykhattarova A.R.

Supervisor: Kostin V.A., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. This paper presents the advantages of composite materials, a graphic representation of a blade made of composite materials, and the calculation of the tips of a helicopter blade made in the form of a three-layer shell. The Bubnov method is used to solve the system of equations.

СЕКЦИЯ 2
БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, БЕЗЭКИПАЖНЫЕ СУДА И НЕОБИТАЕМЫЕ ПОДВОДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

УДК 623.746.4-519

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ФЮЗЕЛЯЖА МАЛОРАЗМЕРНЫХ БПЛС: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТРАДИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ

Ахметова Ю.Ф.

Научный руководитель: Левшонков Н.В., доцент, к. т. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева — КАИ, г. Казань*)

Аннотация. Интенсивное развитие рынка малоразмерных беспилотных летательных систем (МБЛС) в последнее время обусловлено их уникальными возможностями в гражданской и военной сферах — от мониторинга протяжённых объектов до точечной доставки грузов. Однако расширение функциональности упирается в ключевое противоречие: требованию к увеличению полезной нагрузки (до 30% массы аппарата) противостоит необходимость минимизации веса конструкции. Фюзеляж как несущий элемент планера, составляющий до 40% массы МБЛС, становится ключевым объектом оптимизации.

Проектирование МБЛС требует комплексного подхода, при котором выбор материалов играет важную роль в обеспечении баланса меду прочностью, весом, себестоимостью и технологичностью. Электронная модель МБЛС является основой для анализа поведения конструкции при использовании различных материалов: ABS-пластика, металла (алюминиевые сплавы) и композитные материалы (КМ). Каждый из этих материалов вносит уникальные свойства, что напрямую влияет на экономическую эффективность производства и сборки изделий из них, имеет свои особенности в эксплуатации и в обслуживании. В таблице 1 приведены основные особенности выбранных для проектирования элементов фюзеляжа МБЛС и указанных выше материалов.

Таблица 1

Особенности материалов

Варианты конструкций	Композитный материал	ABS-пластик	Алюминиевые сплавы
Преимущества	-Высокая прочность при минимальном весе; -Термостойкость; -Химическая стойкость;	-Легкость обработки; -Ударопрочность; -Химическая стойкость; -Высокая технологичность; -Низкая стоимость	-Высокая удельная прочность; -Длительный срок хранения; -Коррозионная стойкость; -Технологичность; -Термостойкость
Недостатки	-Чувствительность к УФ-излучению; -Высокая стоимость; -Сложность механической обработки	-Низкая термостойкость; -Горючесть; -Чувствительность к УФ-излучению; -Ограниченная прочность	Высокая стоимость

Для прогнозирования эффективности производства и эксплуатации спроектированных компоновочных вариантов МБЛС необходимо проведение этапа предварительного технико-экономического анализа этих вариантов. В этом этапе работы представлены следующие

данные по основным техническим и технологическим параметрам, а также по экономическим показателям по каждому из варианта спроектированного фюзеляжа МБЛС (КМ, ABS- пластик и алюминиевых сплавов):

- стоимость применяемых материалов;
- предварительная сравнительная оценка применяемых технологий, оборудования и технологической оснастки;
- вес фюзеляжа.

На рис.1 представлена упрощённая схема элементов фюзеляжа МБЛС.

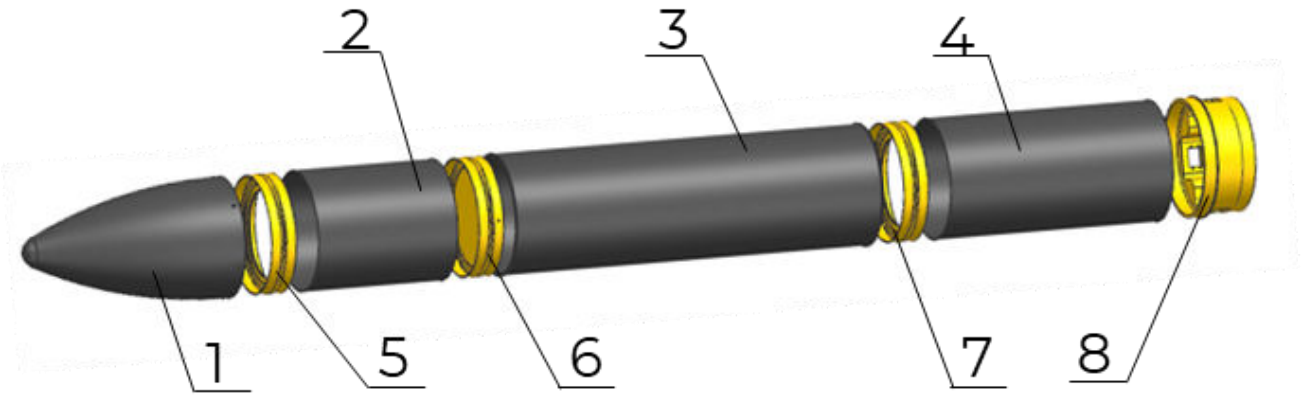


Рисунок 1. Схема элементов фюзеляжа: 1- обтекатель; 2,3,4- секции; 5,6,7,8-шпангоуты

Вариант изготовления секций из КМ предполагает эксплуатацию МБЛС в разных режимах - аэропочта, мониторинг и съемки местности, длительное время нахождения в воздухе (разведка и наблюдение), военные и другие задачи. Изготовление секций из ABS-пластика предполагает больше одноразовое использование для решения военных задач или эксплуатация МБЛС в течение короткого промежутка времени (от 1 месяца до 1 года). МБЛС с фюзеляжем из алюминиевых сплавов предусматривает длительные эксплуатации и долгие сроки хранения [1].

Для изготовления секций фюзеляжа из КМ используются технологии вакуумного и автоклавного формования [4].

При вакуумном формовании секций фюзеляжа из КМ в качестве армирующих материалов могут быть использованы следующие компоненты:

- стеклоткань конструкционная Т-10-14;
- кевларовая ткань plain 3 K;
- углеродная ткань TWILL 2/2 3К-1000-200.

При этом в качестве связующего используется эпоксидная смола Т20-60.

Для определения количества указанных компонентов была рассчитана площадь секций. Рассмотрим более подробно расчет на примере кевларовой ткани.

Секция 1 имеет длину ткани $l = 235$ мм, диаметр фюзеляжа D=235 мм, отсюда можно вычислить ширину и площадь ткани:

$$x = 2 * \pi * R = \pi D = 3{,}14 * 235 = 738 \text{ мм-},$$

где x -ширина ткани;

$$S = x * l = 738 * 285 = 306270 \text{ мм}^2 = 0{,}306 \text{ м}^2,$$

где S -площадь ткани.

Также необходимо учесть припуски, поэтому вычислим площадь ткани с учетом припуска $S_{\text{пр}}$:

$$S_{\text{пр}} = S + 0{,}15 * S = 0{,}306 + 0{,}15 * 0{,}306 = 0{,}352\text{м}^2$$

С учетом толщины этих секций определим количество слоев армирующего материала и смолы.

Один слой ткани дает толщину 0,3 мм, отсюда следует, что на толщину 2 мм необходимо 7 слоев ткани. Вычислим общую площадь ткани $S_{тк}$:

$S_{тк} = S_{пр} * n = 0{,}352 * 7 = 2{,}465$ м^2-площадь тряпки, где $n = 7$- количество слоев ткани.

Определив площадь необходимой ткани, можем вычислить массу армирующего материала $m_{тр}$:

$m_{тр} = S_{тк} * \rho_{кевлара} = 2{,}465 * 170 = 419{,}05$ г $= 0{,}419$ кг, где $\rho_{кевлара} = 170$ г/м^2.

На 1 грамм ткани необходимо 1,3 грамма связующего, тогда масса связующего $m_{см}$ равна

$$m_{см} = 1{,}3 * m_{тр} = 1{,}3 * 0{,}419 = 0{,}545 \text{ кг}.$$

Аналогичные расчеты проведем для стеклоткани и углеродной ткани и результаты сведем в таблицу 2.

Таблица 2

Таблица расчетов площадей и масс армирующих материалов КМ

Материал	Наим. деталей	D, мм	x, мм	n	l, мм	S, м^2	$S_{пр}$, м^2	$S_{тр}$, м^2	$m_{тр}$, кг	$m_{см}$, кг
Кевларовая ткань, $\rho_{кевлара} =$ 170 г/м^2	Обтекатель	235	738	7	415	0,306	0,352	2,465	0,419	0,545
	Секция 1				285	0,210	0,242	1,693	0,288	0,374
	Секция 2				750	0,554	0,637	4,456	0,757	0,985
	Секция 3				450	0,332	0,382	2,673	0,454	0,591
Стеклоткань, $\rho_{ст} =$ 290 г/м^2	Обтекатель	235	738	8	415	0,306	0,352	2,818	0,817	1,062
	Секция 1				285	0,210	0,242	1,935	0,561	0,730
	Секция 2				750	0,554	0,637	5,092	1,477	1,920
	Секция 3				450	0,332	0,382	3,055	0,886	1,152
Углеродная ткань, $\rho_{уг} =$ 200 г/м^2	Обтекатель	235	738	8	415	0,306	0,352	3,170	0,634	0,634
	Секция 1				285	0,210	0,242	2,177	0,435	0,435
	Секция 2				750	0,554	0,637	5,729	1,146	1,146
	Секция 3				450	0,332	0,382	3,437	0,687	0,687

При автоклавном формовании используется пропитанная углеродная ткань - препрег ACM102-C200T. Ее количество было выбрано из следующих условий.

Один слой препрега дает толщину 0,22 мм, отсюда следует, что на толщину 2 мм необходимо 9 слоев препрега. Расчеты ведутся аналогично кевларовой ткани, однако в данном случае не учитывается масса связующего, результаты сведем в таблицу 3.

Таблица 3

Таблица расчетов площадей и масс препрега

Материал	Наим. деталей	D, мм	x, мм	n	l, мм	S, м^2	$S_{пр}$, м^2	$S_{тр}$, м^2	$m_{тр}$, кг
Препрег, $\rho_{пр} =$ 200 г/м^2	Обтекатель	235	738	8	415	0,306	0,352	3,170	0,634
	Секция 1				285	0,210	0,242	2,177	0,435
	Секция 2				750	0,554	0,637	5,729	1,146
	Секция 3				450	0,332	0,382	3,437	0,687

Рассмотрим стоимость материалов, которые нам понадобятся для обтекателя из кевларовой ткани. Стоимость кевларовой ткани равна 3290 руб./ м^2. Обтекатель, площадь ткани которой равна $S_{тр} = 2{,}465$ м^2 обойдется в 8111 руб. Стоимость эпоксидной смолы равна 2010 руб./кг. Для обтекателя понадобится 0,545 кг смолы, отсюда следует, что она обойдется в 1095 руб. Итоговая стоимость обтекателя из кевларовой ткани обойдется в 9206 руб. [5] Аналогичные расчеты проведем для других секций и материалов.

Стоимости применяемых материалов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Стоимость материалов

Материал	Стоимость материала
Препрег	4000 руб./ м^2
Кевларовая ткань	3290 руб./ м^2
Углепластик	2190 руб./ м^2
Стеклопластик	418 руб./ м^2
Эпоксидная смола	2010 руб./кг

Результаты расчетов сведены в таблицу 5 расчета стоимости и массы выше указанных материалов.

Таблица 5

Расчет стоимости и массы КМ

Наименование деталей	Обтекатель, руб.	Секция 1, руб.	Секция 2, руб.	Секция 3, руб.	Итог, руб.
Кевларовая ткань/ Эпоксидная смола	8111/1095	5570/752	14659/1979	8796/1188	42150
Углеродная ткань/ Эпоксидная смола	6942/1274	4767/875	12545/2302	7528/1382	37615
Стеклоткань/ Эпоксидная смола	1177/2135	809/1466	2129/3859	1277/2315	15167
Препрег	12680	8708	22916	13736	58040

Для изготовления секций фюзеляжа из алюминиевых сплавов используются методы гибки на станках [3].

При гибки секций фюзеляжа из алюминиевых сплавов в качестве материала используется труба из листа Д16АМ. Для обтекателя будем использовать значения стеклоткани.

Вычислим площадь листа S для первой секции по формуле

$$S = x * l = 738 * 321 = 236898 \text{ мм}^2 = 0{,}237 \text{ м}^2$$

Также необходимо учесть припуски, поэтому вычислим площадь необходимого листа с учетом припуска $S_{\text{пр}}$:

$$S_{\text{пр}} = S + 0{,}15 * S = 0{,}237 + 0{,}15 * 0{,}237 = 0{,}272 \text{м}^2$$

Зная плотность и толщину листа Д16АМ, мы можем вычислить объем и массу самой секции.

$$V = S_{\text{пр}} * \delta = 0{,}272 * 0{,}002 = 0{,}0005 \text{ м}^3 ,$$

где -объем секции 1, $\delta = 0{,}002$ мм -толщина листа;

$$m_{\text{Д16АМ}} = V * \rho_{\text{Д16АМ}} = 0{,}0005 * 2780 = 1{,}512 \text{ кг},$$

где $m_{\text{Д16АМ}}$ −масса секции 1.

Аналогичные расчеты проведем для других секций и для ABS- пластика и результаты сведем в таблицу 6.

Таблица 6

Таблица расчетов площадей и масс алюминиевых сплавов и ABS- пластика

Материал	Наим. деталей	D, мм	x, мм	l, мм	S, м^2	$S_{\text{пр}}$, м^2	V, м^3	$m_{\text{секции}}$, кг
Д16АМ, $\rho_{\text{Д16АМ}} = 2{,}78$ г/см^3	Секция 1	235	738	278	0,237	0,272	0,0005	1,512
	Секция 2			765	0,650	0,748	0,0015	4,159
	Секция 3			451	0,384	0,442	0,0009	2,458
ABS-пластик, $\rho_{\text{Д16АМ}} = 1{,}05$ г/см^3	Секция 1	235	738	412	0,435	0,5	0,0010	1,059
	Секция 2			572	0,565	0,65	0,0013	1,377
	Секция 3			507	0,391	0,45	0,0009	0,967

Стоимость листа Д16АМ размером 2х1200х3000 мм равна 5550руб./лист, а гранул ABS- пластика-200 руб./кг.

Результаты расчетов сведены в таблицы 7 и 8 расчета стоимости и массы выше указанных материалов.

Таблица 7

Расчет стоимости и массы алюминиевых сплавов

№	Наименование деталей	Материал	Размеры листа	Масса, кг	Цена, руб
1	Обтекатель	Стеклоткань	-	0,817	1177
		Эпоксидная смола	-	1,162	2135
2	Секция 1	Д16АМ	2*320*850	1,512	364
3	Секция 2	Д16АМ	2*880*850	4,159	1000
4	Секция 3	Д16АМ	2*520*850	2,458	591

Таблица 8

Расчет стоимости и массы ABS- пластика

№	Наименование деталей	Материал	Масса, кг	Цена, руб
1	Обтекатель	Стеклоткань	0,817	1177
		Смола	1,062	2135
2	Секция 1	Гранулы	1,059	212
3	Секция 2	Гранулы	1,377	275
4	Секция 3	Гранулы	0,967	193

На основании полученных расчётных данных по цене материала и массы изготовленных из этого материала деталей фюзеляжа планера МБЛС проведём сравнительный анализ представленных в работе вариантов конструкций этого изделия с учётом прогнозируемых стоимостей оборудования, технологической оснастки и других факторов, характерных для соответствующих технологий. Для этого указанные выше данные по цене и массе сведем в общую таблицу (табл.9).

Таблица 9

Ценовые и массовые параметры деталей фюзеляжа МБЛС по вариантам

Материал	Масса, кг	Цена, руб
Препрег	10,43	68891
Кевларовая ткань	11,43	53001
ABS-пластик	12,13	14806
Углепластик	13,33	48466
Стеклопластик	16,13	26018
Алюминиевые сплавы	17,54	16118

Самым лёгким является фюзеляж, выполненный из препрега. Однако его материал является самым дорогим из предлагаемых в работе материалов. При этом технология изготовления его деталей- печное или вакуумное формование с последующим пост отверждением. Она предполагает затраты не только на технологическую оснастку, амортизацию и оборудование дорогостоящего автоклава или печи, но и существенные энергозатраты. Это делает указанный материал проекта МБЛС самым дорогостоящим. Но качество самого изделия при этом будет на самом высоком уровне в сравнении с другими вариантами, что окажет существенное влияние на его эффективность в работе, эксплуатации и обслуживании.

Использование КМ на базе кевларовой ткани дешевле вышеизложенного варианта (на 30%) и имеет незначительное превышение по массе (на 9,6%). При этом технология вакуумного формования их изготовления в разы сокращает затраты не только амортизацию оборудования, оснастки и производственных площадей, на используемые энергоресурсы.

Однако здесь имеет увеличение трудоёмкости изготовления деталей из КМ при выполнении технологический операций обрезки деталей по контуру после их формования из-за замохрений кевларовых нитей.

Стеклопластик- самый дешёвый из выбранных в работе КМ, однако по массе уступает им, что делает его использование менее эффективным в сравнении с указанными выше КМ в плане прежде все низких эксплуатационных характеристик МБЛС в целом.

Фюзеляж МБЛС из ABS- пластика является и дешёвым в производстве и имеет хорошие весовые параметры. Однако его длительная эксплуатация затруднена пониженному в сравнении с другими вариантами физико- механическими характеристиками самого материала. Однако оборудование и оснастка для производства деталей из него имеют высокую стоимость, но за счет высокой производительности (массовое производство) быстро окупаемо [2].

При этом для одноразовых эксплуатационных задач его эффективность по этим критериям не вызывает сомнений. Более того дорогостоящее оборудование и оснастка для производства таких деталей быстро окупаема за счёт их массового производства и при этом можно производить их качественно и в большом количестве.

Детали из алюминиевых сплавов (Д16АМ и др.) для производства секций фюзеляжа МБЛС достаточно дешевы, т.к. могут изготавливаться методом гибки на трех валковых гибочных машинах или на листогибочных машинах с эластичным валком, типа ЛГМЭ-1,6 и др.

К достоинствам такого типа варианта фюзеляжа МБЛС относятся длительные сроки эксплуатации и хранения.

Заключение

Подводя итоги вышеизложенных расчетов, можно сделать общие выводы по применяемым материалам:

1) КМ обладают минимальным весом и высокой прочностью, применяются в сложных конструкциях, максимальный срок службы, но требуют значительных финансовых ресурсов;

2) Алюминиевые сплавы сочетают в себе долговечность и ремонтопригодность, подходит для эксплуатации в агрессивных средах, применяется в таких отраслях, где вес не является основным параметром;

3) ABS-пластик - экономичный вариант, когда бюджет ограничен, технологичен, используется в местах, не подверженных воздействию высоких температур или открытому огню.

Для успешного проектирования необходим баланс технических и экономических факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Халиулин В.И., Шабалин Л.П.* Введение в технологию производства композитных конструкций: Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. Ун-та, 2017-103 с.

2. *Комаров Г.В.* Соединение деталей из полимерных материалов: Учебное пособие. - Спб.: Профессия, 2006- 592 с.
3. Алюминий и его сплавы: характеристика, свойства, применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ferrolabs.ru/blog/alyuminiy-i-ego-splavy/?ysclid=mb3qk02cd285352-2658 (дата обращения 26.06.2025).
4. Технологии изготовления композитов [Электронный ресурс]- Режим доступа: https://www.skb-077.ru/blog/post/composite? (дата обращения 30.06.2025).
5. Ткань, которая прочнее стали: история изобретения, виды и преимущества кевлара [Электронный ресурс].– Режим доступа: https://www.techinsider.ru/diy/5383-spasitel-zhizney-kevlar-prochneestali/-?ysclid=mb3qxh0nyl738770768 (дата обращения 24.06.2025).

OPTIMIZATION OF THE FUSELAGE DESIGN OF SMALL-SIZED UAVS: COMPARATIVE ANALYSIS OF COMPOSITE MATERIALS AND TRADITIONAL SOLUTIONS

Akhmetova Y.F.
Supervisor: Levshonkov N.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev — KAI, Kazan*)

Abstract. The intensive development of the small unmanned aerial systems (MBLS) market has recently been driven by their unique capabilities in the civil and military spheres, from monitoring extended facilities to point—to-point cargo delivery. However, the expansion of functionality runs into a key contradiction: the requirement to increase the payload (up to 30% of the mass of the device) is opposed by the need to minimize the weight of the structure. The fuselage, as the supporting element of the airframe, accounting for up to 40% of the mass of the MBLS, becomes a key optimization object.

УДК 623.746.4-519

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ УСТОЙЧИВОСТИ КВАДРОКОПТЕРА МАЛОЙ МАССЫ

Безрукова Е.Л., Иванова А.Е.
Научный руководитель: Белова С.Е., доцент, к. т. н.
(Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева, г. Рыбинск)

Аннотация. В докладе приводятся результаты исследования обтекания квадрокоптера потоком воздуха, влияние скорости потока на динамику квадрокоптера.

В настоящее время в различных сферах деятельности широко применяются квадрокоптеры. Эффективность работы квадрокоптера, выполнения им поставленных задач зависит во многом от его аэродинамической устойчивости [1]. Под аэродинамический устойчивостью следует понимать способность летательного аппарата сохранять заданный режим полета и возвращаться к заданному режиму после непроизвольного отклонения под воздействием кратковременных внешних возмущений [2].

Различают статическую и динамическую устойчивости летательных аппаратов. Статическая устойчивость предполагает восстановление нарушенного равновесия в начальный момент времени, динамическая – через некоторое время после прекращения действия возмущения.

Неустойчивость квадрокоптера в полете возникает как при простом поступательном движении вперед, так и при барражировании, при наклонах и разворотах на любых скоростях. При сильном порыве квадрокоптер начнет кренить в сторону. Боковой ветер создает неравномерное давление на пропеллеры и вызывает наклон квадрокоптера. Если

направление вектора скорости ветра совпадает с направлением реактивного момента, на квадрокоптер действует дополнительная сила, за счет которой он и теряет устойчивость в полете вплоть до падения.

Таким образом, существующие конструкции или имеют низкую устойчивость в полете, или большую массу с потерей вертикальной тяги и устойчивости при увеличении скорости.

На устойчивость квадрокоптера влияет ряд факторов: сила и направление ветра (набегающего или поперечного потока), масса самого квадрокоптера, особенности его конструкции [3].

Для изучения характера влияния перечисленных факторов предпринято экспериментальное исследование, в ходе которого квадрокоптеры разных конструкций и весовых категорий подвергались воздействию воздушного потока разной силы (скорости и давления в потоке).

Объектом исследования были квадрокоптеры «Пионер» (рис. 1) с массой 100 г. (без аккумуляторов – в режиме подвески к фланцу выходного сечения сопла аэродинамической трубы) и 127 г. – с аккумуляторами (в режиме барражирования). Квадрокоптер оснащен четырьмя одиночными воздушными винтами и четырьмя электродвигателями. Корпус квадрокоптера плоский, в плане представляющий собой усеченный с одной стороны овал.

Для создания равномерного воздушного потока применялся аэродинамический стенд – аэродинамическая труба (рис. 2) открытого типа, на различном расстоянии от среза выходного сопла которой барражировал квадрокоптер. Аэродинамическая труба с низконапорным вентилятором позволяла получить приведенную скорость потока в выходном сечении $\lambda = 0{,}09…0{,}1$ при избыточном давлении $P_и = 230…980$ Па.

Эксперимент проводился при атмосферном давлении B = 723 мм рт. ст. (96 392,07 Па) и температуре $T^*_в = 20$ C (293,15 K).

Рисунок 1. Внешний вид объекта исследования – квадрокоптера «Пионер»

Рисунок 2. Внешний вид элементов аэродинамической трубы – низконапорного вентилятора и успокоительного канала

Успокоительный канал аэродинамической трубы оснащен хонейкомбом с целью выравнивания потока – на срезе сопла поток имеет одинаковое давление в точках по всей площади. После стабилизации потока квадрокоптер поднимался на высоту, равную положению средней линии сопла аэродинамической трубы. При изменении скорости потока и расхода воздуха через трубу велась видео- и фотофиксация положения барражирующего коптера.

Анализ полученных видео- и фотоматериалов с фиксацией изменения положения квадрокоптера под влиянием набегающего продольного потока позволил сделать ряд важных выводов.

Несмотря на то, что квадрокоптер с целью стабилизации оснащен винтами левого правого вращения, под действием продольного потока при усилении его скорости до 5 м/с квадрокоптер отклоняется в горизонтальной плоскости (рыскает) сначала на угол до 60˚, а затем при росте скорости совершает вращательные движения в горизонтальной плоскости и падает.

В диапазоне скоростей от 1,5 до 4 м/с влияние продольного потока сказывается изменением угла тангажа от 10˚ до 45˚. Предполагая линейный характер зависимости угла тангажа от скорости набегающего продольного потока, можно получить график, приведенный на рис. 3. А предполагая экспоненциальный характер указанной зависимости, можно сделать прогноз поведения квадрокоптера при более высоких скоростях.

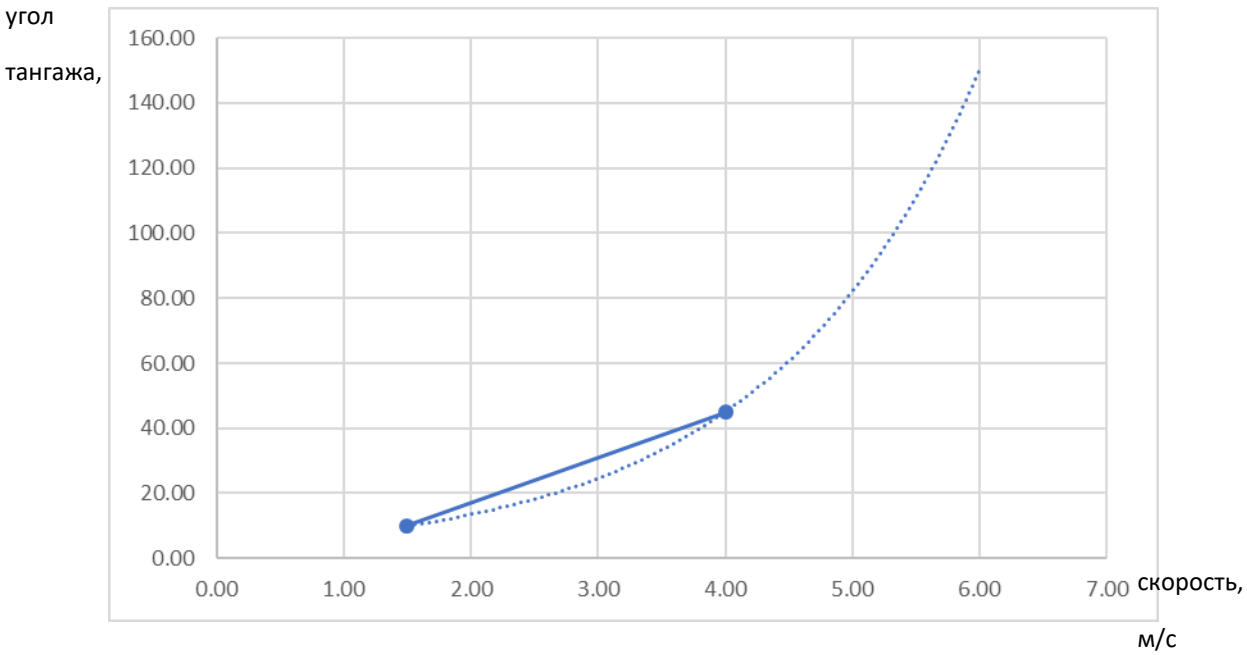


Рисунок 3. Зависимость угла тангажа квадрокоптера массой 127г. от скорости набегающего продольного потока

Анализ вышеприведенного графика позволяет сделать вывод о том, что с большой степенью вероятности для квадрокоптера массой 127 г. скорость набегающего потока более 5 м/с уже станет критической – квадрокоптер потеряет устойчивость и упадет.

С целью повышения аэродинамической устойчивости квадрокоптеров малой массы целесообразно предусмотреть конструктивные элементы, во-первых, снижающие вероятность рысканья под действием набегающего продольного потока, во-вторых, снижающие угол тангажа в этих условиях. Такими элементами может быть специальной формы киль на нижней части корпуса и спойлер на передней (носовой) части корпуса для отклонения потока вверх.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ликсо В.В.* Современная беспилотная техника. – М.: изд-во: АСТ (ОГИЗ), 2023, 192 с. ISBN: 978-5-17-158629-4.

2. *Гудым, В. М.* Динамика полета летательных аппаратов: учебник / В. М. Гудым. – Москва: Машиностроение, 2006. – 448 с. – ISBN 5-94275-243-9.

3. *Биард Р.У., Маклэйн Т.У.* Малые беспилотные летательные аппараты. Теория и практика. – М: Техносфера, 2022, 312 с. ISBN: 978-5-94836-393-6.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE AERODYNAMIC STABILITY OF A LOW-WEIGHT QUADROCOPTER

Bezrukova E.L., Ivanona A.E.

Supervisor: Belova S.E., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Rybinsk State Aviation Technical University named by P.A. Solovyov, Rybinsk)

Abstract. The report presents the results of a study of the airflow around a quadrocopter and the effect of airflow speed on the dynamics of the quadrocopter.

УДК 623.746.519

ИНТЕГРАЦИЯ НЕЙРОГАРНИТУРЫ С СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

Гурьев С.В., Степанченко К.В., Поздняков Т.Р.

Научный руководитель: Авершин А.А., подполковник, к. т. н.

(*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж*)

Аннотация. Статья посвящена разработке и экспериментальной оценке нейроинтерфейса для прямого управления беспилотными летательными аппаратами. Ключевой элемент исследования – анализ двух реализованных схем управления: "оператор – нейрогарнитура – микроконтроллер – БПЛА". Приведены результаты испытаний, демонстрирующие практическую применимость предложенного нейроинтерфейсного решения.

Введение

Несмотря на значительные достижения в области технологического прогресса, человеческий мозг остается самой мощной, уникальной и высокоскоростной вычислительной системой. В связи с этим, все более актуальными становятся исследования в области нейроинтерфейсов, которые обеспечивают возможность прямого взаимодействия человека с техникой, обходя традиционные интерфейсы ЭВМ. Нейроинтерфейс представляет собой систему обмена информацией между человеческим мозгом и электронными устройствами. Эта технология позволяет человеку взаимодействовать с внешней средой путем регистрации электрической активности мозга, в частности электроэнцефалографии (ЭЭГ). Изменения в сигналах ЭЭГ отражают намерения человека, а задача компьютера заключается в интерпретации этих данных [1].

Настоящая работа посвящена интеграции нейрогарнитуры с системой управления беспилотным летательным аппаратом (БПЛА) через микроконтроллер [2]. Данная система использует считываемые данные мозговой активности для управления движением БПЛА, обеспечивая возможность как дискретного, так и непрерывного контроля. Данное исследование относится к области нейротехнологий и робототехники, в частности к реализации систем управления на основе интерфейсов "мозг-компьютер" (BCI). Позволяет более детально рассмотреть вопросы интеграции электронных компонентов и микроконтроллеров для управления БПЛА.В исследовании рассматриваются перспективы и возможности использования нейропилотирования в авиационной отрасли, в частности в разработке комбинированных видов управления беспилотными летательными аппаратами.

Постановка задачи

Рассмотрим возможность применения программно-аппаратного прототипа для нейропилотирования в рамках реализации взаимодействия: оператор – нейрогарнитура – микроконтроллер – объект управления.

Целью работы является разработка нейроинтерфейса для управления беспилотным летательным аппаратом.

Разработка нейроинтерфейса для управления беспилотным летательным аппаратом

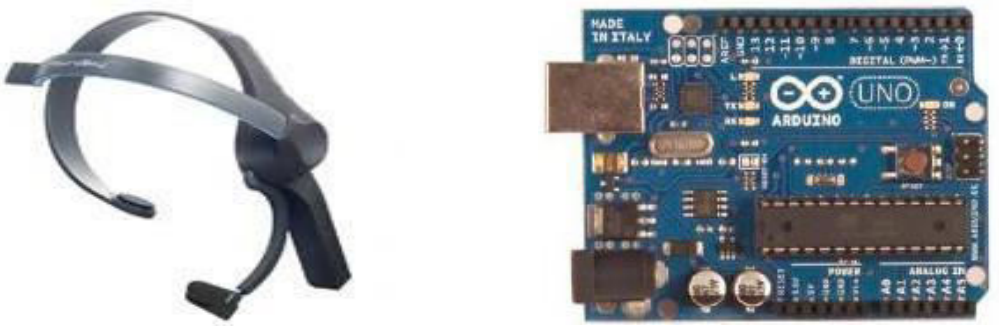
Работа по реализации нейроинтерфейса для управления беспилотным летательным аппаратом включала в себя три основных этапа:

– анализ и выбор существующих технологий и оборудования для реализации программной и аппаратной составляющих нейроинтерфейса;

– написание скриптинга для стабильного и быстрого обмена данными в системе: оператор – нейрогарнитура – микроконтроллер – объект управления;

– реализация процесса интеграции нейроинтерфейса с системой управления беспилотного летательного аппарата.

При разработке нейроинтерфейса для управления беспилотным летательным аппаратом использовалось современное программное обеспечение совместно с навыками в области программирования и робототехники. В качестве основных устройств взаимодействия при создании данного нейроинтерфейса использовалась нейрогарнитура «NeuroSky Mindwave Mobile» (рис. 1, *а*) и микроконтроллер Arduino Uno (рис. 1, *б*). Нейрогарнитура, оснащённая датчиками для считывания мозговой активности оператора, передаёт полученные данные на электронно-вычислительную машину (ЭВМ) с помощью беспроводного соединения типа Bluetooth. Эти данные включают в себя информацию о концентрации оператора и частоте моргания, которые анализируются и обрабатываются программой на ЭВМ. В результате обработки формируются два основных сигнала: уровень концентрации оператора и фиксация морганий. Полученные сигналы посредствам последовательного порта на микроконтроллер для дальнейшей обработки по разработанным алгоритмам, с целью реализации управления БПЛА.



а) б)

Рисунок 1. Нейрогарнитура NeuroSky и микроконтроллер Arduino Uno

Для написание скриптинга для стабильного и быстрого обмена данными в системе: оператор – нейрогарнитура – микроконтроллер – объект управления использовались языки программирования C ++ и Python. «Сырые» нейронные сигналы обрабатывались с целью удаления шумов и артефактов, которые могут возникать из-за внешних помех или движения. Для обработки электроэнцефалографических сигналов с использованием фильтров и алгоритмов для выделения релевантных паттернов, связанных с управлением движением или мысленными командами использовался специально разработанный программный код. Данный программный код обеспечил возможность мониторинга и управления сигналами, поступающими с головного мозга, что позволило осуществлять точный контроль над движением беспилотного летательного аппарата в пространстве. Сигналы, генерируемые нейрогарнитурой и регистрируемые электродами, анализировались в реальном времени. Это позволило выявлять и учитывать любые отклонения траектории беспилотного аппарата, адаптируя его движение в соответствии с поступающими нейронными сигналами. [3] Таким образом, обеспечивается высокоточная коррекция и поддержание стабильного положения летательного аппарата на основе нейрофизиологических данных, что открывает новые возможности для стабильного и быстрого обмена данными в системе: оператор – нейрогарнитура – микроконтроллер – объект управления.

В процессе интеграции нейроинтерфейса с системой управления беспилотным летательным аппаратом одну из ключевых ролей играет микроконтроллер. Управляющие команды, полученные с нейрогарнитуры, передаются на микроконтроллер, где они преобразуются в соответствующие сигналы для управления двигателями и другими исполнительными механизмами беспилотного летательного аппарата. Микроконтроллер выступает в роли промежуточного звена между нейроинтерфейсом и системой управления беспилотным аппаратом, обеспечивая надежное и точное исполнение команд.

Пульт управления беспилотным летательным аппарата, как правило, работает на

основе стандартных радиочастотных протоколов, таких как PWM (широтно-импульсная модуляция). Интеграция с пультом осуществляется таким образом, чтобы команды, поступающие с нейроинтерфейса через микроконтроллер, могли либо дополнять, либо полностью заменять команды с пульта. Для этого микроконтроллер должен быть запрограммирован на преобразование нейронных команд в формат, совместимый с сигналами, поступающими с пульта. Важно, чтобы система была способна одновременно по заданным алгоритмам обрабатывать входные данные от нейроинтерфейса и пульта, обеспечивая при этом согласованное управление [4,5].

В процессе управления беспилотным летательным аппаратом с помощью разработанного нейроинтрфейса важную роль играло наличие механизма обратной связи в реальном времени. Это позволило корректировать движение аппарата в реальном времени на основе поступающих данных с бортовых сенсоров, GPS, а также обновленные команды с нейроинтерфейса о его положении и окружающей среде.

В качестве эксперимента в исследовании были разработаны и протестированы две схемы управления БПЛА:

Схема управления на транзисторах (рис. 2): используется три транзистора, подключенных параллельно, каждый из которых контролирует один из каналов управления (поворот вокруг оси, движение по горизонтали, управление высотой). В зависимости от уровня сигнала, поступающего с пульта управления (низкий, средний, высокий), транзистор либо открывается, либо остаётся закрытым, имитируя положения джойстика пульта управления.

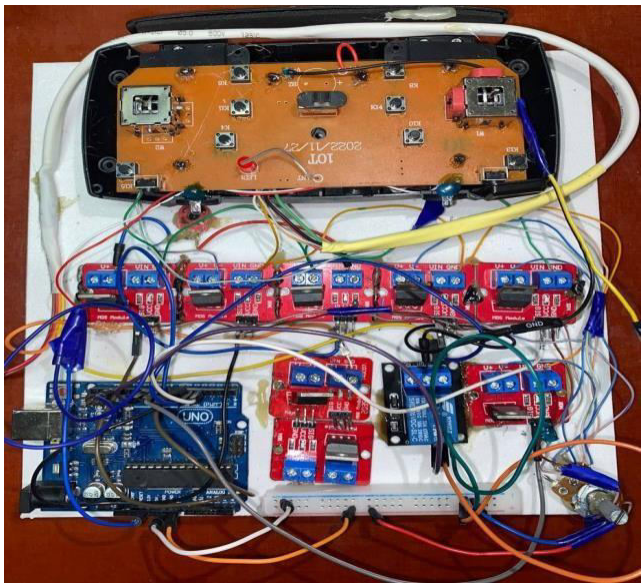


Рисунок 2. Схема управления на транзисторах

Эта схема характеризуется меньшей чувствительностью к колебаниям входного сигнала, но не позволяет осуществлять непрерывное управление, что может ограничивать точность выполнения сложных маневров.

Схема управления на сервоприводах (рис. 3): используются сервоприводы для имитации ручного управления пультом. Приводы изменяют сопротивление в цепи управления в соответствии с уровнем сигнала концентрации, поступающего от нейрогарнитуры. Этот вариант позволяет достичь непрерывного управления беспилотным летательным аппаратом, но является более подверженным колебаниям и помехам при передаче данных, что может негативно сказываться на стабильности работы системы.

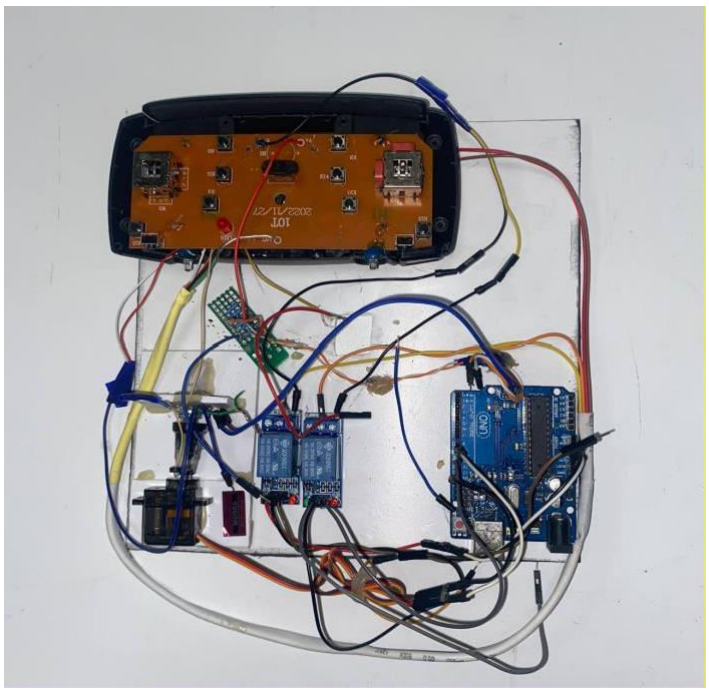


Рисунок 3. Схема управления на сервоприводах

Процесс функционирования разработанного нейроинтерфейса для управления беспилотным летательным аппаратом включает следующие основные этапы:

1. Считывание мозговой активности: Нейроарнитура MindWave Mobile фиксирует ЭЭГ сигналы, которые отражают состояние активности мозга.
2. Анализ данных: Сигналы обрабатываются программным обеспечением, которое извлекает ключевые параметры, такие как уровень внимания, медитации, моргание, активность альфа, бета и других волн.
3. Интерпретация сигналов: Программное обеспечение интерпретирует эти данные и преобразует их в управляющие команды.
4. Управление объектами: Полученные команды используются для нейропилотирования, где оператор, например, может управлять движением беспилотного летательного аппарата [6].

Разработанный нейроинтерфейс для управления беспилотным летательным аппаратом реализован двумя схемами взаимодействия: оператор – нейрогарнитура – микроконтроллер – объект управления. Исследование показало перспективность применения нейроинтерфейсов для управления БПЛА. Результаты практических испытаний программно-аппаратного прототипа для нейропилотирования и управления беспилотным летательным аппаратом свидетельствуют о высокой эффективности системы управления БПЛА с использованием нейротехнологий. Выявленные недостатки такого нейропилотирования устраняются посредствам разработки унифицированной схемы с устойчивыми алгоритмами обработки сигналов.

Выводы

Цель исследования достигнута – разработан нейроинтерфейс для управления беспилотным летательным аппаратом. Применений нейропилотирования открывает новые перспективы в авиационной отрасли в частности в разработке комбинированных видов управления беспилотными летательными аппаратами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Туровский Я.А., Харченко С.С., Мещеряков Р.В., Исхакова А.О., Исхаков А.Ю.* Алгоритмическое обеспечение интерфейса управления робот-человек при выделении зрительных вызванных потенциалов на основе многомерного индекса синхронизации //

Известия ЮФУ. Технические науки. 2020. С. 1. – С. 66-88.

2. Интерфейс мозг-компьютер. URL: http://neuro-botics.ru/neurophysiology/bci (дата обращения: 29.08.2024).

3. *Лобода Ю.О., Функ А.В.* Возможности использования нейроинтерфейсов в управлении мехатронными устройствами // Материалы Международной конференции «Когнитивная робототехника» (7–10 декабря 2016 г.) / Томский государственный университет. Томск, 2016. С. 178–183.

4. *Двухрядко Е.М.* Расчет модели управления роботизированным устройством с помощью нейроинтерфейса: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024617681 от 27.03.2024.

5. *Двухрядко Е.М.* Расчет модели передачи данных с нейрогарнитуры на микроконтроллер: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024616602 от 28.08.2023.

6. *Двухрядко Е.М., Дмитриев В.К., Поздняков Т.Р.* Разработка нейроинтерфейса для управления беспилотным летательным аппаратом // Сборник аннотаций конкурсных работ XVI Всероссийского межотраслевого молодёжного конкурса научно-технических работ и проектов «Молодёжь и будущее авиации и космонавтики». — М. Издательство Перо, 2024. С.124-125.

DEVELOPMENT OF A NEURAL INTERFACE FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE CONTROL

Guriev S.V., Stepanchenko K.V., Pozdnyakov T.R.

Supervisor: Avershin A.A., Lieutenant Colonel, Candidate of Engineering Sciences

(*Military Educational and Scientific Center of the Air Force "N.E. Zhukovsky and Yu.A.Gagarin Air Force Academy", Voronezh*)

Abstract. The article is devoted to the development and experimental evaluation of a neural interface for direct control of unmanned aerial vehicles. The key element of the study is the analysis of two implemented control schemes: "operator – neuroheadset – microcontroller – UAV". The test results demonstrating the practical applicability of the proposed neural interface solution are presented.

УДК 656.7

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДРОНОВ В ЛОГИСТИКЕ

Дорохова В.А., Солодухо А.А.

Научный руководитель: Стефанович Н.В., старший преподаватель

(*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*)

Аннотация. Будут рассмотрены перспективы применения дронов в цепочках поставок, описаны проблемы внедрения дронов и предложены варианты их решения.

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА или дрон) – воздушное судно, способное осуществлять полеты без участия пилота на борту. Степень автономности аппаратов варьируется от дистанционного управления до полностью самостоятельного функционирования [1].

Изначально созданные для развлекательных целей, дроны теперь оказывают огромную помощь компаниям в решении различных задач. Их активно используют в аэрофото- и видеосъемке, строительстве, поисково-спасательных операциях и горнодобывающей промышленности. Технология дронов может упростить цепочки поставок для предприятий, так как организация доставки на "последнем миле" всегда была трудной для логистических компаний, которые тратят значительные суммы на топливо и трудовые

ресурсы, составляющие 50% от общей стоимости доставки. В 2015 году компания FPS Distribution осуществила первую коммерческую доставку дронами в Шеффилде, Великобритания. Беспилотные летательные аппараты пригодны не только для перевозки, но и для управления запасами и комплектации заказов, особенно в сочетании с технологией сканирования. Использование дронов для наблюдения на крупных логистических центрах вполне разумно, поскольку открытые территории таких объектов трудно контролировать. Данное решение способствует улучшению безопасности, удобства контроля и сокращению расходов на охранный персонал, инфраструктуру видеонаблюдения, на реагирование и ликвидацию чрезвычайных происшествий.

Главным преимуществом применения дронов в логистике является способность доставлять грузы в труднодоступные места: сельские и горные районы, где стандартные маршруты небезопасны или невозможны. БПЛА позволят уменьшить время доставки, издержки на транспортировку, исключить возможные риски потери или порчи груза. Примером из практики является почтовая служба Великобритании Royal Mail, которая тестирует доставку дронами для улучшения доступности в отдаленных районах. В 2021 году дроны были задействованы для перевозки почты между Киркуоллом и Норт-Роналдсеем в Шотландии для укрепления связей изолированных сообществ и снижения углеродных выбросов.

Воздействие электрических дронов на окружающую среду незначительное по сравнению с обычными средствами доставки, из-за низкого потребления энергии и нулевых выбросов углерода. Беспилотники могут способствовать снижению шумового загрязнения в жилых районах, что особенно актуально при доставке ночью. БПЛА не создают нагрузки на дорожное покрытие, тем самым способствуя снижению углеродного следа. Дроны позволяют организовать доставку в экологически чувствительных зонах, где запрещено движение автотранспорта: в заповедниках, национальных парках или охраняемых территориях. Беспилотники – экологичная альтернатива обычным видам транспорта, которая предполагает переход к устойчивой логистике.

Дроны позволяют оперативно доставлять грузы, что особенно важно в экстренных ситуациях – при передаче лекарств, медицинского оборудования, образцов крови и других биоматериалов. Благодаря возможности облетать пробки, разрушенные дороги и другие препятствия, они незаменимы при доставке в труднодоступные районы. В Швеции, США и Канаде дроны уже используются для срочной доставки дефибрилляторов пациентам с сердечными приступами, а также для снабжения пунктов первой помощи в зонах стихийных бедствий – при наводнениях, землетрясениях, пожарах и в горной местности, где каждая минута может спасти жизнь. В 2024 году в Шотландии был запущен проект CAELUS, ориентированный на создание национальной сети доставки дронами для транспортировки органов, медикаментов и медоборудования. В рамках проекта успешно протестированы полеты между медицинскими учреждениями Edinburgh BioQuarter и Borders General Hospital: время доставки лабораторных образцов удалось сократить с 5 часов до 35 минут [2].

Преимуществом дронов является то, что они не заменяют обычные транспортные средства, а дополняют их, расширяя возможности традиционных логистических решений и создавая более гибкую и адаптивную систему доставки. Данная перспектива объясняется тем, что для крупногабаритных грузов традиционный транспорт остается наиболее экономичным вариантом, а беспилотники становятся выгодными только при определенных условиях: высокой срочности, небольшой массе, коротких расстояниях. Они могут перехватывать груз от другого вида транспорта в случае отсутствия вариантов подъезда к пункту назначения, при необходимости ускорения доставки на финальном этапе и стремлении к уменьшению затрат на транспортировку.

Благодаря возможности быстрой доставки малогабаритных грузов, дроны могут быть эффективны не только для прямых поставок, но и для организации обратной логистики: возврата товаров от клиентов или передачи документов между офисами и складами. Это актуально в сегменте e-commerce, где уровень возвратов может достигать 20-30%.

Беспилотники в данном случае обеспечат рост уровня лояльности клиентов за счет быстрой реакции на запрос о возврате, контакта без участия человека, повышения конфиденциальности [3].

Дроны легко интегрируются с цифровыми системами, такими как ERP, WMS, CRM, GPS-мониторингом. Это позволяет компаниям в реальном времени отслеживать перемещение товаров, получать аналитику и оптимизировать логистические процессы. Для обеспечения интеграции можно использовать облачные платформы, интернет вещей (IoT), API и SDK (интерфейсы программирования и комплекты разработчика, которые предоставляются производителями дронов для подключения к IT-системам компании). С учетом быстрого развития технологий актуальной задачей является обеспечение взаимодействия дронов с искусственным интеллектом для автономного принятия решений на основе состояния внешней среды.

Несмотря на многообещающие возможности использования дронов в логистике, существуют весомые барьеры для их широкого внедрения. Существенным препятствием является необходимость получения одобрения от разных инстанций: советов директоров, инженеров и органов авиационного надзора, для использования беспилотных систем доставки. Каждому дрону нужно конструировать план полета и проводить тщательную проверку безопасности перед взлетом, что вызывает вопросы о практической реализации этих процедур для беспилотных аппаратов. Это приводит к сложностям в законодательном регулировании и классификации дронов. Решением может стать разработка специализированного свода законов, регулирующих только деятельность беспилотных летательных аппаратов [4].

Следующей проблемой применения дронов в логистике является их небольшая грузоподъемность. Это значит, что данные устройства способны доставлять лишь относительно легкие грузы. Проблема небольшой грузоподъемности является в данном случае существенной, так как в логистической деятельности довольно важным аспектом является обеспечение доставки тяжелых, объемных грузов. Данная ограниченность беспилотников содействует их узконаправленности по сравнению с другими видами транспорта. Проблема может быть решена только совершенствованием устройства дронов.

Беспилотные летательные аппараты очень чувствительны к любому изменению погодных условий. Например, в странах с дождливым климатом применять данную технологию станет крайне сложной задачей. Выпадение осадков может оказать влияние не только на работу дрона, но и на сохранность доставляемого им груза. Сокращение времени полета и дальности полета из-за ограниченной емкости аккумулятора является серьезной проблемой для полноценного применения беспилотных летательных аппаратов. Если традиционные виды транспорта имеют относительно дронов большой запас топлива, электроэнергии, керосина, то дрон за счет своих габаритов не может иметь достаточно мощный аккумулятор для того, чтобы обеспечить высокую дальность полета. Вариантом решения является совершенствование устройства дронов.

Отсутствие инфраструктуры для приема и зарядки дронов является серьезным препятствием в процессе их внедрения. Развитие инфраструктуры нужно для создания полноценной системы доставки дронами. В подобную инфраструктуру должны быть включены специальные площадки для посадки и зарядки беспилотных летательных аппаратов. Все это требует крупных инвестиций в проектирование и строительство новых объектов, в частности в сельских и отдаленных районах. Решением проблемы является разработка специализированных станций для зарядки дронов и использование существующих инфраструктурных объектов, например, складов, сельских пунктов выдачи [5].

Традиционные системы доставки используют курьеров, которые лично доставляют посылку клиенту или опускают ее в почтовый ящик, что является крайне безопасным вариантом. Однако это невозможно при использовании технологии беспилотных летательных аппаратов, так как они могут лишь сбрасывать посылку на относительно

открытой местности. А если это не частный дом, а квартира, то доставка становится и вовсе невозможной. В будущем решить данный вопрос может помочь система автоматического распознавания лиц, что позволит доставить посылку конкретному клиенту без риска утраты посылки.

Беспилотные летательные аппараты – перспективное направление в развитии логистики, способное значительно повысить ее эффективность, экологичность и оперативность. Несмотря на многочисленные преимущества, внедрение дронов в цепь поставок связано с рядом технических, нормативных и эксплуатационных ограничений. Решение этих задач требует совершенствования технологий, разработку специализированного законодательства и создания комплексной инфраструктуры. В будущем дроны смогут дополнить традиционные виды транспорта, формируя гибкую и устойчивую систему доставки, особенно в условия роста электронной коммерции и необходимости ускорения логистических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Беспилотный летательный аппарат – Википедия. – Текст: электронный – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспилотный_летательный_аппарат (дата обращения: 02.06.2025).

2. Maryline Lakh. The use of drones in delivery routes: opportunities and challenges // January 17, 2025.

3. Логистика e-commerce: ключевые тренды и решения – KursHub. – Текст: электронный – URL: https://kurshub.ru/journal/blog/logistika-e-commerce-kak-spravitsya-s-novymi-vyzovami/ (дата обращения: 06.06.2025).

4. Использование дронов в логистике | Беспилотники в логистике – 4logist – Текст: электронный – URL: https://www.4logist.com/ru/blog/drony-v-logistike (дата обращения: 12.06.2025).

5. Analyzing the Challenges to Adoption of Drones in the Logistics Sector: Business and Economics Research Journal // February 25, 2023. Page 227 – 238.

PROBLEMS AND PROSPECTS OF USING DRONES IN LOGISTICS

Dorokhova V.A., Solodukho A.A.

Supervisor: Stefanovich N.V., Senior Lecturer

(*Belarusian National Technical University, Minsk*)

Abstract. The article will consider the prospects of using unmanned aerial vehicles in supply chains, describe the problems of introducing drones and suggest ways to solve them.

УДК 623.76:629.58

ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫЙ НЕОБИТАЕМЫЙ ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ С ФЕРМЕННОЙ РАМОЙ И СИСТЕМОЙ ЖИДКОСТНОЙ БАЛЛАСТИРОВКИ

Земдиханов А.А.

Научный руководитель: Гусев А.Л., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена разработке конструкции малогабаритного телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (МТПА), предназначенного для мониторинговых и исследовательских работ. Рассматривается инновационная ферменная рама с герметичными полостями, предназначенными для жидкостной балластировки. Описываются принцип работы системы балластировки, конструктивные особенности аппарата и его преимущества, такие как упрощение процесса настройки плавучести, снижение энергопотребления и повышение адаптивности при установке навесного

оборудования. Особое внимание уделено технико-экономическим преимуществам применения данной разработки.

Введение

Современная подводная робототехника предъявляет высокие требования к маневренности, автономности и адаптивности аппаратов. Одной из ключевых проблем при эксплуатации МТПА является необходимость частой балластировки при изменении конфигурации полезной нагрузки, что отнимает значительное время и ресурсы. Существующие конструкции [1, 2, 3, 4] часто имеют сложную систему крепления дополнительных грузов или поплавков, что увеличивает массу, сложность и дороговизна эксплуатации. Целью данной работы является разработка и описание конструкции МТПА с интегрированной системой жидкостной балластировки, встроенной в несущую ферменную раму, что позволяет оперативно компенсировать изменения веса и центра масс, что позволит улучшить гидродинамические свойства [5-10].

Конструкция и принцип работы разработанного МТПА

Решением указанных проблем является разработанный телеуправляемый необитаемый подводный аппарат, ключевой особенностью которого является ферменная рама особой конструкции. Основой аппарата служит несущая пластина (1), выполненная в виде герметичной пустотелой ферменной конструкции. Она состоит из центрального кольца и трех балок с изолированными друг от друга полостями (14), образующими короб для размещения балластной жидкости. Конструкция рамы рассчитана на выдерживать давление на рабочей глубине. Полости имеют закрываемые отверстия для залива (12) и слива (13) жидкости.

К раме крепятся:

- Два носовых (2) и один кормовой (3) поворотные движители с реверсом тяги.
- Верхняя (4) и нижняя (5) акриловые полусферы, образующие герметичный бокс электроники (6).
- Узлы поворота движителей (7), связанные с движителями валами (8), проходящими через полости рамы в герметичных трубках.
- Навесное оборудование: видеокамеры (10) и осветительные приборы (11).

Судовая часть включает блок питания (16), монитор (17) и блок управления (18), соединенные с аппаратом кабелем связи (15) нейтральной плавучести.

Таблица 1

Основные элементы конструкции

Поз.	Наименование элемента	Функция и особенности
1	Несущая пластина (рама)	Ферменная конструкция с герметичными полостями для балластной жидкости. Основа аппарата.
2, 3	Движители	Поворотные движители с реверсом тяги. Обеспечивают движение и маневренность.
4, 5	Полусферы	Образуют герметичный бокс электроники и плавучести.
6	Бокс электроники	Размещение управляющей аппаратуры.
7	Узел поворота движителя	Обеспечивает изменение вектора тяги движителей для управления направлением движения аппарата (курсом, глубиной, креном).
8	Вал	Передает крутящий момент от узла поворота (7) к движителю.
9	Герметичная крышка	Обеспечивает доступ к электронному оборудованию внутри бокса (6) и служит платформой для крепления внешних приборов (10, 11).

10	Видеокамера	Основной инструмент визуального мониторинга и навигации. Передает оператору изображение подводной среды.
11	Осветительный прибор	Обеспечивает подсветку подводной среды для работы видеокамер в условиях недостаточной видимости.
12,13	Крышки заливная/сливная	Обеспечивают герметичный доступ к полостям для балластировки.
14	Короб для балластной жидкости	Полости в раме для размещения балластной жидкости.
15	Кабель связи	Обеспечивает передачу электроэнергии от судового блока питания (16) к аппарату и двустороннюю передачу данных (управление, телеметрия, видео).
16	Блок питания	Преобразует напряжение судовой сети и обеспечивает электропитание всего комплекса: аппарата, блока управления и монитора.
17	Монитор	Отображает видеоинформацию с камер аппарата, данные телеметрии (глубина, курс, заряд батареи) для оператора.
18	Блок управления	Основной пульт оператора для управления движением аппарата и его навесным оборудованием (камерами, манипуляторами).
19	Камера или светильник	Обозначение дополнительного (навесного) оборудования, которое может быть установлено на аппарат для выполнения задач.
20	Балластная жидкость	Компенсирует изменения веса и центра масс аппарата для обеспечения нейтральной плавучести и требуемой ориентации в воде.

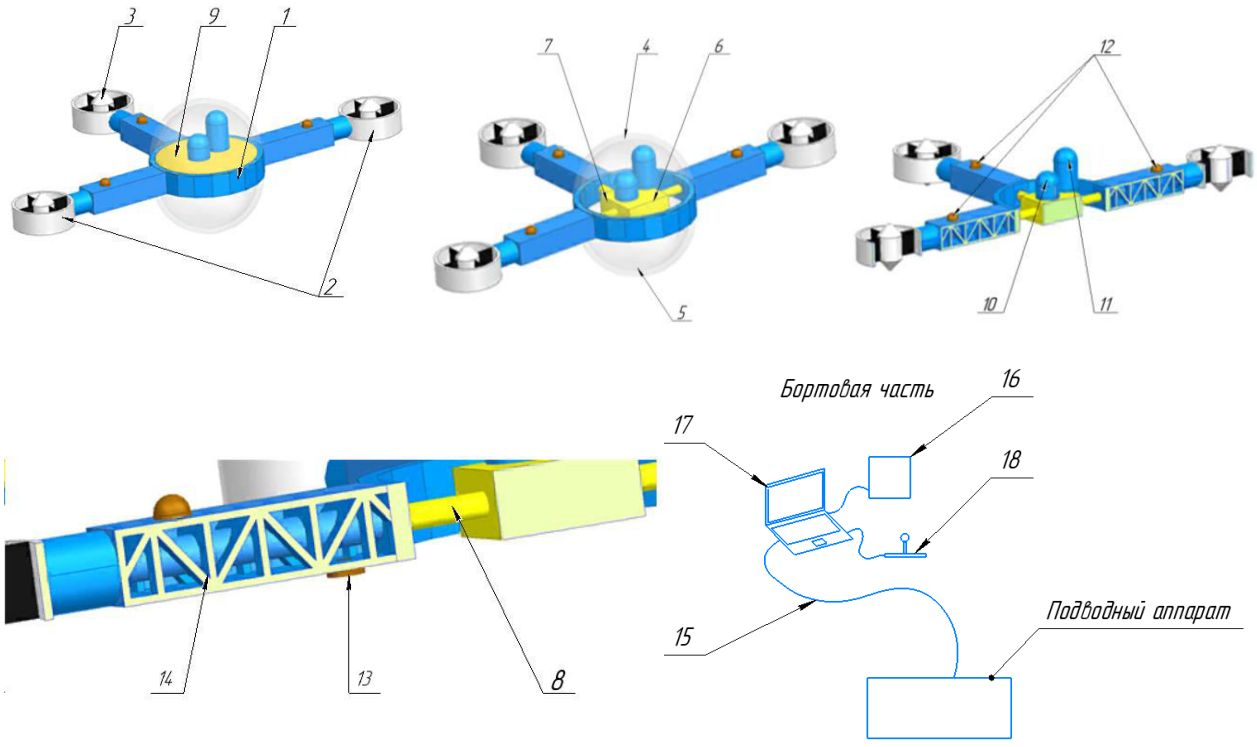


Рисунок 1. Схемы с проставленными позициями

Принцип работы системы балластировки

Технология балластировки заключается в заполнении герметичных полостей рамы жидкостью заданной плотности для компенсации разницы массы и центра тяжести аппарата.

1. **Базовая настройка:** После сборки аппарата и установки основного оборудования производится его первичное взвешивание и определение центра масс. Для достижения нейтральной плавучести и требуемой ориентации (отсутствия крена и дифферента) полости рамы заполняются балластной жидкостью (например, пресной водой или рассолом определенной плотности).
2. **Адаптация под нагрузку:** При установке дополнительного оборудования (например, камеры (19)) его масса и точка крепления нарушают исходную балансировку.
3. **Компенсация:** Для компенсации разницы производится перераспределение балластной жидкости между полостями или ее замена на жидкость с другой плотностью. Например, если правый бок аппарата стал тяжелее, в соответствующую полость можно залить жидкость с меньшей плотностью (например, спирт) для создания дополнительной сила плавучести и выравнивания крена.

Данная система позволяет гибко и точно регулировать плавучесть и остойчивость аппарата без необходимости механического крепления и демонтажа твердых грузов.

Преимущества и перспективы использования

Разработанная конструкция обладает рядом преимуществ:

1. **Гибкость и оперативность настройки:** Система жидкостной балластировки позволяет быстро адаптировать аппарат к изменению конфигурации полезной нагрузки, сокращая время подготовительных работ.
2. **Повышение энергоэффективности:** Точная балансировка снижает потребление энергии, необходимый для удержания аппарата на глубине и компенсации кренящих моментов движителями.
3. **Упрощение конструкции:** Интеграция системы балластировки в несущую раму устраняет необходимость во внешних кронштейнах и креплениях для грузов, что снижает массу и упрощает конструкцию.
4. **Улучшение гидродинамических характеристик:** Рациональная компоновка и отсутствие выступающих элементов уменьшает сопротивление воды при движении.
5. **Снижение стоимости эксплуатации:** Сокращение времени настройки, снижение энергопотребления и упрощение обслуживания ведет к уменьшению эксплуатационные расходы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Патент RU 205521 U1 «Малогабаритный автономный необитаемый подводный аппарат с изменяемым вектором упора винта». Опубл. 19.07.2021.
2. Патент RU 203080 U1 «Малогабаритный телеуправляемый необитаемый подводный аппарат с раздельным управлением движителей». Опубл. 19.07.2021.
3. Патент RU 212707 U1 «Малогабаритный телеуправляемый необитаемый подводный аппарат из композиционных материалов». Опубл. 03.08.2022.
4. Патент RU 225953 U1 «Малогабаритный телеуправляемый необитаемый подводный аппарат сферической формы с композитной рамой». Опубл. 14.05.2024.
5. *Фёдоров Ю.Н., Васильев Г.Н.* Подводные робототехнические комплексы. – СПб.: Судостроение, 2018. – 320 с.
6. *Левшонков Н.В.* Определение основных проектных параметров системы стабилизации длинномерной буксируемой косы со специальными автоматическими стабилизаторами / Н.В. Левшонков, А.Л. Гусев // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 3-1(41). – С. 28-33.
7. *Гусев А.Л.* О расчёте динамических характеристик движения сейсмической косы / А.Л. Гусев, Е.А. Першин // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2018. – № 56. – С. 28-36.

8. *Левшонков Н.В.* О методике проектировочного расчета площади крыла / Н.В. Левшонков, А.Л. Гусев, А.А. Крылосова // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 1-1(47). – С. 50-54. – DOI 10.37220/MIT.2020.47.1.023.

9. *Левшонков Н.В.* О расчете колебаний в системе привязной подводный аппарат - кабель -трос / Н.В. Левшонков, А.Л. Гусев, А.А. Крылосова // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2020. – № 1. – С. 60-65.

10. *Гусев А.Л.* Исследование гидродинамических характеристик элементов системы отведения многоразмерной сейсмической косы / А.Л. Гусев, Е.А. Першин // Научные проблемы водного транспорта. – 2023. – № 75. – С. 27-35.

A TELEOPERATED UNMANNED UNDERWATER VEHICLE WITH A TRUSS FRAME AND LIQUID BALLAST SYSTEM

Zemdikhanov A.A.

Supervisor: Gusev A.L., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article is devoted to the design of a small teleoperated unmanned underwater vehicle (UUV) for monitoring and research work. An innovative truss frame with sealed cavities for liquid ballasting is considered. The principle of operation of the ballast system, design features of the vehicle, and its advantages are described, such as simplifying the buoyancy adjustment process, reducing energy consumption, and improving adaptability when installing payload equipment. Special attention is paid to the technical and economic benefits of this development.

УДК 629.735

ИССЛЕДОВАНИЕ КАСКАДНОЙ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРОМ С АКТИВНЫМ ПОДАВЛЕНИЕМ ВОЗМУЩЕНИЙ

Ли Л.

Научный руководитель: Файзутдинов Р.Н., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассматривается каскадная структура управления квадрокоптером, включающая контуры управления с активным подавлением возмущений (ADRC) и с ПИД-регулятором, обеспечивающая достаточно точное отслеживание траектории и подавление внешних возмущений.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) – это небольшие летательные аппараты, дистанционно управляемые с помощью электронных схем управления и беспроводных устройств и не требующие присутствия пилота на борту летательного аппарата [1]. По сравнению с самолетами общего назначения БПЛА имеют такие преимущества, как низкая стоимость, простота конструкции, легкость производства и обслуживания, при этом они являются беспилотными, что позволяет легко устанавливать оборудование и вооружение, эффективно выполнять поставленные задачи. БПЛА становятся все более популярными для решения широкого круга задач, таких как военная разведка, коммерческая доставка грузов и аэрофотосъемка. В военном деле БПЛА благодаря хорошей скрытности и точности могут выполнять задачи разведки на поле боя [2], обнаружения и локализации целей [3], постановки электронных помех [4], получения разведданных и огневой поддержки.

Несмотря на все преимущества БПЛА, сохранение их устойчивости и управляемости остается одной из главных проблем. Во-первых, БПЛА-квадрокоптер имеет четыре управляющих входа, но шесть степеней свободы. В результате динамика БПЛА описывается нелинейной системой с дефицитом управления и сильными перекрестными связями между

каналами; во-вторых, движение БПЛА сопровождается различными возмущениями, такими как сильный ветер, турбулентность, шумы датчиков, поэтому существующие модели динамики БПЛА часто оказываются недостаточно точными. Для решения этой проблемы в качестве перспективного подхода, позволяющего обеспечить устойчивость и безопасность БПЛА, стало использование робастного управления, способного эффективно справляться с различными неопределенностями и возмущениями.

В данной исследовательской работе для управления квадрокоптером используется каскадная структура, включающая регуляторы с активным подавлением возмущений (ADRC) и ПИД-регуляторы для обеспечения качества отслеживания опорной траектории и подавления возмущений. Структура управления показана ниже на рисунке 1.

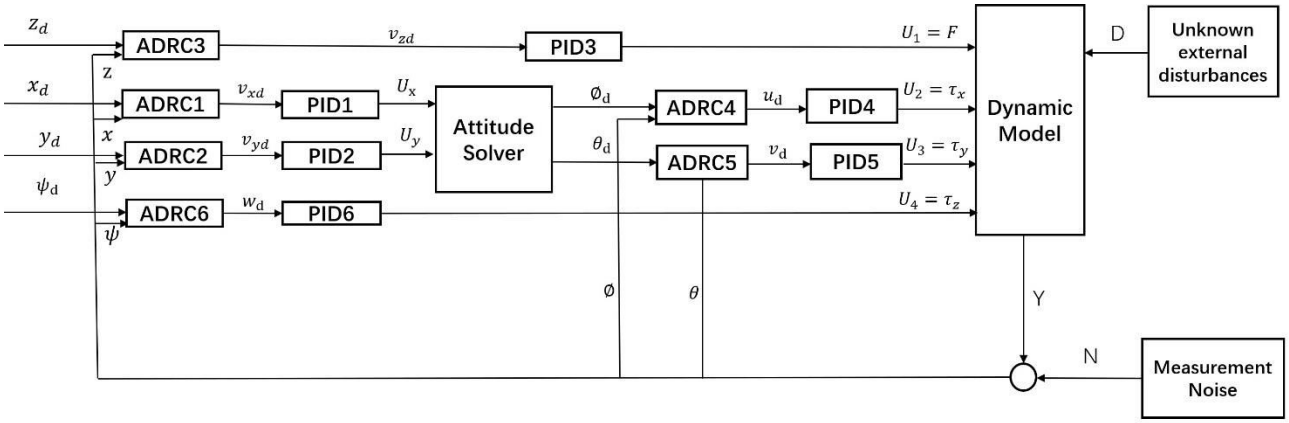


Рисунок 1. Структура системы управления квадрокоптером

Математическая модель динамики квадрокоптера имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
\ddot{x} &= \frac{U_1}{m}(cos\psi \sin\theta cos\phi + sin\psi \sin\phi),\\
\ddot{y} &= \frac{U_1}{m}(sin\psi \sin\theta cos\phi - cos\psi \sin\phi),\\
\ddot{z} &= \frac{U_1}{m}\cos\theta cos\phi - g,\\
\ddot{\theta} &= \frac{-(J_{yy}-J_{zz})\dot{\theta}\dot{\psi}}{J_{xx}} + \frac{lU_2}{J_{xx}},\\
\ddot{\gamma} &= \frac{-(J_{zz}-J_{xx})\dot{\psi}\dot{\phi}}{J_{yy}} + \frac{lU_3}{J_{yy}},\\
\ddot{\varphi} &= \frac{-(J_{xx}-J_{yy})\dot{\phi}\dot{\theta}}{J_{zz}} + \frac{U_4}{J_{zz}},
\end{aligned} \tag{1}$$

где x, y, z – координаты поступательного движения БПЛА в земной системе координат; ϕ, θ, ψ – углы крена, тангажа и рысканья, соответственно; U_1 – суммарная сила тяги от всех пропеллеров квадрокоптера; U_2, U_3, U_4 – управляющие моменты по крену, тангажу и рысканию, соответственно; J_{xx}, J_{yy}, J_{zz} – главные моменты инерции корпуса квадрокоптера; m – масса квадрокоптера; g – ускорение силы тяжести; l – расстояние от центра рамы квадрокоптера до осей вращения пропеллеров.

Параметры квадрокоптера приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры квадрокоптера

Параметры	Значение	Единица
m	1.4	kg
l	0.225	m
g	9.8	m/s^2
J_{xx}	0.0211	$kg.m^2$
J_{yy}	0.0219	$kg.m^2$
J_{zz}	0.0366	$kg.m^2$

Численные расчеты проводились с использованием программной системы MATLAB 2023a. На рисунках 2-4 показаны реакции системы на единичные скачки по координатам *x*, *y* и *z*. В моменты времени *t* =20 с для координаты *z* и *t*=25 с для горизонтальных координат, на аппарат подается возмущение.

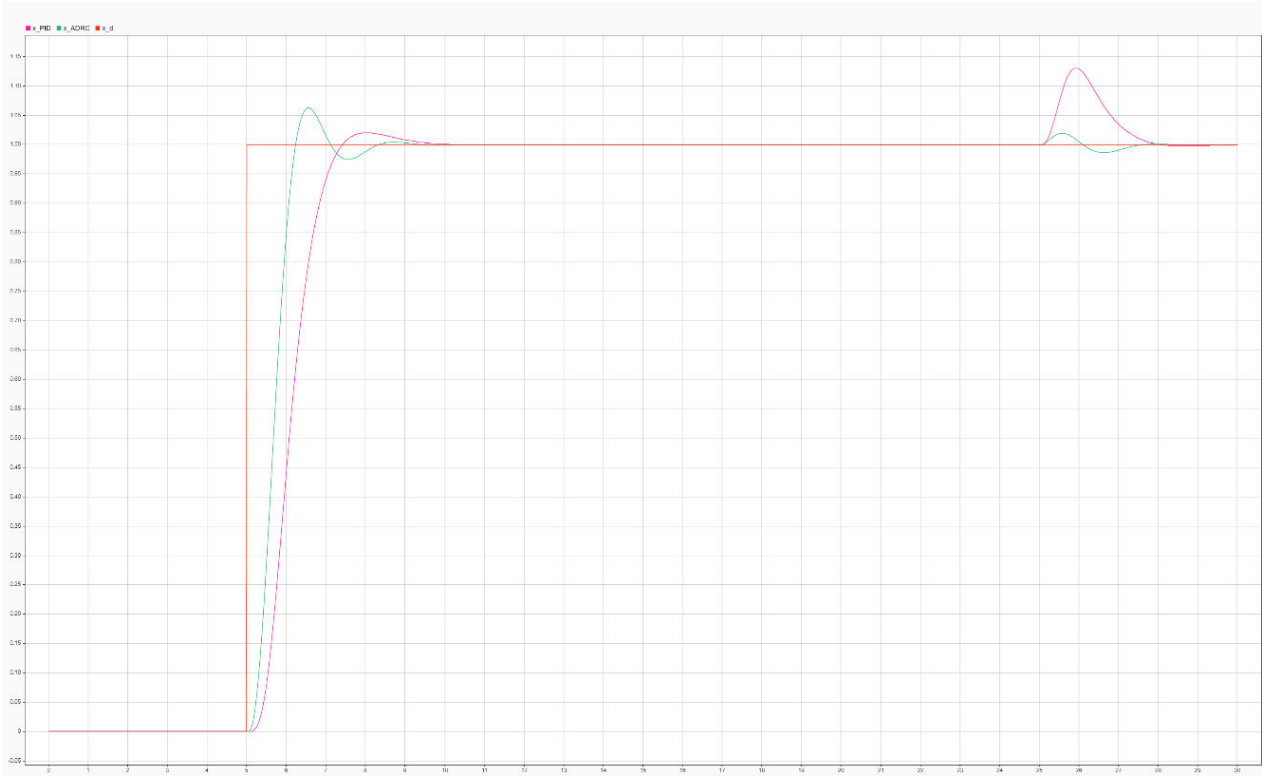


Рисунок 2. Реакция на единичный скачок по оси *x*

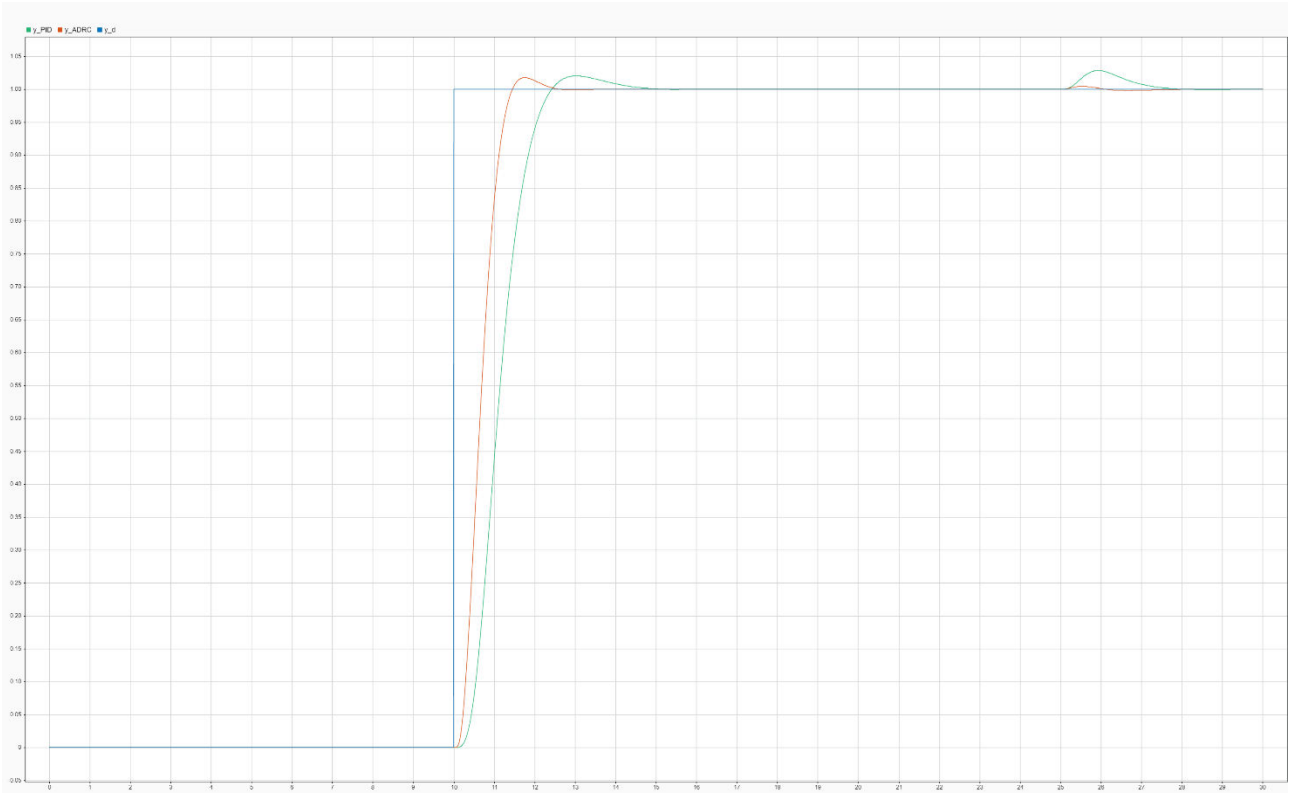


Рисунок 3. Реакция на единичный скачок по оси *y*

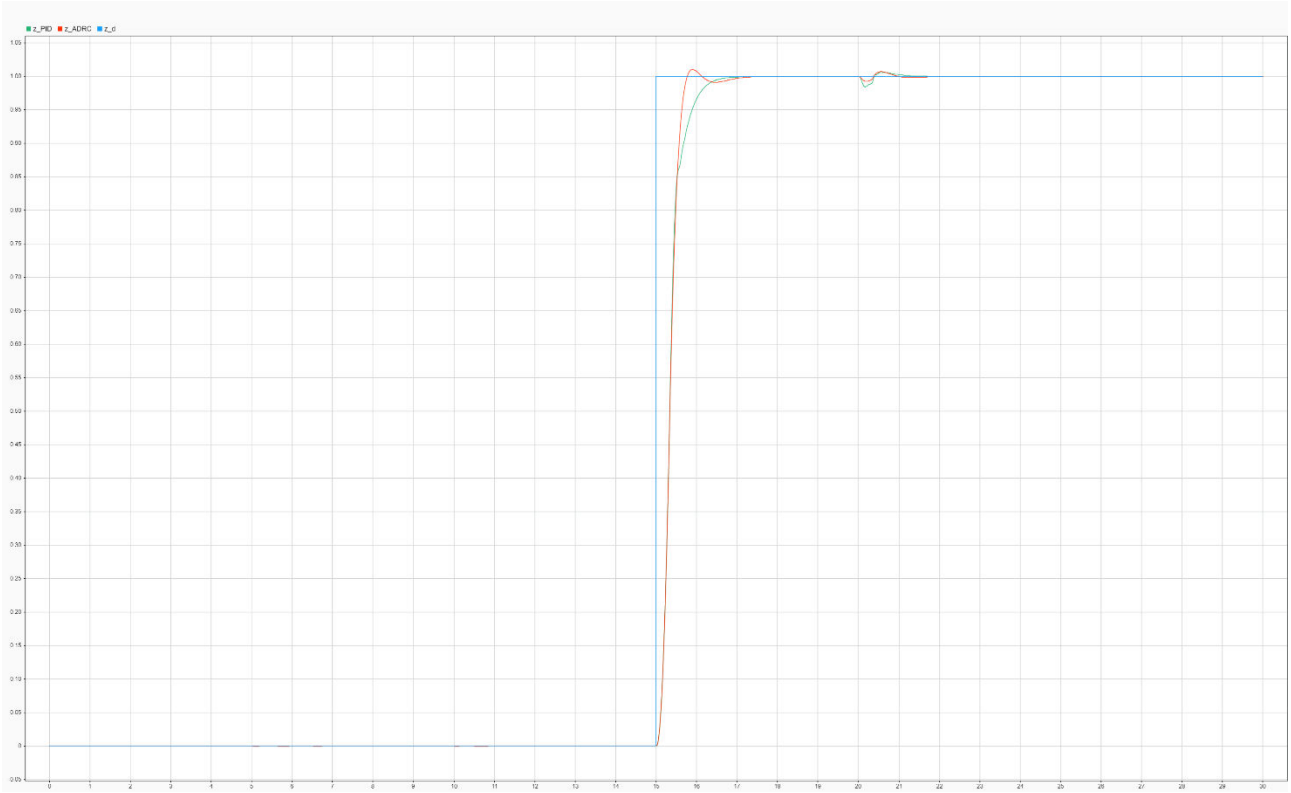


Рисунок 4. Реакция на единичный скачок по оси *z*

Из рисунков видно, что использование предложенной каскадной структуры управления с ADRC регуляторами и ПИД регуляторами обеспечивает хорошее отслеживание траектории и подавления возмущений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Chen Zhenpeng.* Microminiature quadrotor trajectory planning and tracking research // Wuhan University of Science and Technology. 2017.

2. *Liu Min*. Low-speed quadrotor attitude control research // Tianjin University of Technology. 2016.

3. *Ma Liang, Yang Wankou, Mu ZhaoXu.* Quadrotor UAV target tracking system design // Control Engineering, 2015, 22(6):1076-1081.

4. *Shen Wenliang, Zhang Zhuohong.* Drones in electronic countermeasures // Ship Electronic Countermeasures, 2013, 36(6):14-18.

STUDY OF CASCADE ADRC-PID CONTROL STRUCTURE FOR QUADROTOR

Li L.

Supervisor: Fayzutdinov R.N., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences,

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In this paper, a new cascade control structure is proposed for quadcopter. Active disturbance rejection control (ADRC) and PID control are combined to achieve better trajectory tracking and anti-jamming performance.

УДК 629.735.45

РАЗРАБОТКА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ВЕРТОЛЁТНОГО ТИПА ВЗЛЁТНОЙ МАССОЙ ДО 30КГ

Отетлеев К.К.

Научный руководитель: Гарипова Л.И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Настоящая работа посвящена проектированию винтокрылого летательного аппарата (ВКЛА) с комплексным анализом массогабаритных, аэродинамических и компоновочных параметров. В исследовании систематизирована методика последовательного расчета, включая определение взлетной массы, геометрических характеристик несущего винта и положения центра масс.

При проектированиях ВКЛА первоначально выполняется массовый расчет, для более рационального и обоснованного выбора и оценки параметров и характеристик проектируемого ВКЛА. В основу методики положен принцип последовательных приближений, позволяющий учесть взаимное влияние параметров конструкции. Для проведения расчета используются прототипы ВКЛА, от чьих показателей будем проводить дальнейшие расчеты.

Таблица 1

Аналоги-прототипы ВКЛА

Прототипы	Взлетный вес, кг	Мощность двигателя, л.с.	Диаметр НВ, м	Длина, м	Окружная скр.концов лопастей	Число лопастей НВ	Масса целевой нагрузки, кг	Запас топлива, л
ZALA 421-06	12	2.3	1.6	1.57	177	2	3	3.5
Alpha 800	14	3.2	1.6	1.7	180	2	3	3.6
Malazgirt	12	2.2	1.6	1.2	177	2	2.7	3

Взлетная масса аппарата определяется как сумма составляющих нагрузок:

$$m_o = m_{кон} + m_{с.у.} + m_{об.упр} + m_T + m_{ц.н.} + m_{сл.},$$

где каждый компонент имеет четкое физическое обоснование и рассчитывается по установленным эмпирическим зависимостям.

Расчет параметров несущей системы. Геометрические характеристики несущего винта выведены из условия обеспечения необходимой подъемной силы. Радиус винта определяется зависимостью:

$$R = \sqrt{\frac{m_0' \times g}{\pi \times p}} = 0{,}8 \text{ м},$$

где удельная нагрузка p = 63,46 Па получена при тяге T = 127,53 Н, что соответствует взлетной массе 13 кг. Последовательный расчет массовых компонентов привел к следующим значением приведенные в таблице (табл. 2):

Таблица 2

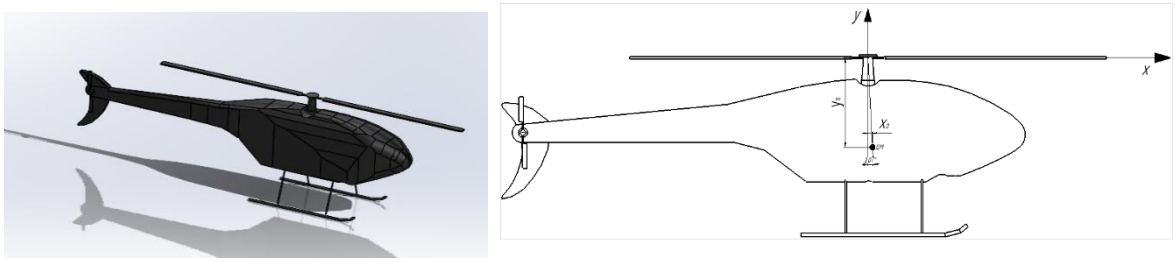
Массы агрегатов ВКЛА

Наименование	Масса, кг
Лопасти НВ	0.33
Втулки НВ	0.486
Сист. авто. упр.	0.16
Главного редуктора	0.5
Лопастей РВ	0.011

Втулки РВ	0.026
Двигателя	0.95
Фюзеляжа	1.73
Топливной системы	0.106
Шасси	0.13
Электрооборудования	3.144
Топлива	2.66
Полезного груза	3
Электропривода рулевого винта	0.101
Пустого ВКЛА	7.694

Суммарная масса конструкции во втором приближении составила 13,354 кг при допустимом отклонении ±5% от первоначальной оценки [1].

Разработка компоновочной схемы ВКЛА заключается в составлении чертежей и компьютерных трехмерных моделей, посредством которых отображается расположение бортового оборудования, частей и агрегатов, груза и других объектов, размещаемых внутри фюзеляжа и вне его.



а) б)

Рисунок 1. 3Д- модель/Компоновочная схема

Расчет центровки заключается в определении положения центра масс ВКЛА относительно начала системы координат, связанной с несущим винтом. На положение центра масс ВКЛА влияет компоновка и размещение агрегатов и узлов ВКЛА в фюзеляже, размещение груза [2].

Положение центра масс определяется через статические моменты:

$$M_{xi} = m_i \times x_i,\ M_{yi} = m_i \times y_i$$

$$x_0 = \frac{\sum M_{xi}}{\sum m_i},\ y_0 = \frac{\sum M_{yi}}{\sum m_i}$$

$$\varphi = arctan\frac{x_0}{y_0}$$

где m_i – масса i-го комплектующего изделия БВ; (x_i, y_i) – координаты его ЦМ при компоновке.

Таблица 3

Центровочная ведомость

Наименование агрегата	Масса агрегата, m_i, кг	Координата x_i центра масс агрегата, м	Статистический момент агрегата M_{xi}, кг*м	Координата y_i центра масс агрегата, м	Статистический момент агрегата M_{yi}, кг*м
Масса лопастей НВ	0.33	0	0	0	0
Масса втулки НВ	0.486	0	0	0	0

Масса сист.авто.упр.	0.16	-0,25	-0,04	-0,18	-0,0288
Масса главного редуктора	0.5	-0,08	-0,04	-0,22	-0,11
Масса лопастей РВ	0.011	-1	-0,01221	-0,25	-0,0027
Масса втулки РВ	0.026	-1	-0,02886	-0,25	-0,0065
Масса двигателя	0.95	-0,12	-0,114	-0,46	-0,437
Масса фюзеляжа	1,73	-	-	-	-
Масса топливной системы	0.106	-0,05	-0,0053	-0,46	-0,0488
Масса шасси	0.13	0,0625	0,008	-0,6	-0,078
Масса электрооборудования	3.144	0,1	0,3144	-0,1	-0,3144
Масса топлива	2,66	-0,08	-0,2128	-0,46	-1,22
Масса полезного груза	3,00	0,15	0,45	-0,6	-1,8
Масса электропривода рулевого винта	0.101	-1	-0,101	-0,25	-0,0252
Масса пустого ВКЛА	7.694	-	-	-	-
Сумма	13,354		0,218		-4,072

$$x_0 = \frac{0.218}{13.354} = 0.016 \text{ м},\ y_0 = \frac{-4.072}{13.354} = -0.305 \text{ м}$$

$$\varphi = arctan\frac{0.016}{-0.305} = -3.07^{\circ}$$

Полученные значения центровочный угол φ ∈ [-2;6] соответствуют критериям устойчивости для аппарата данного класса [3].

Аэродинамический расчет винта. Основные этапы расчета включали определение геометрической крутки лопасти, коэффициентов тяги и крутящего момента, а также анализ зависимости КПД от угла установки [4].

Исходные данные включают взлетный вес ВКЛА (13 кг), мощность двигателя (1,823 кВт), диаметр винта (1,8 м) и другие параметры. Расчеты позволили определить коэффициент тяги (0,0033), оптимальный угол установки лопасти (6°), а также тягу (127,25 Н), крутящий момент (5,36 Н·м) и потребную мощность (1,132 кВт).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Моисеев В.С.* Беспилотные вертолеты. Современное состояние и перспективы развити. – Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2019. 596 с. (Серия «Современная беспилотная вертолетная техника»).

2. *Братухин И.П.* Проектирование и конструкции вертолетов. М.: Оборонгиз, 1955. 363 с.

3. *Проскурин В.Д.* Расчет параметров вертолетов на этапе предварительного проектирования. – Оренбург: ОГУ, 2014. 199 с.

4. *Юрьев Б.Н.* Аэродинамический расчет несущего винта. – Москва, 1956. 563 с.

DEVELOPMENT OF AN UNMANNED HELICOPTER-TYPE AIRCRAFT WITH A TAKE-OFF WEIGHT OF UP TO 30 KG

Otetleev K.K.
Supervisor: Garipova L.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. This work is devoted to the design of a rotary-wing aircraft (RWA) with a comprehensive analysis of mass-dimensional, aerodynamic and layout parameters. The study systematizes the methodology of sequential calculation, including the determination of take-off weight, geometric characteristics of the rotor and the position of the center of mass.

УДК 629.783.05:681.5.015

ОБЗОР РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ МИКРОДАТЧИКОВ ДЛЯ МАЛЫХ БЕСПИЛОТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Рожкова Е.А.
Научный руководитель: Кустов А.В., доцент, к. т. н.
(Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск)

Аннотация. В статье рассмотрены различные подходы к моделированию и анализу характеристик, направленные на проверку концепции и оптимизацию системы управления до этапа аппаратной реализации. Обсуждаются потенциальные методы и инструменты, в том числе использование среды моделирования для создания математической модели динамики вращательного движения БПКА и последующего анализа. Представлены различные сценарии моделирования, включая отработку маневров ориентации, стабилизацию в условиях возмущений и слежение за заданными объектами, с целью оценки точности, устойчивости и времени переходного процесса.

Растущий интерес к исследованию космического пространства, развитию технологий дистанционного зондирования Земли и обеспечению глобальной связи обусловил активное развитие малых космических аппаратов (МКА). МКА (пример представлен на рис.1), в частности малые беспилотные космические аппараты (БПКА), характеризуются относительно низкой стоимостью разработки и запуска, что позволяет реализовывать проекты с ограниченным бюджетом и сокращенными сроками. Это делает их привлекательными для решения различных задач, таких как научные исследования, мониторинг окружающей среды, картография, образование и даже коммерческие сервисы. Ключевым элементом любого космического аппарата, определяющим его функциональность и способность выполнять целевые задачи, является система ориентации и стабилизации (СОС).

СОС обеспечивает точное наведение аппарата на заданный объект или направление, а также поддержание его ориентации в пространстве в условиях воздействия различных возмущающих факторов (гравитационные моменты, аэродинамическое сопротивление, солнечное давление, магнитное поле Земли и т.д.).

Для традиционных крупных космических аппаратов, как правило, используются системы СОС, основанные на высокоточных, но при этом громоздких и энергоёмких датчиках и исполнительных механизмах. Однако применение таких систем в малых БПКА, характеризующихся жёсткими ограничениями по массе, габаритам и энергопотреблению, нецелесообразно. Поэтому разработка компактных, энергоэффективных и недорогих систем СОС для малых БПКА является актуальной научно-технической задачей.

В качестве альтернативы традиционным датчикам в системах обратной связи малых БПЛА все чаще рассматривается использование микроэлектромеханических систем или, в общем случае, микродатчиков. Микродатчики, благодаря своим небольшим размерам, низкому энергопотреблению и относительно невысокой стоимости, представляются перспективным решением для создания компактных и эффективных систем обратной связи для МКА.

Непосредственное использование выходных сигналов датчиков для определения ориентации и стабилизации БЛА не представляется возможным из-за высокого уровня шума акселерометра, дрейфа выходного сигнала гироскопов и искажения показаний магнитометра. Таким образом, дальнейшая работа по разработке микромеханической системы ориентации и стабилизации будет направлена на разработку алгоритма коррекции показаний датчиков [1].

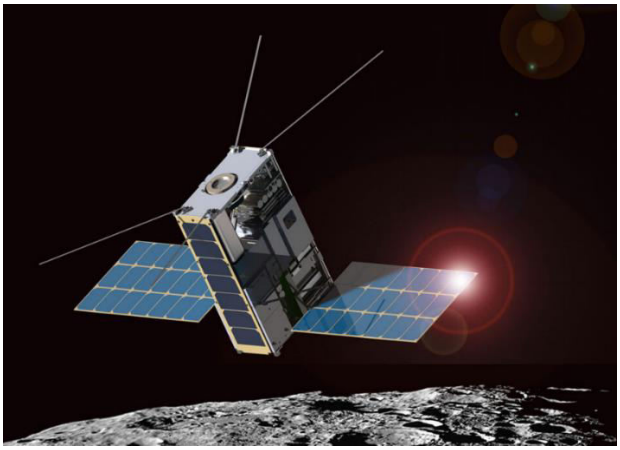


Рисунок 1. Наноспутник Cubesat

Выбор конкретных датчиков для разрабатываемой системы ООС должен учитывать требования к точности, энергопотреблению, массе, габаритам и устойчивости к воздействию факторов космической среды.

MEMS-гироскопы являются широко распространённым решением для измерения угловых скоростей, отличаясь компактностью, низким энергопотреблением и относительно низкой стоимостью. Однако MEMS-гироскопы имеют ограничения по точности, в частности характеризуются наличием шума, температурной нестабильностью и дрейфом нуля. Для компенсации этих погрешностей применяются методы калибровки, фильтрации и термокомпенсации.

MEMS-гироскопы обычно являются твердотельными устройствами и не имеют движущихся частей, за исключением сенсорного кольца, которое имеет возможность отклоняться [2]. Оно показывает величину и направление угловой скорости за счет использования эффекта «силы Кориолиса». Во время вращения гироскопа силы Кориолиса действуют на кремниевое кольцо, отклоняя его [3].

Микроакселерометры используются для измерения линейных ускорений и в системах с обратной связью могут применяться для определения ориентации относительно вектора гравитации и компенсации дрейфа гироскопов. Они также отличаются небольшими размерами и низким энергопотреблением. Основными недостатками являются ограниченный диапазон измеряемых ускорений и чувствительность к вибрациям.

Магнитометр — один из основных элементов системы ориентации и стабилизации многих искусственных спутников Земли (ИСЗ). Данный прибор измеряет величину и направление вектора магнитной индукции геомагнитного поля, информация о котором используется непосредственно в контуре системы ориентации в качестве ориентира. Информацию о геомагнитном поле также можно применять для пассивной или полупассивной стабилизации намагниченного ИСЗ [4-5].

Микромагнитометры позволяют определять ориентацию относительно магнитного поля Земли и могут использоваться для компенсации дрейфа гироскопов. Они компактны и потребляют мало энергии. К основным недостаткам относятся низкая точность, чувствительность к магнитным помехам и зависимость от магнитного поля Земли.

Качество измерений магнитометра зависит от многих параметров: наличия магнитных элементов, смещения нуля, масштабирования измерений датчиков, неортогональности установки чувствительных элементов, случайных шумов и пр. [6]. Кроме того, при изменении температуры изменяется и сопротивление магнитометра, вследствие чего при постоянном внешнем магнитном поле показания магнитометра будут непостоянными. Следует отметить, что даже частичный учет этих параметров позволяет увеличить точность как отдельного магнитометра, так и системы ориентации и стабилизации в целом [7-8].

Интегрированные инерциальные измерительные блоки объединяют в одном корпусе несколько типов микродатчиков (обычно гироскопы, акселерометры и магнитометры), что упрощает интеграцию и позволяет использовать встроенные алгоритмы обработки данных. IMU представляют собой удобное решение для систем с обратной связью, хотя возможности калибровки отдельных датчиков могут быть ограничены.

Выбор конкретных микродатчиков для разрабатываемой системы СОС должен основываться на компромиссе между требуемой точностью, энергопотреблением, массогабаритными характеристиками и стоимостью. В условиях ограниченного бюджета и строгих требований к массе и энергопотреблению использование MEMS-гироскопов, акселерометров и магнитометров может быть оптимальным решением при условии применения эффективных методов компенсации погрешностей.

Микродатчики подвержены влиянию различных факторов, таких как шум, температурная нестабильность, дрейф нуля, вибрации и радиация. Для минимизации влияния этих факторов применяются методы калибровки, фильтрации, термокомпенсации, виброизоляции и радиационной защиты. Эффективность этих методов во многом определяет точность и надежность системы СОС. Размещение системы ориентации и стабилизации можно наблюдать на рисунке 2.

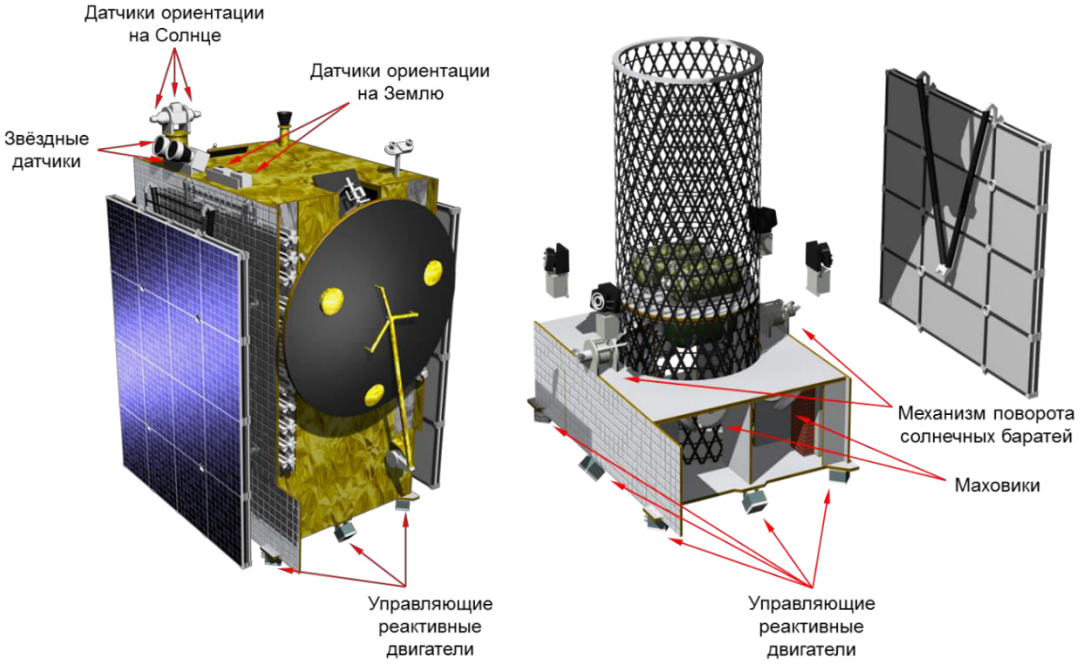


Рисунок 2. Размещение аппаратуры СОС негерметичных крупных КА

Моделирование выполнено с целью проверки концепции, выявления потенциальных проблем и определения оптимальных параметров системы управления до этапа аппаратной реализации.

Процесс моделирования начинается с создания математической модели динамики вращательного движения БПКА. Эту модель можно создать в MATLAB /Simulink, включая основные уравнения движения аппарата и учитывая основные внешние возмущающие моменты, такие как гравитационный градиент и, в зависимости от предполагаемой орбиты, аэродинамическое сопротивление и солнечное давление.

Затем разрабатывается модель системы СОС, которая включает в себя модели микродатчиков, алгоритмы обработки данных и систему управления. Модели микродатчиков (гироскопов, акселерометров и магнитометров) построены с учетом основных характеристик, указанных в технической документации, а также погрешностей, таких как шум и смещение. Разработаны алгоритмы фильтрации и обработки данных, такие как комплементарный фильтр, фильтр Калмана [9], для повышения точности определения углового положения и угловой скорости. Система управления построена на базе ПИД-регулятора (рис. 3, 4), параметры которого настраиваются для обеспечения необходимой точности и устойчивости.

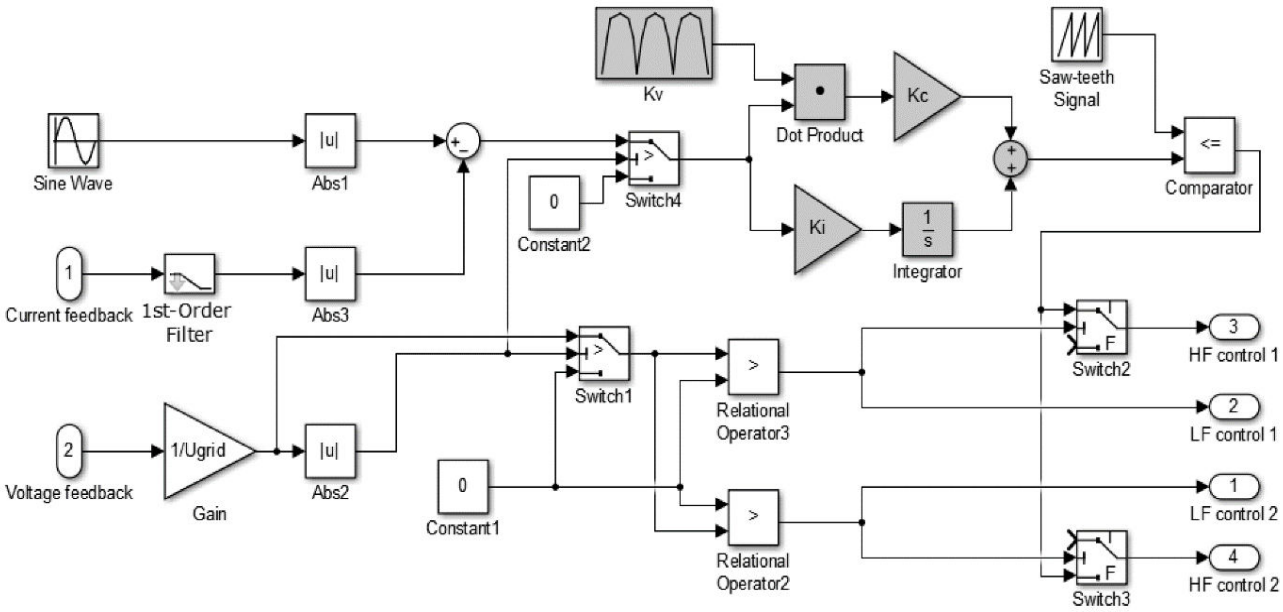


Рисунок 3. Пример MATLAB-модели с ПИД-регулятором

Проводится серия сценариев моделирования, имитирующих различные режимы работы БПКА, такие как стабилизация заданного углового положения, переход к новому угловому положению, компенсация возмущений. Анализ результатов моделирования позволяет оценить основные характеристики системы, включая:

1. точность ориентации и стабилизации: оценивается отклонение от заданного положения в различных режимах работы;

2. время переходного процесса: определяется время, необходимое для достижения заданного углового положения;

3. устойчивость: анализируется поведение системы при воздействии возмущений;

4. потребление энергии: оценивается энергопотребление системы управления в различных режимах работы.

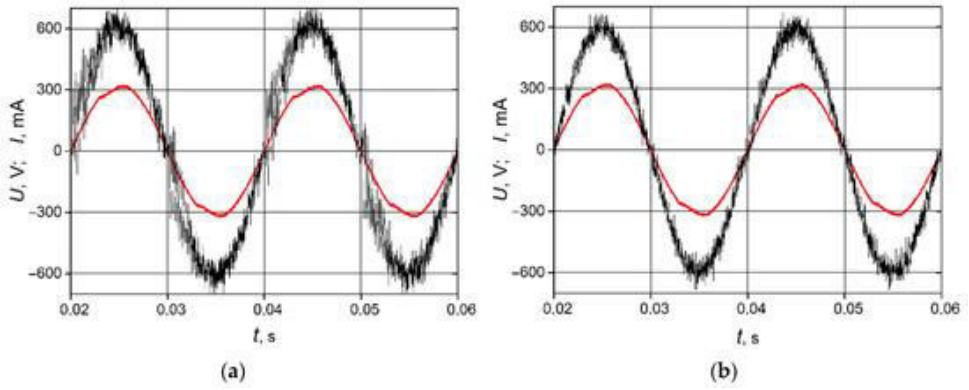


Рисунок 4. Графики выходного тока при использовании обычного ПИД-регулятора (a) ПИД-регулятора с переменной пропорциональной постоянной (b)

Результаты моделирования могут использоваться для выявления потенциальных проблем и оптимизации параметров системы управления. Например, может быть выявлена необходимость улучшения алгоритма фильтрации для снижения влияния шума датчиков или изменения параметров регулятора для повышения устойчивости. Анализ чувствительности позволяет оценить влияние различных факторов на характеристики системы и определить наиболее критичные параметры, требующие особого внимания при аппаратной реализации.

Этот этап моделирования и анализа позволяет получить предварительную оценку характеристик системы СОС, выявить потенциальные проблемы и определить направления для дальнейшей оптимизации перед переходом к этапу аппаратной реализации и тестирования. Это снижает риски и затраты на последующих этапах разработки.

Математическая модель динамики БПКА могла бы быть основана на основных уравнениях вращательного движения уравнениях Эйлера, описывающих изменение ориентации аппарата в пространстве. Учитывались бы внешние возмущения, такие как гравитационные моменты, аэродинамическое сопротивление и моменты солнечного давления, в зависимости от предполагаемой орбиты. Реализация модели в среде моделирования включала бы использование блок-схем, отражающих структуру системы.

Для оценки эффективности системы СОС можно было бы использовать различные сценарии моделирования. Возможные сценарии могли бы включать отработку маневра ориентации, стабилизацию в присутствии внешних возмущений, моделирование слежения за заданным объектом. Для каждого сценария можно было бы определить параметры, включая требуемое угловое положение, величину возмущений и параметры системы управления.

Анализ результатов моделирования можно было бы проводить с помощью графиков, отображающих динамику углового положения, угловой скорости и ошибок ориентации, а также с помощью числовых данных для оценки основных характеристик. Основные характеристики, которые можно было бы проанализировать, включали бы точность ориентации, время переходного процесса и устойчивость системы. Анализ результатов позволил бы выявить потенциальные проблемы и оценить эффективность различных подходов. Также можно было бы внести коррективы в алгоритмы и систему управления на основе полученных результатов.

В целом, проведенный обзор демонстрирует важность моделирования в процессе разработки систем ООС для БПКА и позволяет сделать вывод о том, что предложенные подходы являются перспективными для создания эффективных и надежных систем ориентации и стабилизации на основе микродатчиков. Дальнейшая работа может быть направлена на более детальное изучение влияния погрешностей микродатчиков и оптимизацию алгоритмов обработки данных и управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Глушков В. П., Левицкий А. А., Маринушкин П. С.* Микромеханическая система ориентации и стабилизации беспилотного летательного аппарата // Решетневские чтения. 2009. №13.

2. *Крекотень Ф.* Современные МЭМС-гироскопы и акселерометры // Петербургский журнал электроники, выпуск №1, 2011 г.

3. *Саленко Д. С.* Особенности моделирования MEMS-гироскопа // Автоматика и программная инженерия. 2015. №2 (12).

4. *Акимов И. О., Илюхин С. Н., Ивлев Н. А., Колосов Г. Е.* Методика калибровки магнитометра на этапе наземной диагностики систем космического аппарата // Инженерный журнал: наука и инновации. 2018. №5 (77).

5. *Лысенко Л.Н., Бетанов В.В., Звягин Ф.В.* Теоретические основы баллистико-навигационного обеспечения космических полетов. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 20l4.

6. *Фрайден Дж.* Современные датчики. Справочник. Москва, Техносфера, 2005, 587 с.

7. *Кружков Д.М.* Современные и перспективные интегрированные системы высокоточной навигации КА на геостационарной и высоких эллиптических орбитах на основе использования ГНСС-технологий. Москва, МАИ, 2014.

8. *Иванов Д.С., Ткачев С.С., Карпенко С.О., Овчинников М.Ю.* Калибровка датчиков для определения ориентации малого космического аппарата. Препринты ИПМим. М.В. Келдыша, 2010, № 28, с. 30 .

9. *Рожкова, Е.А*. Применение методов фильтрации Калмана для обработки сигналов в сетях космической связи / Е.А. Рожкова, А.В. Кустов // Решетневские чтения, Красноярск, 2024. – С. 110-112.

REVIEW OF THE DEVELOPMENT OF AN ORIENTATION AND STABILIZATION SYSTEM BASED ON MICROSENSORS FOR SMALL UNMANNED SPACE VEHICLES

Rozhkova E.

Supervisor: Kustov A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk)

Abstract. This paper reviews various approaches to modeling and performance analysis aimed at proof-of-concept and control system optimization prior to hardware implementation. Potential methods and tools are discussed, including the use of a modeling environment to create a mathematical model of the spacecraft rotational motion dynamics and subsequent analysis. Various modeling scenarios are presented, including attitude control maneuvers, stabilization under disturbances, and target tracking, to assess the accuracy, stability, and transient response time.

УДК 629.7.01

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ ГИБРИДНОГО ТИПА

Сорокин Д.В.

Научный руководитель: Самохина С.С., доцент, к. п. н., профессор РАЕ

(*Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, г. Ульяновск*)

Аннотация. В работе представлены результаты моделирования беспилотного летательного аппарата (БПЛА) вертикального взлета и посадки гибридного типа и оценка его аэродинамических характеристик.

Одной из важнейших задач на данном этапе развития беспилотной авиации гражданского и военного назначения является уменьшение дистанции взлёта и посадки с сохранением технико-экономических характеристик, сравнимых с полноразмерными воздушными судами, осуществляющими эксплуатацию на взлетно-посадочных полосах больших размеров. Отсутствие пилота позволяет увеличить диапазон допустимых перегрузок и других факторов [1, 2].

Актуальность темы обусловлена тем, что остро стоит вопрос о поиске новых аэродинамических схем, которые позволили бы улучшить аэродинамические характеристики и устойчивость воздушных судов, снизить расход топлива. При этом эксплуатация беспилотной техники во многом зависит от доступности аэродромной инфраструктуры. Использование техники вертикального взлета и посадки решает эту проблему [3].

Цель: разработать модель беспилотного летательного аппарата (БПЛА) вертикального взлета и посадки и рассчитать ее основные аэродинамические характеристики.

Объект исследования – беспилотный летательный аппарат.

Предмет исследования – моделирование конструкции и расчет летно-технических характеристик беспилотного летательного аппарата.

Модель БПЛА предварительно предназначена для транспортировки небольшого груза в пределах 20 кг, а также ведения аэрофотосъемки, поэтому для создания картинки хорошего качества, были использованы толкающие винты, которые не попадают в объектив камеры.

В процессе моделирования удалось совместить схему винтокрыла и схему «утка». Такая компоновка обеспечивает отличную управляемость, особенно на малых скоростях и при больших углах атаки. Отказ от использования балок для поддержания горизонтального стабилизатора в классическом варианте сзади позволил значительно снизить массу летательного аппарата.

Одной из наиболее сложных задач при проектировании такого аппарата является переход от тяги для вертикального взлёта и посадки к тяге для горизонтального полета.

По принципу использования силовой установки данный экземпляр принадлежит к раздельному принципу, который предполагает раздельное использование двигателей для создания тяги во время вертикального взлёта и посадки и горизонтального полета.

В процессе моделирования были подобраны моторы для создания вертикальной и горизонтальной тяги на основе представленных характеристик и текущей ситуации на рынке компонентов для беспилотных летательных аппаратов.

Для вертикального взлета и посадки был выбран двигатель T-Motor U15 II KV100 – бесколлекторный двигатель, предназначенный для использования в крупных беспилотных летательных аппаратах, таких как октокоптеры и гексакоптеры.

Для горизонтального полета выбран двигатель T-Motor U7 KV280 –бесколлекторный двигатель, предназначенный для использования в средних и крупных беспилотных летательных аппаратах.

В качестве лопастей для вертикального взлёта и посадки был выбран комплект карбоновых пропеллеров производства T-Motor G-серии длиной 40 дюймов, а для горизонтального полета толкающие пропеллеры длиной 22 дюйма.

Все инженерные расчеты и моделирование летных характеристик беспилотного аппарата выполнялись с использованием параметров именно данной модели пропеллеров, что позволило обеспечить реалистичную оценку поведения аппарата в различных режимах полета.

В качестве инструмента для создания технического облика и 3-д модели была использована программа MachUp — это программа для моделирования и анализа аэродинамических характеристик летательных аппаратов, поддерживает различные профили крыльев, типы фюзеляжей, хвостовых оперений и других компонентов летательного аппарата.

На рис. 1 представлен общий вид, разработанной модели беспилотного летательного аппарата.

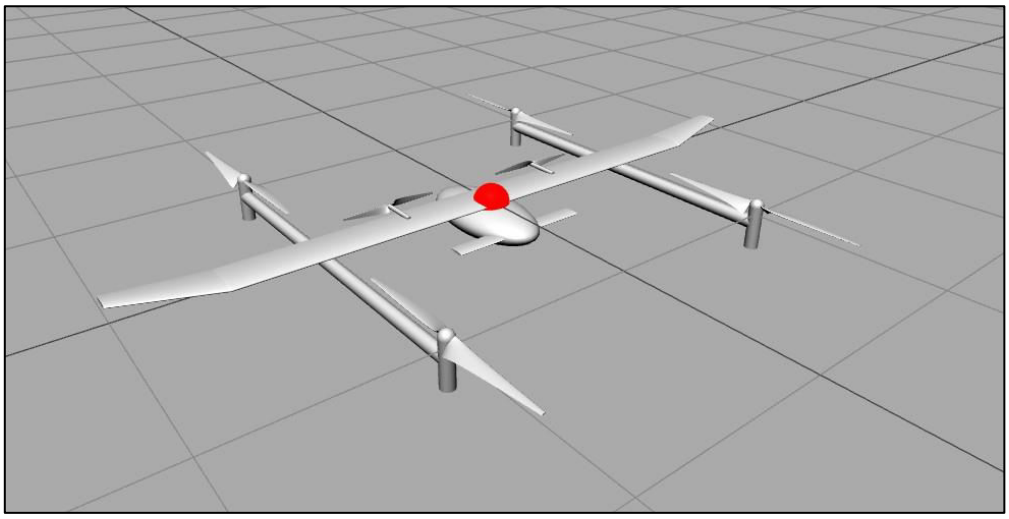


Рисунок 1. Общий вид БПЛА

В качестве материала для изготовления фюзеляжа предполагается использование современных композитных материалов, например, углепластика.

Весовое проектирование основано на методе относительных коэффициентов. Чем выше максимальная взлетная масса, тем большее значение тяги понадобится для обеспечения вертикального взлета и посадки (ВВП), что потребует либо увеличения числа двигателей для ВВП, либо использования двигателей с большей тягой, но обладающих при этом увеличенной массой конструкции. Поэтому в процессе проектирования активно применяются относительные массы. Получены значения тяги, необходимой для вертикального взлета и посадки, а также горизонтального полета.

При анализе конструкции было определено, что масса соединительных балок составляет примерно 14,76 кг; масса воздушных винтов 1,06 кг; масса общей конструкции 29 кг, а масса целевой нагрузки составила 28,4 кг, что оказалось выше заявленного значения. Достичь такого результата удалось благодаря тщательно продуманному размещению силовой установки — двигатели были расположены с учётом распределения масс и моментов, что позволило эффективно сбалансировать летательный аппарат.

Выполнен расчет прочностных нагрузок, действующих на крыло. Определены значения максимальной нормальной эксплуатационной перегрузки, нормальная эксплуатационная аэродинамическая нагрузка и распределенная нагрузка, теоретическое обоснование расчетов опиралось на данные из учебного пособия “Расчет на прочность элементов конструкции самолета” под редакцией Тарасова [4].

Стоит отметить, что слабым место в конструкции и наиболее подверженным деформациям является место крепления балок с роторами силовых установок и крылом, поэтому эти участки должны быть значительно укреплены, чтобы избежать деформации конструкции и ее повреждения, также дополнительно стоит рассмотреть возможность применения амортизационных стоек в точках опоры беспилотного летательного аппарат, с целью избежания чрезмерных перегрузок конструкции и её повреждения.

Завершающим этапом работы стало определение аэродинамических характеристик. На основе данных, полученных в приложении Mach Up для моделирования летательных аппаратов, а также собственных расчетов были построены зависимости коэффициентов подъемной силы и сопротивления от угла атаки, а также поляра БПЛА. Определены углы нулевой подъемной силы, критический угол атаки, а также наивыгоднейший угол графическим способом. На основе полученных данных и последующих расчетов по определению потребной тяги и мощности была построена кривая Жуковского, которая позволила рассчитать и определить характерные эксплуатационные скорости для горизонтального полета [5, 6].

Значение располагаемой мощности силовой установки взято на основе данных, предоставляемых от производителя.

Полученный результат свидетельствует, что летательный аппарат отвечает высоким требованиям устойчивости, так как довольно широкий диапазон скоростей располагается в первом режиме полета, а благодаря аэродинамической схеме “утка” БВС практически не имеет возможности сваливания.

Произведен массовый и аэродинамический анализ на основе данных, представленных программой MachUp, а также вычисленных значений. Созданная модель может нести полезную целевую нагрузку 28 кг, что оказалось выше заявленного значения, благодаря оптимальному размещению двигателей, компенсирующих возникающие моменты, а также решению уменьшить массу аппарата, используя аэродинамическую схему “утка”, которая обладает улучшенными характеристиками управляемости, а отказ от использования балок в конструкции для поддержания горизонтального оперения в классическом варианте позволил значительно облегчить конструкцию, а горизонтальное оперение, вынесенное вперед увеличивает несущие качества планера. Полученные аэродинамические характеристики демонстрируют, что модель обладает достаточно высокой устойчивостью и аэродинамическим качеством. Использование саблевидных законцовок, позволило снизить индуктивное сопротивление [7].

Выполнен расчет аэродинамических параметров, построены графики зависимости коэффициентов подъемной силы и сопротивления от угла атаки, а также поляра беспилотного воздушного судна. Определены углы атаки и характерные скорости для горизонтального полета. Угол нулевой подъемной силы равен -2°, наивыгоднейший угол равен 6°, критический атаки равен 10°.

Лобовое сопротивление увеличивается с ростом угла атаки, особенно заметен прирост после критического угла атаки, вследствие изменения картины обтекания из-за отрыва потока.

Для увеличения значения критического угла атаки следует рассмотреть возможность применения дополнительных средств механизации при дальнейшем проектировании БПЛА.

По кривой Жуковского определили характерные скорости: минимальная теоретическая скорость равна 12 м/с, экономическая составляет 15 м/с, наивыгоднейшая приблизительно 21 м/с. Точке пересечения потребной и располагаемой мощности соответствует максимальная теоретическая скорость, которая составляет 34 м/с.

Полученные результаты по моделированию и расчету аэродинамических характеристик могут быть использованы для создания более перспективных аэродинамических схем.

Практическая значимость работы в том, что разработана 3D-модель БПЛА вертикального взлета и посадки гибридного типа, которая может быть использована для проектирования новых аэродинамических схем. Может применяться в учебном процессе при подготовке авиационных специалистов в учебных заведениях авиационного профиля, авиационных учебных центрах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Булат П.В., Минин О.П.* О современном подходе к проектированию беспилотных летательных аппаратов самолетного типа с коротким взлетом и посадкой // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2017. – Т. 17, № 6. – С. 961-996.

2. Основы аэродинамики беспилотных воздушных судов: Учебное пособие. — М.: Издательство «Спутник +», 2021. – 273 с. ISBN 978-5-0000-1234-5. Текст: электронный // Спутник +: электронно-библиотечная система. URL: https://example.com/book/1111 (дата обращения: 21.03.2025). – Режим доступа: для авторизованных пользователей.

3. *Ярков К.А*. Проектирование БПЛА мультироторного типа: метод. указания для практ. и самостоят. работ студентов всех форм обучения / К.А. Ярков, Ф.Н. Захаров. – Томск: Том. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2024. – 24 с.

4. *Тарасов Ю.Л*. Расчет на прочность элементов конструкции самолета: учеб. пособие / Ю.Л. Тарасов, Б.А. Лавров. – 3-е изд., перераб. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2000. – 112 с.

5. *Огибалов И.Г., Сорокин Д.В.* Влияние конструктивных особенностей крыла на летно-технические характеристики воздушного судна // Всероссийская научно-практическая конференция им. Жореса Алферова: сборник тезисов статей. – СПб: Идальго принт, 2022. – С. 55.

6. *Сорокин Д.В., Морозов А.О., Самохина С.С.* Моделирование БПЛА вертикального взлёта и посадки с аэродинамической схемой «летающее крыло» // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники: материалы 27-й Всероссийской молодежной научной конференции (г. Ульяновск, 22-24 октября 2024 года). – Ульяновск: УлГТУ, 2024. – С 394.

7. *Огибалов И.Г., Сорокин Д.В.* Разработка программы для имитационного моделирования законцовок крыла воздушного судна. // Материалы 14 Международной молодёжной конференции «Гражданская авиация: XXI век» – Ульяновск: УИ ГА, 2022. – С.159-160.

MODELLING OF A HYBRID VERTICAL TAKE-OFF AND LANDING UNMANNED AERIAL VEHICLE

Sorokin D.V.

Supervisor: Samokhina S.S., Associate Professor, Candidate of Pedagogic Sciences, Professor of the Russian Academy of Natural Sciences

(*Ulyanovsk Institute of Civil Aviation, Ulyanovsk*)

Abstract. The results of the modelling of an unmanned aerial vehicle for vertical take-off and landing of a hybrid type and evaluation of its aerodynamic characteristics are presented in this article.

УДК 004.93

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО СЧИТЫВАНИЯ QR-КОДОВ С ПОМОЩЬЮ ДРОНА DJI TELLO

Степанова М.Д., Павлова Е.Э.

Научный руководитель: Васильева Л.Н., доцент, к. п. н.

(*Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары*)

Аннотация. В рамках статьи проведен обзор технологий распознавания QR-кодов. Основное внимание уделено разработке алгоритма для беспилотного аппарата Dji Tello, который идеально подходит для экспериментов в области компьютерного зрения и распознавания изображений. Представлен программный код, позволяющий распознавать и расшифровывать данные, записанные с помощью QR-кода, которые, после расшифровки, сохраняются в базе данных на удаленном сервере с указанием содержатся дата и время сканирования.

В наше время автоматизация процессов играет ключевую роль во всех важных отраслях [1]. Одной из главных задач автоматизации процессов в данное время является распознавание QR-кодов. Цель статьи – интеграция дронов с передовыми алгоритмами компьютерного зрения. Эта технология позволяет сделать распознавание более качественно, обеспечивая высокую точность считывания. Поскольку многие дроны в современном мире

имеют встроенные камеры с хорошим разрешением, то их значимость и необходимость во многих сферах возрастает [2]. Сочетание дронов и технологий компьютерного зрения позволяет расширить область применения различных процессов в логистике [3]. Все это повышает производительность, а также снижает затраты и минимизирует риски человеческой ошибки. Таким образом, объединение дронов с современными технологиями позволяет сделать значимый шаг для безопасности рабочих процессов [4-5].

Программирование дрона Dji Tello для распознавания QR-кодов требует использования библиотеки OpenCV для захвата и обработки изображений с камеры дрона [6]. Первым шагом является установка необходимых библиотек и настройка подключения к Tello через Wi-Fi с использованием UDP-протокола. После успешного соединения можно отправлять команды для управления полетом дрона (рис. 1).

```
1  import cv2
2  import sqlite3
3  from djitellopy import Tello
4  from pyzbar.pyzbar import decode
```

Рисунок 1. Подключенные библиотеки

Во время полета необходимо периодически захватывать кадры с камеры, что влияет на стабильность распознавания QR-кодов (рис. 2).

```
30  try:
31      while True:
32          frame = tello.get_frame_read().frame
33          gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
34          decoded_objects = decode(gray)
35          for obj in decoded_objects:
36              qr_code = obj.data.decode('utf-8')
37              print(f"QR Code detected: {qr_code}")
38              save_qr_code(qr_code)
39              cv2.rectangle(frame, (obj.rect.left, obj.rect.top),
40                            (obj.rect.left + obj.rect.width, obj.rect.top + obj.rect.height),
41                            (0, 255, 0), 2)
42              cv2.putText(frame, qr_code, (obj.rect.left, obj.rect.top - 10),
43                          cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (0, 255, 0), 2)
44          cv2.imshow("Tello Stream", frame)
45          if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
46              break
```

Рисунок 2. Цикл захвата кадров и распознавания QR-кодов

Рекомендуется использовать фильтры для сглаживания и устранения шумов, чтобы улучшить качество изображений. Каждый кадр проверяется на наличие QR-кода, и при его нахождении информация декодируется и сохраняется (рис. 3).

```
17  def save_qr_code(code):
18      conn = sqlite3.connect('qr_codes.db')
19      cursor = conn.cursor()
20      cursor.execute('INSERT INTO qr_codes (code) VALUES (?)', (code,))
21      conn.commit()
22      conn.close()
```

Рисунок 3. Функция сохранения QR-кодов

Сервер обрабатывает полученные данные и передает их на другие устройства.

Поскольку сканирование происходит в реальном времени, необходимы настройка и оптимизация кода и алгоритмов. Важно пробовать разные параметры для повышения эффективности системы.

Процесс разработки алгоритма распознавания QR-кода начинается с захвата видеопотока с камеры дрона. Этот алгоритм обрабатывает как статические, так и

динамические изображения; он учитывает изменение освещения и угла камеры. На рисунке 4 представлена блок-схема алгоритма, на основе которой был разработан программный код.

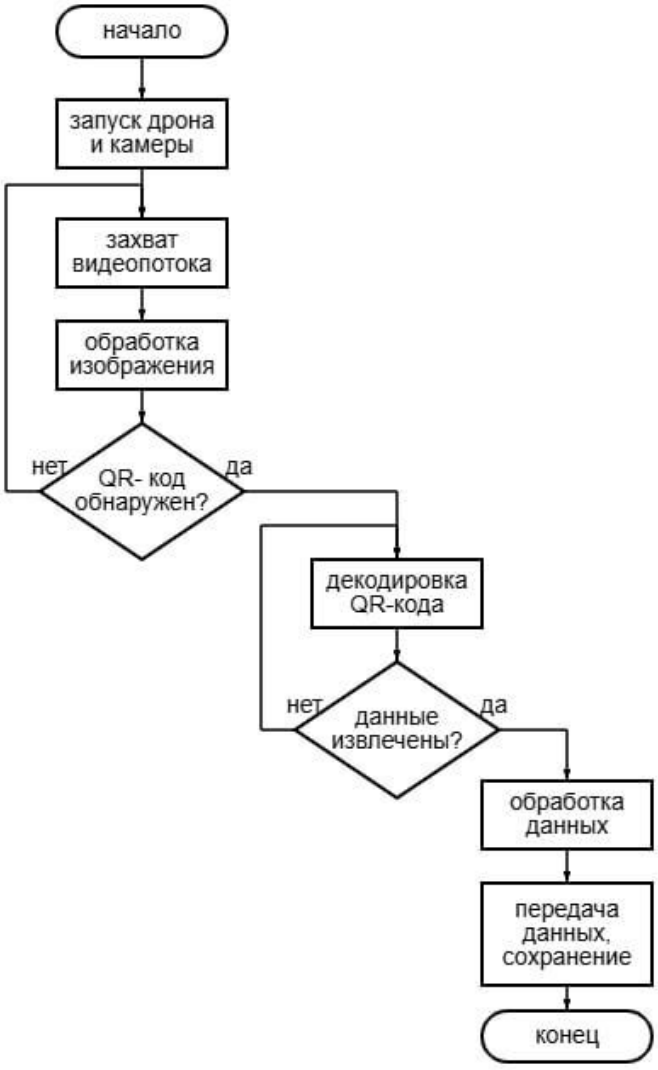


Рисунок 4. Блок-схема алгоритма

Тестирование алгоритма охватывает различные изменения, включая расстояния до QR-кода и изменения углов обзора. Это позволяет выявить оптимальные настройки для успешной работы. Также стоит учитывать различные типы QR-кодов, включая нестандартные формы, что расширяет возможности системы [7].

Таким образом, создание метода сканирования QR-кода с помощью дрона Tello включает в себя как аппаратные, так и программные исправления, чтобы он работал правильно. Испытание метода сканирования QR-кода проводилось в разных ситуациях, чтобы увидеть, насколько хорошо он работает. Большая часть испытаний заключалась в поиске наилучших длин и углов для просмотра того, каким образом система находит коды наиболее легко.

В ходе предварительного теста предполагалось, что дрон будет поддерживать постоянную высоту 2 метра. QR-коды были напечатаны на листах. Они содержали различные данные: на английском и русском языках, а также ссылки (рис. 5). В результате текст на русском языке камерой не распознавался, однако сохранялся в файле без ошибок (рис. 6).

Рисунок 5. QR-код с текстом на русском языке

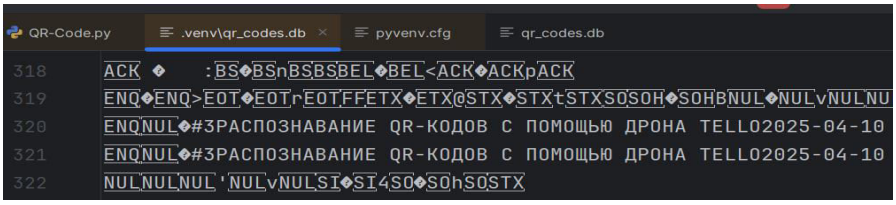


Рисунок 6. Запись в базе данных

Текст на английском языке и ссылка (рис. 7) распознавались и сохранялись правильно (рис. 8).

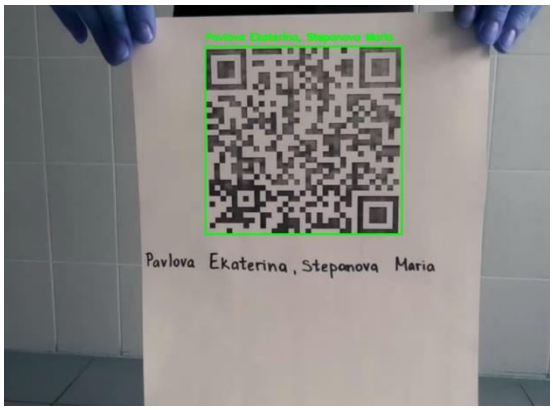


Рисунок 7. QR-код с английским текстом

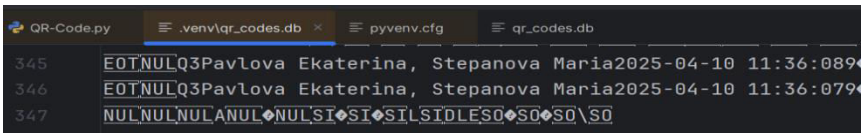


Рисунок 8. Запись в базе данных

На последующем этапе тестирования беспилотник управлялся дистанционно, что позволяло ему маневрировать как по горизонтали, так и по вертикали. При этих параметрах распознавание QR-кодов оценивалось на разных скоростях полета. Минимальные задержки и максимальная точность наблюдались на скоростях, не превышающих 1 м/с; увеличение скорости до 2 м/с резко снижало способность системы правильно захватывать изображения QR-кодов. Еще одним важным аспектом тестирования было изменение угла камеры. Угол 30 градусов и 45 градусов относительно поверхности с кодом оказался проблематичным для распознавания. Оптимальные результаты были получены при вертикальной ориентации камеры. Изменение ориентации камеры вместе с расстоянием помогло нам лучше понять, какие условия наиболее благоприятны для эффективной работы этого алгоритма. Таким образом, эти результаты испытаний послужили основой, на которой этот алгоритм был дополнительно

адаптирован, чтобы идти в ногу с динамическими изменениями окружающей среды, одновременно повышая надежность в реальных сценариях использования.

Одной из основных задач при разработке системы является оптимизация методов обработки изображений и алгоритмов распознавания. Дрон, обладает ограниченной мощностью и автономностью, тем самым предъявляет особые требования к эффективности используемых технологий [8]. В этом случае важно найти баланс между качеством и скоростью распознавания и обработки. Оптимизация начинается с обработки изображения, которое дрон получает с камеры. Важный шаг – нахождение оптимальных условий освещения, поскольку незначительные изменения в яркости и контрастности могут сильно повлиять на качество распознавания. Использование фильтров позволяет выделить контуры QR-кодов, что упрощает задачу их распознавания.

Исходя из специфики работы дрона, могут быть использованы адаптивные методы, которые позволяют более точно сегментировать QR-коды даже при некоторых искажениях, вызванных движением устройства. Когда QR-код выделен, начинается процесс его распознавания. В этом этапе целесообразно применить методы, оптимизирующие время обработки. Это позволяет увеличить скорость детекции даже в условиях неоптимального изображения, когда дрон находится в движении. В процессе тестирования алгоритмов распознавания необходимо учитывать адаптивность настройки алгоритмов под конкретные условия работы. Дрон, перемещающийся в разных средах, может столкнуться с различными источниками помех и сложными фоновыми условиями, что требует от системы высокой гибкости [9].

Успешная оптимизация методов распознавания QR-кодов с помощью дрона Tello нуждается в комплексном подходе, включающем в себя как программные, так и аппаратные решения. Это позволяет развивать более интеллектуальные системы с высокой степенью надежности и эффективности на практике.

Проект по распознаванию QR-кодов демонстрирует свою значимость в различных сферах. Он охватывает такие области применения, как: строительство, складское производство и системы безопасности. Также необходимо обеспечить безопасность данных, которые передаются через QR-коды, разработав защищённые системы шифрования. В логистике дрон с алгоритмом распознавания QR-кодов автоматизирует процессы инвентаризации, сканируя метки на коробках для ускорения обработки заказов в крупных распределительных центрах.

В ресторанах и кафе они могут сканировать QR-коды на столиках, улучшая обслуживание и соблюдение мер безопасности. Также дроны могут быть использованы для общественной безопасности, например, для быстрого реагирования в чрезвычайных ситуациях, идентифицируя коды на спасательных знаках и указателях [2].

Разработка технологии выявила множество возможностей для адаптации под различные сценарии. Важно продолжать модификацию алгоритмов для повышения надежности и скорости распознавания. Интеграция дронов с искусственным интеллектом и облачными сервисами открывает новые перспективы, превращая их в мощные инструменты для трансформации различных отраслей. С развитием сети 5G обмен данными между дронами и серверами станет быстрее, что повысит уровень интернета вещей. Стандартизация QR-кодов для беспилотников обеспечит совместимость между производителями и повысит эффективность систем.

Таким образом, рост популярности дронов и достижения в машинном обучении создают условия для внедрения технологий распознавания QR-кодов, что изменит подход к решению множества задач в различных отраслях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Смирнов А.В.* Применение дронов для распознавания QR-кодов в логистике // Журнал современных технологий. 2022. № 3. С. 45–51.

2. *Толстова Л.М.* QR-коды: история и современное применение // Инновационные технологии. 2020. № 4. С. 58–65.

3. *Копосов Д.Г.* Робототехника. Управление квадрокоптером // Квадрокоптер Tello. Программирование на языке Python. 2025. № 5. С. 92–95.

4. *Прокопьев Г.В.* Разработка модели беспилотного летательного аппарата для улучшения системы мониторинга пожаробезопасности / Г.В. Прокопьев, С.В. Прокопьев // XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых): Материалы Международной молодёжной научной конференции. Сборник докладов, Казань, 2023. – С. 143-146.

5. *Прокопьев Г.В.* Разработка беспилотного летательного аппарата для системы мониторинга пожаробезопасности / Г. В. Прокопьев, С. В. Прокопьев, Л. Н. Васильева // Научный БУМ: сборник по итогам Форума СНО образовательных организаций Чувашской Республики, Чебоксары, 2023. – С. 311-315.

6. *Иванова Т.Г.* Программирование и управление дронами: от основ до практики // Технологии и инновации. 2022. № 3. С. 100–110.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024615718 Российская Федерация. «Обнаружение и слежение за движущимся объектом на основе системы технического зрения»: № 2024614767: заявл. 12.03.2024: опубл. 12.03.2024 / А.Г. Чертановский, Г.П. Охоткин, Л.Н. Васильева, М.С. Портнов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова».

8. *Федоров Ю.А.* Дрон Tello: характеристики и возможности // Журнал беспилотной авиации. 2023. № 2. С. 30–36.

9. *Чертановский А.Г.* Мультиспектральная камера технического зрения БПЛА / А.Г. Чертановский, Л.Н. Васильева, М.С. Портнов // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: Материалы VII Международной научно-технической конференции, Чебоксары, 2023. – С. 395-397.

AUTOMATIC RECOGNITION OF QR CODES ON A TELLO DRONE

Stepanova M.D., Pavlova E.E.

Supervisor: Vasilyeva L.N., Associate Professor, Candidate of Pedagogic Sciences

(*Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary*)

Abstract. This article provides an overview of QR code recognition technologies. The focus is on developing an algorithm for the Dji Tello unmanned aerial vehicle, which is ideal for experiments in computer vision and image recognition. The article presents a software code that allows for the recognition and decryption of data encoded in QR codes, which are then stored in a database on a remote server along with the date and time of scanning.

УДК 629.7.02

БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ В ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЯХ

Тарантаева А.Р.

Научный руководитель: Абдуллин И.Н., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, г. Казань)

Аннотация. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) широко используются для тушения пожаров, особенно в труднодоступных местах и при тушении лесных пожаров. Они помогают оценивать масштабы возгорания, доставлять воду и огнетушащие средства, а также проводить поисково-спасательные операции.

В данной научной статье рассматривается полезная модель, которая относится к области авиационной техники, а именно к беспилотным летательным аппаратам вертикального взлета и посадки (БПЛА ВВП) и может быть использована с целью тушения пожаров в высотных зданиях или других труднодоступных местах посредством сброса противопожарных гранат. Обеспечивает эффективность пожаротушения.

В ходе процесса разработки модели БПЛА для пожаротушения были проанализированы существующие аналоги. Были выбраны наиболее близкие по технической сущности к предлагаемому изобретению и рассмотрены их основные недостатки. Наиболее распространенными недостатками выбранных прототипов являются: большой вес конструкции; сложность конструкции аппарата и снижение безопасности полета, обусловленные взаимным расположением элементов; бипланная схема крыла и наличие неубирающегося шасси, что ухудшает аэродинамические свойства аппарата и затрудняет тушение очагов возгорания в высотных сооружениях; самолетный тип летательного аппарата, который требует наличия подготовленной взлетно-посадочной полосы, что ограничивает область применения аппарата специализированными аэродромными площадками [1].

Решаемой задачей предлагаемой полезной модели является создание беспилотного летательного аппарата вертикального взлета и посадки для тушения пожаров, который позволяет существенно повысить эффективность борьбы с огнем в высотных зданиях, которая достигается за счет локальной доставки огнетушащего порошка в место расположения очага пожара.

Техническим результатом от использования полезной модели является создание беспилотного летательного аппарата вертикального взлета и посадки модульной конструкции для тушения пожаров в высотных зданиях за счет расширения его функциональных возможностей.

Технический результат достигается тем, что данный летательный аппарат имеет ракетообразный корпус, который позволяет уменьшить сопротивление воздуха в полете. Заостренный колпак в носовой части фюзеляжа позволяет пробить физическую преграду перед очагом возгорания. На корпусе устройства закреплены четыре несущие балки, на каждой из которых расположена силовая установка, включающая в себя винтомоторную группу, которая состоит из мотора и воздушного винта. На хвостовой части корпуса расположено четыре киля. В носовой части фюзеляжа расположены курсовая камера и контроллер полета. В фюзеляже устройства в нижней центральной части корпуса находится аккумулятор, необходимый для обеспечения автономной работы устройства. Такое расположение аккумулятора предотвращает боковые смещения центра тяжести аппарата. Также внутри корпуса аппарата находятся снаряды автономного пожаротушения. Устройства срабатывают автоматически от огня, без участия человека. Проходящие по поверхности корпуса снаряда огнепроводные шнуры активируют патрон-распылитель внутри устройства. После активации снаряда происходит разрушение его корпуса устройства и распыление огнетушащего порошка для тушения очага возгорания [2].

Для пояснения технической сущности рассмотрим изображение модели и чертежи, где:

1 – верхняя часть корпуса фюзеляжа
2 – нижняя часть корпуса фюзеляжа
3 – колпак фюзеляжа
4 – крышка фюзеляжа
5 – пилон
6 – гондола
7 – воздушный винт
8 – мотор
9 – киль
10 – курсовая камера (на фигурах не показано)

11 – контроллер полета (на фигурах не показано)
12 – отсек для полезной нагрузки
13 – основание
14 – кронштейн
15 – снаряды автономного устройства пожаротушения
16 – аккумулятор

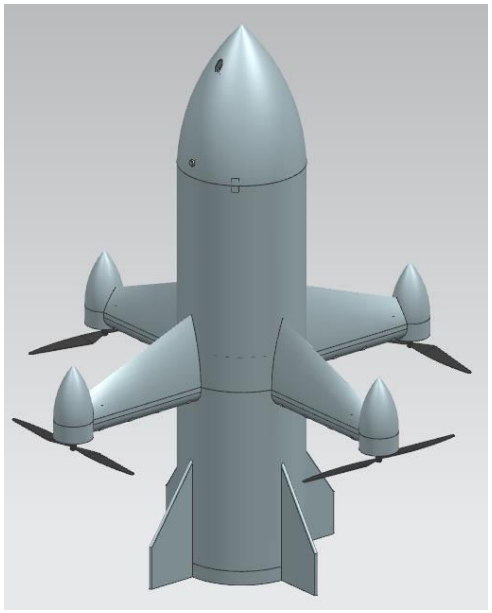


Рисунок 1. 3D-модель БПЛА ВВП ракетообразной формы модульной конструкции для тушения пожаров

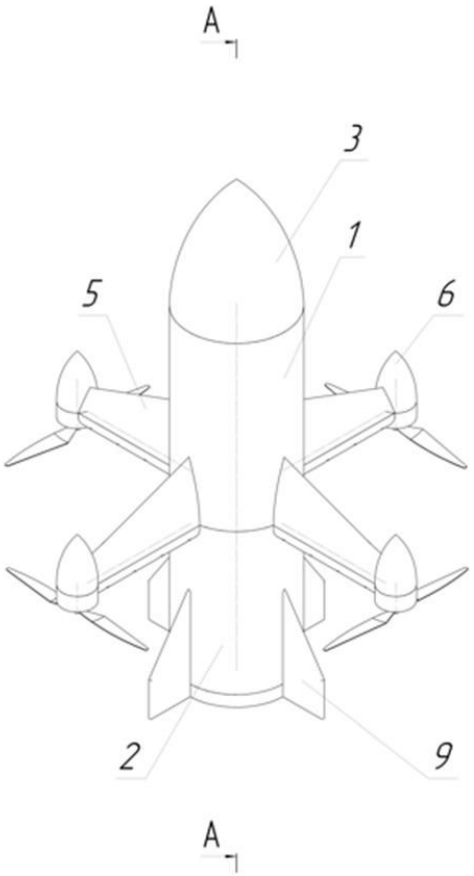


Рисунок 2. Конструкция БПЛА ВВП для тушения пожаров в изометрии

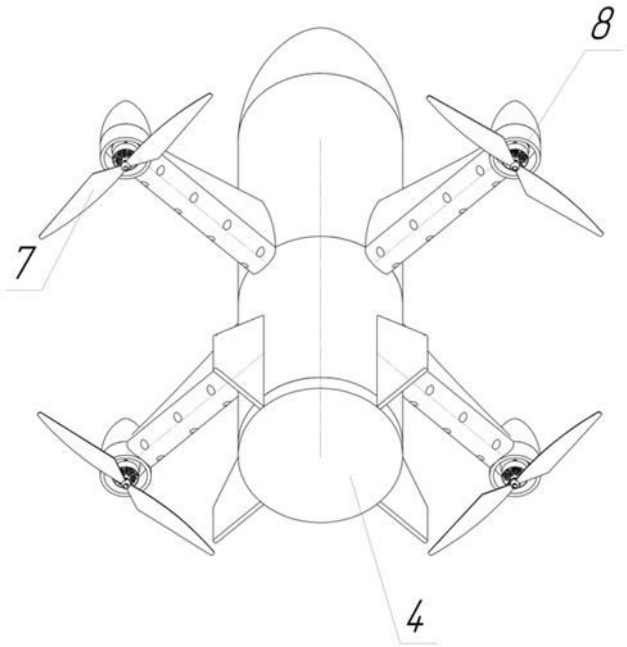


Рисунок 3. Конструкция БПЛА ВВП для тушения пожаров в изометрии (вид снизу)

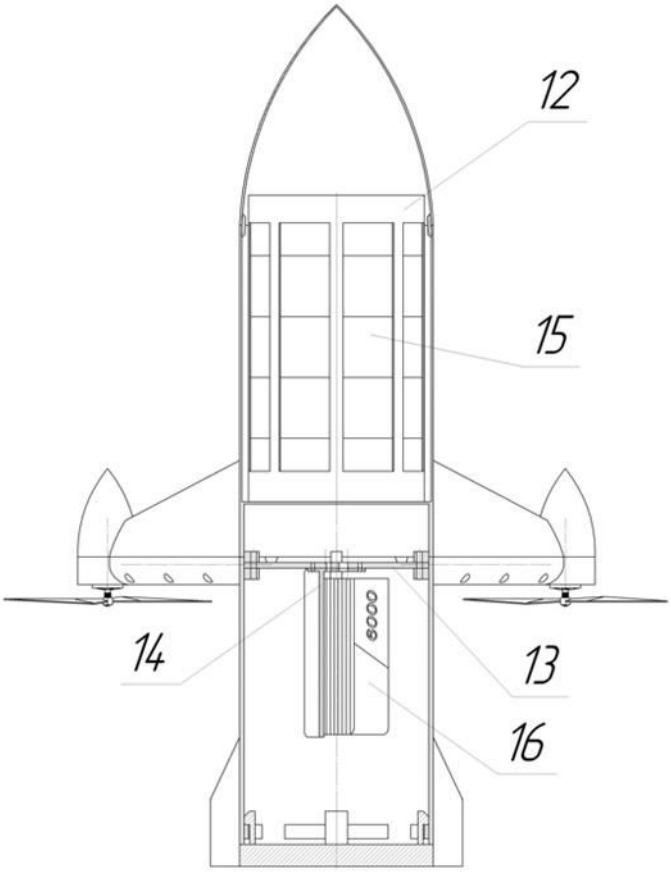


Рисунок 4. Продольный разрез конструкции БПЛА ВВП для тушения пожаров сечения А-А – вид спереди

БПЛА ВВП содержит разъемный корпус фюзеляжа, состоящий из верхней (1) и нижней (2) частей и основания (13), выполненных из стеклопластика. Корпус фюзеляжа имеет продолговатую ракетообразную форму с отсеком для размещения полезной нагрузки (12) внутри, разделенным на два отсека посредством основания (13), установленном внутри корпуса фюзеляжа. Носовая часть фюзеляжа представляет собой колпак (3), в котором

размещены курсовая камера (10) и контроллер полета (11). Отсек для полезной нагрузки (12) является герметичным, так как нижняя часть корпуса фюзеляжа (2) соединена с крышкой (4). На верхней части корпуса фюзеляжа (1) размещены четыре балки, которые представляют собой пилоны (5). На концах каждого пилона жестко закрепляются гондолы 6 с размещенными в них моторами (8) и воздушными винтами (7), соединенными с мотором с помощью крепежного винта. На нижней части корпуса фюзеляжа (2) находится хвостовое оперение, состоящее из разнесенного киля (9).

Внутри отсека для полезной нагрузки (12) находятся снаряды автономного устройства пожаротушения (15). Данный отсек для полезной нагрузки (12) разделен на две части посредством основания (13). На основании жестко закреплен кронштейн (14), на котором закреплен аккумулятор (16).

Сборка конструкции БПЛА ВВП осуществляется следующим образом:

К верхней части корпуса фюзеляжа (1) прикрепляются четыре пилона (5), на которых размещены гондолы (6.) К основанию жестко крепится кронштейн (14). На концах стержней основания размещаются моторы (8), которые в свою очередь соединены с воздушными винтами (7) путем навинчивания пропеллера на крепежный винт. Основание (13) с установленными на нем кронштейном (14), моторами (8) и воздушными винтами (7) размещается внутри корпуса фюзеляжа, устанавливается основание (13) таким образом, чтобы моторы (8) находились в гондолах (6). На кронштейне (14) закрепляется аккумулятор (16). К нижней части корпуса фюзеляжа жестко крепятся разнесенные кили (9.) К верхней части корпуса фюзеляжа (1) пристыковывается нижняя часть фюзеляжа (2) с размещенным на нем хвостовым оперением, состоящем из жестко закрепленных разнесенных килей (9). Для герметичности отсека для полезной нагрузки (12) корпус фюзеляжа закрывается в нижней части крышкой (4). В отсеке для полезной нагрузки (12) размещаются снаряды автономного устройства пожаротушения (15). В колпаке фюзеляжа (3) размещаются курсовая камера (10) и контроллер полета (11). Далее колпак фюзеляжа (3) с размещенными в нем курсовой камерой (10) и контроллером полета (11) пристыковывается к верхней части корпуса фюзеляжа (1). Разъемный корпус фюзеляжа, состоящий из верхней (1) и нижней (2) частей позволяет обеспечить быстрый доступ, ремонт и замену деталей и узлов в случае поломки данного БПЛА ВВП, что расширяет функциональные возможности данного БПЛА ВВП [3].

Заявляемое устройство работает следующим образом:

Управление БПЛА ВВП ведется с наземной станции управления (НСУ) оператором полета. Перед началом полета оператор производит создание требуемой программы полета и ее запись на карту памяти, которая устанавливается в БКУ (блок управления БПЛА). Затем производится установка заряженной аккумуляторной батареи (16) внутрь корпуса фюзеляжа БПЛА ВВП. Оператор производит запуск моторов (8), находящихся в гондолах (6), на холостых оборотах, за счет этого начинается вращение воздушных винтов (7). Через минуту происходит отрыв БПЛА ВВП от земли. После набора необходимой высоты – высоты месторасположения очага пожара в высотном здании, данный БПЛА ВВП способен передвигаться горизонтально к месту тушения пожара. Благодаря ракетообразной форме корпуса и заостренной носовой части фюзеляжа данный БПЛА способен разрушить преграду перед местом тушения пожара (например, стеклянное окно). Оказавшись у очага возгорания под температурным воздействием огня, снаряды для автономного тушения огня (15) внутри БПЛА приходят в действие – взрываются и распыляют порошкообразный противовоспламенительный состав. В случае исключения пожарной опасности при посадке БПЛА происходит изменение его направления и выключение моторов (8), прекращение вращения воздушных винтов (7), БПЛА ВВП опускается.

Разборка БПЛА ВВП осуществляется в обратном порядке:

Отстыковка верхней части корпуса фюзеляжа (1) от нижней (2). Отсоединение колпака фюзеляжа (3) от верхней части корпуса фюзеляжа (1). Извлечение курсовой камеры (10) и контроллера полета (11) из колпака фюзеляжа (3). Извлечение снарядов для

пожаротушения 15 из отсека для полезной нагрузки (12) внутри корпуса фюзеляжа. Отсоединение аккумуляторной батареи (16) от кронштейна (14). Отсоединение крышки (4) от нижней части корпуса фюзеляжа (2). Отсоединение хвостового оперения от нижней части корпуса фюзеляжа (2). Отсоединение кронштейна (14) от основания (13). Отсоединение основания (13) с размещенными на нем моторами (8) и воздушными винтами (7) от корпуса фюзеляжа. Отсоединение воздушных винтов (7) от моторов (8). Отсоединение моторов (8) от основания (13).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кузнецов А.В.* «Технологии дистанционного мониторинга крупных пожаров с использованием беспилотных авиационных систем»: монография / А.В. Кузнецов, Н.Г. Топольский, М.О. Баканов [и др.]. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020, 124 с.

2. *Дракин И.И.* «Основы проектирования беспилотных летательных аппаратов с учетом экономической эффективности» – Москва: Изд-во «Машиностроение», 1973, с. 224.

3. *Ковалёв М.А*. «Беспилотные летательные аппараты вертикального взлета: сборка, настройка и программирование: учебное пособие» / М. А. Ковалёв, Д. Н. Овакимян. — Самара: Самарский университет, 2023. — 96 с.

UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR VERTICAL TAKE-OFF AND LANDING TO EXTINGUISH FIRES IN HIGH-RISE BUILDINGS

Tarantaeva A.

Supervisor: Abdullin I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Abstract. This scientific article discusses an utility model that relates to the field of aviation technology, namely unmanned aerial vehicles for vertical takeoff and landing (UAVs) and can be used to extinguish fires in high-rise buildings or other hard-to-reach places by dropping fire grenades. Ensures fire extinguishing efficiency.

УДК 629.7.085

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭТАПА ВЗЛЁТА В РАМКАХ ПЕРЕХОДА К ОДНОЧЛЕННОМУ ЭКИПАЖУ ТРАНСПОРТНЫХ САМОЛЁТОВ

Чернышевский Н.А.

(*Филиал ПАО «Яковлев» - «Региональные самолёты», г. Москва*)

Аннотация. Доклад посвящён разработке алгоритмов автоматического управления воздушным судном на этапе взлёта, направленных на повышение безопасности полёта в рамках реализации концепции одночленного экипажа. Актуальность работы обусловлена тенденцией к сокращению количества членов экипажа и переходу к полностью автоматическим и в перспективе — беспилотным пассажирским самолётам.

Введение

Современная пилотируемая гражданская авиация движется по пути увеличения автоматизации процессов управления и перекладывания выполнения многих задач на автоматику. Для полного перехода гражданских пассажирских воздушных судов на беспилотное управление сейчас, безусловно, требуется решить большое количество нетривиальных задач и провести масштабную работу, но тенденция к уменьшению количества членов экипажа в кабине наблюдается со времён появления массовой коммерческой эксплуатации самолётов.

Возможно ли оставить в кабине одного человека?
Какие задачи для этого требуется решить?

Повышение уровня автоматизации современных самолетов транспортной категории приводит к значительному снижению нагрузки на экипаж, более 90% полетного времени воздушное судно (далее – ВС) выполняет полет в полностью автоматическом режиме управления на заранее предусмотренном и заложенном в систему самолётовождения навигационном маршруте. Для реализации концепции одночленного экипажа полная автоматизация всех этапов полёта является необходимым условием. При этом взлет является единственным этапом полета, который не автоматизирован в полном объеме ни одним из производителей ВС транспортной категории. Таким образом, актуальность настоящей работы обусловлена предложением решения проблемы автоматизации взлета и учитывает современные тенденции по развитию концепций одночленного экипажа.

Необходимо отметить, что переход от классического двучленного экипажа к одночленному является промежуточной, но необходимой, стадией для создания полностью беспилотного гражданского самолёта, так как создание беспилотного пассажирского самолёта требует переформатирования всей инфраструктуры, обслуживающей коммерческие авиаперевозки (аэропорты, взаимодействие с диспетчерами и т.д.), а также влечёт необходимость масштабного реформирования всей авиационной законодательной базы.

Поставленная проблема: отсутствие автоматизации процесса взлёта самолёта, необходимость лётчика принимать непосредственное участие в управлении самолётом на этапе взлёта. При этом повышен риск возникновения нештатных ситуаций, а также допущения экипажем ошибок пилотирования в условиях высокой психофизиологической загрузки и малого запаса времени на принятие решения. Точность пилотирования при ручном управлении ниже, чем при автоматическом, что неизбежно приводит к ухудшению заявленных производителем взлётных характеристик.

Концепция одночленного экипажа

Переход от двучленного экипажа к одночленному возможен только при решении следующего ряда задач:

1. Разработка системы контроля работоспособности пилота. Основной проблемой является то, что в двучленной компоновке в случае потери работоспособности одного из лётчиков (внезапное ухудшение здоровья и др.) управление на себя берёт второй. Поэтому в первую очередь необходимо разработать систему, которая будет оперативно детектировать потерю работоспособности пилота;
2. Достижение должного уровня автоматизации, который позволит в автоматическом режиме безопасно завершить полёт при обнаружении потери работоспособности пилота;
3. Перераспределение должностных обязанностей второго пилота на автоматические системы. В течение всего полёта второй пилот выполняет множество задач, таких как чтение контрольных карт проверок, связь с диспетчером, работа с FCP (панель управления полётом), контроль показателей на пилотажном дисплее на этапе взлёта и посадки и т.д., которые нельзя перекладывать на пилотирующего лётчика, чтобы не увеличивать его загруженность;
4. Автоматизация взлёта: взлёт является наиболее ответственным этапом полёта, этот этап в том числе требует, как принятия решения экипажем в условиях малого запаса времени, так и управляющих воздействий, которые должны обеспечивать требуемый нормами уровень безопасности полетов. Самолёт с одним членом экипажа должен иметь возможность совершать взлёт в автоматическом режиме даже при обнаружении потери работоспособности пилота после наступления скорости принятия решения;
5. Проведение разъяснительной работы с эксплуатантами самолётов и с пассажирами. Необходимо убедить тех, кто эксплуатирует ВС в том, что безопасность полётов останется на прежнем уровне или возрастёт, даже при том, что в кабине останется

один человек и при потере работоспособности пилота полёт будет завершён в автоматическом режиме;

6. Необходимо предусмотреть возможность обучения члена экипажа. В реалиях двучленного экипажа пилот-инструктор сидит на месте второго пилота и обучает лётчика, сидящего на месте командира воздушного судна. В концепции одночленного экипажа в кабине будет только одно кресло, поэтому необходима проработка вопроса обучения;

7. Пересмотр взаимодействия бортпроводников и пилота в новых реалиях его обязанностей.

Автоматизация взлёта является критическим этапом перехода на воздушные суда с одним членом экипажа, так как имеет место быть такой опасный фактор, как потеря работоспособности пилота [1]. По статистике вероятность наступления потери работоспособности пилотом равна 10^{-6} на один час полёта. В таком случае система должна иметь возможность без участия лётчика безопасно завершить полёт.

Безопасность полётов

Основным требованием, предъявляемым к гражданской авиационной технике, является обеспечение безопасности полёта, в том числе уменьшение летных происшествий из-за ошибок пилотирования. Систематизация статистических данных о лётных происшествиях ведётся во всём мире более 60 лет. Эти данные позволяют выявить самые частые причины авиационных происшествий.

Из рисунка 1, представленном в [2], следует, что чаще всего к авиационным катастрофам приводят ошибочные действия экипажа – порядка 66%. Активнее всего экипаж принимает участие в непосредственном управлении самолётом на этапе взлёта, захода на посадку и посадки. Ошибки пилотирования, допущенные на этих этапах, в значительной части случаев приводят к авиационным происшествиям, несмотря на то, что каждый из этапов длится не более $2 - 4$ % времени от общей длительности полёта, что подтверждают статистические данные, представленные на рисунке 2 [2].

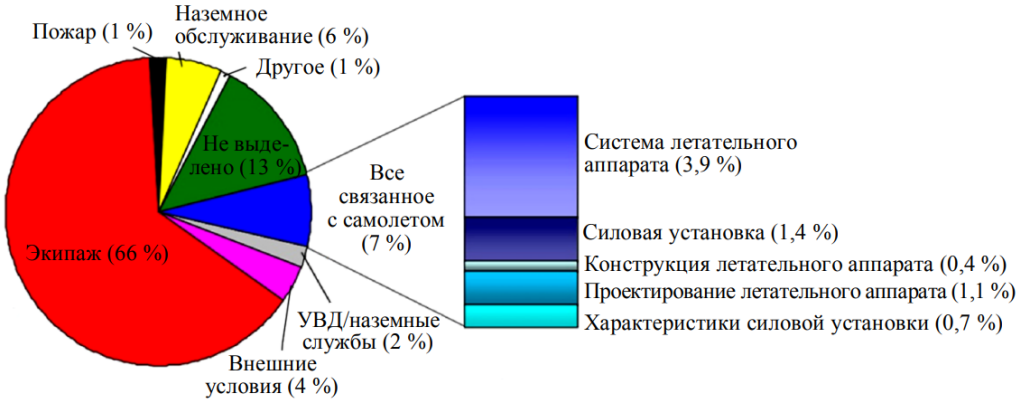


Рисунок 1. Соотношение числа катастроф и их причин в 1997-2006 гг. [2]

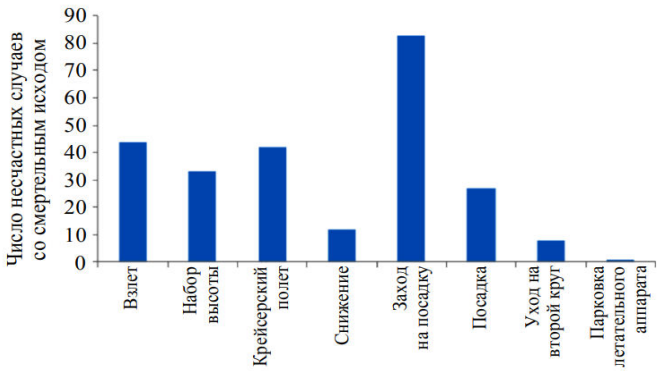


Рисунок 2. Число несчастных случаев со смертельным исходом с разбивкой по этапам полёта 2002-2011 гг. [2]

Обратим внимание, что в мировой практике самолётостроения этапу посадки уже уделено пристальное внимание. На текущий момент существуют надёжные системы автоматической посадки высоткой точности [3]. При этом этап взлёта является единственным не автоматизированным в полной мере этапом полёта. Нештатные ситуации, которые могут возникнуть во время взлёта, обладают быстротечным характером и высокой степенью опасности. Например, отказ двигателя на скорости, близкой к скорости отрыва от взлётно-посадочной полосы (далее - ВПП), требует от лётчика реакции за время порядка одной секунды. Этим и обусловлена высокая актуальность проблемы автоматизации взлёта.

Техническая реализация автоматического взлёта позволит перейти к решению более масштабных задач по повышению безопасности полётов. Таких как:

- автоматический полёт от взлёта до посадки, что полностью исключит негативное влияние человеческого фактора на безопасность полётов;
- возможность перехода на одночленный экипаж (только при решении и ряда других задач, необходимых для перехода на одночленный экипаж).

А в дальнейшем это позволит приблизить разработку полностью беспилотного гражданского воздушного судна.

Анализ уже существующих разработок

На Международном авиасалоне в Фарнборо (Великобритания) 23 июля 2024 года бразильский авиастроительный конгломерат, один из лидеров мирового рынка пассажирских региональных самолётов Embraer представил первую в мире, по заявлению производителя, систему автоматического взлета пассажирских самолетов «Embraer Enhanced Takeoff System (E2TS)» [4], которая оптимизирует взлет самолетов категории E2 – узкофюзеляжные двухмоторные ВС вместимостью от 78 до 118 пассажиров.

С технической точки зрения система представляет из себя блок автоматического управления самолётом на этапе взлёта в продольном канале – рулём высоты и стабилизатором. Пилот по-прежнему в ручном режиме, воздействуя на педальный пост управления, отклоняет руль направления и поворачивает носовую опору во время разбега по ВПП, тем самым контролирует положение самолёта в путевом канале. А работающая САУ в этот момент, дожидавшись скорости отрыва носовой опоры, отклоняет руль высоты на кабрирование согласно заданному закону и выдерживает безопасную скорость взлёта. Т.е. автоматическое управление на взлёте осуществлено не в полной мере, а только в продольном канале, и по большей части направлено не на автоматизацию процесса ради повышения безопасности, а для более точного управления в вертикальной плоскости и экономии топлива впоследствии.

Бразильский производитель утверждает, что предлагаемая система E2TS улучшает взлётные характеристики самолета, начальную траекторию набора и тем самым экономит топливо, что приводит к увеличению полезной нагрузки, а также снижает нагрузку на пилота. Планируется, что E2TS поступит в массовую эксплуатацию в конце 2025 года. Компания Embraer уже начала предлагать эту опцию клиентам. Президент и исполнительный директор Embraer Commercial Aviation заявил, что решение о разработке и запуске E2TS было продиктовано спросом клиентов и желанием компании вывести возможности своих самолётов на новый уровень, что ещё раз подчёркивает необходимость ведения исследований в данном направлении.

Автоматизация взлёта

Задача полной автоматизации процесса взлёта является очень нетривиальной, т.к. в процессе взлёта лётчик осуществляет управление в двух каналах. При этом основной сложностью является управление в путевом канале во время разбега. На разбеге лётчик управляет, контролируя три параметра:

- ω_y – угловая скорость рысканья;
- Ψ – курс;
- Z – удаление от оси ВПП.

Обеспечением информацией о текущей угловой скорости рысканья и курса в современных ВС как правило занимается инерциальная система (далее – ИС). Современные ИС обеспечивают высокую точность, но работают в определённом диапазоне скоростей, как правило ограниченном снизу определённым значением. А вот информацию о текущем удалении от оси ВПП комплексная система управления может получить только из внешних источников, например, от инструментальной системы посадки ILS [3]. Надёжность сигнала современных ILS оставляет желать лучшего. А обеспечение информацией о координате Z могут гарантировать только системы, сертифицированные для автоматической посадки по категории IIIB. На текущий момент в Российской Федерации такие аэродромы отсутствуют. Поэтому в данной работе предлагается решение проблемы автоматизации взлёта исключительно в продольном канале, т.к. автоматизация управления в путевом канале на взлёте требует затрат больших ресурсов на создание систем, обеспечивающих самолёт информацией о текущем положении с высокой точностью и надёжностью.

Продольное управление

В гражданских самолётах классической схемы управление в продольном канале осуществляется при помощи руля высоты при условии, что ВС сбалансирован, т.е. переставной стабилизатор выставлен в требуемое для взлёта положение, в соответствии с текущем весом и центровкой.

В случае взлета с двумя работающими двигателями, согласно требованиям Норм лётной годности [5], алгоритм взлета должен выдерживать скорость $V_2 + 10$ узлов. В случае отказа двигателя выдерживаемая скорость должна выбираться как достигнутая к моменту отказа скорость ВС, ограниченная диапазоном $\{V_2 \div (V_2 + 25)\}$ узлов.

С точки зрения управления в продольном канале удобно поделить всю траекторию взлёта на три участка:

1. Разбег по ВПП. Руль высоты в управлении на данном этапе не участвует, командный сигнал равен нулю или РВ отклонён на пикирование для компенсации кабрирующего момента при взлёте с задней центровкой.
2. Поднятие носовой стойки при достижении скорости отрыва V_r и отрыв. После достижения скорости отрыва необходимо поднять носовую стойку с заданной угловой скоростью, обеспечивающей комфортную для пассажиров перегрузку и при этом минимальную взлётную дистанцию. Схема предлагаемого закона управления изображена на рисунке 3.

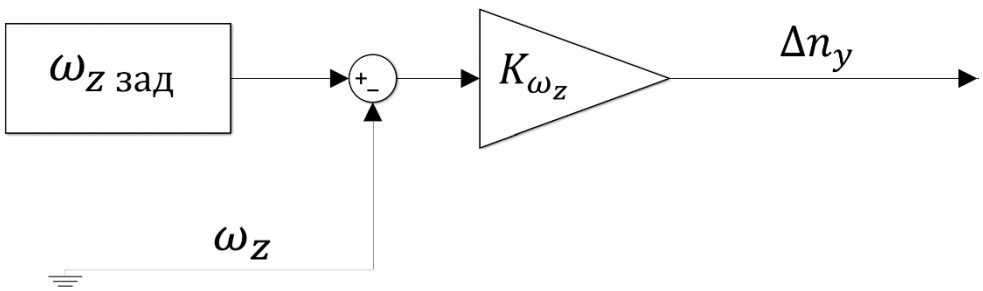


Рисунок 3. Закон управления в продольном канале при поднятии носовой опоры

Заданная угловая скорость поднятия носовой опоры для гражданских ВС рекомендуется 3.5 градуса в секунду. Такая угловая скорость обеспечивает комфортную и достаточную перегрузку при управлении. Дистанции продолженного взлёта в лётном руководстве, как правило, рассчитаны исходя из условия поднятия носовой опоры именно с такой угловой скоростью. Этап продолжается вплоть до отрыва основных стоек шасси от поверхности ВПП.

3. Управление углом наклона траектории при заданном режиме работы двигателей и заданной скорости полёта V_2 после отрыва от ВПП. Схема закона управления изображена на рисунке 4.

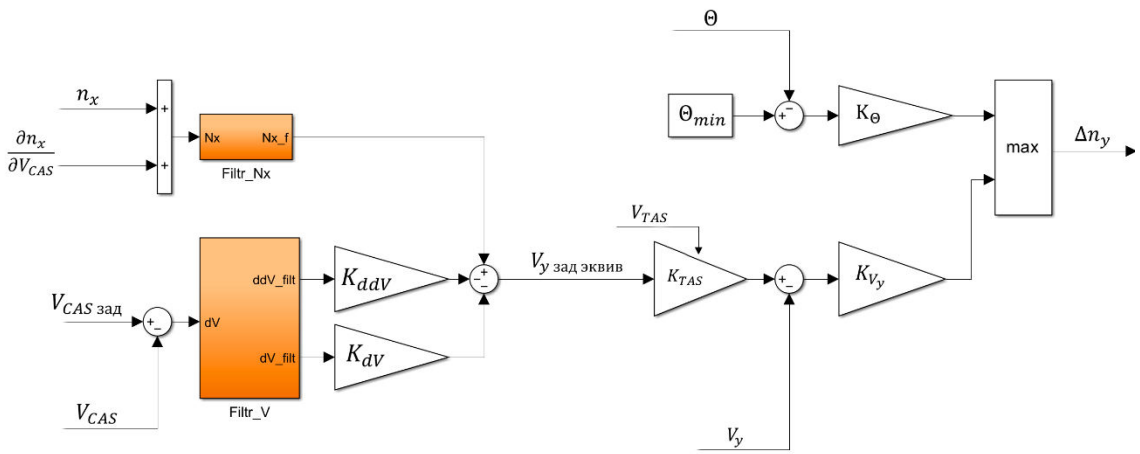


Рисунок 4. Закон управления в продольном канале после отрыва

Предложенный закон управления обеспечивает выдерживание определённого значения вертикальной скорости, которое обеспечивает постоянство приборной скорости при заданном режиме работы двигателей на всём этапе взлёта, а также при полёте в неспокойной атмосфере со значительным уровнем внешних возмущений. Закон управления также ограничивает минимально возможный угол наклона траектории, определённый для взлёта.

Непосредственно управляющий сигнал, поступающий на руль высоты, и представляющий из себя командное приращение перегрузки формируется по закону:

$$\Delta n_y = K_{V_y}(V_{y\ \text{зад эквив}} - V_y),$$

где Δn_y – командное приращение перегрузки;

K_{V_y} – коэффициент влияния ошибки по вертикальной скорости;

$V_{y\ \text{зад эквив}}$ – эквивалентное значение заданной вертикальной скорости, учитывающее изменение приборной скорости и продольной перегрузки, вследствие воздействия возмущений, м/с;

V_y – вертикальная скорость, м/с.

Заключение

Описанные выше законы продольного управления уже успешно используются в гражданских ВС для ручного управления на этапе взлёте в директорном режиме управления. Реализация такого закона на базе системы автоматического управления позволит повысить точность пилотирования и исключить лётчика из контура активного управления, придав ему роль оператора, что приведёт к улучшению взлетных характеристик, безопасности полётов и экономии топлива.

Необходимо отметить, что для управления самолётом в продольном канале на взлёте нет необходимости использовать какие-либо внешние системы, не находящиеся на борту. Для управления используются только сигналы системы воздушных сигналов, инерциальной системы и сигналы от блока управления шасси. Эти системы установлены на борту любого современного гражданского самолёта. Таким образом, реализация автоматического взлёта в продольном канале возможна на базе уже летающих ВС без внесения изменений в конструкцию, а только при помощи разработки нового программного обеспечения.

Автоматизация взлёта в продольном канале позволит сделать первый шаг на пути перехода сперва к одночленному экипажу, а затем и к полностью беспилотному воздушному судну.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Руководство по авиационной медицине. ICAO Doc 8984. Третье издание. 2012. 650с.
2. Методика оценки рисков человеческого фактора из-за ошибок летчика в процессе пилотирования авиационной техники / А.В. Ефремов, М.С. Тяглик, И.Х. Иргалеев [и др.] // Изв. вузов. Авиационная техника. – 2020. – № 2. – С. 63 – 69.
3. Радиомаячная система посадки ILS 2700 / С.И. Волков, П.В. Барабицкий, А.В. Саяпин [и др.] // Учебное пособие. – М.: Некоммерческое образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Институт аэронавигации», 2017 – 100 с.
4. Interesting Engineering: электронный журнал. URL: https://interestingengineering.com/transportation/embraer-world-1st-auto-takeoff-planes. Дата публикации: 25.07.2024.
5. Нормы лётной годности самолётов транспортной категории НЛГ-25. 2022. 335 с.

AUTOMATION OF THE TAKEOFF PHASE WITHIN THE TRANSITION TO SINGLE-PILOT OPERATIONS FOR TRANSPORT CATEGORY AIRCRAFT

Chernyshevsky N.A.

(*Branch of PJSC «Yakovlev» – «Regional Aircraft», Moscow*)

Abstract. The paper focuses on the development of automatic aircraft control algorithms for the takeoff phase, aimed at enhancing flight safety as part of the single-pilot operation (SPO) concept. The relevance of the study arises from the global trend toward crew size reduction and the gradual transition to fully automated and, in the long term, unmanned passenger aircraft.

УДК 378.162.33

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ПО ТЕСТИРОВАНИЮ ДАТЧИКОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Шерендяк А.А.

Научный руководитель: Стрелков А.Ю., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Доклад посвящен разработке специализированного лабораторного стенда, предназначенного для тестирования и исследования датчиков беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В рамках проекта был разработан и изготовлен лабораторный стенд. Уделено внимание подбору компонентной базы и конструкторскому решению стенда, обеспечивающему простоту эксплуатации, доступность замены датчиков и возможность проведения широкого спектра испытаний.

Введение

В последние годы беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали неотъемлемой частью технического прогресса и нашли широкое применение в самых разнообразных областях человеческой деятельности. Они активно используются в геодезии и картографии, в сфере мониторинга экологического состояния и природных ресурсов, в сельском хозяйстве для оценки урожайности и обработки полей, в службах спасения при ликвидации чрезвычайных ситуаций и, конечно, в оборонной промышленности [1]. Важнейшим условием для успешного выполнения задач, возлагаемых на БПЛА, является надежность, точность и стабильность работы бортовых датчиков [2]. Именно эти устройства обеспечивают возможность эффективной навигации, пространственной ориентации и автономного управления беспилотниками.

Ключевым условием качественной подготовки специалистов в области беспилотной авиации является наличие современных лабораторных стендов, предназначенных для практического изучения, тестирования и анализа работы датчиков, используемых на борту БПЛА. Существующие учебные программы в этой области часто сталкиваются с проблемой недостаточной оснащённости лабораторной базы, отсутствием специальных стендов, позволяющих полноценно проводить испытания и исследования датчиков различного назначения. Поэтому проектирование и разработка специализированного лабораторного стенда становится актуальной задачей, решение которой способно существенно повысить качество подготовки будущих инженеров и специалистов в сфере беспилотных систем, предоставляя им возможность работать с современным оборудованием и получать практический опыт. Более того, лабораторный стенд может стать основой для научных исследований давая возможность экспериментировать с различными типами датчиков и системами управления. Такое оборудование может поспособствовать обновлению и модернизации учебных планов, что позволит предложить более современные и актуальные на сегодняшний день курсы подготовки.

Целью работы является проектирование и разработка специализированного лабораторного стенда, предназначенного для комплексного изучения и тестирования датчиков, используемых в современных беспилотных летательных аппаратах.

1 Выбор комплектующих для разрабатываемого стенда

1.1 Выбор микроконтроллерной платформы управления

Изучив различные ресурсы и сравнив предложения на рынке электронных плат, в качестве основного логического узла была выбрана платформа Arduino Uno из-за своих возможностей, доступности, широкой распространённости и совместимости с множеством различных датчиков. Микроконтроллерная платформа Arduino Uno основана на базе микроконтроллера ATmega328P семейства AVR с тактовой частотой 16 МГц [3]. Она легко подключается к ПК с помощью кабеля USB и, благодаря развитой IDE с поддержкой сторонних библиотек, даёт возможность написать, загрузить и протестировать код буквально в считанные минуты. Также платформа Arduino Uno имеет довольно большое количество цифровых и аналоговых входов, благодаря чему к ней можно подключить и получать данные сразу с нескольких датчиков, объединяя их в систему.

Характеристики микроконтроллера ATmega328P [4]:

- Рабочее напряжение: 5В;
- Рекомендуемое входное напряжение: 7 – 12 В;
- Предельное входное напряжение: 6 – 20 В;
- Цифровые входы/выходы: 14 (6 из которых обладают ШИМ);
- Аналоговые входы: 6;
- Максимальный постоянный ток через вход/выход - 40 мА;
- Постоянный ток для вывода 3.3 и 5 В: 50 мА;
- Flash-память - 32 Кб (из которых 0.5 Кб используются для загрузчика);
- ОЗУ - 2 Кб;
- EEPROM - 1 Кб;
- Тактовая частота - 16 МГц.

Микроконтроллер ATmega328P не содержит USB интерфейса, поэтому для прошивки и коммуникации с ПК на плате присутствует дополнительный микроконтроллер ATmega16U2 с прошивкой USB-UART преобразователя. Микроконтроллер ATmega328P общается с ПК через сопроцессор ATmega16U2 по интерфейсу UART используя сигналы RX и TX, которые параллельно выведены на контакты 0 и 1 платы Arduino Uno соответственно. При подключении к ПК плата Arduino Uno определяется как виртуальный COM-порт.

В качестве доступных разъёмов для подключения датчиков будут использованы 6 аналоговых входов (A0-A5) и 12 цифровых выводов (D2-D13). Эти выводы будут представлены на передней панели разрабатываемого лабораторного стенда для свободного использования в процессе работы с ним.

1.2 Датчики расстояния

Датчики расстояния позволяют беспилотному аппарату измерять удалённость до объектов и поверхности, что важно для удержания высоты, автоматической посадки и предотвращения столкновений. К основным типам относятся ультразвуковые, инфракрасные и лазерные дальномеры.

Для использования в разрабатываемом лабораторном стенде в качестве ультразвукового дальномера был выбран самый распространенный модуль модели HC-SR04.

В качестве инфракрасного датчика измерения расстояния, входящего в состав разрабатываемого лабораторного стенда, был выбран модуль инфракрасного дальномера Sharp модели GP2Y0A21YK0F.

В качестве лазерного дальномера для оснащения лабораторного стенда был выбран датчик VL53L0XV2 в исполнении модуля GY-530. Это один из самых маленьких датчиков лазерных дальномеров доступных на сегодняшний день.

1.3 Датчики состояния магнитного поля

К датчикам состояния магнитного поля относятся устройства, реагирующие на наличие или изменение магнитных полей. В контексте БПЛА такие сенсоры могут использоваться для измерения токов, положения вращающихся частей или в системах безопасности. В разрабатываемом лабораторном стенде используются датчик Холла KY-024 и геркон (герметичный магнитоконтактный датчик).

1.4 Датчики состояния окружающей среды

Для успешной эксплуатации БПЛА важно учитывать параметры окружающей среды. Специальные датчики могут измерять температуру, влажность воздуха, состав атмосферы и даже обнаруживать движение объектов вокруг. Эти данные используются как для адаптации работы дрона к условиям (например, коррекция высоты по температуре), так и для целевых задач – например, мониторинга окружающей среды при эко-исследованиях. Датчики состояния окружающей среды позволяют беспилотным аппаратам адаптироваться к изменяющимся условиям и обеспечить выполнение задач с высоким уровнем эффективности. В стенде применяются следующие датчики: датчик температуры, датчик влажности, датчик углекислого газа и датчик движения.

После изучения предложений было принято решение использовать цифровой датчик температуры DS18B20 из-за его невысокой стоимости и применения в различных решениях.

В качестве датчика влажности был выбран датчик DHT22 (AM2302) в модульном исполнении. Он относится к емкостному типу датчиков влажности. Внутри находится электролитический конденсатор, проводимость между обкладками которого изменяется из-за влажности среды. Данные о влажности формируются после измерения его емкости.

Выбранный для установки в лабораторный стенд датчик угарного газа имеет модель MQ-9. Он определяет концентрацию угарного газа, метана, природного газа, сжиженного углеводородного газа (LPG), изобутана, (n)бутана - а значит может быть использован, например, чтобы вовремя узнать об утечке опасного для здоровья человека угарного газа и предупредить об этом. В общем этот датчик подходит для решения широкого спектра задач связанного со здоровьем человека и не только.

Выбранный для использования в лабораторном стенде датчик движения имеет модель HC-SR505 и относится к инфракрасному типу.

1.5 Датчики углового положения и частоты вращения

Для измерения углового положения валов, поворота механизмов и скорости вращения узлов в технике используются потенциометры и энкодеры. В БПЛА такие датчики применяются преимущественно во внутренних системах – например, для отслеживания положения сервоприводов, поворота камеры или измерения оборотов моторов в тестовых установках. Они позволяют реализовать обратную связь по положению, необходимую для точного управления движущимися частями беспилотника.

Для использования в разрабатываемом лабораторном стенде был выбран потенциометр с сопротивлением 1кОм.

В стенде используется самый популярный инкрементальный энкодер EC11 с кнопкой. При его вращении на выходах A и B формируются TTL сигналы в виде импульсов, сдвинутых между собой по фазе на 90 градусов. Таким образом, с его помощью можно определить направление и скорость вращения, а также рассчитать угол поворота.

1.6 МЭМС-датчики

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) – это миниатюрные датчики, изготовленные по технологиям микроэлектроники, которые способны измерять параметры движения и ориентацию в пространстве. В БПЛА они составляют основу инерциальных измерительных блоков (IMU). К таким датчикам относятся гироскопы, акселерометры и магнитометры (электронные компасы). В современном беспилотнике обычно устанавливается единый модуль IMU, объединяющий трёхосевой гироскоп, трёхосевой акселерометр и трёхосевой магнитометр, что позволяет измерять угловые скорости, линейные ускорения и угловую ориентацию относительно магнитного поля Земли. Эти данные критически важны для устойчивого полёта: они используются автопилотом для оценки ориентации (углы крена, тангажа, рыскания) и параметров движения дрона.

В разрабатываемом лабораторном стенде используется модуль GY-521, который построен на базе микросхемы MPU6050. Он включает в себя одновременно и гироскоп, и акселерометр. На плате модуля также расположена необходимая обвязка для микросхемы MPU6050, включая подтягивающие резисторы интерфейса I^2C. Гироскоп используется для измерения угловых скоростей, а акселерометр – линейных ускорений. Совместное использование акселерометра и гироскопа позволяет определить параметры движения тела в трехмерном пространстве.

В состав лабораторного стенда по изучению датчиков беспилотных летательных аппаратов будет также входить модуль компаса-магнитометра модели GY-273, который позволяет измерять магнитное поле в трех измерительных осях. Модуль GY-273 – это 3-х осевой компас-магнитометр, основанный на чипсете QMC5883L.

1.7 Датчики определения местоположения и навигации

Для полноценной навигации беспилотным аппаратам требуется знать своё местоположение в глобальной системе координат – широту, долготу и высоту над уровнем моря. Эту задачу решают спутниковые навигационные приёмники. Наиболее распространённым является GPS-приёмник, он часто бывает совмещённый с поддержкой других систем – ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou.

Для использования в лабораторном стенде был выбран модуль GPS трекера на базе чипа NEO-6M.

2 Разработка конструкции стенда

Практическая разработка лабораторного стенда была начата с проектирования корпуса будущей установки. Перед началом проектирования была определена конструктивная концепция стенда, включающая следующие требования:

- Компактность и удобство размещения на рабочем столе;
- Наличие креплений для платформы микроконтроллера (Arduino Uno), датчиков и элементов индикации;
- Наличие отдельных зон с разбитыми по группам датчиками, а также зона для коммутации информационных выходов датчиков и входов микроконтроллера;
- Возможность лёгкого доступа к электронным компонентам для диагностики и ремонта.

Первым делом после начала проектирования была разработана передняя панель будущего лабораторного стенда. Для этого потребовалось снять необходимые размеры с физических датчиков, модулей и других комплектующих с помощью штангенциркуля. Панель включает в себя расположение всех используемых датчиков и необходимые отверстия для их корректного функционирования, их собственные наименования и подпись их информационных выводов, а также разбиение комплектующих в группы по их типу и назначению. Итог проектирования передней панели стенда представлен на рисунке 1.

Рисунок 1. Передняя панель лабораторного стенда

В верхней части стенда будут располагаться сами датчики и их информационные выводы, необходимые для подключения к микроконтроллеру. В нижней четверти находится панель сопряжения датчиков с выключателем, который регулирует подачу питания на все датчики, светодиодом, который отображает состояние подачи напряжения, кнопкой сброса, которая отвечает за перезагрузку платы Arduino Uno, и набором гнёзд, которые подключены непосредственно к аналоговым и цифровым входам платы управления. Также в правом нижнем углу присутствует дополнительный светодиод, который может быть использован в различных сценариях, где требуется индикация.

Для удобства работы с датчиками было принято решение перенести инерциальные датчики (гироскоп/акселерометр) и магнитный компас в отдельный выносной модуль, чтобы избежать необходимости вращения всего лабораторного стенда при проведении с ними работ. Для этого был спроектирован отдельный корпус для датчиков с МЭМС. Он представляет из себя отдельный выносной модуль внешне напоминающий куб, у которого на трёх гранях подписаны оси X, Y и Z соответственно, что продемонстрировано на рисунке 2. Внутри корпуса также предусмотрены крепления для двух модулей и крышки с помощью винтовых соединений. Для этого в нужных местах выдавлены углубления, предназначенные для последующей установки в них вплавляемых латунных гаек размера М3, что можно увидеть на рисунке 3.

Рисунок 2. Корпус для датчиков с МЭМС

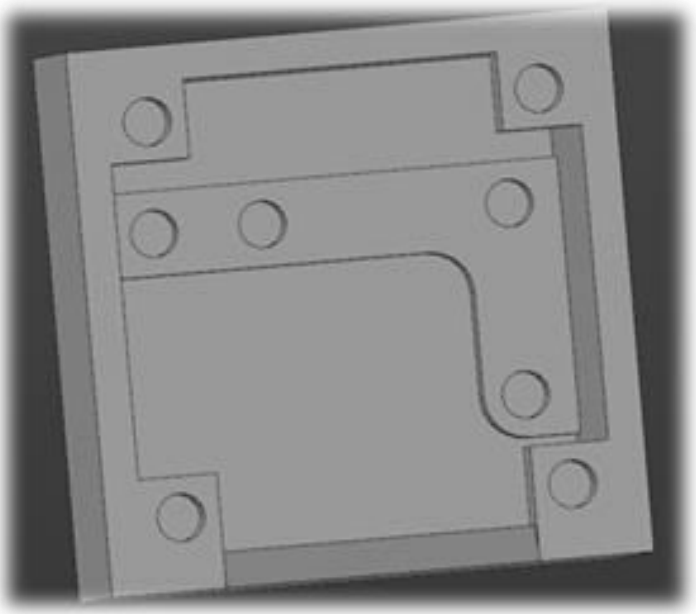


Рисунок 3. Корпус для датчиков с МЭМС (вид внутри)

Далее была спроектирована внутренняя часть основного корпуса стенда. Для этого были произведены необходимые замеры размеров с физических датчиков, модулей и других комплектующих с помощью штангенциркуля. Это требовалось для корректного размещения и закрепления составляющих лабораторного стенда. В качестве крепления используется винтовое соединение винт-гайка размера М3. Для этого при проектировании внутренней части корпуса в нужных местах были предусмотрены углубления, предназначенные для последующей установки в них вплавляемых латунных гаек, с последующей возможностью крепления к ним всех компонентов. Также при разработке крепления для управляющей платы Arduino Uno в одной из стенок были предусмотрены отверстия для вывода в них разъёма питания платы, разъёма USB type-C, использующегося для подачи энергии на датчики, и USB порта, который может использоваться, как для подачи питания на управляющую плату, так и для соединения с ПК.

При разработке внутренней части корпуса особое внимание было уделено местам крепления задней крышки. Они расположены преимущественно по краям в следующем количественном соотношении – 4 снизу и сверху, 3 по бокам. Однако без крепления, расположенного внутри основной части и не прилегающего к боковым ребрам было не обойтись, так как это создавало бы пустоту, которая, под большой площадью крышки, могла бы привести к недостаточной прочности всей конструкции. Поэтому были размещены два дополнительных крепления задней крышки внутри корпуса. Однако при их проектировании быстро стало понятно, что если сконструировать их в виде цилиндров, то возникает множество вопросов уже к прочности самих креплений. Поэтому во избежание их деформации было принято решение сделать их в виде трапеции, так как она обладает большей площадью и не мешает размещению соседствующих датчиков. Также, при проектировании, были предусмотрены места для установки вплавляемых латунных гаек размера М5. Соединение задней крышки с основным корпусом планируется винтовым.

Отдельно стоит отметить, что для крепления выносного модуля «куб» в верхней грани основного корпуса лабораторного стенда предусмотрено отдельное место. Крепление производится на винты размера М3. Итоговый вариант внутренней части корпуса представлен на рисунке 4.

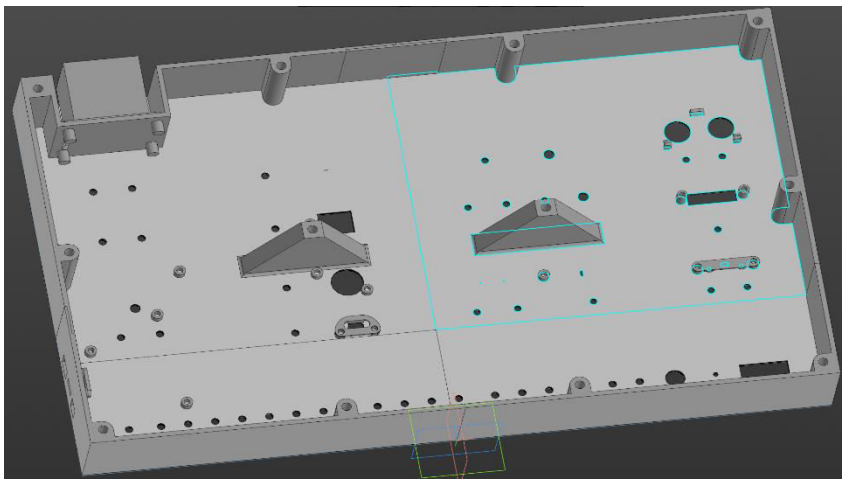


Рисунок 4. Внутренняя часть корпуса лабораторного стенда

В результате в конце этого этапа был создан полный комплект цифровых моделей корпуса лабораторного стенда. Моделирование в САПР КОМПАС-3D позволило точно учесть реальные размеры всех компонентов и обеспечить качественную интеграцию электронной части. Спроектированный корпус отличается надёжной механической конструкцией, удобством доступа к элементам конструкции и возможностью быстрого доступа к электронным компонентам на случай, если понадобится диагностика или ремонт.

Выводы

За время проведения исследования был разработан и реализован стенд для изучения и испытания датчиков, широко применяемых в современных БПЛА.

Были проанализированы существующие датчики и выбраны наиболее подходящие для поставленной цели.

Была выбрана микроконтроллерная база управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Каримов А.Х.* Возможности беспилотных авиационных систем следующего поколения // Труды МАИ. 2011. № 47. URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=26768.

2. *Дремлюга П.П., Есин С.А., Иванов Ю.А. и др.* Беспилотные летательные аппараты. Состояние и концепции развития. Под общ. ред. Ю.А. Иванова. – М.: Варяг, 2004 – 176 с.

3. The Arduino Team. UNO R3 | Arduino Documentation [Электронный ресурс]. - https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/.

4. The Arduino Team. Arduino® UNO R3 User Manual [Электронный ресурс]. - https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf.

LABORATORY BENCH TO TESTING OF SENSORS USED IN UAVS

Sherendyak A.

Supervisor: Strelkov A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. The report is devoted to the development of a special specialized laboratory stand designed for testing and researching sensors of unmanned aerial vehicles (UAVs). As part of the project, a laboratory stand was developed and implemented, as well as attention was paid to the selection of the component base and the design solution of the stand, which ensures ease of operation, the availability of sensor replacement and the possibility of conducting a wide range of tests.

УДК 629.735

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИМУЛЯТОРА GAZEBO ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ ПОЛЁТОВ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Шмаков М.Е.

Научный руководитель: Литвин В.М., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе рассмотрена отладка программного обеспечения (ПО) для полётного контроллера Pixhawk PX4 Autopilot в Gazebo симуляторе для сельскохозяйственной беспилотной авиасистемы (БАС) на базе квадрокоптера, предназначенной для сброса полезных насекомых на поля. В материале будут смоделированы дрон-носитель и маршрут.

1.Актуальность

В современном мире широкое развитие находят различные беспилотные авиационные системы (БАС), которые применяются во многих сферах жизни, решая объёмный пласт задач. Многие из этих задач требуют не грамотного управления оператором, а корректного кода программы полётного задания (ПЗ) для системы управления и стабилизации полётом и бортового компьютера. Но тогда возникает проблема отладки программы ПЗ, ведь в случае некорректности её работы, БАС может потерять связь с землёй, неправильно отработать манёвр и прочее, что может привести к провалу полётного задания, повреждению и разрушению дорогостоящих элементов конструкции БАС и полезной нагрузки. Поэтому на этапе разработки и отладки программного обеспечения (ПО) применяются различные компьютерные симуляторы.

2.Техническое задание

Дана сельскохозяйственная БАС (на базе квадрокоптера с полётным контроллером Pixhawk PX4 (Рис. 1), предназначенная для сброса полезных насекомых на полях. Необходимо облететь всю площадь прямоугольного поля с заданным шагом по известным координатам поворотных точек. Произведём отладку программы построение маршрута полёта в симуляторе Gazebo.

Рис. 1. Полётный контроллер Pixhawk PX4

3.О симуляторе Gazebo

Симулятор Gazebo — это инструмент для создания и тестирования робототехнических систем в виртуальной среде [1]. Он позволяет создавать сложные 3D-сцены, включая объекты, препятствия и ориентиры. Позволяет моделировать различные устройства, такие как камеры, лидары, ультразвуковые датчики и прочее опциональное оборудование. Gazebo поддерживает управление симуляцией в реальном времени, что позволяет видеть результаты

действий немедленно. Благодаря использованию физических движков, таких как ODE, Bullet и DART, Gazebo может точно учитывать физику движения и взаимодействия объектов. Симулятор Gazebo позволяет тестировать и отлаживать системы в безопасной виртуальной среде, не рискуя реальными устройствами, формировать физически правдоподобные показания виртуальных датчиков.Для работы симулятора Gazebo необходима установка среды ROS (RobotOperating System) - программное обеспечения роботов, набор разнообразных инструментов и библиотек для разработки робототехнических систем.

4.Установка симулятора Gazebo

Для начала работы необходим компьютер или ноутбук с установленной (на диск или на виртуальную машину) операционной системой Linux Ubuntu 18.04. После установки открываем терминал (почти все команды будут выполнятся в нём). Воспользуемся официальным руководством по установке симулятора для полётного контроллера Pixhawk PX4 [2].

Устанавливаем необходимые библиотеки

$ sudo apt install gitlibjpeg-dev zlib1 g-dev

Создаём рабочую директорию и переходим в неё

$ mkdir src&&cd src/

Устанавливаем исходный код для полётного контроллера

$ git clone https://github.com/PX4/PX4-Autopilot.git --no-checkout

ПереходимвдиректориюPX4-Autopilot

$ cd PX4-Autopilot

Выберем последнюю стабильную версию полётного контроллера

$ git checkout v1.13.3

Обновляем все субмодули

$ git submodule update --init –recursive

Запускаем автоматическую установку зависимостей

$ ./Tools/setup/ubuntu.sh

Загружаем необходимую библиотеку empy, которая не была загружена автоматически

$ pip3 install empy==3.3.4

5.Сборка исходного кода и запуск

В директории src/ PX4-Autopilotсоздаём модель квадрокоптера (Рис. 2 и Рис. 3)

$ make px4_sitl gazebo

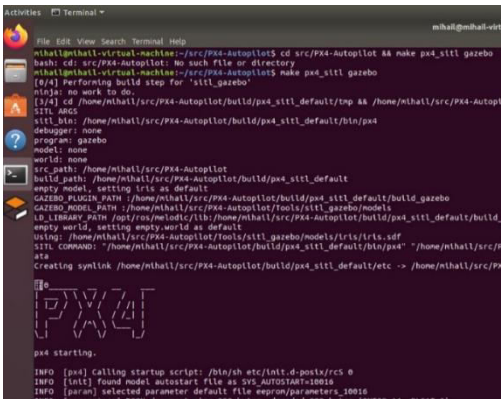


Рис. 2. Запуск симулятора Gazebo

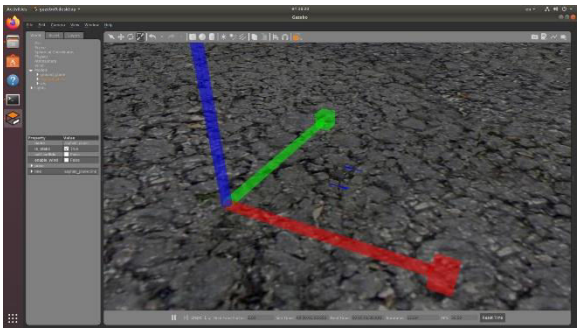


Рис. 3. Модель квадрокоптера

6.Установка QGroundControl

QGroundControl - станция управления по протоколу информационного взаимодействия с беспилотными аппаратами MAVLink [3]. Для установки заходим на официальный сайт и устанавливаем версию для Linux.

После установки файла открываем терминал, переходим в директорию Downloads и изменяем права доступа к образу, чтобы его можно было запустить

$ cd ~/Downloads

$ chmod +x ./QGroundControl.AppImage

Запускаемпрограмму

$ ./QGroundControl.AppImage

Всё необходимое ПО установлено, теперь можно приступать к ПЗ. Его можно задать несколькими способами:

1) Маркерами пути в QGroundControl
2) Созданием программы на языках программирования, в которой будет прописан алгоритм построения файла ПЗ.

Создадим маршрут полёта при помощи второго способа

7.Написание и отладка программы mission.py для построения файла ПЗ на языке программирования Python

Программа QGroundControl способна обрабатывать определённый тип файла, в котором по определённым правилам с определённой структурой находятся различные блоки файла полётного задания, в которых указываются режимы полёта, углы наклона ЛА к плоскостям, глобальная координата и высота.

- Программа, заполняющая файл ПЗ состоит из следующих основных элементов:
- Считывание координат поворотных точек, точки запуска и шага разбиения;
- Определение ближайшей к точке запуска точки;
- Определение последовательности координат точек прямоугольника (рис. 4);

```
distwithpoints = [dist(x1, y1, x0, y0), dist(x2, y2, x0, y0), dist(x3, y3, x0, y0)]

if distwithpoints[0] != min(distwithpoints) and distwithpoints[0] != max(distwithpoints):
    x0, y0, x1, y1, x2, y2, x3, y3 = x0, y0, x1, y1, x2, y2, x3, y3
elif distwithpoints[1] != min(distwithpoints) and distwithpoints[1] != max(distwithpoints):
    x0, y0, x1, y1, x2, y2, x3, y3 = x0, y0, x2, y2, x1, y1, x3, y3
else:
    x0, y0, x1, y1, x2, y2, x3, y3 = x0, y0, x3, y3, x2, y2, x1, y1

distwithpoints1 = [dist(x1, y1, x2, y2), dist(x1, y1, x3, y3)]

if distwithpoints1[0] == min(distwithpoints1):
    x0, y0, x1, y1, x2, y2, x3, y3 = x0, y0, x1, y1, x2, y2, x3, y3
else:
    x0, y0, x1, y1, x2, y2, x3, y3 = x0, y0, x1, y1, x3, y3, x2, y2
```

Рис. 4. Определение Последовательности точек

- Разбиение противоположных сторон прямоугольника на промежуточное точки (Рис. 5)

```
def segment_points(x1, y1, x2, y2, segment_length):
    dx = x2 - x1
    dy = y2 - y1


    total_distance = (dx**2 + dy**2)**0.5

    unit_vector_x = dx / total_distance
    unit_vector_y = dy / total_distance

    current_x, current_y = x1, y1

    pointsX, pointsY = [], []


    while True:
        pointsX.append(current_x)
        pointsY.append(current_y)

        current_x += unit_vector_x * segment_length
        current_y += unit_vector_y * segment_length

        distance_to_end = ((current_x - x2)**2 + (current_y - y2)**2)**0.5
        if distance_to_end <= segment_length:
            break

    pointsX.append(x2)
    pointsY.append(y2)

    return pointsX, pointsY
```

Рис. 5. Функция разбиения прямой на точки с заданным шагом

- Заполнение списков точек для дальнейшей удобной работы с ними
- Открытие файла mission.plan
- Запись структурных блоков кода ПЗ
- Запись блоков кода ПЗ с точками, взятых из списка с помощью цикла (Рис. 6)

```
for i in range(0, len(x03), 2):
    fin.writelines(['            {\n',
'               "AMSLAltAboveTerrain": null,\n',
'               "Altitude": 5,\n',
'               "AltitudeMode": 0,\n',
'               "autoContinue": true,\n',
'               "command": 22,\n',
'               "doJumpId": 1,\n',
'               "frame": 3,\n',
'               "params": [\n',
'                   0,\n',
'                   0,\n',
'                   0,\n',
'                   null,\n',
'                   '+ str(x03[i])+', \n',
'                   '+ str(y03[i])+', \n',
'                   10\n',
'               ],\n',
'               "type": "SimpleItem"\n',
'           },\n'])
```

Рис. 6. Запись блоков кода ПЗ

- Запись блоков возвращения на исходную точку и приземление
- Закрытие файла mission.plan (Рис. 7)


```
{
    "fileType": "Plan",
    "geoFence": {
        "circles": [
        ],
        "polygons": [
        ],
        "version": 2
    },
    "groundStation": "QGroundControl",
    "mission": {
        "cruiseSpeed": 15,
        "firmwareType": 12,
        "hoverSpeed": 5,
        "items": [
            {
                "AMSLAltAboveTerrain": null,
                "Altitude": 5,
                "AltitudeMode": 0,
                "autoContinue": true,
                "command": 22,
                "doJumpId": 1,
                "frame": 3,
                "params": [
                    0,
                    0,
                    0,
                    null,
                    47.400029665219975,
                    8.541447327016996,
                    10
                ],
                "type": "SimpleItem"
            }
```

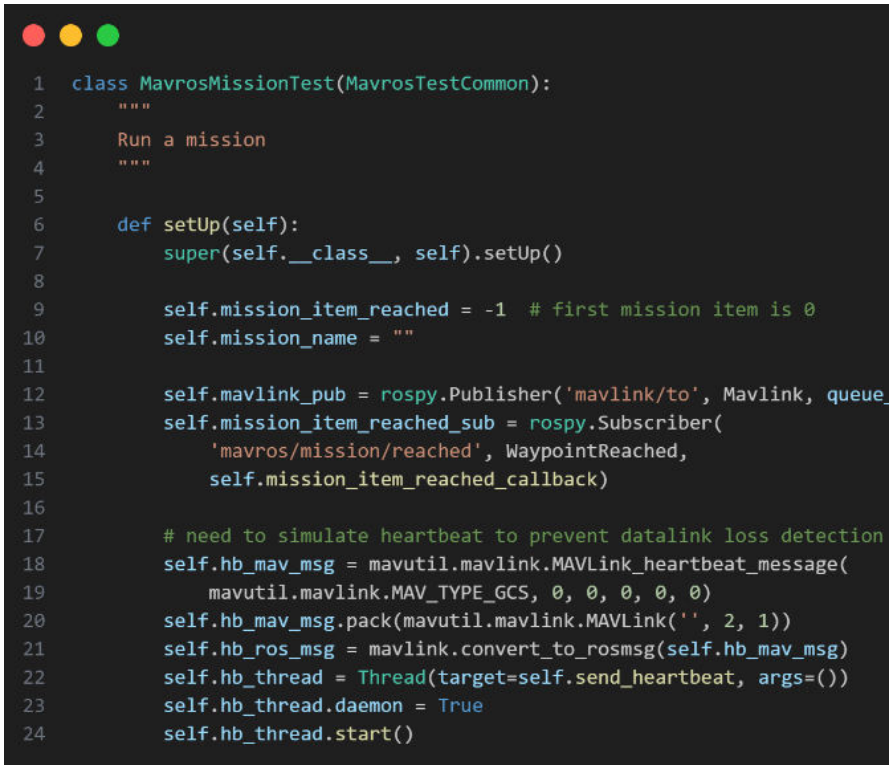

Рис. 7. Фрагмент кода полётного задания mission.plan

После написания программы можно приступать к её отладке. Чтобы запустить её нужно перейти в директорию, в которой находится программа. После этого вводим в терминале:

$ python3 mission.py

После запуска программы заходим на любые карты и выбираем произвольным прямоугольник на местности. Затем копируем координаты поворотных точек и точки запуска и вставляем их в терминал программы. По выполнении программы в директории создаться файл mission.plan – файл полётного задания.

Для запуска файла полётного задания в QGroundControl необходимо запустить программу mission_test.py (Рис. 8), которая находится в одной из директорий симулятора Gazebo



```python
class MavrosMissionTest(MavrosTestCommon):
    """
    Run a mission
    """

    def setUp(self):
        super(self.__class__, self).setUp()

        self.mission_item_reached = -1  # first mission item is 0
        self.mission_name = ""

        self.mavlink_pub = rospy.Publisher('mavlink/to', Mavlink, queue_
        self.mission_item_reached_sub = rospy.Subscriber(
            'mavros/mission/reached', WaypointReached,
            self.mission_item_reached_callback)

        # need to simulate heartbeat to prevent datalink loss detection
        self.hb_mav_msg = mavutil.mavlink.MAVLink_heartbeat_message(
            mavutil.mavlink.MAV_TYPE_GCS, 0, 0, 0, 0, 0)
        self.hb_mav_msg.pack(mavutil.mavlink.MAVLink('', 2, 1))
        self.hb_ros_msg = mavlink.convert_to_rosmsg(self.hb_mav_msg)
        self.hb_thread = Thread(target=self.send_heartbeat, args=())
        self.hb_thread.daemon = True
        self.hb_thread.start()
```

Рис. 8. Фрагмент кода программы mission_test.py

$ python3 mission_test.py mission.plan

После этого начнется выполнение ПЗ, этапы которого можно отслеживать в реальном времени.

В зависимости от введённых координат поворотных точек, итоговый маршрут ПЗ программа заполняла файл некорректно (Рис. 9). Необходимо редактировать код при идентичных исходных данных, добиваясь желаемого результата. Для того чтобы достичь универсальности работы программы необходимо проводить серию испытаний, при различных исходных данных, при каждом из которых требуется редактировать код так, чтобы это не нарушало корректную работу предыдущих. Таким образом добиваемся идеального выполнения программы.

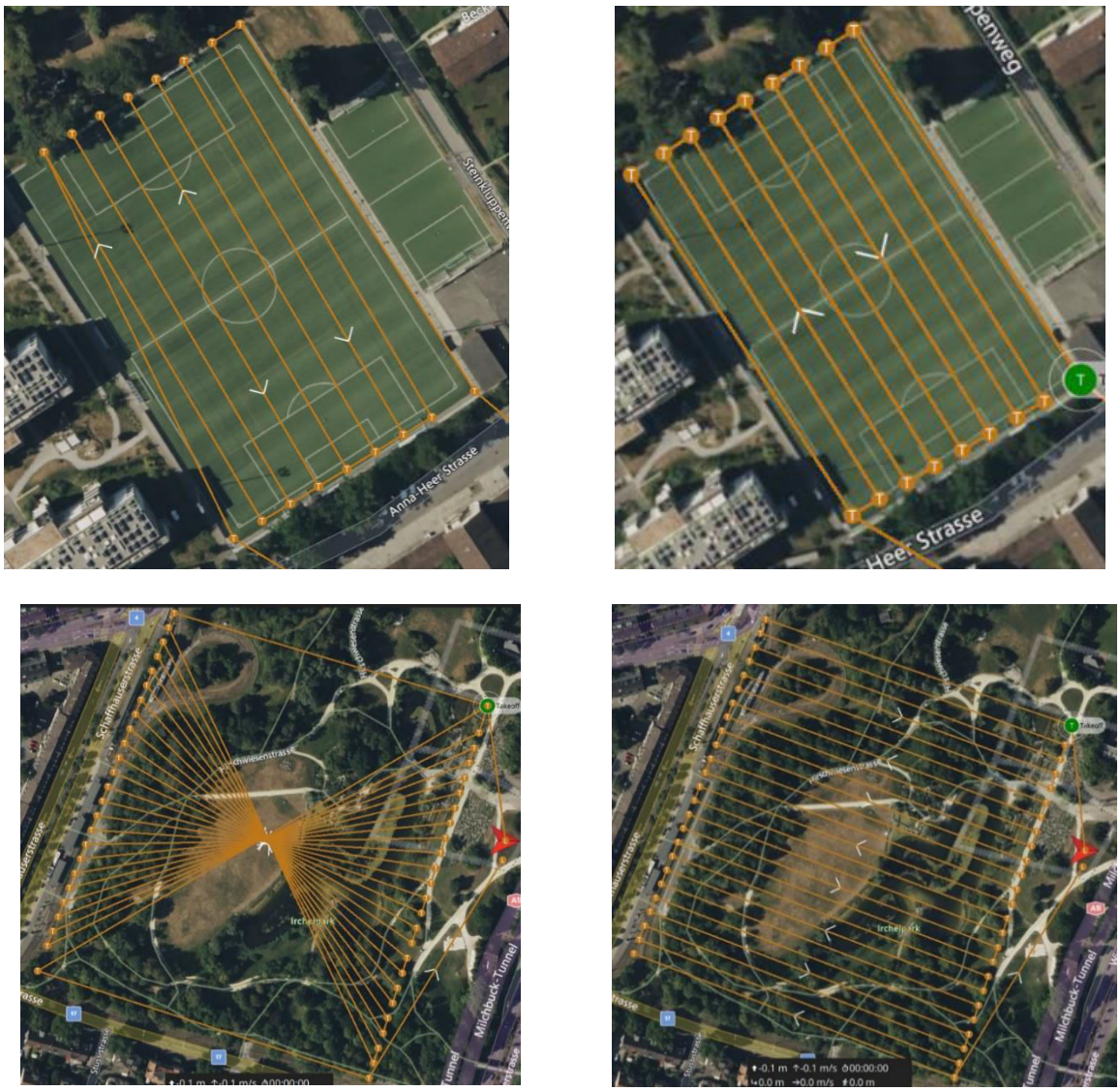


Рис. 9. Маршруты до и после отладки

В заключение хочу отметить, что симулятор Gazebo является практически ценным инструментом для разработки и отладки ПО БАС. Возможность строить точные окружения, симулировать датчики и физику движений посредством нескольких движков позволяет проделать работу от кода до работающего прототипа с минимальным риском поломок реальной техники. Это особенно важно для проверки корректности алгоритмов управления и стабилизации, а также для отработки сценариев взаимодействия с полезной нагрузкой. А также что не мало важно всё представленное выше программное обеспечение является открытым и бесплатно для использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Симулятор Gazebo [Электронный ресурс] [сайт]. [2022]. URL: https://gazebosim.org/home (дата обращения 10.01.2025).

2. PX4 Руководство пользователя автопилота [Электронный ресурс] [сайт]. [2020]. URL: https://docs.px4.io/main/en/index.html (дата обращения 23.12.2024).

3. Станция управления протоколом MAVLink [Электронный ресурс] [сайт]. [2019]. URL: https://qgroundcontrol.com/ (дата обращения 20.01.2025).

USING THE GAZEBO SIMULATOR TO SIMULATE AUTONOMOUS FLIGHTS OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS

Shmakov M.E.
Supervisor: Litvin V.M., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Abstract. In this article, we consider debugging software for the Pixhawk PX4 Autopilot flight controller in a Gazebo simulator for an agricultural unmanned aerial vehicle (UAS) based on a quadcopter designed to drop beneficial insects into fields. The material will model a carrier drone and a route.

СЕКЦИЯ 3
РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ В РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

УДК 621.45

ОЦЕНКА СКЛОННОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ САМОЛЕТОВ К ОБРАЗОВАНИЮ ПРИЗЕМНЫХ ВИХРЕЙ

Александров И.В., Александров К.В.

Научный руководитель: Бороздин С.А., преподаватель, к. т. н.

(Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж)

Аннотация. В работе рассмотрен один из способов попадания посторонних предметов на вход в силовую установку транспортного самолета – приземный вихрь, а также основные факторы, позволяющие определить область существования приземного вихря. Представлены результаты оценки склонности воздушных судов к вихреобразованию.

Воздушный транспорт играет важную роль в развитии современной экономики. Его значение трудно переоценить, поскольку он позволяет осуществлять перевозку грузов и пассажиров с высокой скоростью на большие расстояния. Транспортная авиация имеет ключевое значение для труднодоступных регионов Российской Федерации, обеспечивая их сообщение со всей территорией государства.

В настоящее время парк воздушных судов коммерческих организаций, осуществляющих воздушные перевозки грузов, включает в себя ряд гражданских модификаций транспортных самолетов, таких как Ан-26, Ан-74, Ил-76, Ан-124, Ту-204С.

Статистический анализ парка перечисленных воздушных судов [1, 2] позволяет сделать вывод, что наиболее распространенным самолетом является Ан-26 – более 50 %. Доля самолета Ил-76 – 33%, а Ан-74, Ан-126 и Ту-204С – 7 %, 6 % и 3 % соответственно (рис. 1).

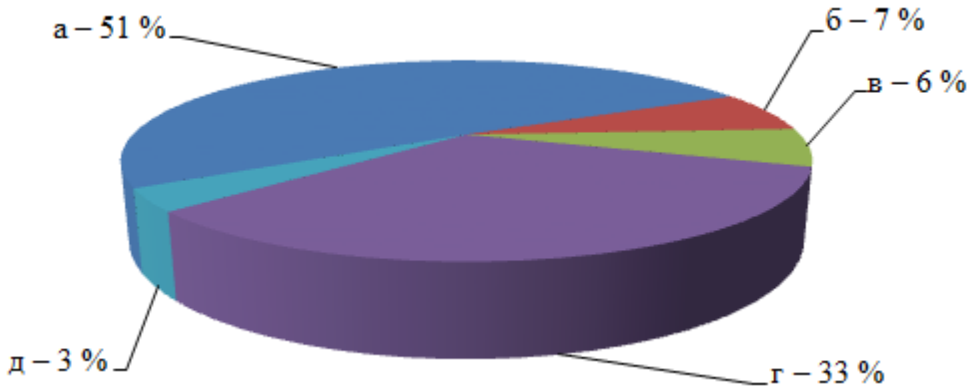


Рисунок 1. Доля транспортных самолетов в авиапарке коммерческих организаций Российской Федерации: а – Ан-26; б – Ан-74; в – Ан-124; г – Ил-76; д – Ту-204С

Стоит отметить, что назначенный срок службы Ан-26 постепенно подходит к концу. При этом данный тип воздушного судна относится к легкому классу транспортных самолетов и не способен перевозить грузы массой более 5,5 т. Поэтому одним из наиболее востребованных типов воздушных судов является Ил-76. В настоящее время в гражданской авиации основной модификацией данного летательного аппарата является Ил-76ТД (рис. 2 а). Его силовая установка оснащена четырьмя турбореактивными двухконтурными двигателями с камерой смешения (ТРДДсм) Д-30КП. Кроме этого для перевозки воздушных грузов применяется модернизированная версия данного самолета Ил-76ТД-90ВД с силовой установкой, оснащенной ТРДДсм ПС-90А-76 (рис. 2 б).

а

б

Рисунок 2. Модификации транспортного самолета тяжелого класса Ил-76:
а – Ил-76ТД; б – Ил-76ТД-90ВД

Применение новых двигателей, наряду с другими изменениями в конструкции планера и составе оборудования, позволило увеличить грузоподъемность, дальность и крейсерскую скорость воздушного судна.

Одной из особенностей самолета Ил-76 является способность совершать посадку и взлетать как с искусственных, так и с грунтовых взлетно-посадочных полос. В свою очередь на поверхности аэродромного покрытия в процессе эксплуатации могут появляться посторонние предметы, способные повредить элементы газотурбинных двигателей (ГТД) при их забросе на вход в силовую установку. Это может привести к преждевременному съему двигателей с эксплуатации. Причем, наиболее повреждаемым элементом ГТД является компрессор, в частности рабочие лопатки первых ступеней, до 70 % от общего числа.

На основе анализа работ [3-8], направленных на защиту силовой установки от повреждения посторонними предметами, выделены следующие способы заброса частиц аэродромной засоренности:

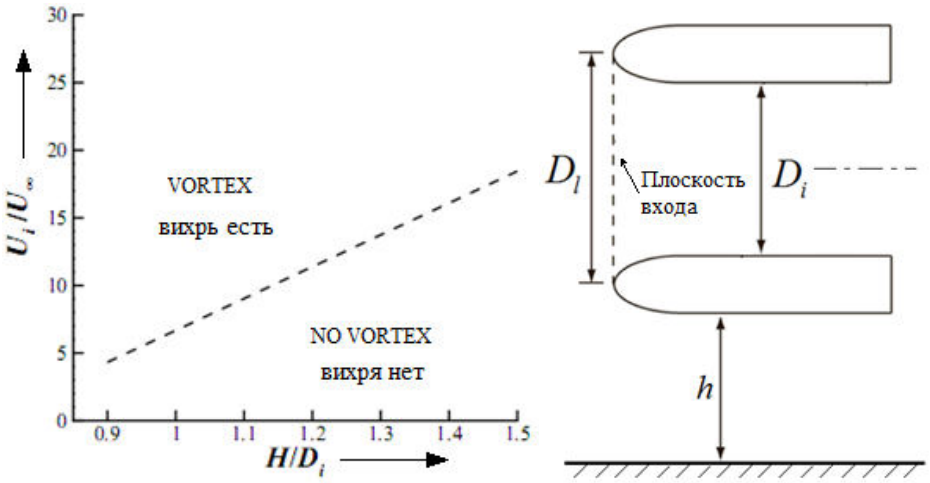
- вылет постороннего предмета из-под колес шасси;
- заброс постороннего предмета реактивными струями;
- заброс постороннего предмета реверсивными струями на пробеге;
- заброс постороннего предмета приземным вихрем, индуцируемым работающей силовой установкой, который рассмотрен в рамках данной работы.

Особенности образования системы вихрей при работе силовой установки у земли достаточно подробно рассмотрены в работах как отечественных [3-7], так и зарубежных [8] ученых. Выявлено, что на параметры приземного вихря оказывают влияние такие факторы, как компоновка самолета, режим работы силовой установки, направление и скорость невозмущенного потока (ветра). Определены области существования вихря в зависимости от относительной (безразмерной) высоты входного устройства $\overline{H}$ и безразмерной скорости воздушного потока U^* (рис. 3 а), которые находятся по следующим формулам:

$$\overline{H} = \frac{H}{D_i} = \left(\frac{D_l}{D_i}\right) \cdot \left(\frac{h}{D_l}\right) + \frac{D_l}{2D_i}; \quad (1)$$

$$U^* = \frac{U_i}{U_\infty}, \quad (2)$$

где H – расстояние от подстилающей поверхности до строительной оси воздухозаборника; h – расстояние от подстилающей поверхности до нижней точки воздухозаборника; D_l – диаметр воздухозаборника в плоскости входа; D_i – внутренний диаметр воздухозаборника в i-том сечении (рис. 3 б); U_i – скорость воздушного потока на входе в воздухозаборник; U_∞ – скорость набегающего потока воздуха (ветра) [5].



а б

Рисунок 3. Влияние параметров компоновки самолета на образование приземного вихря [5]: а – области вихреобразования и отсутствия вихря; б – геометрические параметры входного устройства

Следовательно, условия возникновения приземных вихрей для модификаций самолета Ил-76ТД и Ил-76ТД-90ВД будут различными. На основе данных о параметрах компоновки воздушных судов получены значения относительной высоты входных устройств $\overline{H}$, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Результаты определения параметров компоновки воздушного судна

Тип воздушного судна	Расположение двигателя	Относительная высота входного устройства, $\overline{H}$
Ил-76ТД	внутренний	2,78
	внешний	2,61
Ил-76ТД-90ВД	внутренний	1,94
	внешний	1,85

Исходными данными для расчета скорости потока воздуха на входе в силовую установку U_i являются секундный массовый расход воздуха $G_в$, а также площадь входа в силовую установку F.

Для расчета скорости потока воздуха на входе в силовую установку U_i использовано уравнение секундного массового расхода рабочего тела через воздухозаборник $G_в$:

$$G_в = m\frac{p_в^*}{\sqrt{T_в^*}}Fq(\lambda_в), \tag{3}$$

где m – коэффициент, характеризующий род газа; $p_в^*$ – полное давление заторможенного потока на входе в двигатель, Па; $T_в^*$ – полная температура заторможенного потока на входе в двигатель, К; F – площадь входа, м^2; $q(\lambda_в)$ – относительная плотность тока [9].

Следовательно, относительная плотность тока $q(\lambda_в)$ находится по формуле:

$$q(\lambda_в) = \frac{G_в\sqrt{T_в^*}}{p_в^* Fm}. \tag{4}$$

Далее с использованием таблиц газодинамических функций [10] определено значение приведенной скорости λ, а также скорость потока воздуха на входе в двигатель $U_i = c$:

$$U_i = c = \lambda a_{кр} = 18,3\lambda\sqrt{T_в^*}, \tag{5}$$

где $a_{кр}$ – критическая скорость, м/с.

В качестве рабочего тела рассматривается воздух. Расчет выполнен для условий стандартной атмосферы, режим работы силовой установки – «Взлетный». Так, скорость потока воздуха на входе в двигатель Д-30КП составляет U_i = 140 м/с, а на входе в двигатель ПС-90А-76 – U_i = 165 м/с. Далее проведена оценка склонности представленных воздушных судов к образованию приземных вихрей (рис. 4). Оценка выполнена при изменении скорости невозмущенного потока U_∞ от 0 м/с до 10 м/с. Направление невозмущенного потока неизменно и составляет $\psi = 0^o$.

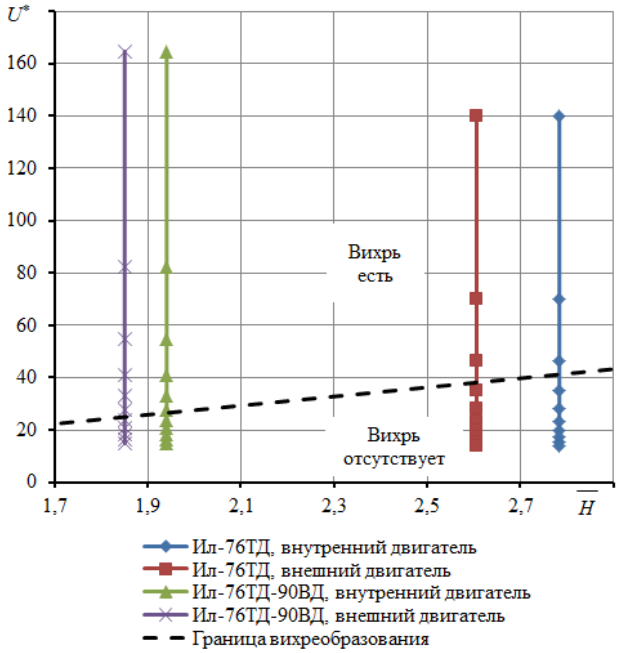


Рисунок 4. Результаты оценки склонности транспортных самолетов к образованию приземных вихрей

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что силовая установка самолета Ил-76ТД-90ВД более предрасположена к вихреобразованию, чем силовая установка самолета Ил-76ТД. А именно, при работе внешних двигателей ПС-90А-76 система приземных вихрей существует до достижения безразмерной скорости U^* = 23, что соответствует скорости невозмущенного потока U_∞ = 7 м/с, при работе двигателей ПС-90А-76, расположенных ближе к фюзеляжу – U^* = 27, что соответствует скорости невозмущенного потока U_∞ = 6 м/с. В то же время при работе внешних двигателей Д-30КП система приземных вихрей существует до достижения безразмерной скорости U^* = 38, что соответствует скорости невозмущенного потока U_∞ = 3,4 м/с. При работе двигателей Д-30КП, расположенных ближе к фюзеляжу – U^* = 43, что соответствует скорости невозмущенного потока U_∞ = 3 м/с.

Таким образом, в работе представлен анализ состава авиапарка коммерческих организаций. Выявлено, что одним из основных транспортных самолетов является Ил-76, а именно его модификации Ил-76ТД и Ил-76ТД-90ВД. Выделен один из способов заброса посторонних предметов на вход в силовую установку транспортного воздушного судна – приземный вихрь. Рассмотрены условия образования приземного вихря при работе силовых установок самолетов Ил-76ТД и Ил-76ТД-90ВД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ан-124-100 «Руслан» – крупнейший самолет на рынке авиаперевозок крупногабаритных и сверхтяжелых грузов. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://www.volga-dnepr.com/fleet/an-124/ (дата обращения: 21.06.2025).

2. Срок службы самолета Ан-26 планируется продлить с 50 до 60 лет. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://www.interfax.ru/russia/1012494 (дата обращения: 21.06.2025).

3. *Евдокимов А.И.* Обоснование выбора эффективных систем защиты от повреждений посторонними предметами двигателей самолётов военного назначения. Дис. ... док. техн. наук. ВВИА; М., 1993, 520 с.

4. *Комов А.А.* Теоретические основы и технические решения для защиты авиационных двигателей от попадания твёрдых посторонних предметов с поверхности аэродрома. Дис. ... док. техн. наук. М., 2005. 400 с.

5. *Бороздин С.А., Нескоромный Е.В., Маяцкий С.А.* Способ расчетно-экспериментального определения статистических характеристик коэффициента лобового сопротивления посторонних предметов // Вестник УГАТУ. 2022. Т. 26, №1 (95). С. 31–39.

6. *Нескоромный Е.В., Марков Д.С.* Формирование приземного вихря на входе в авиационную силовую установку//Насосы. Турбины. Системы. 2018 №4 (29) С. 20–33.

7. *Давыдов А.А., Евдокимов А.И.* Определение параметров защищённости двухдвигательных силовых установок самолетов от вихревого засасывания посторонних предметов // Сб. научно-методических материалов по конструкции и системам управления ГТД. ВВИА. М., 1995. С. 76-84.

8. *Murphy J.* Intake ground vortex aerodynamics: PhD Thesis. Accepted manuscript. Cranfield University School of Engineering Academic, 2008.

9. *Нечаев А.Ю.* Теория авиационных двигателей. М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1990. 704 с.

10. *Федоров Р.М.* Таблицы и диаграммы теплофизических величин и газодинамических функций // Справочное пособие / *Федоров Р.М., Мелик-Пашаев Н.И.* Воениздат. М., 1980, 128 с.

ASSESSMENT OF THE TENDENCY OF TRANSPORT AIRCRAFT TO FORM GROUND VORTICES

Alexandrov I., Alexandrov K.

Supervisor: Borozdin S., Lecturer, Candidate of Technical Sciences

(Military Educational and Scientific Center of the Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, Voronezh)

Abstract. The paper discusses one of the ways in which foreign objects can enter the power plant of a transport aircraft, the ground vortex, as well as the main factors that determine the existence of the ground vortex. The results of assessing the susceptibility of aircraft to vortex formation are presented.

УДК 621.45.038

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ГАЗООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА РЕЗИНОПОДОБНЫХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ахметзянов А.Р., Бекеров А.Р.

Научный руководитель: Сабирзянов А.Н., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе приведены экспериментальные методы исследования составов газообразных продуктов деструкции, выделяющихся при пиролизе резиноподобных теплозащитных материалов, обобщены известные экспериментальные данные по исследованию составов продуктов пиролиза конкретных резиноподобных теплозащитных материалов, рассмотрены ключевые факторы, влияющие на состав продуктов пиролиза, а

также описаны трудности математического моделирования и расчетов и практическое применение знаний состава продуктов пиролиза.

Резиноподобные теплозащитные материалы (ТЗМ) на основе синтетических каучуков (СКЭПТ, СКН, нитрильных, бутадиен-стирольных, этиленпропиленовых) широко используются в высокотемпературных установках, таких как камеры сгорания ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ). Эффективность их работы и расчет теплового состояния защищаемых конструкций критически зависят от состава и свойств газообразных продуктов деструкции (ГПД), выделяющихся при пиролизе. Понимание состава ГПД необходимо для решения двух ключевых классов задач [1]:

1. Прогрев и разрушение ТЗМ и силовой оболочки: определение закономерностей фильтрации ГПД через коксовый слой, влияния вдува на теплообмен и химические реакции (гомогенные и гетерогенные) в камере сгорания.

2. Внутрибаллистические характеристики РДТТ в режиме спада давления, когда параметры рабочего тела (продуктов сгорания) определяются в основном ГПД теплозащиты.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА ГПД

Определение состава ГПД резиноподобных ТЗМ является сложной задачей из-за их многокомпонентности (каучук, наполнители, пластификаторы, антиоксиданты, вулканизующие агенты) и сложности процессов их термического разложения [1, 2, 3, 4]. Анализ продуктов термической деструкции производится химическими и физико-химическими методами. Ниже приведены основные применяемые на практике методы [1].

1. Пиролитическая газовая хроматография. Достаточно точный метод, позволяющий проводить качественный и количественный анализ многокомпонентных смесей. При использовании пламенно-ионизационного детектора хроматограф может быть применен для фракционирования, поскольку позволяет лучше разделить высококипящие и легколетучие продукты и сокращает продолжительность анализа.

2. Масс-спектрометрия. Является самым чувствительным методом (для анализа достаточно 0,1–0,3 мг образца), позволяющим проводить непрерывный анализ выделяющихся газов.

3. Хромато-масс-спектрометрия. Сочетание разделения на хроматографе с последующей идентификацией компонентов на масс-спектрометре позволяет анализировать сложные многокомпонентные смеси.

4. Инфракрасная (ИК) спектроскопия: Основана на избирательном поглощении ИК-излучения функциональными группами молекул продуктов пиролиза. Требует большего количества образца (50-200 мг) по сравнению с масс-спектрометрией. Часто используется как дополнение к газовой хроматографии.

Критерии выбора метода: чувствительность, избирательность, точность, продолжительность анализа. Для качественного анализа многокомпонентных ГПД резиноподобных ТЗМ предпочтительны пиролитическая газовая хроматография и масс-спектрометрия.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОСТАВА ГПД РЕЗИНОПОДОБНЫХ ТЗМ

Экспериментальные данные по составу ГПД конкретных резиноподобных ТЗМ, особенно при высоких температурах, в открытой литературе либо крайне ограничены, либо отсутствуют вовсе. Ниже приведены некоторые данные из исследований по экспериментальному определению состава ГПД некоторых резиноподобных ТЗМ [1].

Государственный научный центр "Центр Келдыша" и Московский институт теплотехники исследовали ГПД резиноподобных ТЗМ на основе этиленпропиленового каучука, близкого по составу и свойствам к теплозащитным материалам Р-998, Р-864. Результаты показали, что основными компонентами продуктов сгорания при температуре 1300 К являются метан CH_4 и этилен C_2H_4, суммарная массовая доля которых составляет

75%. Также присутствуют водород H_2 ~4%, этан C_2H_6, ~3%, пропилен C_3H_6, ~1.5% и следы бутилена C_4H_8. Окись углерода CO присутствует в незначительных количествах (<1%).

Температурная динамика показывает, что при температуре пиролиза до 1000 К преобладают более тяжелые углеводороды, такие как C_3H_6, C_3H_8, C_4H_8, C_4H_{10}, C_5H_{12}, которые при комнатной температуре конденсируются в жидкую фазу. С ростом температуры увеличивается доля легких газов CH_4, C_2H_4, H_2, снижается доля тяжелых углеводородов C_3H_8, C_4H_8 и т.д. (рис. 1) [1].

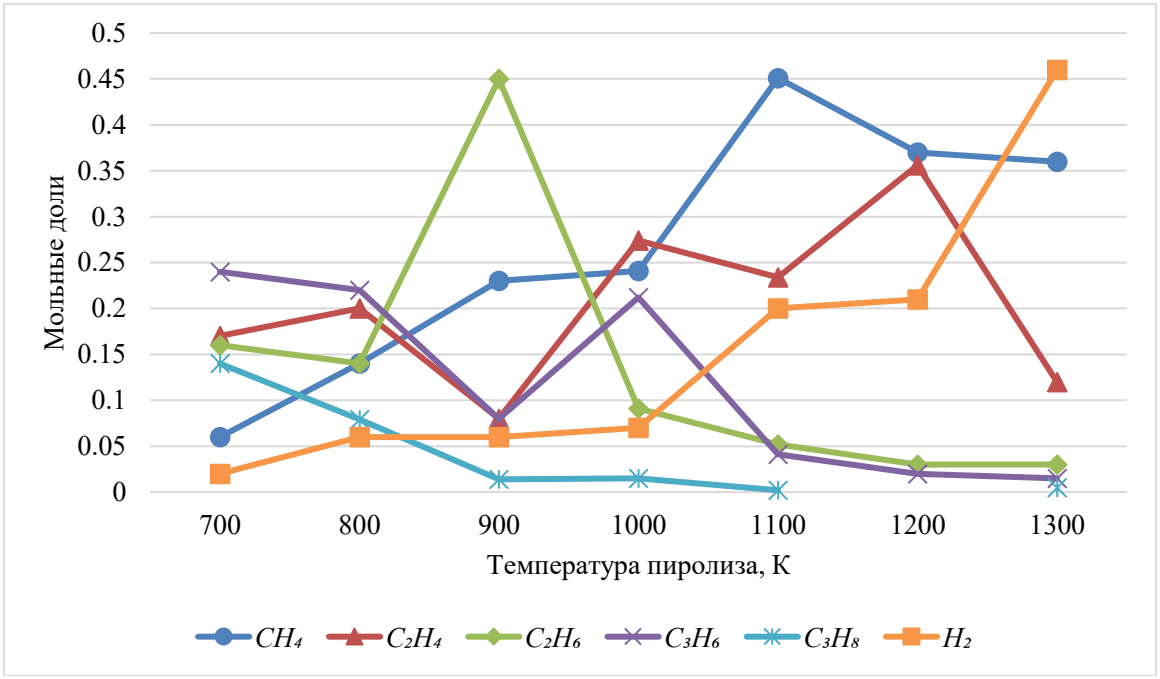


Рис. 1. Изменение мольного состава ГПД резиноподобного ТЗМ основе этиленпропиленового каучука, (аналог Р-998) в зависимости от температуры пиролиза

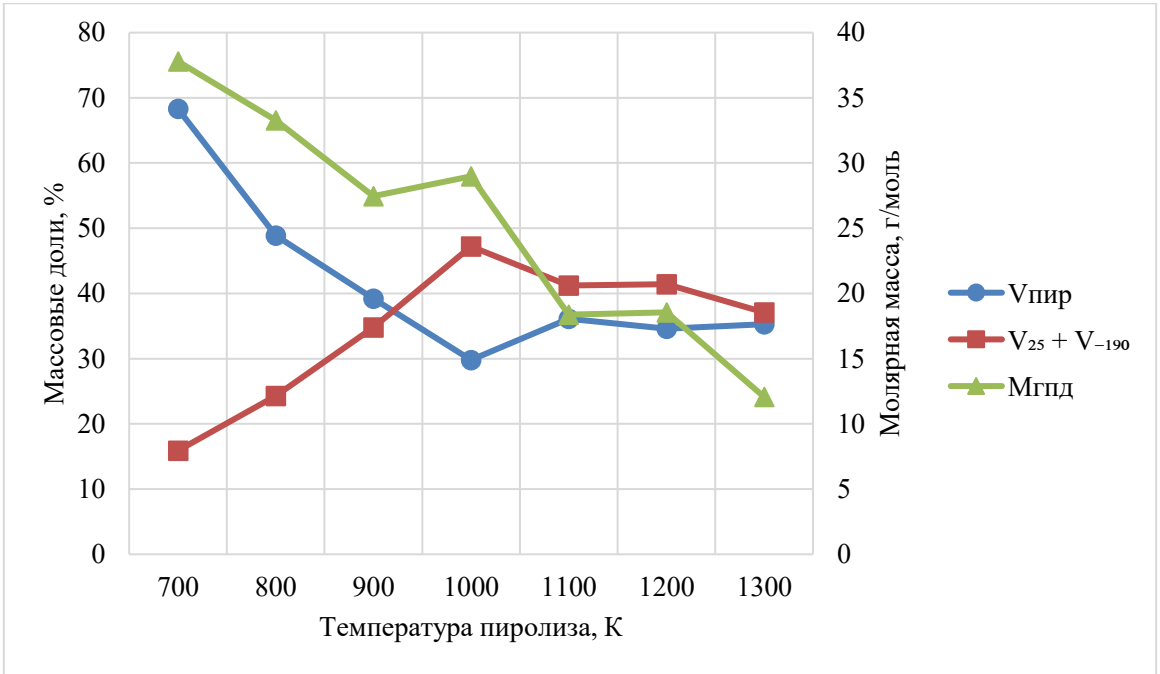


Рис. 2. Зависимость молекулярной массы ГПД и выхода фракций от температуры пиролиза для резиноподобного ТЗМ на основе этиленпропиленового каучука

С точки зрения фракционного состава продуктов пиролиза наблюдается следующая тенденция [5]. Массовая доля продуктов пиролиза *Vпир (*летучие продукты при температуре пиролиза и нелетучие при комнатной температуре [5]) уменьшается с ростом температуры: от ~81% при 700 К до ~39-49% при 1100-1300 К. Массовая доля продуктов пиролиза V_{25} + V_{-190} (V_{25} – продукты летучие при комнатной температуре и нелетучие при – 190°С; V_{-190} – газообразные продукты, не конденсирующиеся при температуре жидкого азота) увеличивается с ростом температуры (от ~19% при 700 К до ~51-61% при 1100-1300 К). При температурах 1600-1900 К ГПД практически полностью состоят из фракций V_{25} и V_{-190} - легкие газы и пары (рис. 2).

При интервале температур 700-1300 К молекулярная масса газовой смеси падает с ~38 г/моль до ~12 г/моль за счет разложения тяжелых углеводородов на более легкие, преимущественно CH_4 и C_2H_4 (рис. 2).

Некоторые экспериментальные исследования состава ГПД полимеров, входящих в резиноподобные ТЗМ, изложены в [5]. Так, в результате пиролиза полиэтилена $(C_2H_4)_n$, полипропилена $(C_3H_6)_n$, полиизобутилена C_4H_8, основными ГПД являются углеводороды C_1-C_4 (метан CH_4, этан C_2H_6, этилен C_2H_4, пропилен C_3H_6, бутилены). Для полибутадиена и бутадиен-стирольного каучука помимо углеводородов C_1-C_4, характерно образование диенов (бутадиен) и ароматических соединений (бензол, стирол). При пиролизе бутадиен-нитрильного каучука дополнительно к углеводородам выделяется цианистый водород *HCN* и нитрилы (акрилонитрил C_3H_3N). Основными ГПД фенольных смол, используемых часто в качестве связующих, являются водород H_2, метан CH_4, окись *CO* и двуокись CO_2 углерода, фенол, крезолы, другие фенолы и легкие углеводороды [2, 3].

ФАКТОРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ НАИБОЛЬШЕЕ ВЛИЯНИЕ НА СОСТАВ ГПД

1. Температура пиролиза *Tпир* является ключевым фактором. Температура пиролиза определяет глубину разложения, преобладающие механизмы реакций и, как следствие, молекулярно-массовое распределение продуктов [1, 2, 4, 7, 8]. С ростом температуры увеличивается выход легких газов (H_2, CH_4, C_2H_4, *CO*) и уменьшается выход конденсирующихся фракций [1].

2. Тип каучука. Химическая структура полимера предопределяет основные пути разложения и типичные продукты деструкции [1, 2, 3].

3. Состав рецептуры (наполнители, добавки) также играют немаловажную роль. Наполнители (сажа, оксиды кремния SiO_2, алюминия Al_2O_3 и др.) могут катализировать определенные реакции разложения, изменять теплопроводность коксового слоя и тем самым влиять на температурные профили и скорость пиролиза [1, 4, 7]. Молекулы полимерного композиционного материала и кокса могут вступать в химические реакции с друг другом в твердой фазе, образуя как газообразные, так и новые твердые компоненты [7]. Вулканизующие агенты, такие как сера и пероксиды, в реакциях пиролиза могут давать сероводород H_2S, оксид серы SO_2 (при наличии кислорода), продукты разложения пероксидов [1, 3].

4. Давление влияет на равновесие реакций, особенно при высоких температурах. Повышение давления может смещать равновесие в сторону менее летучих продуктов [1, 8].

5. Скорость нагрева может влиять на преобладающие механизмы пиролиза и выход продуктов [1, 2, 7, 8].

6. Среда, в которой происходит процесс пиролиза. Пиролиз в инертной среде (азот, аргон, гелий) или вакууме дает продукты чистого термического разложения [1, 6]. Наличие кислорода приводит к окислению и образованию *CO*, CO_2, H_2O, оксидов азота или серы [1, 2].

ТРУДНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТОВ

Попытки рассчитать равновесный состав ГПД с помощью термодинамических программ, таких как "АСТРА", сталкиваются со значительными трудностями:

1. многокомпонентность исходной системы: точный поэлементный состав резиноподобных ТЗМ и особенно продуктов промежуточных стадий разложения часто неизвестен [1].

2. Неравновесность процесса – сложные многостадийные механизмы реакций не могут быть описаны простыми равновесными моделями [1, 2].

3. Расхождение с экспериментом. Расчетные модели в некоторых случаях предсказывают значительное содержание H_2 и CO, что не подтверждается экспериментальными данными для резиноподобных ТЗМ в диапазоне 700-1300 К. Расчетные концентрации CH_4 и C_2H_4 также могут существенно отличаться от экспериментальных [1]. Молекулярная масса и теплоемкость ГПД, рассчитанные по моделям, могут совпадать с экспериментом лишь для некоторых вариантов исходных допущений.

4. Большое влияние исходных данных для расчета. Результаты расчетов сильно зависят от выбора условной формулы материала и накладываемых ограничений и допущений.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЙ СОСТАВА ГАЗООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА РЕЗИНОПОДОБНЫХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Знание состава ГПД критически важно и имеет большое практическое применение при проектировании высокотемпературных установок, заключающееся в:

- точном расчете теплового состояния ТЗП высокотемпературных установок благодаря учету теплофизических свойств ГПД [1, 4, 6, 7, 8];
- моделировании вдува в пограничный слой и определения влияния состава и массы вдуваемых газов на теплообмен в камерах высокотемпературных установок;
- расчете внутрибаллистических характеристик РДТТ в режиме спада давления;
- прогнозировании стойкости и оптимизации ТЗП: понимание химической активности ГПД резиноподобных ТЗМ и их взаимодействия с коксом и продуктами сгорания топлива позволяет прогнозировать эрозию материала теплозащиты и оптимизировать его состав [1, 7].
- разработке новых материалов: целенаправленный подбор компонентов резиноподобных ТЗМ для управления составом ГПД в желаемом направлении (например, увеличение доли легких газов) [1, 3, 4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Состав газообразных продуктов пиролиза резиноподобных ТЗМ является сложной функцией температуры, типа основного каучука, рецептуры материала и условий процесса [1, 2, 3, 4, 7, 8]. Экспериментально установлено, что для распространенных резиноподобных ТЗМ на основе этиленпропиленового каучука в диапазоне температур 1000-1300 К ГПД состоят преимущественно из метана CH_4 и этилена C_2H_4 с небольшими добавками этана C_2H_6, пропилена C_3H_6 и водорода H_2 [1]. С повышением температуры выход легких газов увеличивается. Существует острый дефицит прямых экспериментальных данных по составу ГПД для конкретных марок резиноподобных ТЗМ, особенно при высоких (больше 1500 К) температурах [1]. Термодинамическое моделирование равновесного состава дает результаты, часто значительно расходящиеся с экспериментом, что подчеркивает сложность реальных процессов пиролиза многокомпонентных ТЗМ. Дальнейшие исследования должны быть направлены на получение экспериментальных данных по составу ГПД для актуальных резиноподобных ТЗМ в широком диапазоне температур и давлений, а также на разработку адекватных кинетических моделей пиролиза, максимально точно воспроизводящих сложные химические процессы разложения [1, 2], что необходимо для точного проектирования теплозащиты и прогнозирования температурного состояния высокотемпературных установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Миронов В.В., Толкач М.А.* Состав и свойства газообразных продуктов деструкции резиноподобных теплозащитных материалов. Теплофизика высоких температур, 2021, том 59, №5, с.747-754.

2. *Грибанов В.М., Слободчиков С.С., Потапенко А.И., Ульяненков Р.В.* Расчётно-экспериментальный метод определения энергозатрат на физико-химические превращения в полимерных материалах. Вопросы электромеханики, 2012, Т.130, с.51-57.

3. *Гораев И.М., Ибрагимов А.А.* Фенолформальдегидные смолы. Вестник магистратуры, 2019, №10-3(97), с. 11-17.

4. *Койтов С.А., Мельников В.Н.* Исследование теплоемкости, теплопроводности гетерофазных композиционных теплозащитных материалов с непрерывной полимерной фазой. Вестник ЮУрГУ, Серия "Машиностроение", 2012, выпуск 19, с.182-186.

5. *Мадорский С.* Термическое разложение полимеров. Перев. с англ. М.: Мир, 1967.

6. *Кошлаков В.В., Миронов В.В., Чумакин К.А., Толкач М.А.* Экспериментальные исследования разбросов теплозащитных характеристик резиноподобного материала. Теплофизика высоких температур, 2020, том 58, №2, с.266-274.

7. *Сидняев Н.И.* Динамика изменения скорости и механизма разрушения композиционного материала на основе углерода и керамики. Физикохимия поверхности и защита материалов, 2022, том 58, №4, с.350-360.

8. *Коптелов А.А.* Влияние параметров термического разложения на эффективность работы полимерных теплозащитных материалов. Теплофизика высоких температур, 2004, том 42, №2, с.307-312.

INVESTIGATION OF THE COMPOSITION OF GASEOUS PYROLYSIS PRODUCTS OF RUBBER-LIKE HEAT-PROTECTIVE MATERIALS

Akhmetzyanov A.R., Bekerov A.R.

Supervisor: Sabirzyanov A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents experimental methods for studying the compositions of gaseous degradation products released during pyrolysis of rubber-like heat-shielding materials, summarizes known experimental data on the composition of pyrolysis products of specific rubber-like heat-shielding materials, examines key factors affecting the composition of pyrolysis products, and describes the difficulties of mathematical modeling and calculations and the practical application of knowledge of the composition of pyrolysis products.

УДК 621.694

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГАЗОВОГО ЭЖЕКТОРА ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ИЗ НИЗКОНАПОРНЫХ В ВЫСОКОНАПОРНЫЕ МАГИСТРАЛИ

Беда Е.А.

Научный руководитель: Явкин В.Б., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Разработана методика расчета двухступенчатого газового эжектора, предназначенного для перекачки природного газа из низконапорных магистралей в высоконапорные. Методика позволяет выбрать основные геометрические параметры I и II ступеней эжектора и диффузора. Выполнено численное моделирование эжекторов с цилиндрической и конической камерами смешения и проведено сравнение их эффективности.

Основным средством доставки природного газа потребителям от поставщиков в настоящее время являются трубопроводные газотранспортные магистрали. Как правило, потребитель и поставщик находятся на большом удалении друг от друга, таком, что давление в магистрали в силу гидравлических потерь падает настолько, что его приходится

периодически повышать. Для этих целей на магистральных газопроводах устанавливают газоперекачивающие станции, на которых размещают подкачивающие агрегаты, повышающие давление до необходимого уровня. В качестве подкачивающих агрегатов используют центробежные нагнетатели с газотурбинным приводом. На газоперекачивающей станции устанавливается несколько газоперекачивающих агрегатов (ГПА), подключенных к одному или нескольким магистральным трубопроводам. Подключения образуют технологическую систему трубопроводов, имеющую значительный объем (порядка 3000 $м^3$). В соответствии с требованиями эксплуатации газотурбинный привод нуждается в периодическом техническом обслуживании и ремонте, при проведении которых, необходимо перекрыть поступление газа к ГПА, остановить его и сбросить газ из технологической магистрали. Сброс газа в атмосферу влечет большие экономические потери и наносит большой ущерб экологии, так как метан является газом, обладающим значительно большим парниковым эффектом, по сравнению с CO_2.

Проблему сброса газа можно решить перекачкой из технологических магистралей, подключенных к ремонтному ГПА в магистрали высокого давления. Для этих целей можно применять высоконапорные компрессоры. Однако такие компрессоры дорогостоящи и обладают рядом недостатков, например, низкой производительностью. Другим способом решения данной проблемы может быть применение газового эжектора.

Проектирование газового эжектора, обеспечивающего заданное понижение давления в откачиваемой магистрали, при допустимых значениях коэффициента эжекции является не тривиальной задачей. Исходными данными к проектированию являются давления в откачиваемой, p_{p0}, и нагнетаемой магистралях, p_{a0}, объем газа в технологических магистралях, который необходимо откачать V_p, давление до которого производится откачка, p_{pmin}, и время откачки, τ. При этом, при перекачке пассивного газа нужно потратить минимальное количество активного газа.

Эжектор может быть подключен к ГПА, например, по схеме, приведенной на рис.1. На вход ГПА поступает газ низкого давления из магистрального трубопровода 2. ГПА повышает давление газа до заданного и направляет его в магистральный трубопровод высокого давления. Магистраль от крана 9 до крана 12 является технологической магистралью, которая при техническом обслуживании или ремонте должна быть перекрыта, а газ из этой магистрали должен быть или сброшен в атмосферу, или перекачан в магистральный трубопровод.

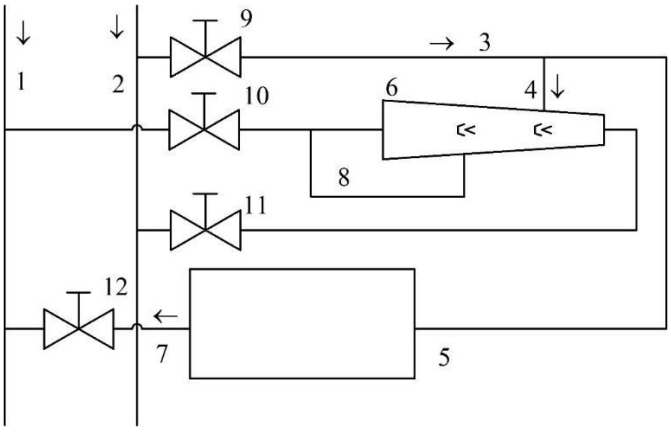


Рисунок 1. Схема подключения эжектора к магистралям ГПА:
1 – магистраль высокого давления, 2 – магистраль низкого давления, 3 – подвод газа низкого давления к ГПА, 4 – подвод пассивного газа к эжектору, 5 – ГПА, 6 – эжектор, 7 – выход газа высокого давления из ГПА, 8 – подвод активного газа к эжектору, 9, 10, 11, 12 – технологические краны

Методы расчета газовых эжекторов рассмотрены в достаточно большом числе публикаций [1] – [5]. Однако все эти методики посвящены расчету одноступенчатых

эжекторов, в то время, как при характерных давлениях в магистральных газопроводах $p_в$ = 7,5 МПа, $p_н$ = 5,8 МПа одноступенчатый эжектор не сможет обеспечить конечное давление в откачиваемом трубопроводе p_{pmin} = 0,6 – 1,2 МПа. Поэтому необходимо применять двухступенчатый эжектор, методика расчета которого и оптимизация заметно сложнее, по сравнению с одноступенчатым. В [5] рассмотрена методика оптимизации двухступенчатого эжектора для получения максимальной степени сжатия в зависимости от доли активного газа, подаваемого в I ступень, φ, и показано, что оптимальное значение φ практически не зависит от отношения полных давлений пассивного и активного газов $\Pi_0 = p_{a0}/p_{p0}$. Кроме того, при малых значениях коэффициента эжекции ($K_e = G_p/G_a \approx 0.01$, G_p, G_a – расход пассивного и суммарный расход активного газа) зависимость ε от φ практически исчезает. Так как основной задачей эжектора для рассматриваемой задачи является обеспечение минимального давления в откачиваемом трубопроводе, то, если принять, что эжектор должен обеспечить минимальное давление p_{p0} на режиме запирания, когда $K_e \to 0$, то расчет может быть сведен к определению геометрического параметра I ступени эжектора, a', соответствующего максимальной приведенной скорости в потоке активного газа при заданном отношении давлений $\Pi_0' = p_{a0}/p_{p0,min}$; $a' = S_p'/S_a'$, где, S_p', S_a' – площади сопел пассивного и активного газа. Расчетная схема двухступенчатого эжектора представлена на рис.2.

Режимные параметры второй ступени эжектора при этом, должны быть подобраны так, чтобы обеспечить статическое давление потока на выходе эжектора, $p_e = p_н$. Для определения параметров I ступени, соответствующих режиму запирания, и обеспечивающих наибольшее разрежение пассивного газа, используем методику, приведенную [1]. Если при заданном Π_0' выбрать геометрический параметр a', то из системы уравнений (1) – (2) можно определить приведенные скорости λ'_p, λ'_2.

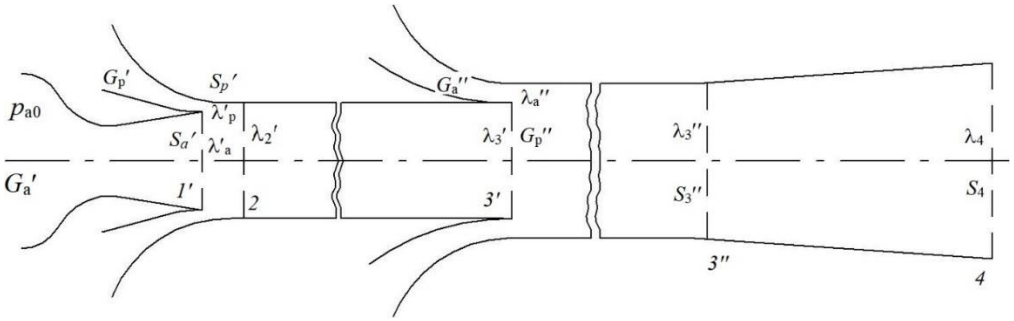


Рисунок 2. Расчетная схема двухступенчатого эжектора

$$\Pi_0' = \frac{a}{q(\lambda_p')} \frac{1}{z(\lambda_2') - z(\lambda_p')}, \tag{1}$$

$$q(\lambda_2') = \frac{q(\lambda_p')}{a+1} \tag{2}$$

где, λ'_p – расчетная приведенная скорость на срезе сверхзвукового сопла,

λ'_2 – приведенная скорость активного газа в сечении запирания,

$q(\lambda)$ – газодинамическая функция плотности тока,

$z(\lambda)$ – газодинамическая функция полного импульса,

На режиме запирания расход пассивного газа G_p=0, в этом случае $z(\lambda_3') = z(\lambda_2')$ и из уравнения полного импульса находим приведенную скорость на выходе I ступени эжектора, λ_3'

$$\lambda_3' = \frac{z(\lambda_3')}{2} - \sqrt{\left[\frac{z(\lambda_3')}{2}\right]^2 - 1}, \tag{3}$$

и максимальную степень сжатия в I ступени эжектора $\varepsilon_0' = p_{e0}/p_{p0,min}$

$$\varepsilon_0' = \frac{\Pi_0' q(\lambda_p')}{(a+1) q(\lambda_3)}\,. \qquad (4)$$

После выбора режимных параметров I ступени необходимо выбрать режимные параметры II ступени так, чтобы статическое давление на выходе эжектора было равно давлению в магистрали низкого давления ГПА, $p_н$.

Система уравнений при расчете II ступени несколько упрощается в силу следующего: 1) уже известные из расчета I ступени параметры на выходе камеры I ступени являются параметрами пассивного газа для II ступени;

2) отношение давлений активного и пассивного газов для II ступени $\Pi_0'' = p_{a0}/p_{e0}$ существенно ниже, чем Π_0', поэтому сопло активного газа II ступени не имеет смысла делать сверхзвуковым, а достаточно ограничиться звуковым соплом.

Для заданного значения коэффициента эжекции II ступени $K_e'' = G_p''/G_a''$, где, G_p'' – расход пассивного газа II ступени, G_a'' – расход активного газа II ступени, геометрический параметр второй ступени a'' может быть определен по уравнению, получаемому из соотношения расходов активного и пассивного газов, приведенного к виду (см. [2])

$$K_e'' = \frac{a'' \cdot q(\lambda_2'') \cdot}{\Pi_0'' \cdot q(\lambda_1'')} \qquad (5)$$

Из уравнения (5) можно определить a''; так как $\Pi_0'' = \Pi_0'/\varepsilon_0'$, $q(\lambda_1'')=1$, а $q(\lambda_2'') = q(\lambda_3'')$; относительно a'' уравнение (5) запишется

$$a'' = \frac{K_e'' \cdot \Pi_0'}{\varepsilon_0' \cdot q(\lambda_3')} \qquad (6)$$

Из уравнения сохранения полного импульса получаем

$$z(\lambda_3'') = \frac{1}{K_e'' + 1}\left[2 + K_e'' z(\lambda_3')\right]. \qquad (7)$$

Определив λ_3'' находим отношение давлений на II ступени эжектора $\varepsilon_3'' = p_3''/p_{a0}$

$$\varepsilon_3'' = \frac{(K_e'' + 1) \cdot \pi(\lambda_3'')}{(a'' + 1) \cdot q(\lambda_3'')}\,, \qquad (8)$$

где, $\pi(\lambda_3'')$ – газодинамическая функция давления.

На рисунке 3 приведены зависимости $p_3''/p_н = \varepsilon_3'' \cdot p_{a0}/p_н$ от K_e'', рассчитанные по (8) для разных значений геометрического параметра I ступени, a' (линии 1).

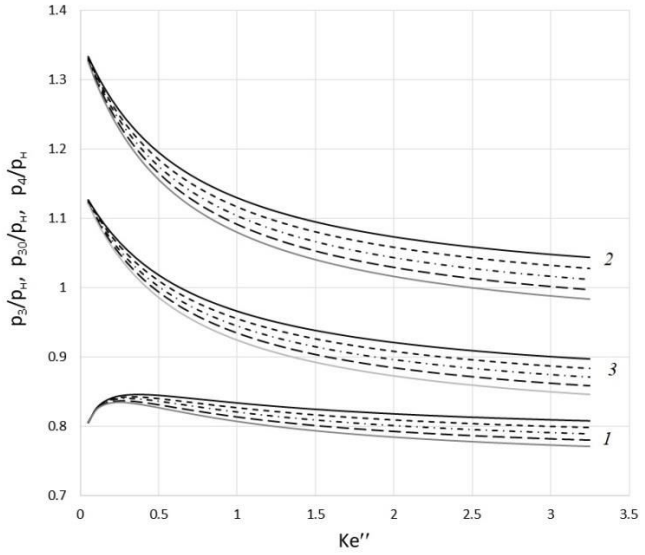


Рисунок 3. Зависимости $p_3/p_н$, $p_{30}/p_н$, $p_4/p_н$ от K_e''
1 – $p_3/p_н$, 2 – $p_{30}/p_н$, 3 – $p_4/p_н$;
— a= 0.05 - - 0.1 - · - 0.15 – – 0.2 — 0.25

Полученные в расчете значения $p_3''/p_н$ располагаются ниже 1, т.е. давление $p_3'' < p_н$, что означает необходимость снижения противодавления, т.е. невозможность откачки в магистраль низкого давления. Однако, если построить графики для отношения полного давления на выходе эжектора p_{30}'', к давлению в магистрали низкого давления $p_{30}''/p_н = p_3''/[p_н \cdot \pi(\lambda_3'')]$, то кривые для этого параметра в основном располагаются выше 1 (линии 2). Это значит, что есть возможность повышения статического давления с помощью диффузора. Так как, приведенные скорости на выходе эжектора достаточно велики ($\lambda_3'' = 0{,}6 – 0{,}9$), установка диффузора на выходе из камеры смешения II ступени может существенно повысить давление на выходе эжектора. Отношение статического давления на выходе из диффузора, установленного за камерой смешения II ступени, к давлению $p_н$ можно определить по уравнению

$$p_4/p_н = \varepsilon_3'' \frac{\pi(\lambda_4)\sigma_d}{q(\lambda_3'')} \frac{p_{a0}}{p_н}. \qquad (9)$$

Приведенная скорость λ_4 определяется из уравнения

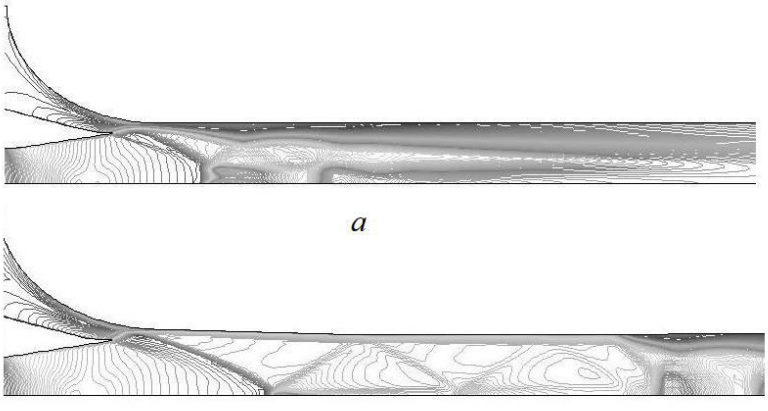
$$q(\lambda_4) = \frac{q(\lambda_3'')}{n_d}, \qquad (10)$$

где, $n_d = S_4/S_3''$ – отношение площади выхода диффузора к площади входа,

σ_d – коэффициент восстановления давления в диффузоре.

Зависимости $p_4/p_н$, рассчитанные для n_d=2, σ_d=0.9, приведены на рис.3 (линии 3). В области небольших значений K_e'' ($K_e'' \leq 0.5$) отношение давлений $p_4/p_н$ больше 1. Таким образом, выхлопной диффузор обеспечивает необходимую добавку статического давления на выходе эжектора и достижение требуемого разряжения при заданном отношении давлений на эжекторе $p_в/p_н$.

Для оценки методики было проведено численное 2D моделирование двух вариантов эжектора, геометрия проточной части которых была спроектирована по уравнениям (1) – (10). Один из эжекторов был с цилиндрической проточной частью камеры смешения I ступени, другой – с конической. Расчеты, проведенные при одних и тех же режимных параметрах, показали, что в цилиндрической и конической камерах смешения развиваются различные режимы течения. Как следует из представленных на рис.4 изолиний чисел Маха, в цилиндрической камере смешения (рис.4 *a*) формируется режим, характерный для недорасширенной струи, с образованием нескольких бочек. Торможение потока происходит в системе прямых скачков.



a

b

Рисунок 4. Изолинии числа Маха в камере смешения I ступени эжектора
a – эжектор с цилиндрической камерой смешения; *b* – эжектор с конической камерой смешения

В конической камере смешения (рис.4, *b*) формируется режим течения, называемый псевдоскачком. При этом значительная область камеры смешения занята сверхзвуковым потоком с косыми скачками уплотнения. Сверхзвуковая область завершается слабым прямым скачком и небольшим локальным отрывом потока на стенке камеры смешения. Наличие области сверхзвукового потока, занимающего все поперечное сечение камеры смешения, обеспечивает более низкое статическое давление на выходе потока пассивного газа. Поэтому в эжекторе с конической камерой смешения получено более высокое разрежение, чем в цилиндрической.

Сравнение характеристик эжекторов с конической и цилиндрической камерами смешения, в виде зависимости p_{a0}/p_{p0} от коэффициента эжекции I ступени, приведено на рис.5.

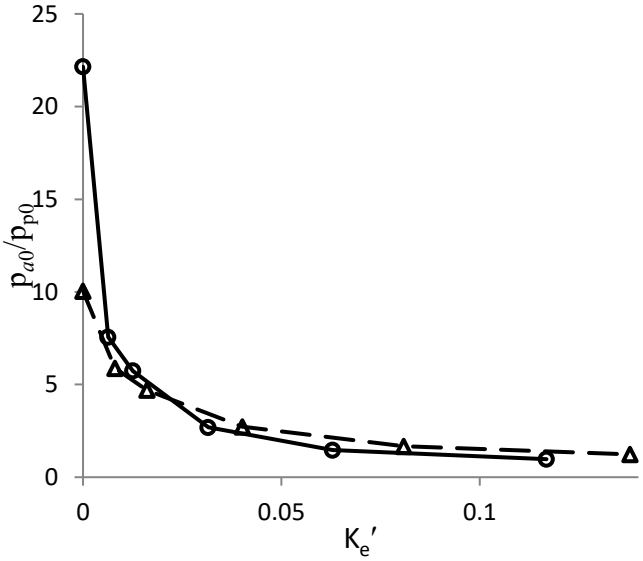


Рисунок 5. Характеристики эжекторов
– –Δ с цилиндрической и — O коническ ой камерой смешения

На режиме запирания эжектор с конической камерой смешения обеспечивает откачку до давления в 2,3 раза более низкого, чем эжектор с цилиндрической камерой смешения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Васильев Ю.Н.* Газовые эжекторы со сверхзвуковыми соплами. Сборник работ по исследованию сверхзвуковых газовых эжекторов. Центральный аэрогидродинамический институт, 1960 г. С. 134 – 213.

2. *Абрамович Г.Н.* Прикладная газовая динамика. В 2 ч. Ч. 1; Учеб. руководство: Для втузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит, 1991. – 600 с.

3. *Соколов В.Я., Зингер Н.М.* Струйные аппараты. – 3-е изд., перераб. – М: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.: ил.

4. *Дейч М.Е.* Техническая газодинамика. Изд. 2-е, переработ. М. – Л. Госэнергоиздат, 1961, 338 с.

5. *Александров В.Ю., Климовский К.К.* Оптимальные эжекторы (теория и расчет). – М.: «Машиностроение», 2012 г., – 136 с., илл.

DESIGN OF A GAS EJECTOR FOR PUMPING NATURAL GAS FROM LOW-PRESSURE TO HIGH-PRESSURE MAIN LINES

Bed E.A.

Supervisor: Yavkin V.B., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. A calculation method for a two-stage gas ejector designed for pumping natural gas from low-pressure mains to high-pressure mains has been developed. The method allows selecting the main geometric parameters of the first and second stages of the ejector and diffuser. Numerical modeling of ejectors with cylindrical and conical mixing chambers has been performed, and their efficiency has been compared.

УДК 621.452

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КИНЕТИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭМИССИИ CO СРЕДСТВАМИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ

Быков Е.Д., Полятыкин А.А.
Научный руководитель: Тихонов О.А., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью точного прогнозирования эмиссионных характеристик, в частности вредных выбросов окиси углерода (CO), в камерах сгорания газотурбинных установок при различных температурах окружающей среды. Современные технологии численного моделирования помогают имитировать процессы горения, что способствует прогнозированию уровня вредных выбросов, это даёт инженерам возможность целенаправленно оптимизировать геометрию и режимные параметры камер сгорания для снижения эмиссии. Однако подбор оптимальных кинетических механизмов и методик расчёта остаётся непростой задачей. В связи с этим целью работы является сравнительный анализ современных моделей горения для выбора наиболее точной и вычислительно эффективной методики. Это позволит разработать практические рекомендации для инженеров-проектировщиков, направленные на снижение экологического следа ГТУ.

В данной работе представлены результаты численного моделирования эмиссии CO в камере сгорания ГТУ НК-38СТ с использованием различных редуцированных кинетических механизмов горения метана [1]. Исследование проводилось для температур окружающей среды от –16 °C до +16 °C, что соответствует реальным условиям эксплуатации. Расчеты проводились с использованием комбинированного реакторного моделирования, где реагирующий объем рассчитывается сначала упрощенной моделью горения вихревой диссипации (ED), затем расчётная область представляется набором последовательных реакторов идеального вытеснения (PFR) и решается в одномерном приближении общеизвестными кинетическими механизмами для моделирования горения метана с воздухом.

Для моделирования в качестве геометрии использовался сектор (1/23 часть полной геометрии) камеры сгорания ГТУ НК-38СТ. Для дальнейшего расчёта горения геометрия была разбита на конструктивные элементы, в частности элемент жаровой трубы, с подводящими патрубками второго контура воздуха, для последующего моделирования детальной химии методом CRN. Сеточная модель состоит из ≈7,4 млн. тетраэдральных элементов. Важным этапом подготовки модели было определение граничных условий, которые задавались в соответствии с реальными эксплуатационными режимами работы ГТУ, включая давление на входе, состав топлива и расход воздуха.

Были исследованы следующие редуцированные кинетические механизмы: схема, включающая 22 компонента и 102 реакции, и полуглобальная схема, включающая 14 компонентов и 28 реакций. Для сравнения использовался детальный механизм GreeMech 3.0 (53 компонента, 325 реакций). Особое внимание в работе уделено анализу распределения

концентраций окиси углерода (CO) и метана (CH_4) вдоль продольной плоскости камеры сгорания.

Для обеспечения сопоставимости результатов всех моделей использовались идентичные граничные условия, соответствующие номинальному режиму работы ГТУ, а именно: массовый расход воздуха и горючего, температура на входе и статическое давление на выходе из расчетной области.

Таблица 1

Результаты содержание веществ на выходе из КС, полученных разными химическими механизмами

Температура окружающей среды (−16℃)					
Химический механизм	Мольные доли				Температура на выходе из камеры сгорания, К
	CH_4	CO	CO_2	O_2	
22 компонента, 102 реакции	5.60E-04	1.15E-02	3.62E-02	8.55E-02	1422.89
14 компонентов, 28 реакций	6.69E-07	3.40E-04	3.53E-02	1.03E-01	1422.87
53 компонента, 325 реакций (GreeMESH 3.0)	2.52E-04	7.44E-03	4.19E-02	8.12E-02	1422.89
FLUENT (GreeMESH 3.0 FR)	1.62E-03	6.07E-03	2.33E-02	1.52E-03	1331.56
Температура окружающей среды (+16℃)					
22 компонентов, 102 реакции	1.41E-04	3.03E-03	1.22E-01	6.17E-02	1574.83
14 компонента, 28 реакций	1.36E-11	3.62E-05	4.86E-02	8.80E-02	1572.71
53 компонента, 325 реакций (GreeMESH 3.0)	1.33E-06	1.19E-3	1.23E-01	6.00E-02	1573.90
FLUENT (GreeMESH 3.0 FR)	1.14E-07	2.29E-04	4.00E-02	1.28E-04	1621.18

С целью проведения сравнительной оценки данных CRN и CFD-моделирования (Таблица 1), выполнены расчеты отклонений концентраций CO от эталонных значений, определенных в пакете Ansys Fluent с применением кинетической модели горения Finite Rate (FR) на основе механизма GreeMech 3.0 (Таблица 2). Использованный метод сравнения следует подходу, изложенному в работе [2].

Таблица 2

Отклонение значений CO испытуемых механизмов от FLUENT (GreeMESH 3.0 FR)

Температура окружающей среды, ℃	Химический механизм		
	22 компонентов, 102 реакции	14 компонентов, 28 реакций	53 компонента, 325 реакций (GreeMESH 3.0)
	Отклонение значений CO, %		
+16℃	8211,53%	0,75%	3152,68%
−16℃	50,43%	95,57%	3,06%

Метод FLUENT (GreeMESH 3.0 FR) демонстрируют близость к экспериментальным данным, так как учитывают физику потока при расчёте химии. В отличие от него, методы CRN, основанные на модели последовательных реакторов, сильно зависят от выбора схемы. В данном исследовании использовались реакторы идеального вытеснения (PFR), однако, как показано в работе [3], применение альтернативных схем может улучшить точность.

Моделирование на основе метода FLUENT (GreeMESH 3.0 FR) выявило зону максимальной концентрации CO в конце зоны горения. Данное явление объясняется взаимодействием высокотемпературного факела пилотного пламени с холодным закрученным потоком и вдувом охлаждающего воздуха. Моделирования методом CRN не смогли воспроизвести эту физическую особенность и демонстрируют значительные отклонения от экспериментальных данных, что указывает на их ограниченную применимость для сложных газодинамических условий. Несмотря на это, редуцированные механизмы сохраняют практический интерес вследствие существенно более низких вычислительных затрат по сравнению с детальными CFD-расчетами с полной химией. Ключевой задачей является не отказ от их использования, а разработка корректных методик их применения.

Редуцированные химические механизмы критически зависят от типа реактора и способа разбиения рабочего объёма на зоны. В данной работе разделение проводилось по скорости и содержанию (O_2), но изменение этого подхода приведёт к изменению результатов, так как изменение параметров разбиения приведет к иному распределению зон, а следовательно и к другим распределениям реакций. Проведенный анализ позволяет предположить, что для каждого редуцированного механизма возможно подобрать такую реакторную схему и алгоритм разбиения объёма на зоны (основанный не только на скорости и содержании O_2, но и на других параметрах), при которой результаты расчётов будут значительно ближе к экспериментальным данным.

Таким образом, редуцированные механизмы остаются актуальными, несмотря на значительные отклонения. Их точность может быть повышена за счёт оптимизации разбиения объёма и выбора реакторной схемы, что подтверждается значительными расхождениями даже для детального механизма GreeMESH 3.0 при использовании в CRN только реакторов PFR. Это говорит о том, что адекватность модели определяется не только детализацией кинетики, но и корректным физическим представлением структуры потока. Перспективным направлением дальнейших исследований видится разработка адаптивных алгоритмов разбиения на зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Lytras, I., Koutmos, P. & Dogkas, E.* Reduced Kinetic Models for Methane Flame Simulations. Combust Explos Shock Waves 55, 132–147 (2019).

2. *Тихонов О.А., Сабирзянов А.Н., Бакланов А.В*. Численное моделирование эмисии CO камеры сгорания ГТУ НК-38СТ в зависимости от температуры окружающей среды. Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. 2024. №3 (150). С.19-33.

3. *Nguyen, T.H.* Improved Chemical Reactor Network Application for Predicting the Emission of Nitrogen Oxides in a Lean Premixed Gas Turbine Combustor. Combust Explos Shock Waves 55, 267–273 (2019).

ANALYSIS OF MODIFIED KINETIC MECHANISMS FOR ASSESSING CO EMISSIONS IN SEQUENTIAL CHEMICAL REACTORS

Bykov E., Polyatykin A.

Supervisor: Tikhonov O., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. The relevance of the study is driven by the need for accurate prediction of emission characteristics, specifically harmful carbon monoxide (CO) emissions, in gas turbine combustion chambers under varying ambient temperatures. Modern numerical modeling technologies help simulate combustion processes, which aids in predicting the levels of harmful emissions. This provides engineers with the ability to purposefully optimize the geometry and operational parameters of combustion chambers to reduce emissions. However, the selection of optimal kinetic mechanisms and calculation methodologies remains a challenging task. Therefore,

the aim of this work is a comparative analysis of modern combustion models to select the most accurate and computationally efficient methodology. This will allow for the development of practical recommendations for design engineers aimed at reducing the environmental footprint of gas turbine units.

УДК 621.438:536.38

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЕЛА НА РАВНОМЕРНОСТЬ ПОТОКА И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ЗА ЗАВЕХРИТЕЛЕМ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД

Ван Фуюй, Шарафутдинов Р.Р.

Научный руководитель: Александров Ю.Б., доцент, к. х. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе проведено численное исследование влияния геометрии центрального тела завихрителя на поле скорости за ним. Установлено, что параболическая форма обеспечивает минимальные потери давления и наилучшую равномерность потока в условиях работы фронтового устройства камеры сгорания. Полученные результаты полезны для оценки влияния центрального тела на параметры работы завихрителей камеры сгорания газотурбинных двигателей.

Данное исследование направлено на изучение влияния геометрической конфигурации центрального тела (места установки топливной форсунки) в завихрителе с целью снижения гидравлических потерь, вызванных его формой, и улучшения равномерности поля скоростей в потоке. Геометрия центрального тела оказывает значительное влияние на структуру потока в центральной области, особенно в условиях высокоскоростного течения. Неоптимальная конструкция может привести к дополнительным потерям и ухудшению эффективности горения в виду особенностей формирования зоны обратных токов и гидродинамических характеристик [1-6]. Основные задачи исследования включают: 1 - оценку пяти различных конфигураций центрального тела (круглая, характеристическая кривая, параболическая, эллиптическая, прямая с концевой дугой), показанных на рисунке 1, при различных скоростях потока; 2 - анализ влияния каждого расчетного варианта на коэффициент восстановления полного давления и распределение поля скоростей на выходе завихрителя; 3 - выбор оптимальной конструкции центрального тела для минимизации влияния центрального тела на последующие исследования лопаток.

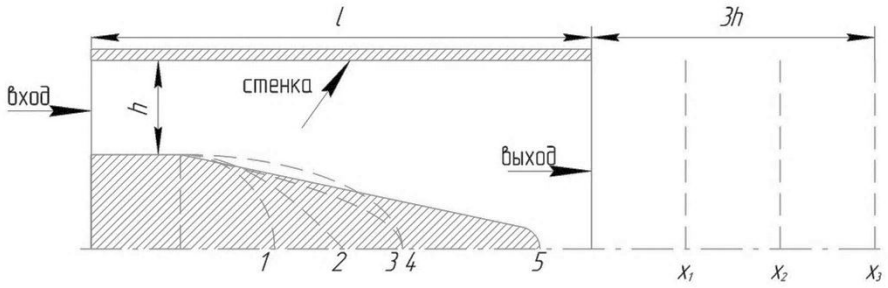


Рисунок 1. Схемы исследованных центральных тел и контрольных сечений после завихрителя: 1 – круглое, 2 – характеристическая кривая, 3 – параболическая, 4 – эллиптическая, 5 – прямая с концевой дугой; *l* – длина внешнего кольцевого корпуса кольцевого канала завихрителя; *h* – высота кольцевого зазора, равная высоте лопатки

В работе использовался метод численного моделирования (CFD), расчетная область дискредитировалась структурированной сеткой с сгущением в пристеночной области для

точного моделирования пограничного слоя. В виду отсутствия лопаточного аппарата завихрителя, расчет проводился в двухмерной осесимметричной постановке. На входе в расчетную область задавался одинаковый для всех моделей массовый расход с равномерным распределением по входной границе, обеспечивающий определённые скорости воздушного потока на входе в канал. Такой подход позволял обеспечить постоянство параметров на входе в кольцевой канал завихрителя вне зависимости от используемого центрального тела. Для формирования естественного профиля скорости перед центральным телом было создано удлинение кольцевого канала, что позволяла получить правильное распределение скорости при различных числах Рейнольдса потока. На выходе из расчетной зоны применялось граничное условия постоянства статического давления, эмитирующее внешнее пространство с атмосферным давлением, не ограниченное стенками. В качестве модели вязкости была применена k-ω SST. Для каждой конфигурации центрального тела, показанного на рисунке 1 проводились стационарные расчеты при скоростях на входе в канал: 1 м/с, 40 м/с и 80 м/с с последующим анализом коэффициента восстановления полного давления (η*), рисунок 2, и равномерность поля скоростей за центральным телом, рисунок 3.

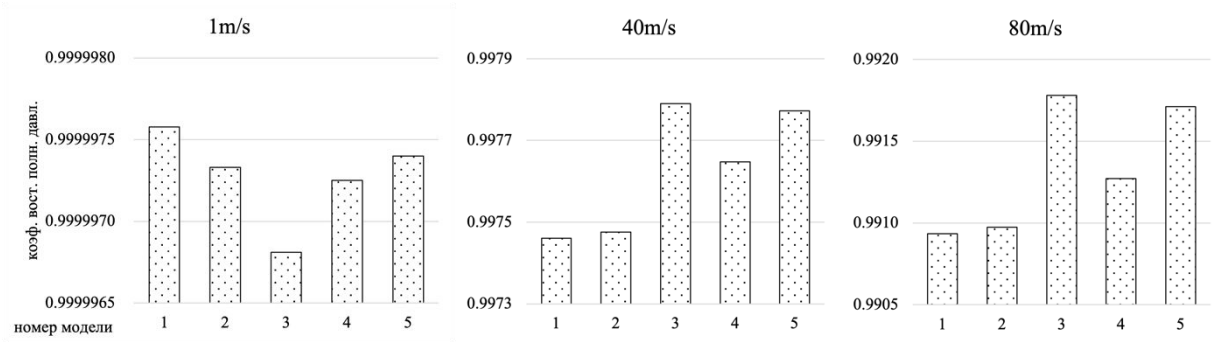


Рисунок 2. Коэффициент восстановления полного давления канала с центральным телом: 1 – круглое, 2 – характеристическая кривая, 3 – параболическая, 4 – эллиптическая, 5 – прямая с концевой дугой

На рисунке 2 видно, что при низкой скорости (1 м/с) различия в потерях между конфигурациями незначительны, однако круглая форма (1) демонстрировала лучшую стабильность потока. С увеличением скорости до 40 м/с и долее до 80 м/с различия стали более различимы. Параболическая конфигурация (рисунок 2, поз. 3) показала наилучшие характеристики в высокоскоростных условиях: максимальный коэффициент восстановления давления и минимальные потери. Для различных центральных тел потери давления отличаются незначительно, примерно на η* = 0,08%. При использовании центрального тела выполненного в виде цилиндра, обеспечивающего внезапное расширении потока в центральной области, отличие будет достигать чуть больших значений η* = 0,3%.

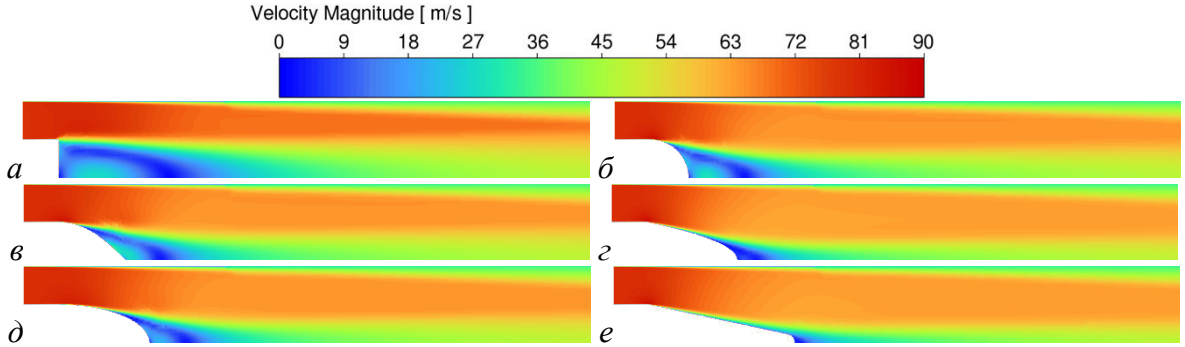


Рисунок 3. Продольное сечение через кольцевой канал с визуализациями полей скорсоти для моделей с центральными телами: *а* – цилиндрическое; *б* – круглое, *в* – характеристическая кривая, *г* – параболическая, *д* – эллиптическая, *е* – прямая с концевой дугой

Анализ полей и векторов скоростей подтвердил, что параболическая конфигурация (рисунок 3, *г*) эффективно подавляет отрыв потока и обеспечивает равномерное распределение скоростей, снижая турбулентную диссипацию. Прямая с концевой дугой, показанная на рисунке 3, *е* также демонстрировала низкие потери, но большая длина ограничивает ее практическое применение. Эллиптическое тело (рисунок 3, *д*) и характеристическая кривая (рисунок 3, *в*) формы приводили к отрыву потока и росту потерь при высоких скоростях.

Расчет относительных скоростей в трёх контрольных сечениях позволил количественно оценить неравномерность выходного потока за центральным телом. Результаты показанные на рисунке 4 наименьший уровень неравномерности (X%) для параболической модели, что согласуется с данными полученных минимальных потерь давления.

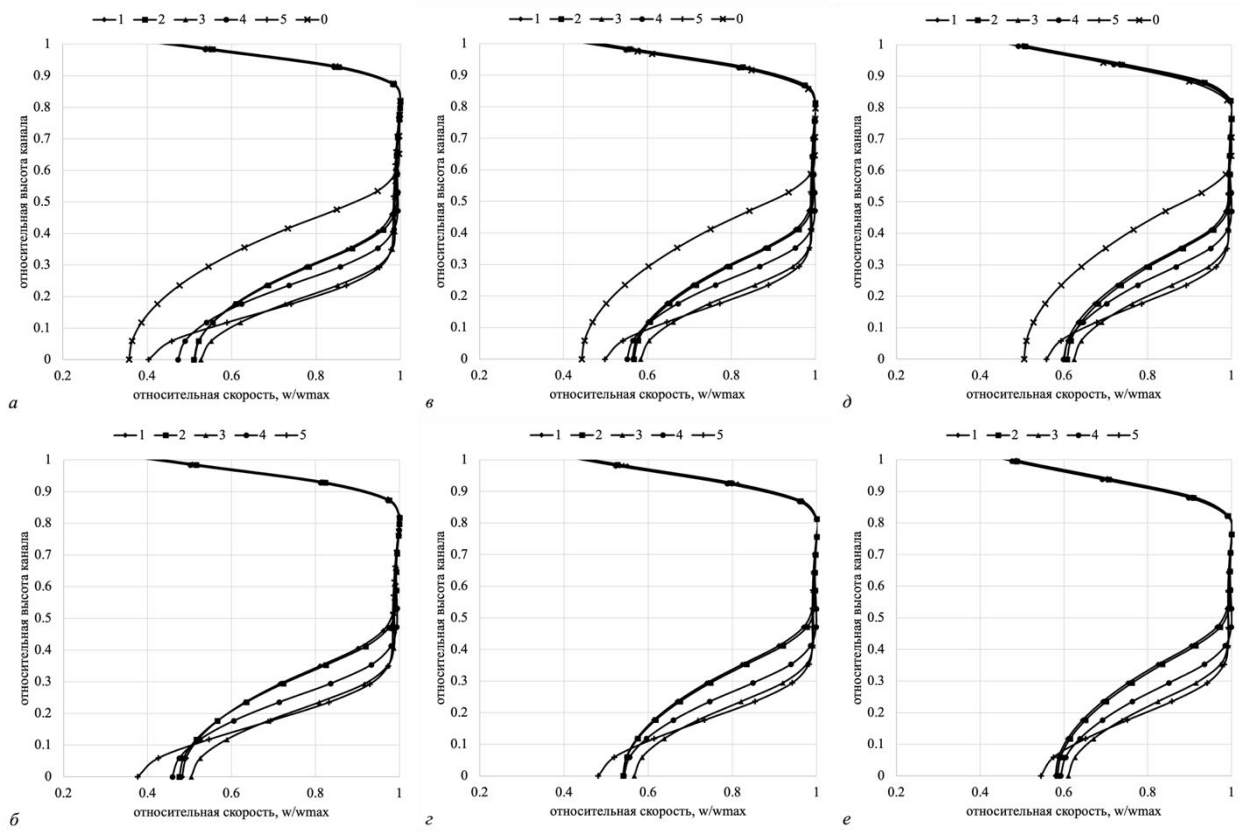


Рисунок 4. Профиль относительной скорости в радиальном направлении потока за завихрителем:
при числах Рейнольдса Re=9,8·10^5: *а* – сечение x_1; *в* – сечение x_2; *д* – сечение x_3;
при числах Рейнольдса Re=4,9·10^4: б – сечение x_1; *г* – сечение x_2; *е* – сечение x_3;
Для центральных тел: 1 – круглое, 2 – характеристическая кривая, 3 – параболическая, 4 – эллиптическая, 5 – прямая с концевой дугой

На основе комплексного анализа гидравлических потерь и равномерности потока, учитывая инженерные ограничения, параболическая конфигурация центрального тела завихрителя была выбрана наиболее оптимальной для последующих исследований лопаток завихрителя, с целью минимизирования влияния центрального тела на аэродинамику потока.

Исследование показало, что параболическая форма центрального тела обеспечивает минимальные гидравлические потери и наилучшую равномерность поля скоростей при высоких скоростях (40 и 80 м/с). Остальные конфигурации либо уступали по эффективности (из-за отрыва потока), либо были неприменимы из-за геометрических ограничений. Таким образом, параболическая конструкция была выбрана в качестве базовой для дальнейшего изучения лопаток завихрителя, что позволит наиболее точно оценить их влияние на процессы в камере сгорания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Т.Д. Нгуен, Ю.Б. Александров, Б.Г. Мингазов.* Влияние формы обтекателя на однородность профиля скоростей перед лопатками завихрителя // Климовские чтения – 2020: перспективные направления развития авиадвигателестроения: сборник статей научно-технической конференции, 2020, Санкт-Петербург. – с. 93 – 100.

2. *Калугин Владимир Тимофеевич, Луценко Александр Юрьевич, Назарова Динара Камилевна*. Расчет аэродинамических характеристик створок головных обтекателей транспортных систем // Научный вестник МГТУ ГА. 2018. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-aerodinamicheskih-harakteristik-stvorok-golovnyh-obtekateley-transportnyh-sistem.

3. *Хлупнов Александр Иванович.* Улучшение аэродинамических характеристик летательных аппаратов // Инженерный журнал: наука и инновации. 2014. №1 (25). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/uluchshenie-aerodinamicheskih-harakteristik-letatelnyh-apparatov.

4. *Yuyang Zhou*. Tomographic particle image velocimetry measurement on three-dimensional swirling flow in dual-stage counter-rotating swirler. Chinese Journal of Aeronautics, (2024), 37(3): 7–20.

5. *Yan Dongbo*. Performance evaluation methods of two-stage axial swirler: I influence of total swirling intensity // Journal of aerospace power. Vol. 32 No. 7. July 2017.

6. *Zhang Qun*. Performance evaluation methods of two-stage axial swirlers: II influence of swirler rear geometric structure // Journal of aerospace power. Vol. 32 No. 8. August 2017.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE CENTRAL BODY SHAPE ON FLOW UNIFORMITY AND HYDRAULIC LOSSES BEHIND THE SWIRLER OF A GAS TURBINE ENGINE COMBUSTION CHAMBER

Wang Fuyu, Sharafutdinov R.R.

Supervisor: Aleksandrov Yu.B., Associate Professor, Candidate of Chemical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. The study presents a numerical investigation of the influence of the swirler's central body geometry on the downstream velocity field. It was found that a parabolic shape provides minimal pressure losses and the best flow uniformity under the operating conditions of a combustor front device. The obtained results are useful for evaluating the effect of the central body on the performance parameters of swirlers in gas turbine engine combustion chambers.

УДК 621.45.034

ИССЛЕДОВАНИЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ МАЛОРАЗМЕРНОГО ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Ван Цинюнь, Халиулин Р.Р., Цзинь Линь

Научный руководитель: Сыченков В.А., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлены результаты комплексного исследования камеры сгорания малоразмерного турбореактивного двигателя. Методология работы включала аналитический расчет по методике Мингазова Б.Г., одномерное моделирование в специализированной программе «КАМЕРА» и трехмерное численное моделирование в Ansys-Fluent. Основное внимание уделено анализу зависимости коэффициента полноты сгорания топлива от геометрических параметров жаровой трубы, в частности, от ее длины и соотношения L/D. В результате исследования определено критическое значение соотношения L/D=2, соответствующее пику эффективности горения. Показано, что дальнейшее увеличение длины не приводит к значительному росту полноты сгорания. Полученные

результаты позволяют оптимизировать конструкцию камеры сгорания для повышения ее эффективности и стабильности работы.

В работе представлены результаты численного и аналитического исследования эффективности сгорания топлива в кольцевой камере сгорания малоразмерного турбореактивного двигателя. Особое внимание уделено параметрам горения, таким как коэффициент полноты сгорания.

В малоразмерных турбореактивных двигателях (таблица 1) ограниченные габариты обусловливают пределы тяговых характеристик (рис 1), что делает необходимым проведение исследовательского анализа ключевого конструктивного элемента - камеры сгорания, при этом повышение эффективности сгорания топлива представляет собой один из действенных способов увеличения тяги.

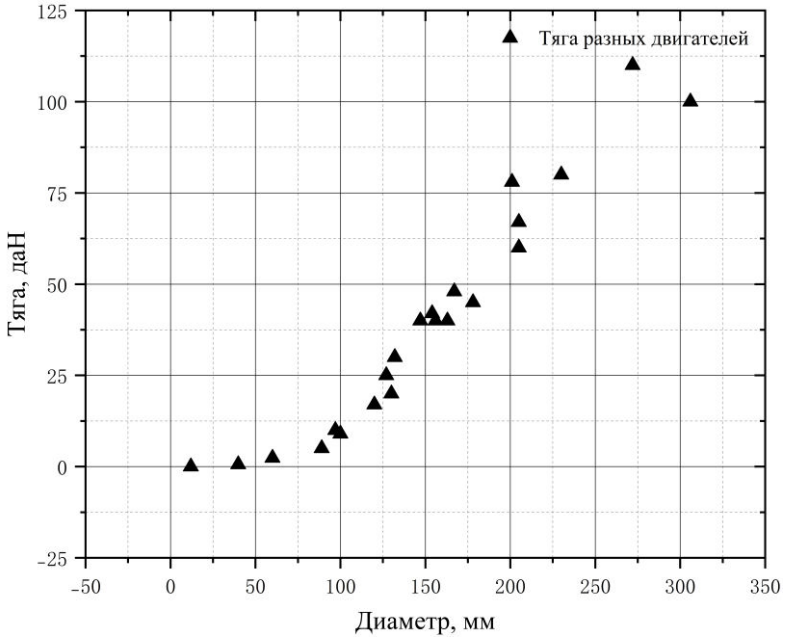


Рисунок 1. Зависимость тяги от диаметра МТРД (1даН=10Н)

Таблица 1

Типичный миниатюрный турбинный реактивный двигатель [1]

Двига-тель	Институт	Тяга/ *даН*	Метал-лоем-кость	Потребле-ние топлива/ *кг/даН·ч*	Степень повыше-ния давления	Ско-рость враще-ния/ *кгрт*	Диаметр на длину/ *мм×мм*
AT-450	США AMT	20	8,5	1,02	-	110	130×270
TJ-90	США Sundstrand	48	10,1	1,36	-	102	167×343
TDI-J5	США TDI	25	5,9	1,40	-	130	127×285
TDI-J7	США TDI	45	7,2	1,50	-	96	178×385
305-7E	США Teledyne	40	-	1,28	-	89	163×229
SWB—11	США SWB	5	5,9	-	2,8	150	89×184
Midge	США M-Dot	0,620	7,4	1,63	1,6	452	39,9×76,2
ME	США MIT	0,0125	-	0,56	4,0	2400	12×3

TRS18-046	Франция Microturbo	100	2,8	1,30	4,0	44	306×650
Mercury	Голландия AMT	9	5,7	1,98	2,8	151	100×292
Pegasus	Голландия AMT	17	7,5	1,80	3,2	119,5	120×342
Nike	Голландия AMT	78	9,1	1,45	4,0	61,5	201×524
TJ40G2	Чехия PBS	40	10,1	1,49	3,8	98	147×373
TJ100A	Чехия PBS	110	5,8	1,09	5,0	61,2	272×625
P20	Германия JetCat	2,4	7,0	1,88	1,5	245	60×180
P100	Германия JetCat	10	9,5	1,87	2,9	154	97×235
P300	Германия JetCat	30	11,6	1,57	3,55	106	132×365
HF100	Англия Microjet	42	9,1	1,50	3,45	89	154×383
HF150	Англия Microjet	67	7,9	1,56	3,8	79	205×445
W2P-1	СЗПУ	108	-	1,15	5,3	48,4	-
CYS-80WP	60-й научно-исследовательский институт китайской народной Армии освобождения	80	6,8	1,40	4,8	69	230×538
CTJ-60	Китайская аэрокосмическая наука и технология 3-й научно-исследовательский институт	60	7,1	1,50	-	79	205×445
MTE-160	Нанкин аэрокосмический университет	40	8,2	1,80	4,0	88	156×320

Для выполнения расчетов использовались специализированная программа «КАМЕРА», система трехмерного моделирования «Solidworks», пакет трехмерного анализа «Ansys-Fluent» и математический программный комплекс «Mathcad».

На первом этапе на основании расчетов двигателя по методике, изложенной в литературном источнике [2], проведен аналитический расчет камеры сгорания по методике Мингазова Б.Г. [3], что позволило определить основные геометрические параметры первоначальной конструкции камеры сгорания. Далее с использованием программного комплекса «Камера» [4] выполнено проектирование конструкции камеры сгорания и

осуществлен одномерный расчет для получения основных эксплуатационных характеристик (рис. 2). На рисунке 2 представлены результаты расчета камеры сгорания в программе «Камера».

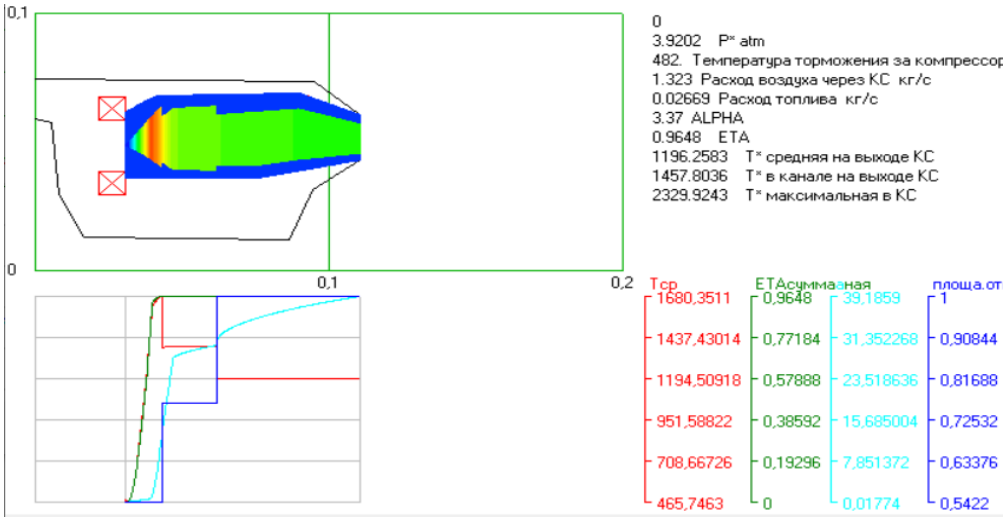


Рисунок 2. Результаты расчетов в программе «Камера»

На втором этапе основное внимание уделено исследованию эффективности сгорания топлива, в частности изучению зависимости коэффициента полноты сгорания от длины жаровой трубы. Анализ проводился тремя методами: первый - по данным, полученным из программы «Камера» (рис. 2), второй - с использованием численного теоретического анализа на основе формулы Дорошенко В.Е. [5], третий - посредством упрощенного моделирования процесса горения в Ansys-Fluent.

В результате численного анализа получено следующее уравнение зависимости функции распределения воздуха, применимое исключительно к параметрам камеры сгорания данного двигателя.

$$\phi(x) = 0,0000888\left(\exp(x) + 5x^{0,9}\right)^{1,08} + 10^{-10} \qquad (1)$$

Для упрощенного понимания моделирования в Ansys-Fluent [6] ограничивается элементарным одномерным анализом с расширенным исследованием влияния соотношения длины к ширине жаровой трубы на полноту сгорания топлива, что потребовало эквивалентного преобразования кольцевой камеры сгорания в трубчатую, однако визуализация данного преобразования не приводится, представлены исключительно итоговые результаты исследования (рис. 2).

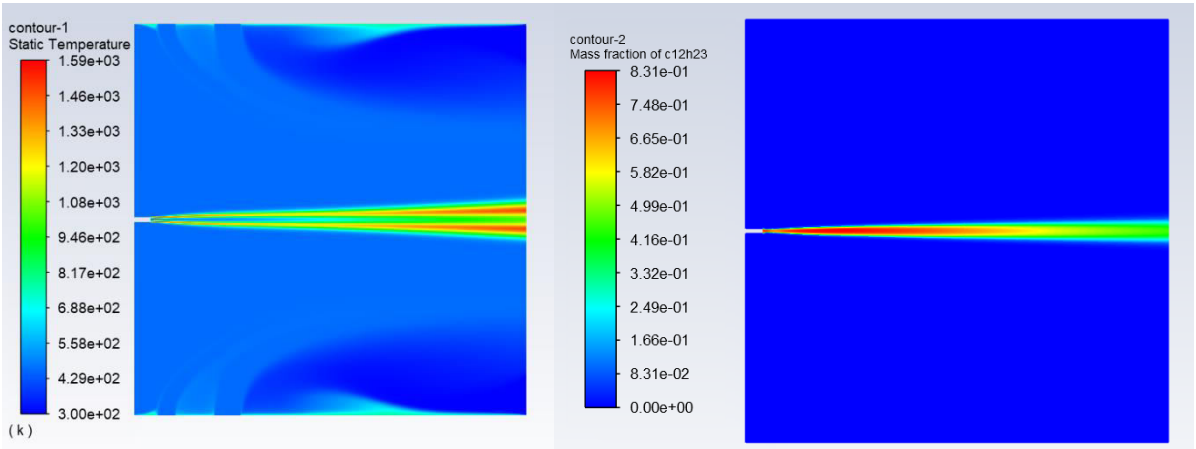


Рисунок 3. Распределение температуры и массовой доли керосина по тракту жаровой трубы в Ansys-Fluent

На одном графике (рис.4) приведены зависимости полноты сгорания топлива от длины жаровой трубы, полученные тремя вышеуказанными методами, с визуальным представлением результатов для камеры сгорания двигателя с заданными параметрами конструкции. Приведенные данные носят исключительно справочный характер без проведения дополнительного анализа погрешностей, т.к. на данном этапе исследований важно было определить качественный характер изменения полноты сгорания топлива.

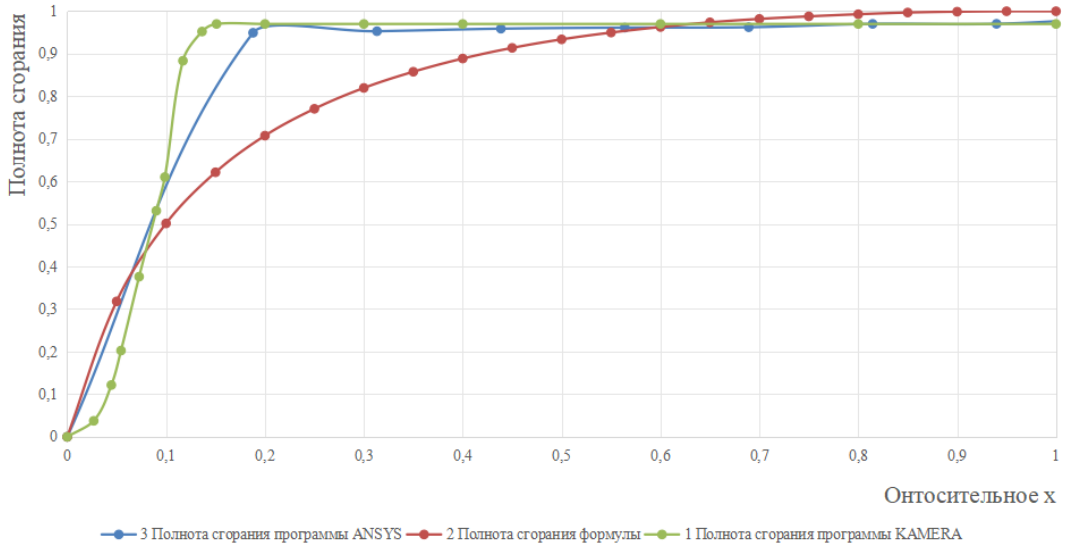


Рисунок 4. Зависимости полноты сгорания от длины жаровой трубы: синий - ANSYS-Fluent, красный - формула Дорошенко В.Е., зеленый - программа КАМЕРА

Анализ рисунка 5 демонстрирует нелинейную зависимость полноты сгорания от соотношения L/D: при возрастании данного параметра максимальный показатель полноты сгорания первоначально увеличивается с последующей стабилизацией. Критическое значение соотношения L/D=2 соответствует пику эффективности процесса горения, тогда как дальнейший рост параметра не приводит к существенному изменению характеристик

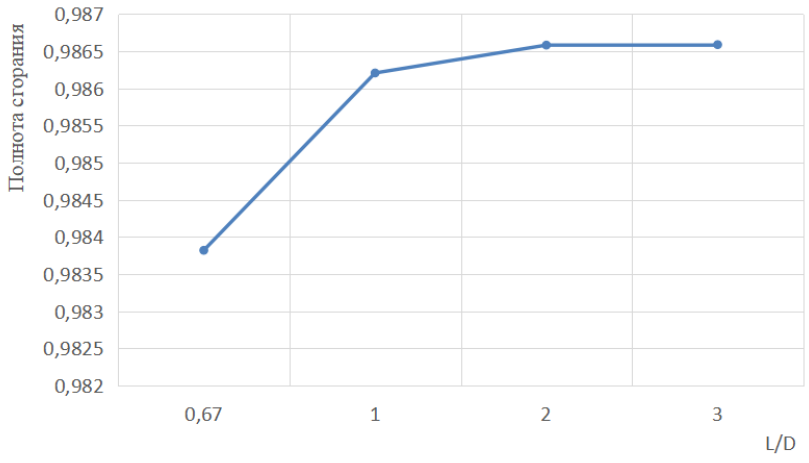


Рисунок 5. Зависимость полноты сгорания от относительной длины жаровой трубы L/D

Исследование позволило определить оптимальные режимы работы камеры сгорания, а также выявить ключевые факторы, влияющие на равномерность распределения температуры и полноту сгорания топлива. Полученные результаты демонстрируют значительное улучшение эффективности сгорания за счет оптимизации конструкции камеры сгорания. Это позволило снизить локальные перегревы и повысить стабильность работы камеры сгорания [7], что особенно важно для малоразмерных двигателей с ограниченным ресурсом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *XueRanran, LiFengchao.* An Overview on Development of Micro Turbojet Engines. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2016.

2. *Булавкин А.А., Рогсжин Б.А.* Выбор параметров, термогазодинамический расчет и расчет ВСХ ТРД, ДТРД и ТВД: Учебное пособие. -Казань: КАИ, 1985. – 67 с.

3. *Мингазов Б.Г.* Процессы горения и экология камер сгорания газотурбинных двигателей. Конструкция, теория, испытание и расчет: монография / Б.Г. Мингазов. - Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2022. -296 с.

4. *Мингазов Б.Г.* «Kamera» USERMANUAL. - Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2016.

5. *Дорошенко В.Е.* О процессе горения в камере газотурбинного двигателя. В кн.: Третье Всесоюзное совещание по теории горения. М.: АН СССР, Т. 2, 1959, С. 262-269.

6. ANSYS FLUENT Theory Guide. ANSYS Fluent.

7. Пат. 2805397 Российская Федерация, СПК F02K 3/00; F23R 3/32; F23R 3/346. Малоразмерный газотурбинный двигатель / Халиулин Р. Р., Сыченков В. А., Волостнов Г. В. и др.; Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ». – № 2023105417; заявл. 09.03.2023; опубл. 16.10.2023, Бюл. № 29.– 8 с.: ил.

STUDY OF THE COMBUSTION CHAMBER OF A SMALL-SCALE TURBOJET ENGINE

Wang Qingyun, Khaliulin R.R., Jin Lin

Supervisor: Sychenkov V.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents the results of a comprehensive study of the combustion chamber of a small-scale turbojet engine. The methodology included analytical calculation based on Mingazov B.G.'s method, one-dimensional modeling in the specialized software "KAMERA", and three-dimensional numerical modeling in Ansys-Fluent. The main focus is on the analysis of the dependence of the fuel combustion completeness coefficient on the geometric parameters of the flame tube, in particular, on its length and the L/D ratio. As a result of the study, a critical L/D ratio value of 2 was determined, corresponding to the peak combustion efficiency. It is shown that a further increase in length does not lead to a significant increase in combustion completeness. The results obtained make it possible to optimize the design of the combustion chamber to improve its efficiency and operational stability.

УДК 621.452.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА РАСКРЫТИЯ СМЕСИТЕЛЯ НА СТЕПЕНЬ СМЕШЕНИЯ ПОТОКОВ ДВУХ КОНТУРОВ

Василевич А.А.

Научный руководитель: Александров Ю.Б., доцент, к. х. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлены результаты численного исследования влияния геометрического параметра лепесткового смесителя – угла раскрытия его лепестков – на процесс смешения потоков внутреннего и внешнего контуров турбореактивного двухконтурного двигателя с форсажной камерой сгорания (ТРДДФ).

Эффективная работа форсажной камеры сгорания (ФКС) зависит от качества смешения потоков горячих газов из внутреннего контура и холодного воздуха из внешнего контура двигателя. Неравномерное поле температур и концентраций на входе в ФКС может

привести к неустойчивому горению, помпажу и повышенному уровню эмиссии вредных веществ. Для смешения потоков в ТРДДФ широко применяются лепестковые смесители, геометрия которых, в частности угол раскрытия лепестков, является ключевым фактором, определяющим эффективность процесса смешения и гидравлические потери [1-3].

В данной работе проводится сравнительный анализ эффективности смесителей с различными углами раскрытия лепестков для конструкции, аналогичной смесителю двигателя АЛ-31ФП (рис.1).

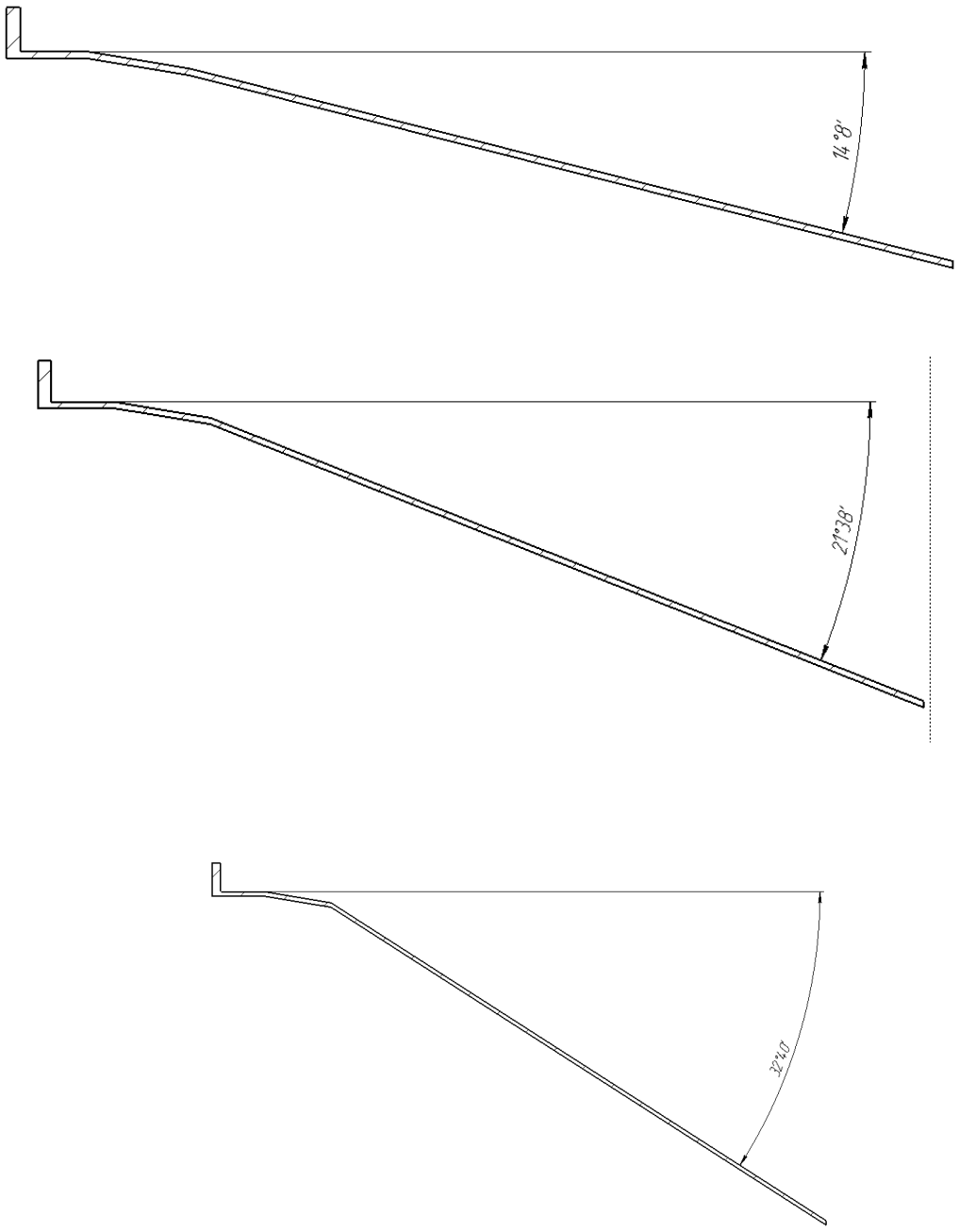


Рисунок 1. Продольный разрез смесителей с разными углами раскрытия лепестков

Методика исследования.

Было разработано несколько 3D-моделей лепесткового смесителя с углами раскрытия α = 14°, 22° и 32° (рисунок 1 и 2). Исходная конструкция принята за базовую (α = 14°). Для оценки вклада смесителя также был рассчитан вариант течения без смесителя.

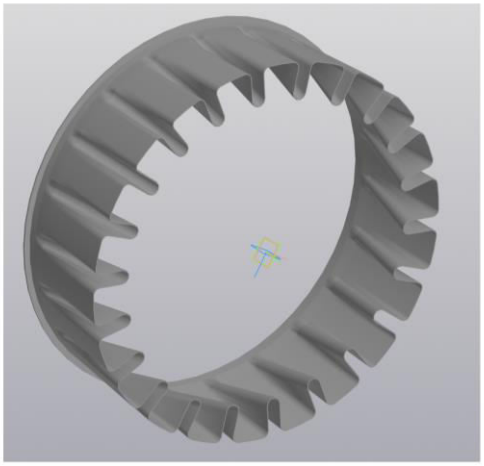


Рисунок 2. Трехмерная модель смесителя

Расчет течения проводился в программном комплексе ANSYS Fluent. Моделирование выполнялось в стационарной постановке с использованием SST k-ω модели турбулентности. В качестве критерия оценки качества смешения использовались индексы равномерности (Uniformity Index), осредненные по площади (Area-Weighted) и по массе (Mass-Weighted). Индекс равномерности, равный 1, соответствует идеально однородному полю.

Результаты.

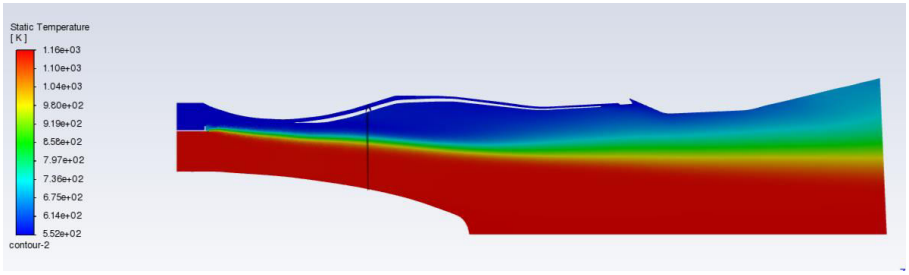


Рисунок 3. Расчет смешения без использования смесителя

При исследовании смешения потоков в камере смешения двигателя АЛ-31ФП была обнаружена недостаточная равномерность, образуемая при смешении потоков после смесителя. Смешение происходило только вдоль небольшой границы между двумя потоками, а основное смешение происходит уже за стабилизатором, т.е. не за счет смесителя, а за счет процессов происходящих за фронтовым устройством при стабилизации горения (рисунок 4).

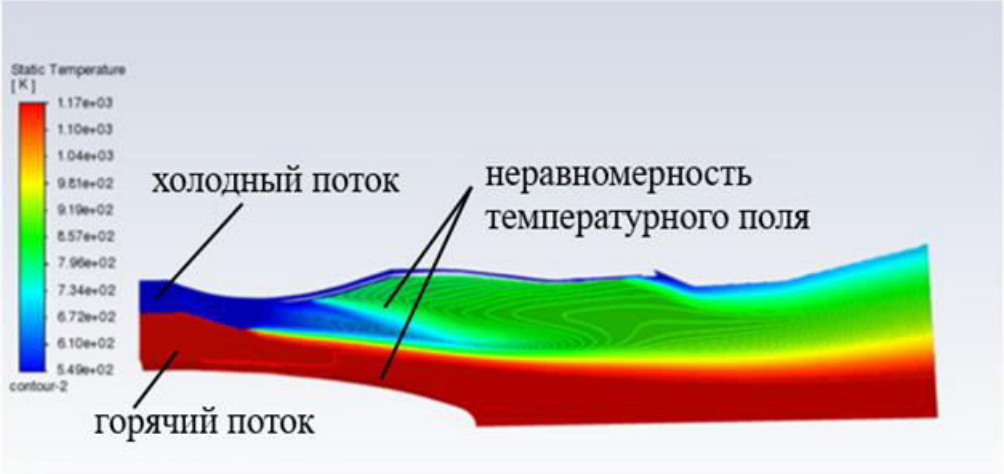


Рисунок 4. Расчет смешения потока для базовой модели смесителя ФКС

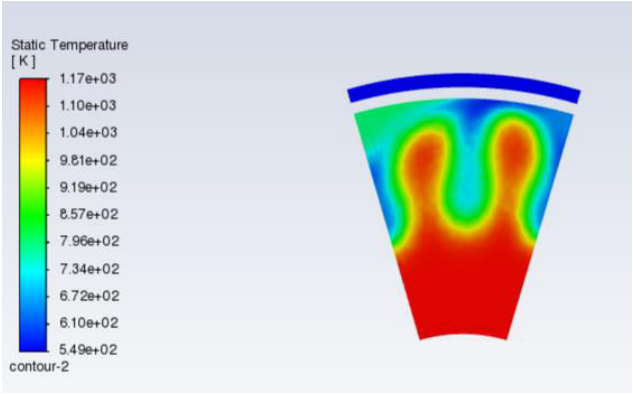


Рисунок 5. Смешение потоков перед фронтовым устройством на базовом смесителе

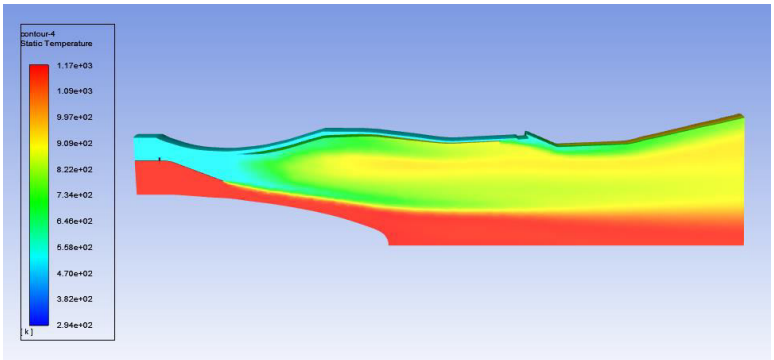


Рисунок 6. Расчет смесителя с углом 22 градуса

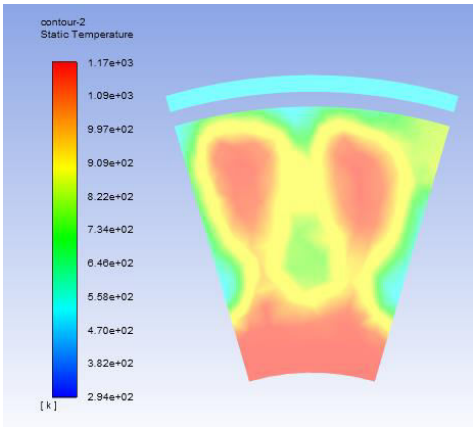


Рисунок 7. Смеситель с углом раскрытия 22 градуса

Как видно из расчета, увеличение угла сместило границу двух сред ближе к оси двигателя, тем самым поставляет чистый воздух ближе к центру двигателя, что в теории могло бы улучшить стабильное горение.

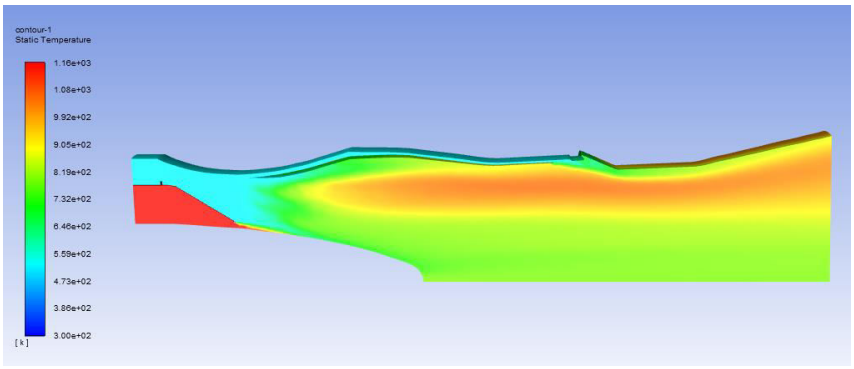


Рисунок 8. Смеситель с углом раскрытия 32 градуса

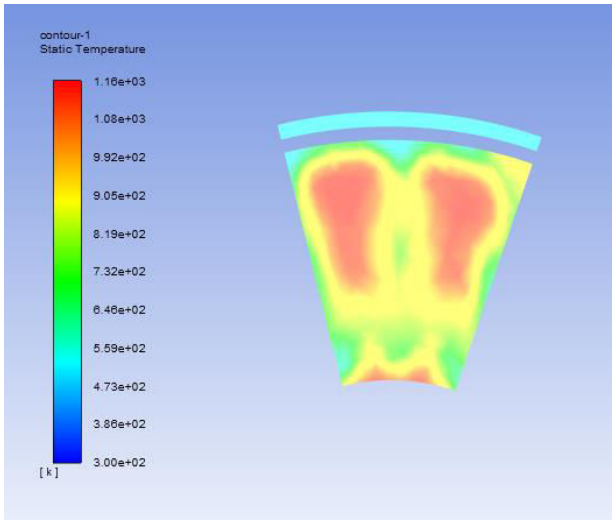


Рисунок 9. Смеситель с углом раскрытия 32 градуса

Как видно из расчета для данного угла почти отсутствует граница соприкосновения потоков контуров, что приводит к их более быстрому смешению.

Визуальный анализ полей показывает, что с увеличением угла раскрытия лепестков:

1. Граница раздела двух потоков смещается ближе к оси двигателя.

2. Увеличивается зона взаимного проникновения потоков.

3. Процесс смешения интенсифицируется и начинается на более раннем этапе, непосредственно за смесителем, а не только за стабилизатором пламени.

Для количественной оценки однородности температурного поля на входе в зону горения были получены следующие значения индексов равномерности (Таблица 1).

Таблица 1

Результаты расчета индексов равномерности температурного поля

Индекс/угол	Без смесителя	14	21	32
Uniformity index Area	0,843	0,895	0,897	0,908
Uniformity index Mass	0,866	0,896	0,902	0,918

Данные таблицы 1 подтверждают качественный анализ: с ростом угла раскрытия лепесткового смесителя оба индекса равномерности монотонно возрастают. Это свидетельствует о существенном улучшении однородности температурного поля. Переход от базового угла 14° к углу 32° позволяет повысить массовый индекс равномерности на 2,5%, однако повысятся гидравлические сопротивления в потоке.

Выводы.

1. Численно доказано положительное влияние увеличения угла раскрытия лепесткового смесителя ТРДДФ на степень однородности потока перед фронтовым устройством форсажной камеры сгорания.

2. Установлено, что увеличение угла раскрытия с 14° до 32° приводит к повышению массового индекса равномерности температурного поля с 0,896 до 0,918, что потенциально может повысить стабильность процесса горения в ФКС на различных режимах работы двигателя.

3. Дальнейшие исследования должны быть направлены на уменьшение сопутствующего роста гидравлических потерь и определение оптимальной конструкции смесителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Лебедев А.И., Гордин В.М.* Теория и расчет авиационных лопаточных машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 536 с.

2. *Скубачевский Г.С.* Авиационные газотурбинные двигатели. Конструкция и расчет

деталей. – М.: Машиностроение, 1981. – 552 с.
3. *Зуев В.С., Макаров В.П.* Течение газа и теплообмен в смесительных устройствах ТРДД. – М.: Изд-во МАИ, 1993. – 168 с.

INFLUENCE OF THE EJECTION ANGLE OF A TURBOFAN MIXER ON THE FLOW UNIFORMITY PARAMETERS IN FRONT OF THE AFTERBURNER

Vasilevich A.A.
Supervisor: Aleksandrov Yu.B., Associate Professor, Candidate of Chemical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents the results of a numerical study of the influence of the geometric parameter of a lobed mixer - the angle of its petals - on the process of mixing the flows of the internal and external circuits of a twin-spool turbofan engine with an afterburner (Turbofan).

УДК 621.45.022.7

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВХОДНЫХ УСТРОЙСТВ КОЛЬЦЕВЫХ КАМЕР СГОРАНИЯ ГТД

Волков И.Н.
Научный руководитель: Варсегов В.Л., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. Исследованы известные направления и способы газодинамического совершенствования диффузора камеры сгорания. Предложены способы активного управления пограничным слоем в расширяющемся канале.

Известно, что при расчленении элементов двигателя на крупные узлы (см. рис. 1) в состав камеры сгорания газотурбинного двигателя, кроме собственно камеры сгорания, включается спрямляющий аппарат потока воздуха за компрессором [1].

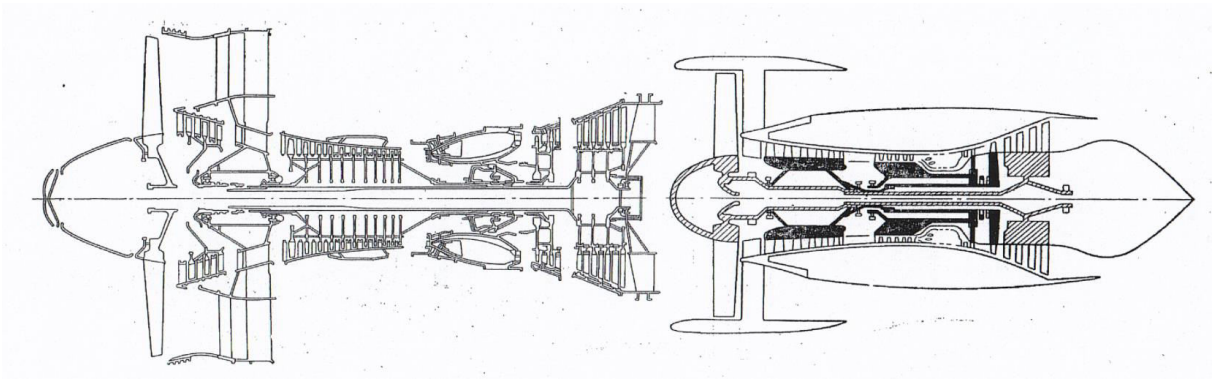


Рисунок 1. Двухконтурный турбореактивный двигатель (ТРДД) с расчленёнными крупными узлами

Диффузоры современных кольцевых камер сгорания. В настоящее время в результате эволюции прямоточных основных камер сгорания ГТД практически все двигателестроительные компании во входном устройстве используют ступенчатый диффузор. Исследования разных авторов показывают, что в таких диффузорах получаются меньшие потери полного давления, то есть меньшие потери энергии потока. На рис. 2 приведены три типа диффузоров с одинаковой степенью расширения и одинаковой длиной. Коэффициент потерь полного давления прямолинейного диффузора равен 0,32, криволинейного — 0,24, а ступенчатого — 0,16, то есть коэффициент потерь ступенчатого

диффузора в два раза меньше, чем прямолинейного и в полтора раза меньше, чем наилучшего криволинейного диффузора ($dp/dx = const$) [2].

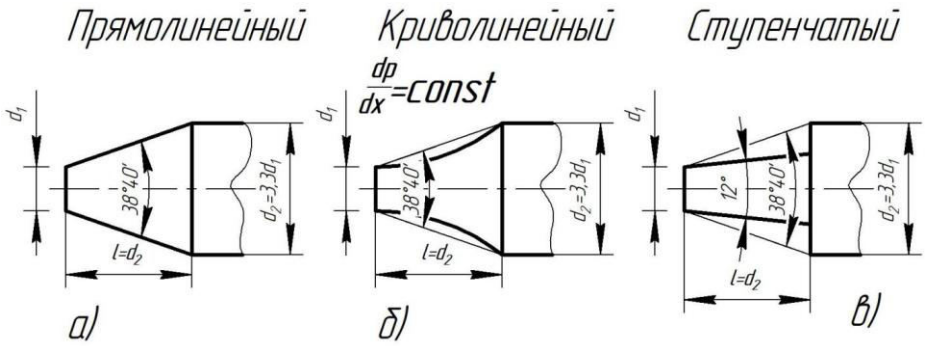


Рисунок 2. Типы диффузоров с увеличенным углом раствора [2]:
а — с прямолинейными образующими; б — криволинейными образующими;
в — ступенчатый диффузор

Потери в ступенчатом диффузоре складываются из потерь в безотрывном участке $£_1$ и потерь при внезапном расширении $£_2$, при этом суммарный коэффициент потерь записывается в виде:

$$£ = £_1 + £_2$$

Известно, что потери полного давления пропорциональны квадрату скорости при развитом турбулентном режиме потока. Поэтому, причиной значительного снижения потерь в ступенчатом диффузоре является низкие потери полного давления на безотрывном участке, и, одновременно, потери на внезапное расширение имеют небольшую величину из-за расширения при сравнительно небольших скоростях. В разных источниках потери на внезапное расширение часто называют потери на удар. Ступенчатый диффузор или, по-другому, диффузор по схеме со стабилизированным отрывом дополнительно позволяет получить устойчивые выходные характеристики. Это положительно сказывается на организации сжигания топлива в полости жаровой трубы и уменьшает уровень неравномерности температурного поля на выходе из камеры сгорания, на входе в турбину.

Однако, на современном этапе развития, несмотря на существенные положительные стороны, отмеченные выше, ступенчатый диффузор в классическом виде не вполне удовлетворяет последним изменениям в жаровой трубе. Это связано с тем, что в плане геометрии, совершенствование конструкции прямоточных основных камеры сгорания происходит в направлении уменьшения длины $l_ж$ и увеличения миделевого сечения $h_ж$ жаровой трубы, то есть в процессе эволюции уменьшается относительная длина жаровой трубы $l_ж/h_ж$ и, как следствие, увеличиваются потери на поворот потока при обтекании фронтового устройства жаровой трубы.

В таблице 1 представлены относительные длины жаровых труб камеры сгорания некоторых отечественных и зарубежных ГТД и годы начала их серийного производства. Из таблицы видно неуклонное уменьшение со значения $l_ж/h_ж = 3 \ldots 4$ на двигателях 2 и 3 поколения до $l_ж/h_ж = 1{,}4$ на современных ГТД.

Таблица 1

ГТД, относительные длины жаровых труб камеры сгорания и годы начала серийного производства

Двигатель	$l_ж/h_ж$	Год	Двигатель	$l_ж/h_ж$	Год
НК-12	3,4	1954	CFM56 (SAC)	2,5	1982
ПС-90А	2,5	1987	CFM LEAP	2,0	2015
ПД-14	1,4	2024	GE9X	1,4	2024

Потери можно уменьшить увеличением угла раствора безотрывного участка ступенчатого диффузора, а также увеличением степени расширения этого же участка, соответственно, дополнительным уменьшением скорости потока в выходном сечении. При желании реализовать отмеченные мероприятия, приходится сталкиваться с препятствием, присущим физической природе диффузоров, а именно с противоположно направленным действием сил давления и инерции, в результате чего происходит быстрое нарастание толщины пограничного слоя, отрыв потока от стенок и образование зон с течением против основного потока. При этом нестабильность места отрыва вдоль по образующей (точка А на рис. 3), а также в окружном направлении приводит к значительным пульсациям давления.

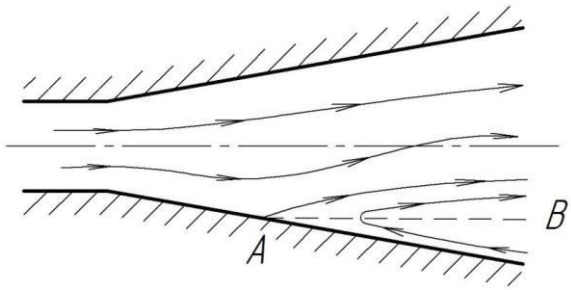


Рисунок 3. Схема отрыва пограничного слоя от омываемой поверхности:
А – точка отрыва потока; А-В – линия нулевой скорости

По измерениям И. Никурадзе, впервые отрыв происходит при полуугле раствора, равном 4,8...5,1° [3].

Характеристика потока на входе в диффузор. В ГТД поток на вход в диффузор поступает из спрямляющего аппарата последней ступени осевого компрессора, фактически из решётки с крутоизогнутыми каналами.

При повороте потока в крутоизогнутых каналах спрямляющего аппарата возникают вихри, называемые вторичными вихрями. В работе [4] представлен подробный обзор моделей вторичных течений в решётках газовых турбин. Наиболее крупными из вторичных течений являются парные вихри или канальные вихри, образующиеся в межлопаточных каналах конечной высоты, включая решётку спрямляющих лопаток, и возникающие в результате перетекания воздуха в пограничном слое по цилиндрическим стенкам от вогнутой поверхности к спинке лопатки из-за поперечного градиента давления и распространяющиеся в дальнейшем по потоку в виде вихревых шнуров. За пределами решётки ещё образуются закромочные вихри за выходной кромкой каждой лопатки спрямляющего аппарата из-за перетекания воздуха с вогнутой стороны повышенного давления на выпуклую сторону с пониженным давлением. Последние вихри располагаются в радиальном направлении, имеют устойчивую структуру в виде «стоячего» вихря (рис. 4) и разделяют отдельные струи, выходящие из крутоизогнутых каналов в осевом направлении.

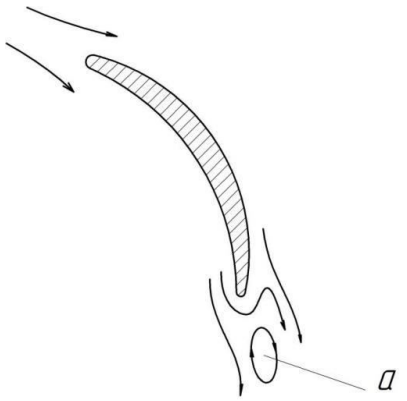


Рисунок 4. Схема образования закромочного вихря:
а - закромочный вихрь (Trailing vortex - замыкающий вихрь)

Структура потока с крупными вихрями вносит неопределённость в поток воздуха на входе в диффузор, перераспределяет скорости в поперечном сечении кольцевого канала. Закромочные «стоячие» вихри инициируют более раннее при меньшем угле раствора появление местных зон с возвратным течением в теневом следе и отрыв потока от омываемых стенок диффузора. Причём, из-за нестабильности возможно частое чередование отрыва и повторного присоединения потока к стенке.

Для уменьшения негативного воздействия возмущений сразу за спрямляющим аппаратом рекомендуется иметь секцию с постоянным проходным сечением – успокоительный участок [5], равный удвоенной ширине хорды лопатки спрямляющего аппарата, где происходит заполнение потоком закромочных зон, смыкание струй, разделённых на выходе из крутоизогнутых каналов решёток, диссипация и частичный распад крупномасштабных вихрей.

Однако, на практике проектирования авиационных ГТД эти рекомендации не нашли применение [6] главным образом из соображений сокращения длины двигателя в целом.

Направление газодинамического совершенствования диффузора камеры сгорания.

Известны активные и пассивные методы и способы увеличения угла раствора (И.Е. Идельчик, М.Е. Дейч, И.Л. Повх, А.Е. Зарянкин, В.Г. Грибин). Активные способы воздействия, такие как отсос или слив пограничного слоя, вдув воздуха со значительным избыточным давлением в пограничный слой, не нашли применение в ГТД из-за снижения общего к.п.д. цикла. Применение способа перемещения обтекаемой поверхности в пространстве в направлении движения ядра потока [7, 8] сталкивается со сложностью конструктивного исполнения в кольцевых диффузорах.

Пассивные методы воздействия на пограничный слой, заключающиеся во внесении изменений в конструкцию обтекаемых поверхностей (канавки, выступы, изменение профиля и др.) также не нашли применение, преимущественно в связи с неопределённостью влияния на поток в условиях вихревой структуры на входе и увеличения турбулентности и пульсационной скорости в расширяющихся каналах.

В общем случае, из-за значительной доли радиальной и поперечной составляющих скорости, взаимодействие крупных вихрей и запутанность потока в центральной полости (ядре потока) способствуют лучшему заполнению канала с расходящимися обечайками и расширению с более равномерным распределением осевых составляющих турбулентного потока. При этом, для исключения влияния затенения потока в следе за лопатками, целесообразно энергетическое насыщение пограничного слоя и изоляция пристенной области с целью исключения возвратных течений.

В этой связи, как базу для дальнейшей проработки, есть смысл обратиться к ранним техническим решениям [9, 10] начала 60-х годов, предлагающим использование низконапорных перепадов давления, возникающих в самом потоке из-за гидравлических закономерностей течения, для активного управления пограничным слоем. В последних публикациях, искусственно организованные струи без привлечения внешних источников для воздействия на поток называют «синтетическими».

Применительно к основной камеры сгорания отбор повышенного давления для организации подачи синтетических струй в пограничный слой входного диффузора целесообразно выполнить в месте наивысшего полного давления по газодинамическому тракту ГТД, то есть за рабочим колесом последней ступени компрессора [11]. На рис. 5 представлена схема организации отбора воздуха повышенного давления и последующего возврата в проточную часть ГТД.

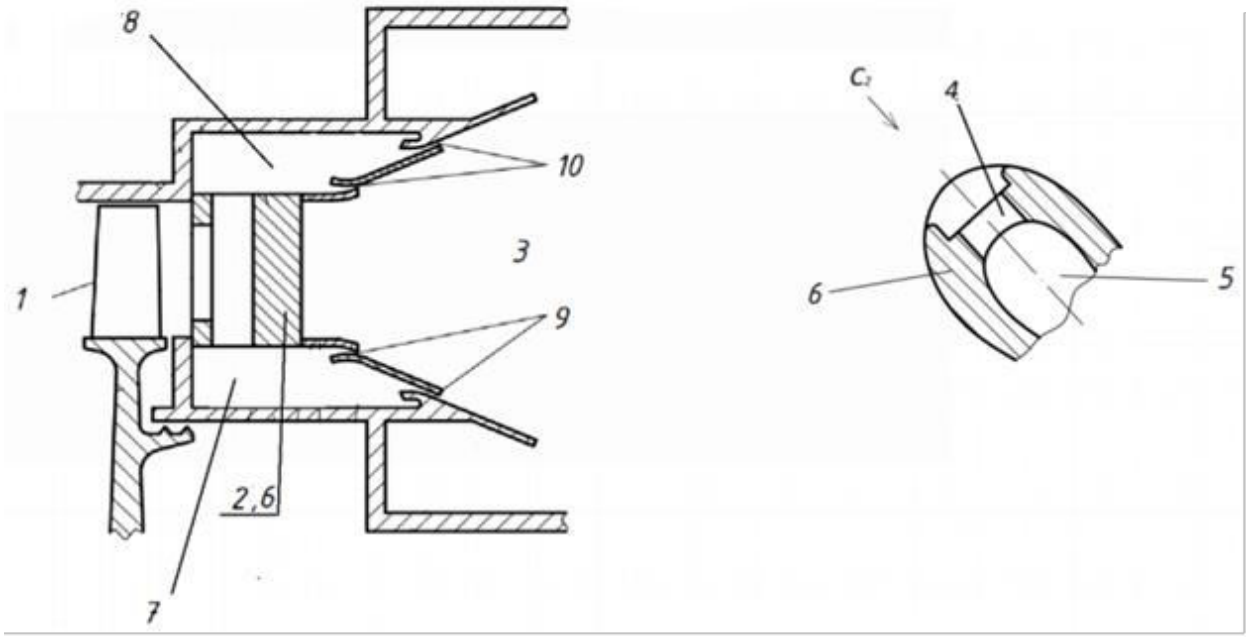


Рисунок 5. Входное устройство камеры сгорания с синтетическими струями:
а — продольный разрез; б — поперечный разрез передней кромки лопатки спрямляющего аппарата: 1 — рабочее колесо последней ступени осевого компрессора; 2 — спрямляющий аппарат входного устройства камеры сгорания; 3 — безотрывной диффузор; 4 — щелевой паз; 5 — внутренняя полость полых лопаток спрямляющего аппарата; 6 — полая лопатка спрямляющего аппарата; 7 — кольцевой канал внутреннего патрубка диффузора; 8 — кольцевой канал наружного патрубка диффузора; 9, 10 — конические щели вдоль обечаек; c_2 — направление абсолютной скорости натекающего потока

Работа такого входного устройства камеры сгорания осуществляется следующим образом. Закрученный воздух из рабочего колеса 1 последней ступени осевого компрессора через спрямляющий аппарат 2, где выпрямляется в осевом направлении, поступает в безотрывной диффузор 3 и, далее, в полость перед фронтовым устройством.

При этом, одна часть воздуха за рабочим колесом 1 в направлении абсолютной скорости потока c_2 через щелевой паз 4 поступает на вход во внутреннюю полость 5 лопаток 6 спрямляющего аппарата 2 и, далее, в кольцевой канал 7 внутреннего патрубка. Другая часть воздуха аналогичным образом поступает в кольцевой канал 8 наружного патрубка. Из кольцевых каналов 7 и 8, являющихся, по существу, ресиверами полного давления на выходе из лопаток рабочего колеса 1 последней ступени компрессора, осуществляется вдув (инжекция) воздуха с повышенным давлением через конические щели 9 и 10 вдоль расходящихся конических обечаек.

В свою очередь, активный поток воздуха через конические щели 9 и 10 увеличивает кинетическую энергию в пограничном слое, способствует уменьшению толщины потери импульса, ответственного за отрыв потока от поверхностей обечаек, и позволяет увеличить угол раствора при безотрывном течении в диффузоре 3. Для обеспечения устойчивого перепада давления в зазорах между коническими обечайками, суммарную площадь щелей 9 и 10 целесообразно выполнить менее трёх четвертей суммарной площади щелевых пазов 4 лопаток 6 спрямляющего аппарата 2.

На представленную конструкцию получен патент на изобретение, приведённый рис 6.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 822 979** (13) **C1**

(51) МПК
F23R 3/00 (2006.01)

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Статус: действует (последнее изменение статуса: 20.07.2024)
Пошлина: Установленный срок для уплаты пошлины за 3 год: с 06.02.2025 по 05.02.2026. При уплате пошлины за 3 год в дополнительный 6-месячный срок с 06.02.2026 по 05.08.2026 размер пошлины увеличивается на 50%.

(52) СПК
F23R 3/00 *(2024.01)*

(21)(22) Заявка: 2024102761, **05.02.2024**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
05.02.2024

Дата регистрации:
16.07.2024

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **05.02.2024**

(45) Опубликовано: 16.07.2024 Бюл. № 20

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2802905 C1, 05.09.2023. RU 2435104 C2, 27.11.2011. RU 2241840 C2, 10.12.2004. GB 2263945 A, 11.08.1993. RU 2365821 C2, 27.08.2009. US 2009/0044512 A1, 19.02.2009.**

Адрес для переписки:
420111, г. Казань, ул. Дзержинского, 22, кв. 37, ВОЛКОВ ИЛЬЯ НИКОЛАЕВИЧ

(72) Автор(ы):
Волков Илья Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Волков Илья Николаевич (RU)

(54) **Входное устройство кольцевой камеры сгорания**

(57) Реферат:

Изобретение относится к входным устройствам камеры сгорания. Устройство содержит размещенный между двумя коаксиальными патрубками 3 и 4 спрямляющий аппарат 5 с лопатками 6, каждая из которых имеет внутреннюю полость 7 и щелевой паз 8 вдоль передней кромки 9, причем по меньшей мере один патрубок содержит кольцевую обечайку 10, образующую кольцевой канал 11, ограниченный передней 12 и задней 13 торцевыми стенками, сообщённый с одной стороны с полостью 14 безотрывного диффузора, расположенного за спрямляющим аппаратом, с другой

Рисунок 6. Патент на изобретение

Такая организация рабочего процесса обеспечивает активное управление пограничным слоем в расширяющемся канале без потери массы рабочего тела (воздуха) для увеличения угла раствора безотрывного диффузора.

Расчетные исследования численным методом по модели турбулентности *k-ω SST* в программе ANSYS Fluent показывают отсутствие отрывной зоны в укороченном диффузоре до величины угла раствора 24 градуса. При одной и той же степени расширения потока, это позволяет сократить длину безотрывного участка чуть более чем в 2 раза. Наглядно такое сокращение длины изображено на рис.7.

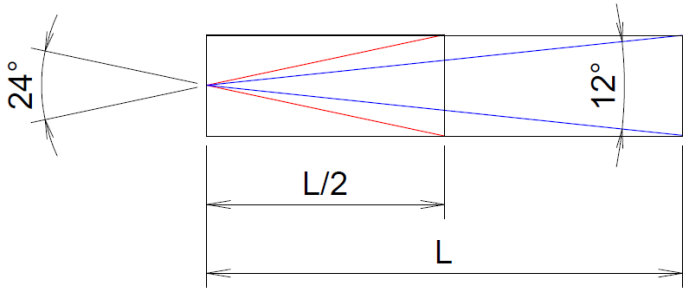


Рисунок 7. Сокращение длины безотрывного участка

Последнее обеспечивает существенное уменьшение (до 100 мм) длины входного устройства кольцевой камеры сгорания, соответственно, корпусных деталей и валов газотурбинного двигателя в этом поперечном сечении и, как следствие, массы (веса) двигателя до десятков килограммов. Кроме этого, повышается жесткость валов (чем короче валы, тем жестче) и, как следствие, улучшаются условия работы опор качения. В целом, использование изобретения способствует улучшению технико-экономических показателей газотурбинного двигателя.

Заключение. С целью сокращения длины ГТД при одновременном сохранении или уменьшении гидравлических потерь, в отношении входных устройств основных прямоточных камеры сгорания имеются две актуальные задачи:

а) увеличение угла раствора расходящихся обечаек для уменьшения угла поворота потока, обтекающего жаровую трубу;

б) снижение выходной скорости из безотрывного участка ступенчатого диффузора со стабилизированным срывом. Решение этой задачи возможно воздействием «синтетическими струями» на пограничный слой омываемых обечаек безотрывного участка для исключения зон отрыва во всём диапазоне работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Скубачевский Г. С.* Авиационные газотурбинные двигатели: конструкция и расчет деталей // М: Машиностроение. 1969. 544 с.
2. *Повх И. Л.* Аэродинамический эксперимент в машиностроении / издание 3-е, дополненное и исправленное // Ленинград: Машиностроение (Ленинградское отделение). 1974. 480 с.
3. *Шлихтинг Г.* Теория пограничного слоя // М: Наука. 1974. 712 с.
4. *Пискунов С. Е., Попов Д. А., Самойленко Н. А.* Общая классификация потерь и обзор моделей вторичных течений в решётках газовых турбин // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2020. № 63. С. 30–39. DOI: 10.15593/2224-9982/2020.63.04
5. *Лефевр А.* Процессы в камерах сгорания ГТД // М: Мир. 1986. 566 с.
6. *Тункин А. И., Нихамкин Л. Ш., Красинский Л. Г., Хрящиков М. С.* Патент № 2613101 РФ, МПК: F02C 7/20, F04D 29/54 (2006.01). Газотурбинный двигатель: заявл. 26.10.2015: опубл. 15.03.2017. 11 с.
7. *Волков И. Н.* Патент № 2820363 РФ, МПК F01D 25/30 (2006.01), F15D 1/06 (2006.01). Плоский диффузор: заявл. 06.11.2023: опубл. 03.06.2024. 12 с.
8. *Волков И. Н.* Патент № 2823410 РФ, МПК F02C 7/042 (2006.01), B64D 33/02 (2006.01), F02K 7/10 (2006.01). Воздухозаборник воздушно-реактивного двигателя: заявл. 09.01.2024: опубл. 23.07.2024. 11 с.
9. *Дьяконов Р. И., Гоголев И. Г., Климцов А. А.* Авторское свидетельство № 141488 СССР, МПК F01D25/30; F01D9/02. Диффузор: заявл. 20.03.1961: опубл. бюл. 19, 1961. 4 с.
10. *William G. Cornell, Cincinnati, Ohio, Ramon Edward Colon, Newport News, Friedrich S. Weinig, Leins-wtiler uber Landau, Bernard Freshney Shattuck, Marblthtad, Mass.* Патент № 3216455 США, класс 138-39. Высокоэффективный гидродинамический компонент: заявл. 05.12.1961: опубл. 09.11.1965. 6 с.
11. *Волков И. Н.* Патент № 2822979 РФ, МПК F23R 3/00 (2006.01). Входное устройство кольцевой камеры сгорания: заявл. 05.02.2024: опубл. 16.07.2024. 10 с.

IMPROVEMENT OF INLET DEVICES OF ANNULAR COMBUSTION CHAMBERS OF GTU ENGINES

Volkov I.N.

Supervisor: Varsegov V.L., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. The known directions and methods of gas-dynamic improvement of the combustion chamber diffuser are investigated. Methods of active control of the boundary layer in the expanding channel are proposed.

УДК 621.452.3

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИФФУЗОРНОЙ ЧАСТИ И ФРОНТОВОГО УСТРОЙСТВА КОЛЬЦЕВОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

Галимов Р.Ш.

Научный руководитель: Александров Ю.Б., доцент, к. х. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе анализируется влияние применение профилированного завихрителя фронтового устройства и разделителя потока в диффузорной части камеры на гидравлические потери и характеристику горения. Рассмотрена возможность конструктивной доводки устройства камеры сгорания двигателя ТВ3-117 за счет рассмотренных нововведений.

Конструктивно диффузор со схемой разделителя потока воздуха за компрессором представляет из себя дополнительные элементы конусообразной формы, соединенные с головной частью жаровой трубы, как показано на рисунке 1.

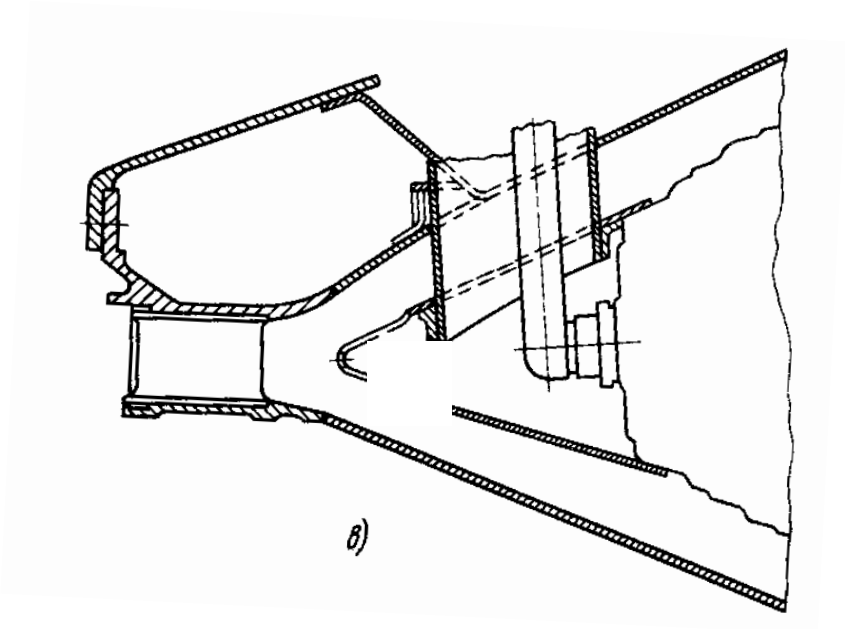
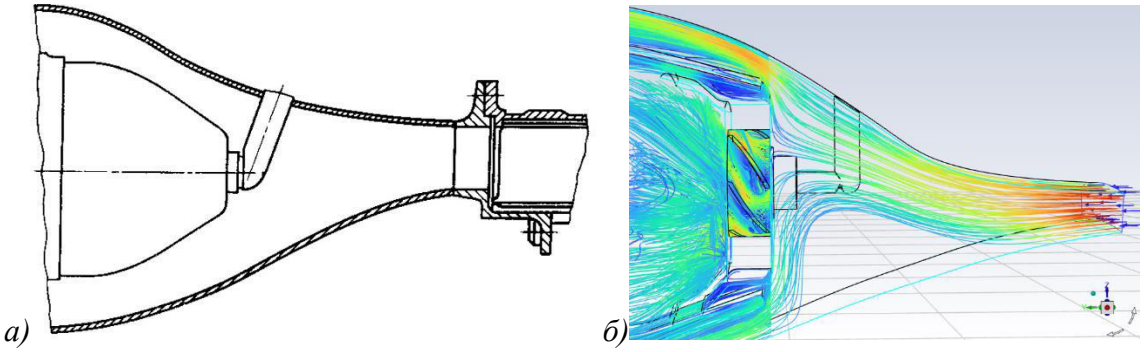


Рисунок 1. Диффузор с кольцевым конусным разделителем потока

Такой тип диффузора служит для обеспечения дозированного распределения подачи воздуха при минимальных потерях давления и нечувствительность течения воздуха к изменению профилей скорости и положения головки жаровой трубы [1].

Выбор именно такого типа диффузора заключается в том, что базовая и высотная (модификация «В») модели двигателя имеют безотрывный диффузор с профилированным изоградиентным изменением площади проходного сечения. В свою очередь такой вид диффузора имеет недостаток, заключающийся в отрыве течения от нижней стенки кожуха в области перед фронтовыми устройством, как показано на рисунке 2.



а) *б)*

Рисунок 2. Диффузор с профилированным изоградиентным изменением площади проходного сечения: *а* – конструкция, *б* – линии тока

Перераспределение объема рабочего тела в подводы вторичного и главного воздуха позволяет влиять в том числе и на параметры горения самой жаровой трубе. Однако немаловажно учесть использование силовых стоек, обтекателей, трубопроводов и других элементов конструкций с обтекаемой формой за счет полых ребер или экранов, что снижает потери давления и неравномерность полей скоростей перед жаровыми трубами.

С учетом конструктивных особенностей проектирования диффузора с большим углом раскрытия и ТВаД ТВ3-117 был спроектирован разделитель потока, которое делит угол раскрытия диффузора на три равных угла, как показано на рисунке 3.

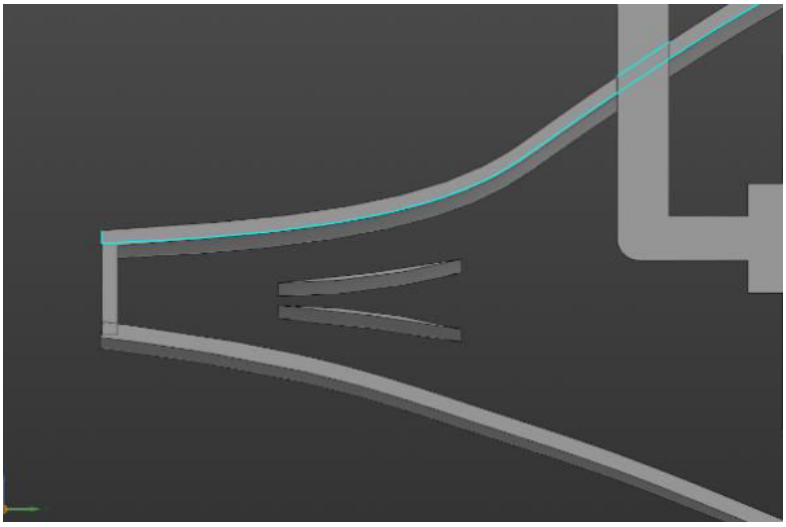
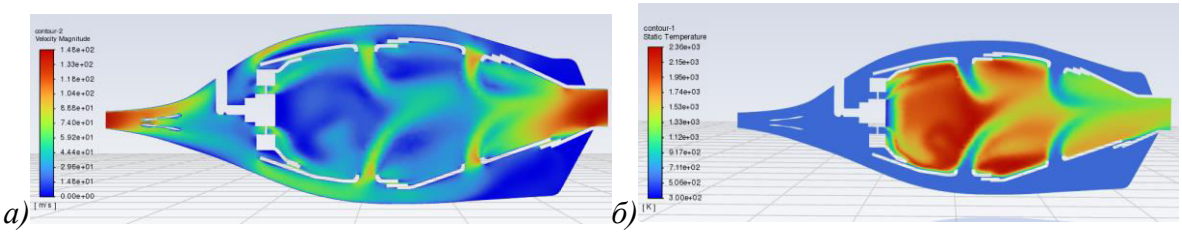


Рисунок 3. Разделитель потока для ТВаД ТВ3-117 в сечении

С целью выявления влияния доработанной конструкции камеры сгорания на параметры горения была сконструирована расчетная модель в среде программы КОМПАС-3D для сравнения с базовой конструкцией. Для уменьшения вычислительной мощности при выполнении расчета, модель кольцевой камеры сгорания была упрощена до одного сектора, содержащий один завихритель. По краям выбранного сектора отброшенные части моделировались за счет условия периодичности. Расчет проводился в нестационарной постановке с использованием модели предварительно несмешанного топлива non-premixed combustion и моделью турбулентности k-epsilon. В качестве топлива в расчетах используется авиационный керосин с моделированием его испарения при помощи модели DPM (модель дискретной фазы) с расчетом в нестационарной постановке [2].

Было задано давление воздуха на входе в камеру сгорания 10 Мпа и температура за компрессором – 600 К.

По результатам проведенного расчета камеры сгорания с разделителем потока были построены поля температуры и скорости по тракту жаровой трубы, показанные на рисунке 4.



а) *б)*

Рисунок 4. Параметры в среднем сечении жаровой трубы: *а* – скорость; *б* – температура

На рисунке 4*а* видно, что разделитель потока воздуха образует более равномерное распределение скорости, что способствует лучшему образованию зоны обратных токов. Однако на рисунке распределения температурного поля 4*б,* в области стенок жаровой трубы в зоне догорания образуются области с максимальной температурой, что говорит о возможности дальнейшего конструктивного улучшения для лучшего смешения топливовоздушной смеси.

Концепция конструктивного улучшения завихрителя фронтового устройства заключается в задании профиля лепесткам, как показано в примере на рисунке 5.

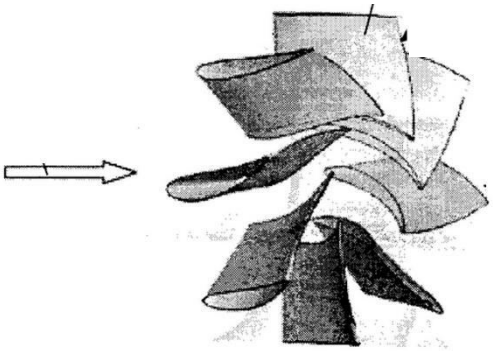


Рисунок 5. Завихритель с профилированными лопатками

Конструкция с такой конфигурацией обеспечивает более плавное протекание воздуха через фронтовое устройство в жаровую трубу по сравнению с базовой конструкцией, что следует из серии опытов и построении линии тока с надстройкой Pathline проводя плоскость во входном сечении фронтового устройства, как показано на рисунке 6 [3].

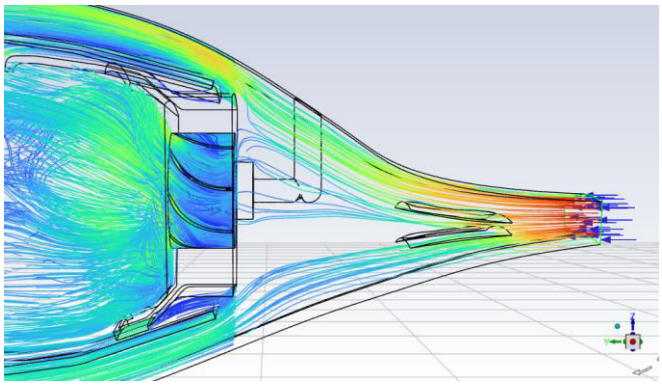


Рисунок 6. Линии тока в области фронтового устройства

По итогам анализа результата серии расчетов, описанных ранее был подобран наиболее оптимальный профиль из базы аэродинамических профилей NACA, а именно профиль стандарта «cp-180-050-gn-100», который показан на рисунке 7. При этом угол раскрытия лепестков по касательной не менялся.

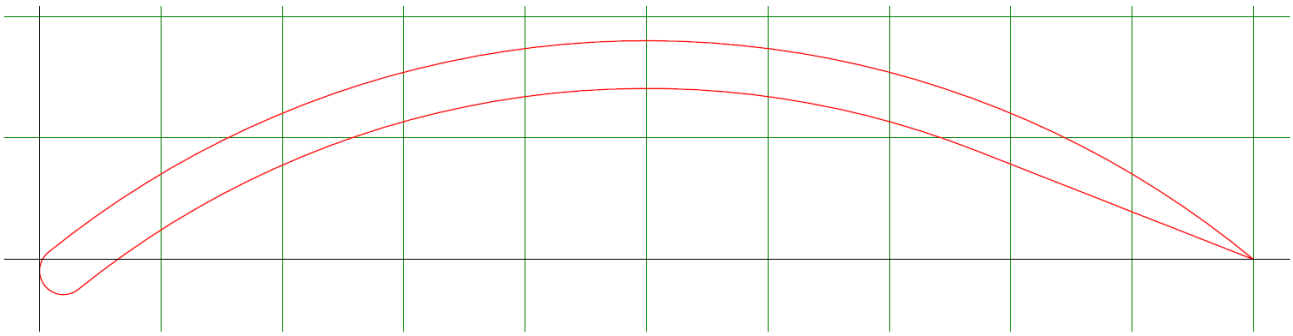


Рисунок 7. Профиль ср-180-050-gn-100

Доработанная модель с применением ранее описанных доработок: разделителя потока воздуха в диффузорной части камеры сгорания и завихрителя с профилированными лепестками показана на рисунке 8.

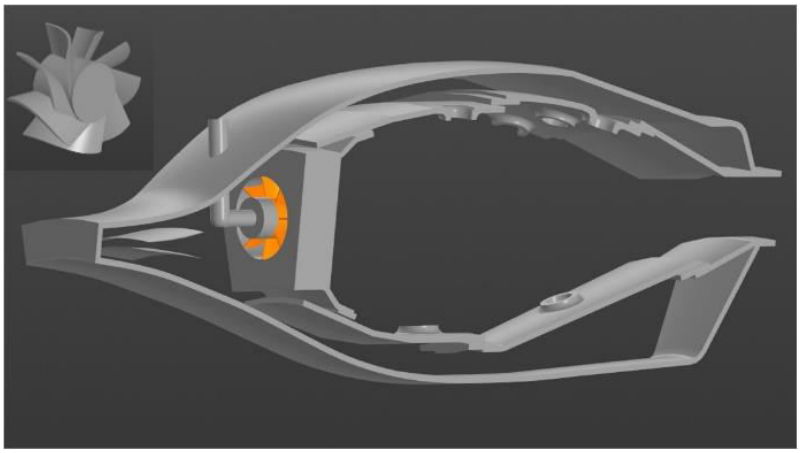
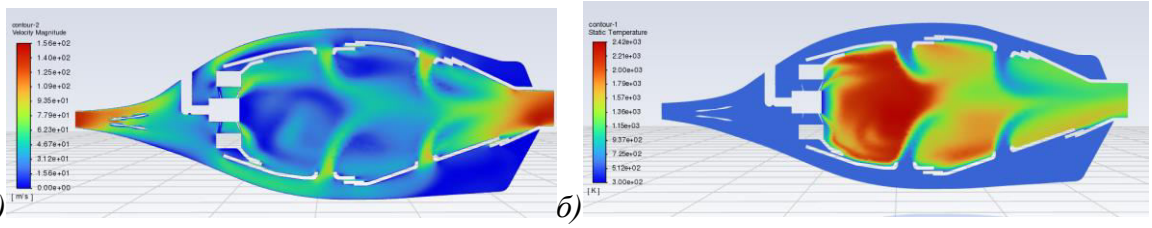


Рисунок 8. Трехмерная модель секции камеры сгорания с доводкой

С целью выявления изменений в процессе горения был проведен повторный расчет. Как и в предыдущий раз, расчет проводился в нестационарной постановке с использованием модели предварительно несмешанного топлива non-premixed combustion, остальные настройки так же не изменялись.

По результатам проведенного расчета камеры сгорания с разделителем потока были построены поля температуры и скорости по тракту жаровой трубы, показанные на рисунке 9.



а) *б)*

Рисунок 9. Параметры в среднем сечении жаровой трубы: *а* – скорость; *б* – температура

На рисунке 9, а видно, что разделитель потока воздуха в купе с завихрителем с профилированными лопатками образует более эффективное смешивание топливо-воздушной смеси в первичной зоне горения, что в свою очередь приводит к повышению максимальной температуры в зоне горения, с уменьшением ее же в зоне догорания до приемлемых значений, что свидетельствует об улучшении полноты сгорания как показано на рисунке 9, б.

Выходные данные для дальнейших расчетов и анализа результатов были получены благодаря встроенной функции Surface Integrals с надстройкой Mass-Weighted Average.

Индекс эмиссии:

$$\mathrm{EI_i} = \frac{\mu_i}{\mu_B}\left(1+\alpha_i L_0\right)\chi_i \cdot 10^{-3},$$

$$\mathrm{EI_{NO_X}} = 6{,}013 \cdot 10^{-3}\left[\mathrm{NO_X, ppm}\right]\cdot \alpha_i L_0,$$

$$\mathrm{EI_{CO}} = 2{,}687 \cdot 10^{-3}\left[\mathrm{CO, ppm}\right]\cdot \alpha_i L_0,$$

где L_0 - стехиомтерический коэффициент сгорания углеводородного топлива (кг воздуха/кг топлива), α_i - коэффициент избытка воздуха, μ_i - молярная масса вещества, μ_B - молярная масса воздуха, χ_i - объемная доля вещества.

Условный валовый выброс:

$$\mathrm{D_i} = \frac{\mathrm{M_i}}{\mathrm{N_{00}}}, \frac{\text{г}}{\text{кВт}\cdot\text{ч}}.$$

Валовый выброс:

$$\mathrm{M_i} = \mathrm{EI_i G_T \tau}$$

где EI_i - индекс эмиссии – масса вредного вещества, приходящаяся на 1 кг топлива, г/кг, G_T - расход топлива, τ - время работы на i-ом режиме [4].

Для оценивания потерь давления в камере сгорания сравним полное давление (Total Pressure) на входе и выходе в камеру сгорания с учетом опорного по формуле:

$$\Delta \mathrm{P} = \left(1 - \frac{\mathrm{P_0 + P_{OC}}}{\mathrm{P_i + P_{OC}}}\right)100\%,$$

где P_o – полное давление на выходе из камеры сгорания (outlet), P_i – полное давление на входе в камеру сгорания (inlet), P_{oc} – опорное давление, равен полному давлению рабочего тела поступающее из компрессора (operating conditions).

По итогам расчетов, данные были сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты расчетов по характеристикам разных типов камер сгорания

№	Параметры	Базовая модель	Модель с доводкой
1	Температура торможения, К	1239,45	1240,52
2	Скорость на выходе, м/с	128,54	128,56
3	Потери давления в камере сгорания, %	3,56	3,14
4	Температура в зоне горения, К	2328,9	2421,2
5	Условный валовый выброс CO, г/кВт*ч	1,44	0,15
6	Условный валовый выброс NO_x, г/кВт*ч	36,71	16,40

Анализируя результаты исследования, видно что они демонстрируют значительное улучшение парамаетров двигателя за счет обеспечения оптимальных характеристик горения в жаровой трубе, имея при этом устойчивые зоны обратных течений. Также уделено внимание практическому применению приведенных в работе улучшений для будущей модернизации существующих и разработки перспективных авиационных двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Вьюнов С.А., Гусев Ю.И., Карпов А.В. и др.* Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей / С.А. Вьюнов - Учебник для студентов вузов по специальности «Авиационные двигатели и энергетические установки» - М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.

2. *Каплун А. Б., Морозов Е. М.* ANSYS в руках инженера / А.Б. Каплун, Е.Б. Морозов - Практическое руководство – М.: Ленанд – 2024 – 272 с.

3. *Мингазов, Б. Г.* Процессы горения и автоматизированное проектирование камер сгорания ГТД и ГТУ: учебное пособие / Б. Г. Мингазов. — Казань: Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева, 2015. — 160 с.

4. *Мингазов Б. Г.* Процессы горения и экология камер сгорания газотурбинных двигателей. Конструкция, теория, испытание и расчет: Учебное пособие / Мингазов Б. Г. — Казань: КНИТУ-КАИ, 2022 — 296 с.

IMPROVEMENT OF THE DIFFUSER PART AND FRONT DEVICE OF THE ANNULAR COMBUSTION CHAMBER

Galimov R.Sh.

Supervisor: Aleksandrov Yu.B., Associate Professor, Candidate of Chemical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. The paper analyzes the effect of using a profiled swirler of the front device and a flow divider in the diffuser part of the chamber on hydraulic losses and combustion characteristics. The possibility of structural refinement of the combustion chamber device of the TV3-117 engine due to the innovations considered is considered.

УДК 621.452.3

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВХОДНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ГАЗОГЕНЕРАТОРА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Гатауллина Е.Д., Мельников А.С.

Научный руководитель: Горячкин Е.С., доцент, к. т. н.

(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара)

Аннотация. В статье приведено исследование по проектированию входного стенда для испытаний газогенератора газотурбинного двигателя. Рассмотрена возможность использования классических конфигураций стендовых входных устройств, определены потери КПД 0,8–1,6% компрессора и коэффициент восстановления полного давления во входном устройстве 0,992–0,976 с использованием CFD моделирования. Спроектирована новая модель входного устройства для испытаний газогенератора, которая включает измерительный участок и обладает крайне низкими потерями давления (менее 0,002). Также исследовано, как опора компрессора влияет на распределение параметров потока, что позволило оптимально разместить измерительные приборы.

Разработка авиационных двигателей включает многоэтапные испытания, от научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ до лётных, требующие огромных ресурсов [1]. Ключевым элементом стендов для испытаний ГТД являются входные устройства, от которых зависит точность воспроизведения реальных условий [2]. Их сложное проектирование должно учитывать аэродинамику, тепловые режимы, надёжность и безопасность. Корректно спроектированный входной узел предотвращает ухудшение характеристик двигателя во время tests, обеспечивая его штатную работу [3]. В связи с этим оптимизация входных устройств испытательных стендов остается актуальной научно-практической задачей.

Расход воздуха при испытаниях двигателя традиционно измеряют на входе в стенд или на выходе из сопла. Однако закрутка потока за турбиной делает замеры на выходе неверными. В качестве решения разработано входное устройство с измерительной секцией, входной профиль которого образован лемнискатой Бернулли [4] для минимизации гидравлических потерь.

Были спроектированы два входных устройства с лемнискатой и мерной секциями, а также переходные каналы на входе в компрессор. На рисунке 1 представлены контуры проточной части сравниваемых входных устройств.

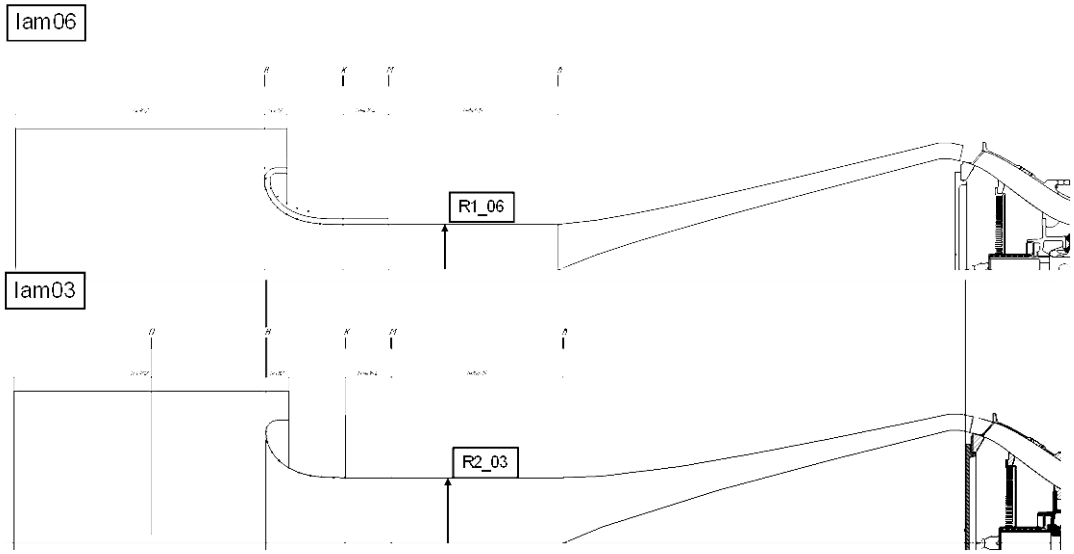


Рисунок 1. Входные устройства с мерным участком классической конфигурации

Использование входного участка с конфигурацией R1_06 позволяет получать корректные результаты измерений в расширенном диапазоне режимов — от 65% до 100% номинальной частоты вращения компрессора, поскольку в этих условиях приведенная скорость воздуха соответствует метрологическим требованиям измерительной аппаратуры. В то же время применение конфигурации R2_03 ограничивает диапазон корректных измерений интервалом от 86% до 100% номинальной частоты вращения. На рисунке 2 приведены рабочие с точки зрения корректности измерений диапазоны каждого входного устройства на характеристиках компрессора испытуемого газогенератора.

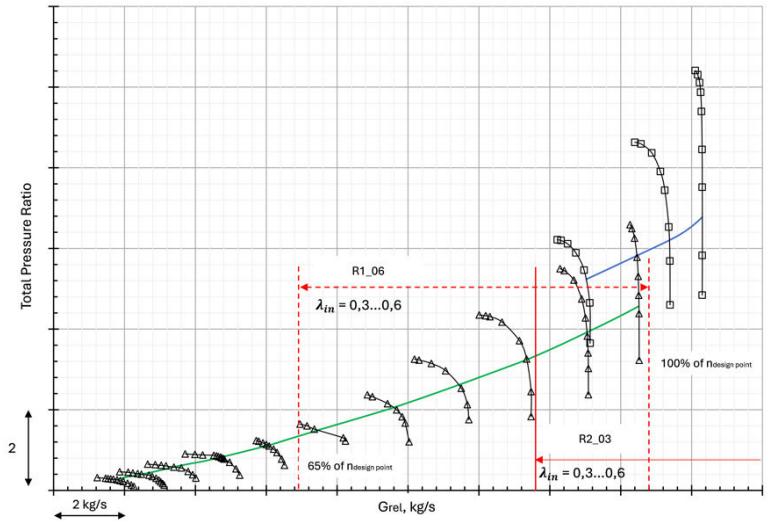


Рисунок 2. Рабочие диапазоны каждого входного устройства на характеристиках компрессора испытываемого газогенератора

Таким образом входное устройство, в котором поток разгоняется до скорости близкой к нижней границе рабочего диапазона измерительного средства, менее универсальное, так как будет корректно работать в области режимов 65–85% от номинальной частоты вращения

двигателя. Для детального анализа характеристик входного устройства и его влияния на рабочий процесс компрессора были выполнены трёхмерные расчёты.

На рис. 4 показаны результаты CFD-моделирования входного тракта в составе со стойкой и ВНА. Для верификации сеточной сходимости на турбулентном режиме контролировался параметр Y+. Модель сетки создана в Numeca AutoGrid5, а расчёты проводились в Ansys CFX.

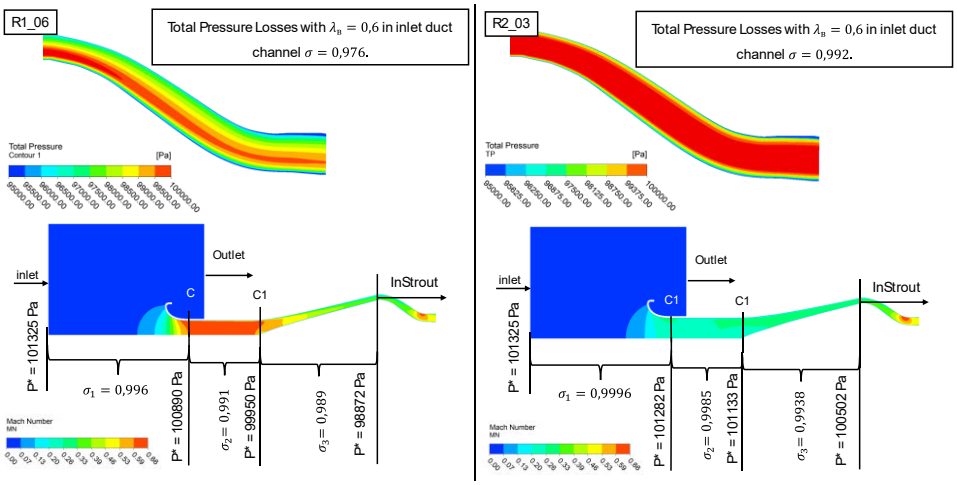


Рисунок 3. Распределение параметров во входном устройстве испытательного стенда газогенератора, полученное по результатам 3Д CFD моделирования

Как видно из рисунка 3, потери полного давления во входном устройстве с меньшим диаметром мерного участка больше, чем во входном устройстве R2_03. Неравномерность полного давления потока воздуха на входе в регулируемый направляющий аппарат компрессора после входного устройства R1_06 составляет 5% в ядре потока против <1% для конфигурации R2_03.

Отдельно был выполнен расчёт компрессора в программе Numeca Fine Turbo с учётом распределения параметров в зависимости от радиуса, полученных в сечении на входе в стойку опоры компрессора после расчётов в Ansys CFX. Результаты расчётов приведены на рисунке 4.

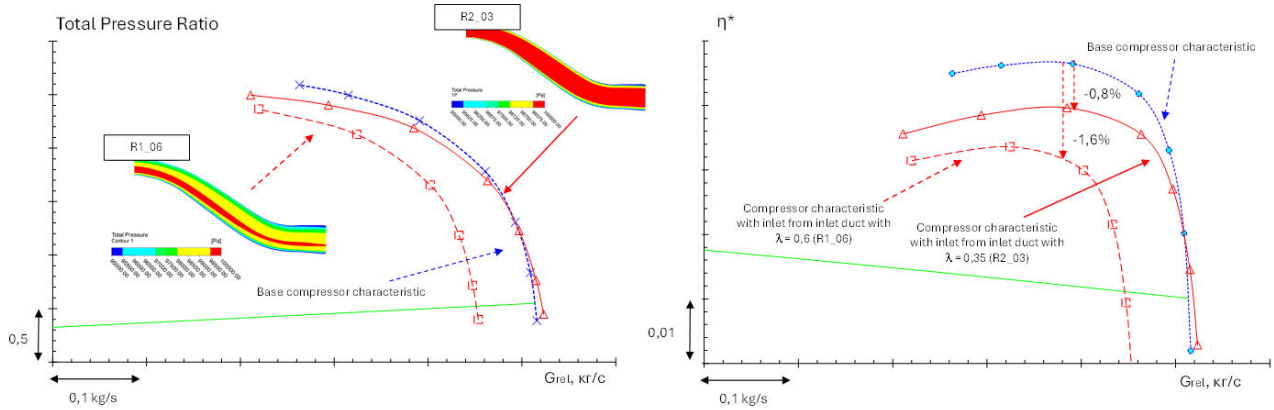


Рисунок 4. Распределение параметров во входном устройстве стенда для испытания основного двигателя, полученное по результатам 3D CFD моделирования

Проведённый анализ показал, что оба рассмотренных входных устройства оказывают негативное влияние на характеристики газогенератора. Устройство R1_06 снижает эффективность компрессора на 1,6% и уменьшает запас газодинамической устойчивости на 2,6%. Устройство R2_03, хотя и оказывает меньшее влияние на эффективность (снижение на

0,8%), также сокращает запас устойчивости на 1,1%. Учитывая значительное ухудшение ключевых параметров, применение данных конструкций было признано нецелесообразным. В связи с этим принято решение о повторном проектировании входного устройства с целью минимизации aerodynamic потерь.

По результатам итерационного проектирования был сформирован внешний вид входного устройства для испытательного стенда, показанный на рисунке 5.

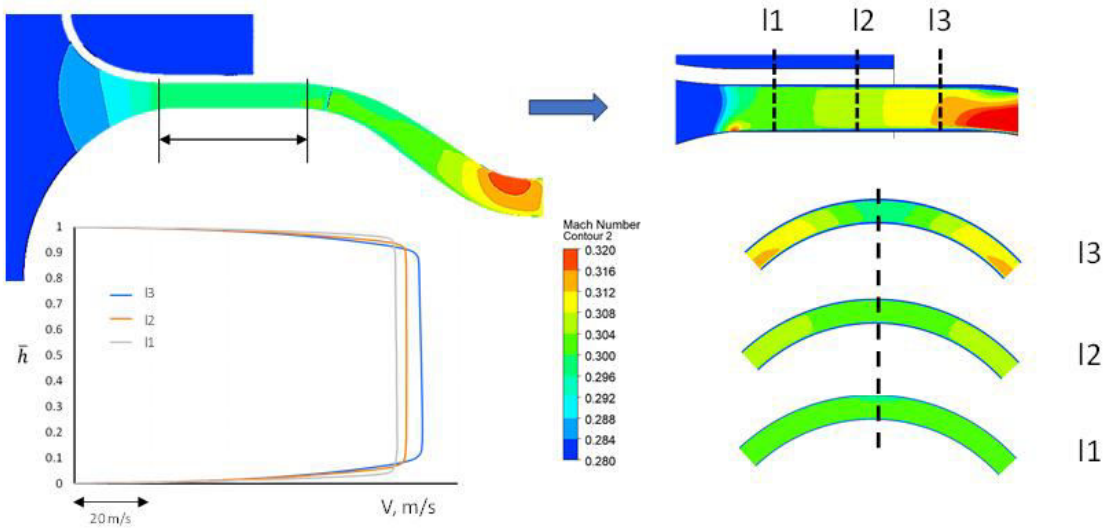


Рисунок 5. Схема потока в проектируемом входном узле стенда и кривые числа Маха в окружном направлении перед компрессорной стойкой

Полученная конструкция обеспечивает равномерное поле параметров на входе в компрессор, а коэффициент потерь полного давления составляет менее 0,002.

Проанализированы типовые входные устройства испытательных стендов. Разработана новая конструкция, учитывающая совместную работу с компрессором, что позволило достичь коэффициента восстановления полного давления σвх = 0,998. Оценено влияние стенда на поток, и на основе этого анализа выбрано оптимальное место для размещения измерительных приборов, минимизирующее погрешность.

Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках государственного задания FSSS-2024-0015, «Изучение закономерностей рабочих процессов нагнетательных машин на базе сопряженных математических моделей»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Испытания авиационных двигателей: учебник для вузов / Григорьев В.А., Кузнецов С.П., Гишваров А.С. [и др.]; общ. ред. Григорьев В.А., Гишваров А.С. - 2-е изд., доп. - М.: Инновационное машиностроение, 2016. - 541 с. : ил.

2. *Болховитин Михаил Сергеевич, Боровиков Дмитрий Александрович, Ионов Алексей Владимирович, & Селиверстов Сергей Дмитриевич* (2016). Разработка испытательного стенда для малоразмерных газотурбинных двигателей. Труды МАИ, (91), 10.

3. *Е. В. Шендалева* (2017). Сравнительные испытания стендового оборудования для испытания газотурбинных двигателей. Омский научный вестник. Серия «Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение», 1 (1), 67-74.

4. *Baturin O.V., Popov G.M., Goryachkin E.S. etc*. Optimization of the working process of the axial compressor according to the criterion of efficiency // Journal of Physics: Conference Series. — 2017. — Vol. 803. Issue 1.

DESIGN OF AN INLET DEVICE FOR A GAS TURBINE ENGINE GAS GENERATOR TEST BENCH

Gataullina E.D., Melnikov A.S.
Supervisor: Goryachkin E.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara)

Abstract. This paper presents a study on the design of an inlet test section for a gas turbine engine gas generator. The feasibility of using classical test stand inlet configurations was examined, revealing a compressor efficiency loss of 0.8–1.6% and a total pressure recovery coefficient of 0.992–0.976 in the inlet device through CFD simulations. A new inlet device model for gas generator testing was designed, incorporating a measurement section and exhibiting extremely low pressure losses (less than 0.002). The influence of the compressor strut on the flow parameter distribution was also investigated, enabling the optimal placement of measuring instruments.

УДК 621.45.034

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ПЛАНЕТАРНОГО РЕДУКТОРА НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ЭНТРОПИИ

Динг Цзямин
Научный руководитель: Халиулин Р.Р., доцент, к. т. н., ст. н. с.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе предложен метод диагностики подшипников на основе вариационной модовой декомпозиции и флуктуационной дисперсионной энтропии. Метод позволяет выделять признаки дефектов и классифицировать их с помощью метода опорных векторов. Установлено, что комбинированный подход обеспечивает более высокую точность диагностики по сравнению с альтернативными методами.

Планетарные редукторы, в отличие от передач с неподвижными осями, снижают массу и габариты механизмов благодаря внутреннему зацеплению. Согласно статистике, подшипники качения (40%) и зубчатые колёса (30%) являются наиболее уязвимыми компонентами редукторов. Разработка эффективных методов диагностики на основе анализа сигналов и вибрационного мониторинга критически важна для обеспечения надёжности и долговечности этих систем. Dragomiretskiy [1] впервые предложил вариационную модовую декомпозицию (VMD) — инновационный адаптивный метод обработки данных, эффективно устраняющий проблемы ложных мод и краевых эффектов при декомпозиции. Применение VMD позволяет декомпозировать вибрационные сигналы, извлекать информативные компоненты и подавлять шумы, что имеет ключевое значение для диагностики роторных машин. У Чжэ с соавт. [2] применили мультимасштабную перестановочную энтропию к трём классам вибрационных сигналов (норма, перелом зуба, смешанные дефекты), используя сравнение энтропийных значений для идентификации неисправностей в редукторах различной конфигурации. Чэнь Пэн с коллегами [3] предложили метод на основе релевантных векторов, интегрирующий VMD-декомпозицию сигналов с мультимасштабной перестановочной энтропией.

Для верификации точности метода использованы данные о неисправностях подшипников из базы Case Western Reserve University (США). Технические характеристики приведены в Таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики подшипника

Параметры	Внутренний диаметр	Наружный диаметр	Ширина	Диаметр тел качения	Посадочный диаметр
Значение (mm)	25	52	15	7.9	39

Валидация проведена на подшипнике SKF6205: внутреннее кольцо зафиксировано на приводном валу, внешнее установлено на станине станка и вращается со шпинделем. Параметры испытаний: скорость вращения 1796 об/мин, частота дискретизации 12 кГц, длина выборки 2048 точек.

Сначала методом VMD выполнена декомпозиция вибрационных сигналов подшипника в нормальном состоянии и при трёх типах дефектов. Получены компоненты разложения и соответствующие спектрограммы. Ключевое преимущество VMD: подавление смешения мод и эффекта избыточной/недостаточной декомпозиции [4].

Конечный результат декомпозиции сигнала неисправности внутреннего кольца методом VMD представлен на рис 1, где выделенные моды (IMF2-IMF8) эффективно выявляют микроскопические признаки дефектов и их уникальные характеристики, формируя основу для последующего анализа. Все компоненты демонстрируют влияние дефекта, неся часть модуляционной информации исходного сигнала, однако, несмотря на схожесть модуляционных признаков, наблюдаются существенные различия в формах волн и спектрах, что требует многомасштабного анализа для отбора наиболее репрезентативных компонентов.

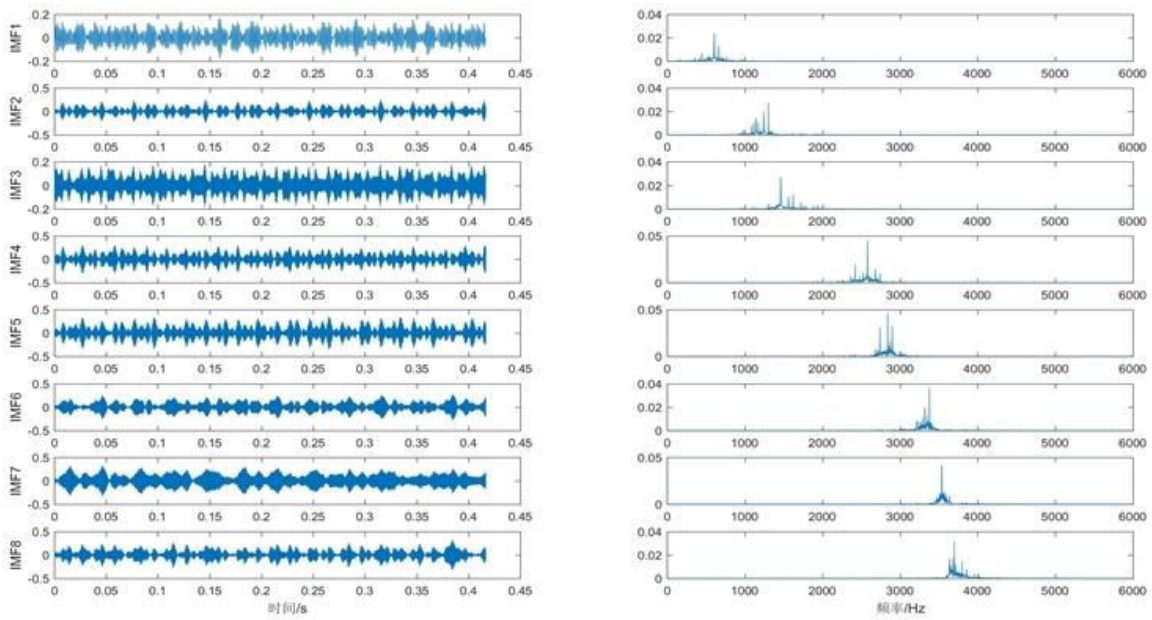


Рисунок 1. Временная форма сигнала и спектрограммы его декомпозиции методом VMD для сигнала с дефектом внутреннего кольца

Сравнение с рис 2 подтверждает: VMD-декомпозиция разделяет нормальный и дефектный сигналы на семь уровней с уникальными волновыми характеристиками, при этом компоненты IMF2 дефектного сигнала условно соответствуют IMF1 нормального, однако последующие шесть мод демонстрируют выраженные нерегулярные изменения по всему временному интервалу, что однозначно указывает на влияние дефекта и позволяет выявить информативные признаки в старших модах.

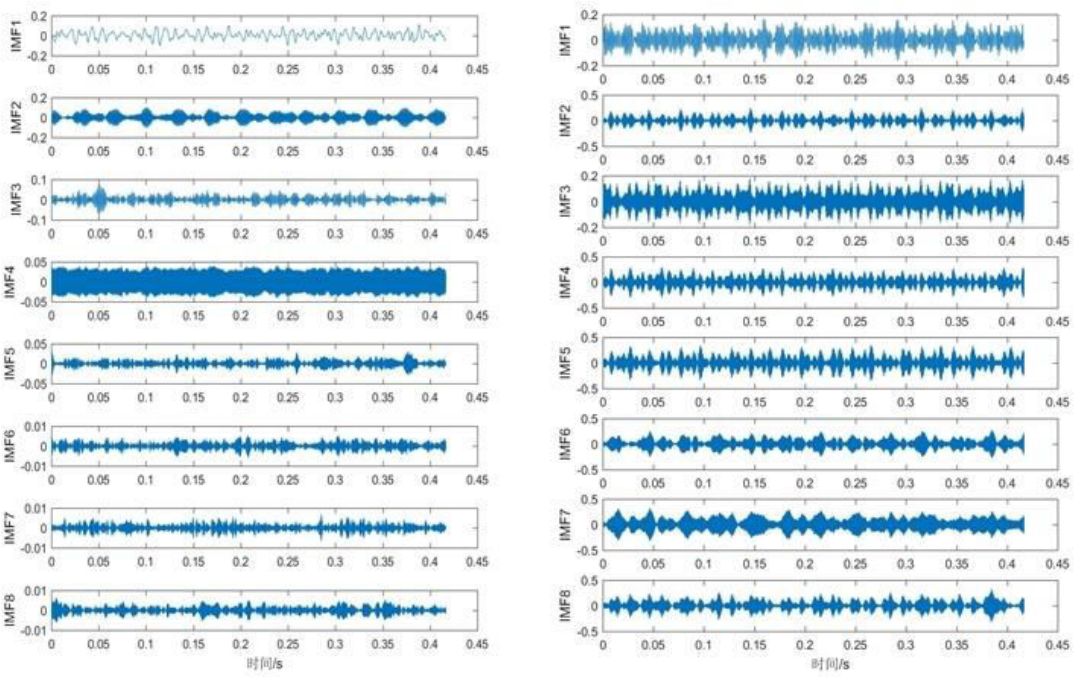


Рисунок 2. Временная форма сигналов декомпозиции методом VMD для нормального сигнала и сигнала с дефектом внутреннего кольца

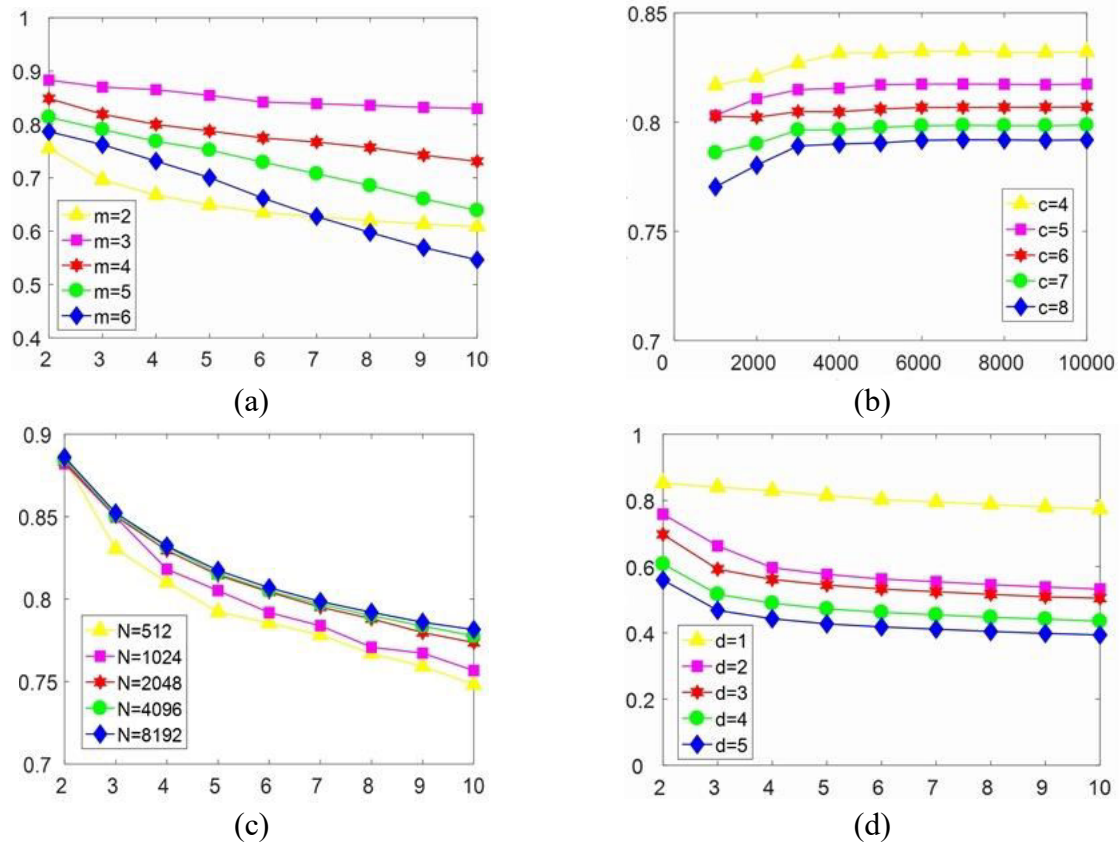
Для расчета значений FDE необходимо предварительно задать четыре параметра: размерность вложения, длину последовательности, число классов и временную задержку [5]. Чтобы исследовать влияние этих параметров, были проведены сравнительные расчёты FDE для вибрационных сигналов подшипника при различных их комбинациях.

Анализ показал, что с ростом размерности вложения увеличивается волатильность значений FDE (рис. 3, a), однако её слишком малое значение не позволяет точно отслеживать динамические изменения сигнала; стабильность FDE достигает оптимума при размерности вложения m=3, которая и была выбрана. При исследовании влияния числа классов обнаружено, что его увеличение вызывает значительные изменения FDE (рис.3, b); слишком малое значение может привести к ошибочной классификации данных с сильно различающимися амплитудами, поэтому для обеспечения стабильности было выбрано значение c=6, при котором поведение FDE является наиболее плавным. Далее установлено, что при длине данных, превышающей N=2048, её влияние на расчёт FDE становится незначительным (рис.3, c), что определило выбор этого значения для обеспечения согласованности результатов. Наконец, изучение влияния временной задержки показало, что с её увеличением стабильность FDE ухудшается, а при $\tau>1$ происходит потеря частотной информации (рис.3, d), поэтому для сохранения стабильности была принята минимальная задержка $\tau=1$. Окончательный выбор параметров FDE представлен в таблице 2.

Таблица 2

Выбор параметров FDE

Параметры	Размерность вложения m	Длина последовательности N	Количество классов c	Временная задержка d
Значение	3	2048	6	1



(a) (b)

(c) (d)

Рисунок 3. Значения FDE вибрационного сигнала при различных параметрах

Во-вторых, проанализированы четыре сигнала после VMD-декомпозиции с разделением на трендовую и флуктуационную составляющие. Результаты FDE (Таблица 3) демонстрируют значительные различия значений при разных режимах работы, что указывает на изменение сложности вибрационных сигналов. На этой основе FDE-значения тренда и флуктуаций выбраны как обобщающие признаки для классификации состояний.

Таблица 3

Результаты FDE

Типы сигналов	Трендовая составляющая	Флуктуационная составляющая
Нормальный сигнал	4.76	3.69
Сигнал неисправности внутреннего кольца	4.37	3.59
Сигнал неисправности тела качения	3.82	3.67
Сигнал неисправности наружного кольца	3.55	3.73

Анализ рис. 4 показывает изменение значений FDE при четырёх состояниях: при масштабном факторе $t<5$ значение флуктуационной дисперсионной энтропии резко снижается; при $t>5$ наблюдается плавное уменьшение FDE с ростом t, а в интервале [6] происходит пересечение кривых, что указывает на высокую сложность векторов признаков в данной зоне и неспособность значений FDE в этом диапазоне адекватно отражать их характеристики. На основании проведённого анализа для повышения эффективности диагностики неисправностей системы в качестве вектора признаков выбран диапазон значений FDE для масштабного фактора $t \in [6]$.

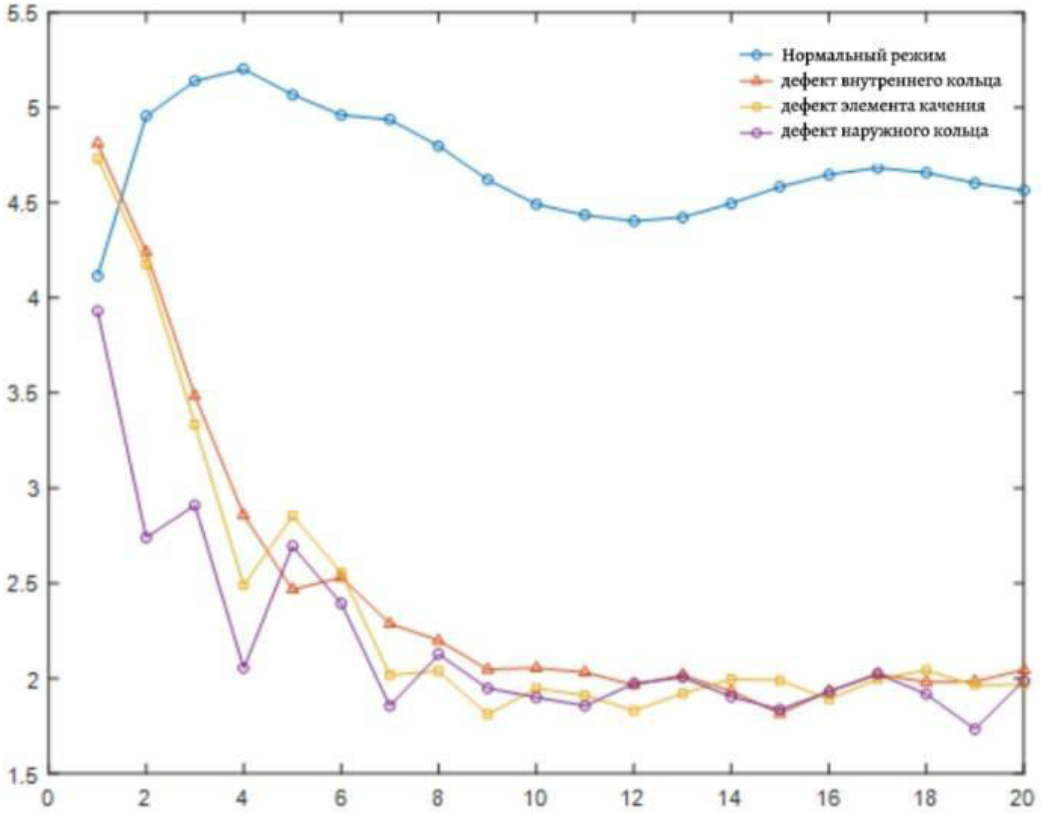


Рисунок 4. Кривая значений энтропии флуктуаций и дисперсии

Наконец, для классификации и прогнозирования применён метод опорных векторов (SVM). SVM-это статистический метод машинного обучения, максимизирующий зазор между классами. Он обеспечивает оптимальный баланс сложности модели и эффективности обучения при ограниченных данных [6]. Ключевая задача: найти оптимальную разделяющую гиперплоскость, максимизирующую зазор при сохранении точности классификации.

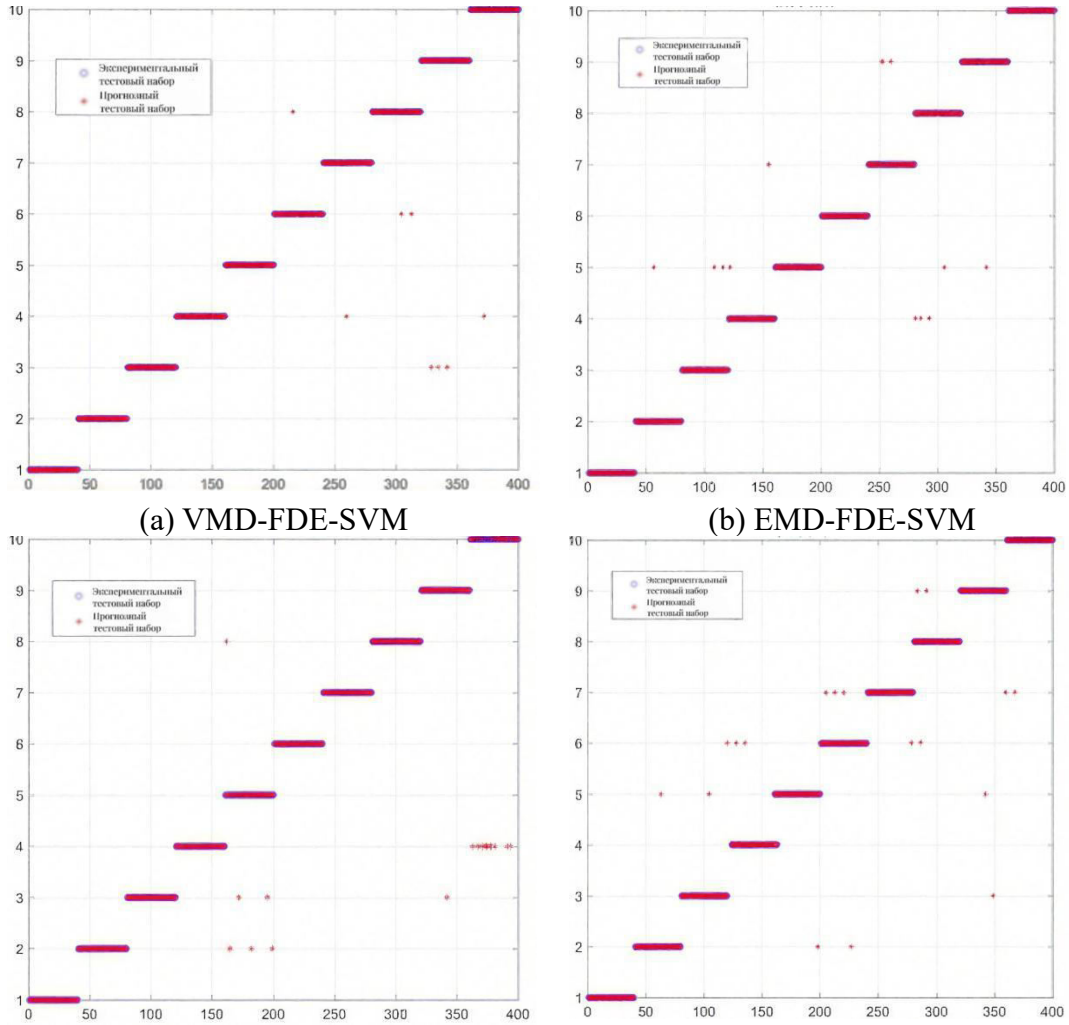
Экспериментальные данные подтверждают: технология FDE-VMD значительно повышает эффективность SVM в диагностике подшипников. Для наглядного сравнения проведена серия контролируемых экспериментов.

В модель SVM введены векторы признаков 400 тестовых выборок. Состояния подшипника кодированы цифрами 1-10 (1 - норма, 2-10 - типы дефектов), по 40 образцов на класс. Часть данных представлена в таблице 4.

Таблица 4

Данные тестовых выборок

Место повреждения	Размер повреждения(cm)	Метка класса	Размер выборки
Внутреннее кольцо	0.01778	L2	40
Внутреннее кольцо	0.03556	L3	40
Внутреннее кольцо	0.05334	L4	40
Наружное кольцо	0.01778	L5	40
Наружное кольцо	0.03556	L6	40
Наружное кольцо	0.05334	L7	40
Тело качения	0.01778	L8	40
Тело качения	0.03556	L9	40
Тело качения	0.05334	L10	40



(a) VMD-FDE-SVM (b) EMD-FDE-SVM

(c) VMD-DE-SVM (d) EMD-DE-SVM

Рисунок 5. Результаты классификации

Результаты распознавания неисправностей методом VMD-FDE-SVM представлены на рис 5, a, где видно, что данный метод достиг средней точности в 96,5%, демонстрируя превосходный диагностический эффект; в то время как метод EMD-FDE-SVM (рис 5,b) показал среднюю точность 90%, метод VMD-DE-SVM (рис 5,c-85%,a метод EMD-DE-SVM рис 5,d-78%). Сводные результаты сравнительного анализа точности четырёх методов классификации неисправностей представлены в таблице 5.

Таблица 5

Результаты сравнительного анализа точности четырёх методов классификации неисправностей

Метод диагностики повреждений подшипников	Точность классификации (%)
VMD-FDE-SVM	96.5
EMD-FDE-SVM	90
VMD-DE-SVM	85
EMD-DE-SVM	78

Сравнительный анализ рис 5,a и рис 5,b демонстрирует преимущество вариационной модовой декомпозиции (VMD) перед эмпирической модовой декомпозицией (EMD), выражающееся в более высокой точности классификации; аналогично, сравнение рис 5,a и рис 5,d подтверждает превосходство флуктуационной дисперсионной энтропии (FDE) над дисперсионной энтропией (DE) в части извлечения признаков, что также ведёт к повышению

точности классификации; таким образом, предложенный в работе метод на основе комбинации VMD и FDE является более эффективным и обеспечивает повышенную точность диагностики.

Вектор признаков, сформированный методом VMD-FDE, использован в классификаторе SVM. Тестирование и анализ подтвердили: VMD-FDE-SVM корректно идентифицирует неисправности подшипников качения, превосходя по точности EMD-FDE-SVM, VMD-DE-SVM и EMD-DE-SVM. Результаты доказывают эффективность предложенного метода для диагностики подшипников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Dragomiretskiy K, Zosso D.* Variational Mode Decomposition [J]. IEEE Transactionson Signal Processing, 2013, 62(03):531-544.

2. *Wu, Z., Zhang, Q., Huang, H., et al.* Research on fault diagnosis of composite planetary gear based on multi-scale permutation entropy [J]. Journal of Mechanical Design and Manufacturing, 2020(09): 182-186.

3. *Chen, P., Zhao, X. Q., & Zhu, Q. X.* (2020). Fault diagnosis method for rolling bearings based on multiscale permutation entropy and improved multi-class relevance vector machine. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation,34(2), 20-28.

4. *Zhang, M.* (2020). Fault diagnosis method for rolling bearings based on adaptive MCKD and VMD[D]. Jiangxi University of Science and Technology, Jiangxi, China.

5. *Ge, H. P, Liu, X. b, Xiong, X. M.* Rolling bearing fault diagnosis based on SPA diffusion entropy and GK clustering[J]. Mechanical Science and Technology, 2021, 40(8):1257-1263.

6. *Chen Qingwen, Han Jingli.* Research on Vibration Fault Diagnosis of Turbine Based on Wavelet Packet Analysis and SVM [J]. Automation & Instrumentation, 2018, 33(2): 54-58.

RESEARCH ON FAULT DIAGNOSIS OF PLANETARY GEARBOXES BASED ON ENTROPY THEORY

Ding Jiamin

Supervisor: Khaliulin R.R., Associated Professor, Candidate of Engineering Sciences, Senior Research Officer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. The study proposes a method for bearing diagnostics based on variational mode decomposition and fluctuation dispersion entropy. The method enables the extraction of fault features and their classification using a support vector machine. It has been established that the combined approach provides higher diagnostic accuracy compared to alternative methods.

УДК 536.24

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕГО ТРАКТА СОПЛА ЖИДКОСТНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Еловиков К.Н.

(ПАО «ОАК» ОКБ Сухого, г. Москва)

Аннотация. В данной работе рассматривается проблема быстрого, автоматизированного и точного моделирования охлаждающего тракта сопла жидкостного ракетного двигателя путём общего математического описания его трёхмерной геометрии, что позволило бы проводить множество параметрических расчётов системы питания двигателя с учётом сопряжённого тепломассообмена в сопле. Для решения данной проблемы была разработана математическая модель охлаждающего тракта, полностью описывающая его трехмерную геометрию в общем виде, и соответствующая программная реализация,

позволяющая по основным характеристикам двигателя: роду топлива, тяге и степени расширения сопла сформировать трёхмерную геометрию охлаждающего тракта.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие методов расчёта жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) идёт в сторону повышения точности и достоверности получаемых результатов. Без надёжного охлаждения невозможно функционирование ЖРД. Чем достовернее методики расчетного анализа охлаждения в ЖРД, тем больше надежды на успешное функционирование разрабатываемого двигателя в будущем. Поэтому необходимо уже на ранних стадиях проектирования охлаждения камер обеспечивать получение требуемых параметров с достаточной степенью достоверности. Это направлено на снижение затрат на экспериментальную отработку и повышение эффективности современных ЖРД.

Поэтому в рамках данной работы разрабатывается инструмент для точного учёта геометрических параметров охлаждающего тракта (ОТ) непосредственно по самой 3Д-модели ОТ, что ведёт к более точному вычислению температуры огневой стенки. Будет приведено описание инструмента и демонстрация его работоспособности. Полученный инструмент позволяет наиболее точно рассчитывать параметры охлаждающего тракта в зависимости от степени дискретизации модели, в отличие от формул расчёта гидравлических параметров течения охладителя, в которых параметры между соседними сечениями усредняются.

Возможный и самый очевидный вариант решения проблемы более точного определения геометрических характеристик – это использование САПР и непосредственное моделирование объекта расчёта. После чего средствами САПР можно определить геометрические характеристики. Но это чрезвычайно трудоёмко и не отвечает требованиям современных тенденций к автоматизации производства и повышения эффективности и производительности труда.

Поэтому разработанный инструмент представляет собой математическое описание трёхмерной геометрии ОТ ЖРД, что очень полезно при параметрических и оптимизационных расчётах связки агрегатов и узлов ЖРД.

Разработанная модель является общим описанием конструкции охлаждающих трактов для сопл Лаваля. Она описывает применяемые для интенсификации теплообмена рёбра с прямолинейной образующей в общем виде – треугольные, трапецеидальные и прямоугольные. Направляющую поперечного сечения каждого ребра можно задать не только плоской кривой, но и в общем случае спирально – винтовой пространственной траекторией. Кроме того, есть возможность моделировать искусственную шероховатость огневой стенки.

СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЁТА ТРЕНИЯ И ТЕПЛООБМЕНА И УЧЁТ НАКЛОНА БОКОВОЙ СТЕНКИ РЕБРА

В первую очередь данный инструмент использовался в рамках расчёта теплонапряжённого состояния конструкции ОТ.

При решении задачи стационарной теплопроводности непрямоугольного ребра использовано решение обыкновенного дифференциального уравнения Бесселя второго порядка для теплопроводности непрямоугольного ребра. Коэффициент эффективности оребрения [1]:

$$\eta_p = 1 - \frac{\delta_1}{\cos\beta_p \cdot t} \times \left(1 - \frac{1}{\sin\varphi_p \cdot \sqrt{z_1}} \times \frac{I_1\left(2\cdot\sqrt{z_1}\right)\cdot K_1\left(2\cdot\sqrt{z_2}\right) - I_1\left(2\cdot\sqrt{z_2}\right)\cdot K_1\left(2\cdot\sqrt{z_1}\right)}{I_0\left(2\cdot\sqrt{z_1}\right)\cdot K_1\left(2\cdot\sqrt{z_2}\right) + I_1\left(2\cdot\sqrt{z_2}\right)\cdot K_0\left(2\cdot\sqrt{z_1}\right)} \right).$$

Для решения задачи теплообмена огневой стенки с ПС используется метод В.М. Иевлева [2]. При интегрировании интегральных соотношений энергии и импульса находятся распределения параметров пограничного слоя, описывающих трение и теплообмен, вдоль контура огневой стенки сопла.

Основная характеристика теплового пограничного слоя z_T:

$$z_T = \frac{4,42 \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \cdot \sqrt{\frac{k-1}{k+1}} \cdot \mathrm{Re}_0}{\bar{D}^{1,2} \cdot \left(1+\bar{T}_{cm}\right)^{1,52} \cdot \left(3+\bar{T}_{cm}\right)^{0,18}} \cdot \int_0^{\pi} \varphi_3 d\bar{x}.$$

Отношение характеристик теплового и динамического пограничных слоёв z_T / z:

$$\frac{z_T}{z} = \left(1,769 \cdot \frac{1-\beta^2+\beta^2 \cdot \left(1-0,08696 \cdot \frac{1-\beta^2}{1-\bar{T}_{cm}+0,1 \cdot \beta^2}\right)}{1-\bar{T}_{cm}+0,1 \cdot \beta^2}\right)^{0,54}.$$

Безразмерный коэффициент трения α:

$$\alpha = 0,03327 \cdot z^{-0,224} + 3,966 \cdot 10^{-4}.$$

Безразмерный коэффициент теплоотдачи α_T:

$$\alpha_T = \frac{\left(\frac{z}{z_T}\right)^{0,089 \cdot \mathrm{Pr}^{-0,56}} \cdot \left(1-0,21 \cdot \frac{1-\mathrm{Pr}}{\mathrm{Pr}^{\frac{4}{3}}} \cdot \frac{\beta^2}{1-\bar{T}_{cm}}\right)^{0,9225}}{\left(307,8+54,8 \cdot \left(\lg\left(\frac{\mathrm{Pr}}{19,5}\right)\right)^2\right) \cdot \mathrm{Pr}^{0,45} \cdot z^{0,08} - 650}.$$

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛИ ОХЛАЖДАЮЩЕГО ТРАКТА

За исходные данные принимаются:

- данные контура сопла: координаты точек: X_{prof}, Y_{prof} и углов наклона касательной к контуру в этих точках β_{prof};
- δ_{wall} – толщина стенки;
- $index$ – индекс входного сечения (куда поступает охладитель), относительно которого будет вестись отчёт координат последующих сечений ($0 \le index \le len\left(X_{prof}\right) - 1$ – можно менять схему течения охладителя плавно от противотока до прямотока);
- t_N – шаг рёбер во входном сечении;
- данные рёбер: h_p – высота ребра, δ_1 – толщина основания ребра, φ_p – угол наклона боковой стороны (образующей боковой поверхности) ребра относительно оси ребра ($\varphi_p = 0^\circ$ – прямоугольные рёбра), β_p – угол винтовой закрутки рёбер относительно оси сопла ($\beta_p = 0^\circ$ – продольные рёбра).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ТРЁХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ОХЛАЖДАЮЩЕГО ТРАКТА

Параметры из исходных данных должны максимально точно быть отображены на модели [3]. Требование максимального соответствия задаваемых данных с полученной моделью напрямую связаны с точностью расчёта теплового состояния, так как теплообмен зависит от гидравлических характеристик каналов охлаждающего тракта.

Для этого надо найти в модели сечение, в котором можно задать эти параметры, задать ребро. Это сечение должно быть перпендикулярно одновременно и направляющей ребра, и кривой контура сопла (если заданы продольные рёбра, то кривая контура сопла является направляющей).

Расчётная схема представлена на рисунках 1 и 2.

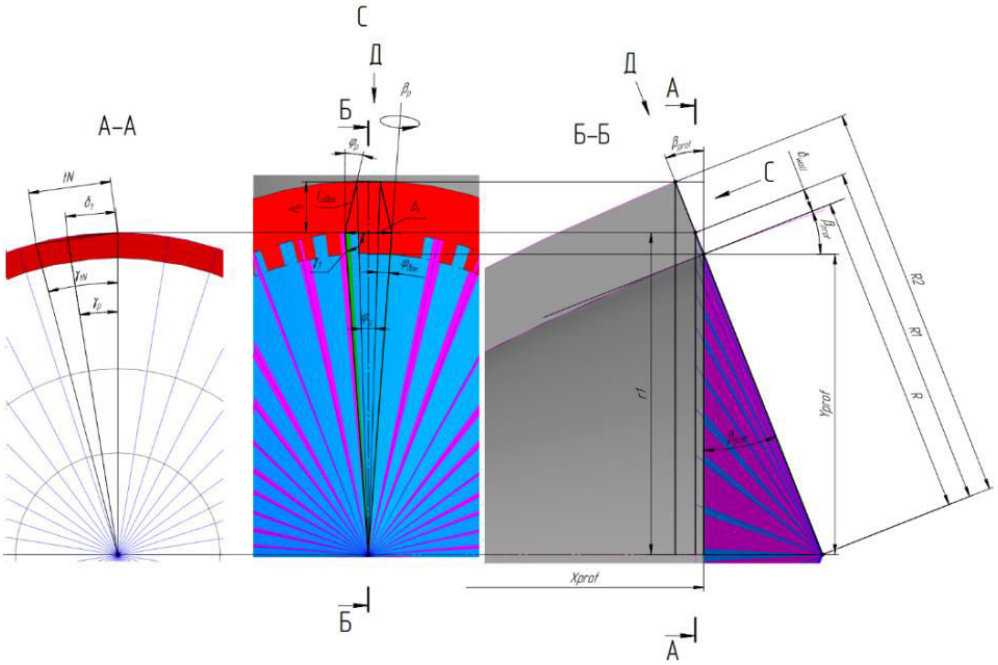


Рис. 1. Расчётная схема

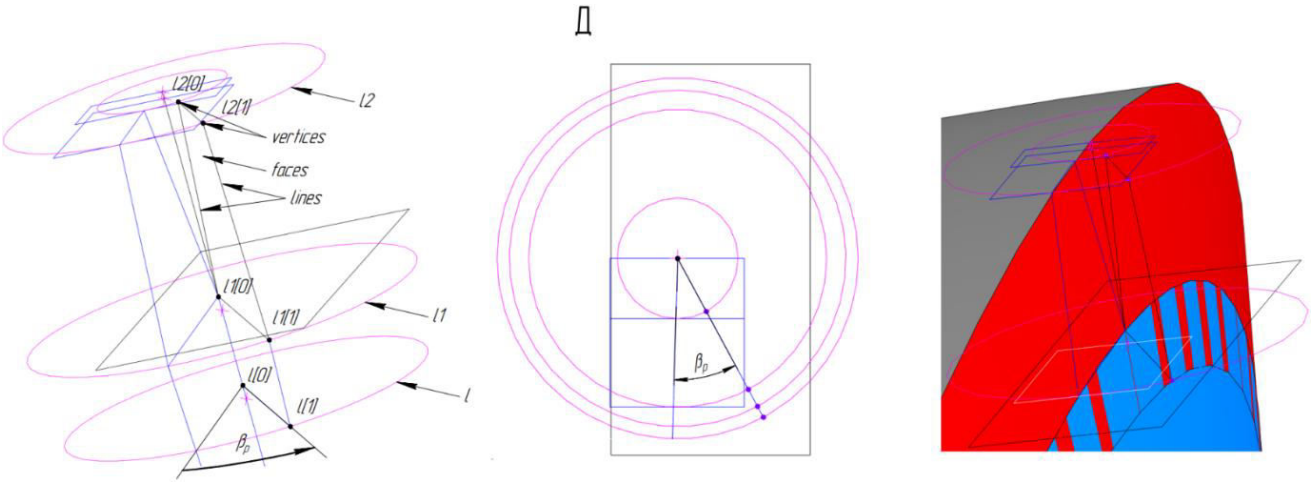


Рис. 2. Расчётная схема

Необходимо для всех узлов из расчётной схемы составить систему уравнений и найти координаты x, y и z. Для этого создаются 3 массива: $x, r, \beta,$ состоящие из 6-ти элементов для каждого узла.

x содержит информацию о продольной координате, r – о соответствующем радиусе (поперечной координате), β – угловое расположение одноимённых узлов на данном радиусе r с данной координатой x.

Содержание каждого из элементов массивов:

$$x[0] = X_{prof};$$

$$r[0] = Y_{prof};$$

$$x[1] = X_{prof} + Y_{prof} \cdot \sin\left(\gamma_p \cdot \cos\beta_{prof}\right) \cdot \cos\left(0{,}5 \cdot \pi - \beta_p\right);$$

$$r[1] = Y_{prof} + Y_{prof} \cdot \tan\beta_{prof} \cdot \sin\left(\gamma_p \cdot \cos\beta_{prof}\right) \cdot \cos\left(0{,}5 \cdot \pi - \beta_p\right);$$

$$x[2] = X_{prof} - \delta_{wall} \cdot \sin\beta_{prof};$$

$$r[2] = r_1;$$

$$x[3] = X_{prof} - \delta_{wall} \cdot \sin\beta_{prof} + R_1 \cdot \cos\beta_{prof} \cdot \sin\left(\gamma_p \cdot \cos\beta_{prof}\right) \cdot \cos\left(0{,}5 \cdot \pi - \beta_p\right);$$

$$r[3] = r_1 + R_1 \cdot \sin\beta_{prof} \cdot \sin\left(\gamma_p \cdot \cos\beta_{prof}\right) \cdot \cos\left(0{,}5 \cdot \pi - \beta_p\right);$$

$$x[4] = X_{prof} - \left(R_2 - R_1 + \delta_{wall}\right) \cdot \sin\beta_{prof} + R_2 \cdot \cos\beta_{prof} \cdot \sin\varphi_{бок} \cdot \cos\left(0{,}5 \cdot \pi - \beta_p\right);$$

$$r[4] = R_2 \cdot \cos\beta_{prof} + R_2 \cdot \sin\varphi_{бок} \cdot \sin\beta_{prof} \cdot \cos\left(0{,}5 \cdot \pi - \beta_p\right);$$

$$x[5] = X_{prof} - \left(R_2 - R_1 + \delta_{wall}\right) \cdot \sin\beta_{prof} + R_2 \cdot \cos\beta_{prof} \cdot \sin\left(\varphi_{бок} + \varphi_ц\right) \cdot \cos\left(0{,}5 \cdot \pi - \beta_p\right);$$

$$r[5] = R_2 \cdot \cos\beta_{prof} + R_2 \cdot \sin\left(\varphi_{бок} + \varphi_ц\right) \cdot \sin\beta_{prof} \cdot \cos\left(0{,}5 \cdot \pi - \beta_p\right).$$

Элементы массива углов для каждого узла будут иметь вид:

$$\beta[0] = \left(0, \gamma_{t_N}, 2 \cdot \gamma_{t_N} \ldots n_p \cdot \gamma_{t_N}\right) + \varphi_\Sigma;$$

$$\beta[1] = \left(0, \gamma_{t_N}, 2 \cdot \gamma_{t_N} \ldots n_p \cdot \gamma_{t_N}\right) + \varphi_\Sigma + \beta_1;$$

$$\beta[2] = \left(0, \gamma_{t_N}, 2 \cdot \gamma_{t_N} \ldots n_p \cdot \gamma_{t_N}\right) + \varphi_\Sigma;$$

$$\beta[3] = \left(0, \gamma_{t_N}, 2 \cdot \gamma_{t_N} \ldots n_p \cdot \gamma_{t_N}\right) + \varphi_\Sigma + \beta_1;$$

$$\beta[4] = \left(0, \gamma_{t_N}, 2 \cdot \gamma_{t_N} \ldots n_p \cdot \gamma_{t_N}\right) + \varphi_\Sigma + \beta_2;$$

$$\beta[5] = \left(0, \gamma_{t_N}, 2 \cdot \gamma_{t_N} \ldots n_p \cdot \gamma_{t_N}\right) + \varphi_\Sigma + \beta_3.$$

где $\beta_1 = \dfrac{\arctan\left(\tan\left(\gamma_p \cdot \cos\beta_{prof}\right) \cdot \cos\beta_p\right)}{\cos\beta_{prof}};$

$$\beta_2 = \frac{\arctan\left(\tan\varphi_{бок} \cdot \cos\beta_p\right)}{\cos\beta_{prof}};$$

$$\beta_3 = \frac{\arctan\left(\tan\left(\varphi_{бок} + \varphi_ц\right) \cdot \cos\beta_p\right)}{\cos\beta_{prof}};$$

$$\varphi_\Sigma = \sum_{i=index}^{i-1} \varphi_i.$$

Наконец формируются итоговые списки с координатами вершин:

$$l = \begin{bmatrix} \left(r[0] \cdot \cos\left(\beta[0][i]\right), r[0] \cdot \sin\left(\beta[0][i]\right), x[0]\right), \\ \left(r[1] \cdot \cos\left(\beta[1][i]\right), r[1] \cdot \sin\left(\beta[1][i]\right), x[1]\right) \end{bmatrix}, i = 0 \ldots n_p;$$

$$l1 = \begin{bmatrix} \left(r[2] \cdot \cos\left(\beta[2][i]\right), r[2] \cdot \sin\left(\beta[2][i]\right), x[2]\right), \\ \left(r[3] \cdot \cos\left(\beta[3][i]\right), r[3] \cdot \sin\left(\beta[3][i]\right), x[3]\right) \end{bmatrix}, i = 0 \ldots n_p;$$

$$l2 = \begin{bmatrix} \left(r[4] \cdot \cos\left(\beta[4][i]\right), r[4] \cdot \sin\left(\beta[4][i]\right), x[4]\right), \\ \left(r[5] \cdot \cos\left(\beta[5][i]\right), r[5] \cdot \sin\left(\beta[5][i]\right), x[5]\right) \end{bmatrix}, i = 0 \ldots n_p.$$

Для получения полигональной сетки нужно обойти все сечения сопла, последовательно применяя уравнения к соседним сечениям и получая одноимённые вершины списков $l[i], l1[i], l2[i]$ и $l[i-1], l1[i-1], l2[i-1]$, затем соответствующим образом их соединяя (группируя), в результате формируя полигоны нужных типов: faces, tetrahedrons.

Схема расположения узлов и тетраэдров показана на рисунке 3.

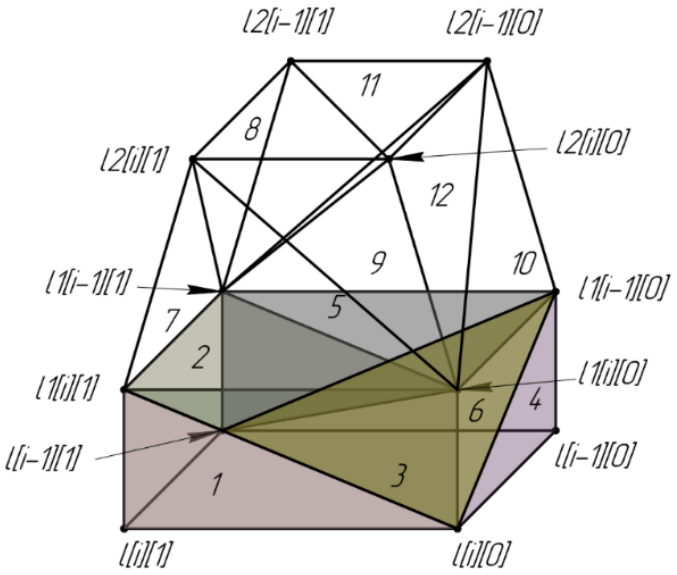


Рис. 3. Схема расположения узлов и тетраэдров, образующих элемент ОТ

На рисунке 4 показан пример построения тетраэдрической объёмной сетки, представляющей собой фрагмент ОТ между двумя соседними сечениями сопла ЖРД.

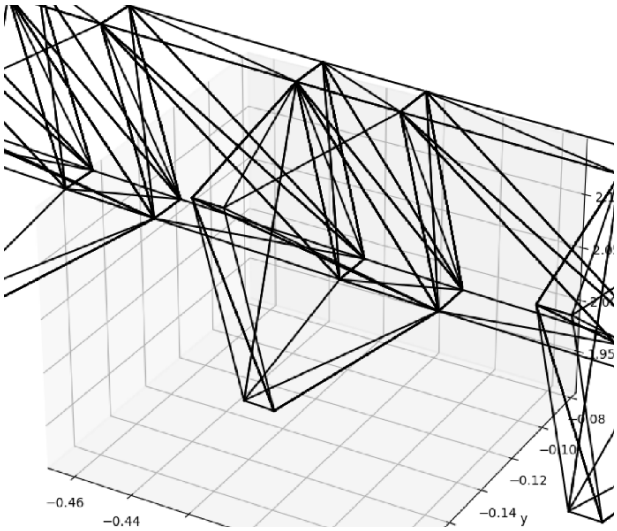


Рис. 4. Элемент тетраэдрической сетки сопла ЖРД

ДЕМОНСТРАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ МОДЕЛИ

На рисунках 5, 6, 7 и 8 продемонстрированы результаты работы модели при различных параметрах охлаждающего тракта: углах наклона боковой стороны ребра и винтовой закрутки.

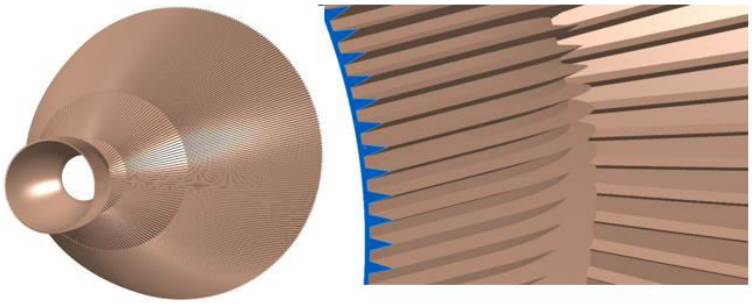


Рис. 5. Сопло с продольными треугольными рёбрами

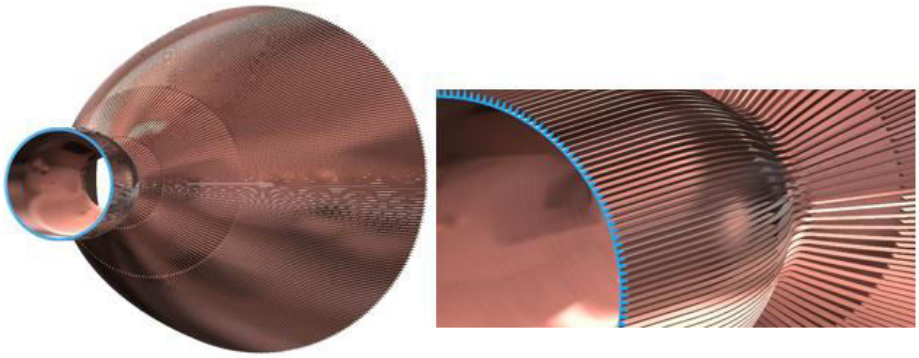


Рис. 6. Сопло с продольными трапецеидальными рёбрами

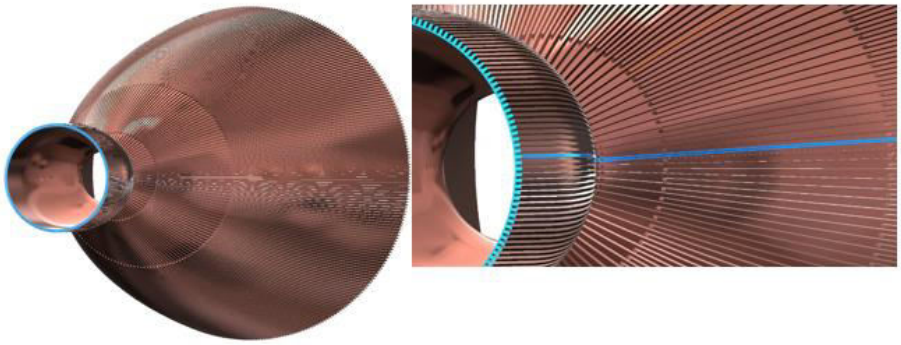


Рис. 7. Сопло с продольными прямоугольными рёбрами

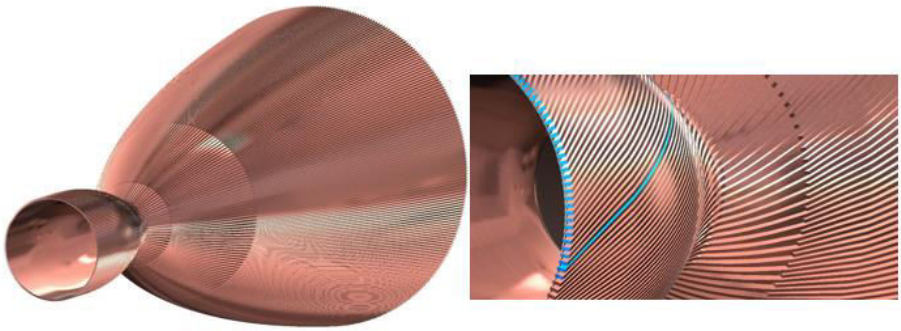


Рис. 8. Сопло с закрученными прямоугольными рёбрами

В результате проделанной работы была создана математическая модель, с помощью которой можно генерировать 3Д модели охлаждающих трактов сопел ЖРД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.* Теплопередача. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: «Энергия», 1969. – 440 с., ил.

2. Основы теории и расчёта жидкостных ракетных двигателей / А.П. Васильев [и др.]. В 2 кн. К. 2. Под ред. В.М. Кудрявцева. М.: Высшая школа, 1993. 368 с.

3. *Орланд Пол.* Математические алгоритмы для программистов. 3D-графика, машинное обучение и моделирование на Python. — СПб.: Питер, 2023. — 752 с.: ил.

MATHEMATICAL MODELING OF THE COOLING PATH OF A LIQUID ROCKET ENGINE NOZZLE

Elovikov K.N.

(PJSC «UAC» Sukhoi Design Bureau, Moscow)

Abstract. This paper considers the problem of fast, automated and accurate modeling of the cooling path of a liquid rocket engine nozzle by using a general mathematical description of its three-dimensional geometry, which would allow for many parametric calculations of the engine power supply system, taking into account the associated heat and mass transfer in the nozzle. To solve this problem, a mathematical model of the cooling path has been developed that fully describes its three-dimensional geometry in general, and a corresponding software implementation that makes it possible to form a three-dimensional geometry of the cooling path based on the main characteristics of the engine: fuel type, thrust, and degree of nozzle expansion.

УДК 621.454

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАМЕРЫ-ДЕМОНСТРАТОРА РДМТ ИЗ СИЛУМИНА РС-300 И ИНКОНЕЛЯ 718

Кудрявцев Н.А., Балабанов А.Л.
Научный руководитель: Назаров В.П., профессор, к. т. н.
(Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск)

Аннотация. Целью данной работы является изготовление камеры и смесительной головки ЖРДМТ методом селективного лазерного сплавления.

На первом этапе реализации проекта проведен комплекс экспериментальных работ по апробации и отработке режимов изготовления на 3D-принтере ASTRA 420 камеры РДМТ из модельного порошкового материала Силумин РС-300 [1,2,3,4]. Выбор данного материала объясняется его пластичностью, низкой температурой плавления и невысокой стоимостью.

В результате установлено, что технические характеристики принтера обеспечивают реализацию инновационных решений и динамической модуляции лазерного пятна с возможностью корректировки мощности лазера, что позволяет достичь высоких скоростей построения деталей и, следовательно, приступить к печати камеры из жаростойкого аустенитного сплава Inconel 718 [5].

Поскольку в процессе эксплуатации ЖРД на его конструкцию, включая силовые элементы, воздействуют высокая температура и окисляющая среда, для этих деталей необходимо выбирать жаростойкий и жаропрочный материал с хорошими механическими характеристиками [6]. Сплав Inconel 718 соответствует этим характеристикам и в настоящее время широко используется в аэрокосмической и машиностроительной промышленности зарубежных стран.

Производственный цикл печати камеры сгорания и смесительной головки из силумина включал нанесение тонкого слоя порошка на рабочую поверхность, которой служил металлический стол, способный передвигаться в вертикальном направлении. Печать осуществлялась в специальной рабочей камере, заполненной инертным газом аргоном, чтобы предотвратить окисление расходного материала и использовать такие материалы, например, как титан.

Каждый слой модели сплавляется, воспроизводя контуры цифровой модели, с помощью лазерного луча, направляемого по осям X и Y. Мощность лазерного излучателя достаточно высока для плавки частиц порошка в однородный материал. Процесс печати камеры-демонстратора проходил в соответствии с режимами, указанными в таблице 1, печать смесительной головки производилась при режимах, указанных в таблице 2. Результаты представлены на рисунках 1-2.

Таблица 1

Режимы печати камеры из силумина РС-300

	P, Вт	V, мм/с	D, мкм	Шаг, мкм	Паттерн
До критического сечения	400	700	250	200	Однонаправленный
Зона критического сечения	400	800	280	200	Однонаправленный
Закритическое сечение	400	700	250	200	Однонаправленный

Таблица 2

Режимы печати смесительной головки из силумина РС-300

	P, Вт	V, мм/с	D, мкм	Шаг, мкм	Паттерн
Основа	400	700	250 (с постепенным увеличением до 320)	200	Клетками
Теплоотводы, внешний обод, ушки	400	700	235	200	Клетками

В ходе работы был составлен технологический процесс и требования к печати из материала РС-300:

Подготовка.

Для этапа подготовки был использован микрометр. Для защиты и работы специалиста потребовался специальный костюм и совок. Платформа построения была установлена и выставлена параллельно ровняющему ножу с помощью индикатора биения. Насыпание порошка AISil0Mg производилось совком. При этом специалист, осуществляющий данную деятельность, находился в защитном костюме, чтобы избежать взаимодействия с мелкодисперсным порошком.

Лазерное сплавление.

Лазерное сплавление с последующим образованием формы заданного изделия, проводилось с использованием 3Д-принтера Astra SLM 420. На данном этапе были использованы материалы, включая порошок AlSi10Mg и газообразный аргон, соответствующие ГОСТ 101517-79. Толщина слоя составила 50 мкм.

Очистка с ОТК.

Очистка проводилась с обязательным присутствием ОТК. Был использован вытяжной шкаф, продувной пистолет и перчатки. Внутренние и внешние полости детали продувались от остаточного материала воздухом с давлением не менее 6 кгс/см^2 и не менее 5 минут.

Термическая обработка.

Термическая обработка осуществлялась в электропечи при температуре 250°С в течение 4 часов, после чего изделие выдерживалось до полного остывания при комнатной температуре 20-25°С.

Пескоструйная с ОТК.

Для механической очистки использовалась пескоструйная камера и электрокорунд, соответствующие ГОСТ 28818-90 и ГОСТ Р 25381-2005 соответственно. Пескоструйная обработка проводилось под давлением 0,2 кгс/см^2.

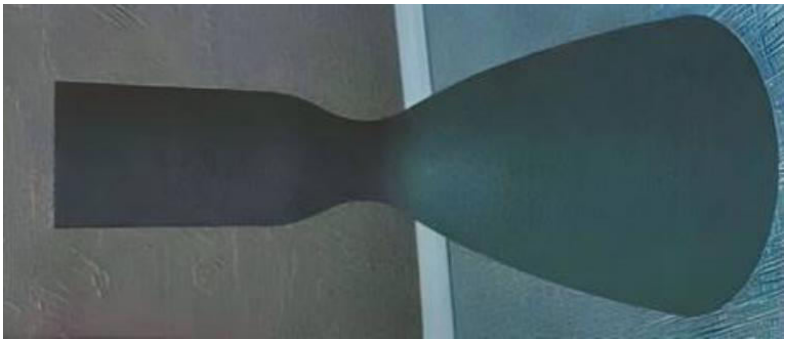


Рис. 1. Камера сгорания, изготовленная из Силумина

Рис. 2. Смесительная головка, изготовленная из силумина

Технические требования:

1. Аргон, применяемый при изготовлении деталей в 3D-принтере, должен соответствовать ГОСТ 10157-2016
2. Баллоны, используемые под аргон, должен соответствовать ГОСТ 949-73
3. Редукторы, используемые на баллонах с аргоном, должны соответствовать ГОСТ Р 54791-2011
4. Металлический порошок РС-300 должен соответствовать ТУ 24.42.00-002-44669951-2019

Работа с модельным материалом силумином подтвердила возможность изготовления КС и смесительной головки методом SLM- печати. В связи с этим было принято решение о печати камеры из штатного материала Inconel 718 (ПР-08ХН53БМТЮ). Порошок сферический фракции 20-45 мкм, изготовлен методом распыления расплава газовым потоком в инертной среде, производства ООО «Гранком», Нижегородской области, город Кулебаки. Следующий этап включает производство камеры из материала Инконель 718, который более подходит для огневых испытаний. Для изготовления изделий из сплава ПР-08ХН53БМТЮ использовались те же методы, что и при изготовлении изделий из силумина РС-300, но с другими режимами.

Печать камеры производилась при режимах, указанных в таблице 3.

Таблица 3

Режимы печати камеры из Inconel 718

	P, Вт	V, мм/с	D, мкм	Шаг, мкм	Паттерн
До критического сечения	300	300	190	150	Двунаправленная оптимизированная
Зона критического сечения	300	300	190	150	Однонаправленный
Закритическое сечение	300	300	190	150	Двунаправленная оптимизированная

Рис. 3. Камера сгорания, изготовленная из Inconel 718

Печать смесительной головки производилась при режимах, указанных в таблице 4.

Таблица 4

Режимы печати смесительной головки из Inconel 718

	P, Вт	V, мм/с	D, мкм	Шаг, мкм	Паттерн
Внешний слой (1,5 мм)	300	300	190	150	Однонаправленная оптимизированная
Внутренний слой	400	700	235	200	Клетками

В ходе работы был составлен технологический процесс и требования к печати из материала печати из материала Inconel 718:

Подготовка

Для этапа подготовки был использован микрометр. Для защиты и работы специалиста потребовался специальный костюм и совок. Платформа построения была установлена и выставлена параллельно ровняющему ножу с помощью индикатора биения. Насыпание порошка Inconel 718 производилось совком. При этом специалист, осуществляющий данную деятельность, находился в защитном костюме, чтобы избежать взаимодействия с мелкодисперсным порошком.

Лазерное сплавление.

Лазерное сплавление с последующим образованием формы заданного изделия, проводилось с использованием 3Д-принтера Astra SLM 420. На данном этапе были использованы материалы, включая порошок Inconel 718 и газообразный аргон, соответствующие ГОСТ 101517-79. Толщина слоя составила 50 мкм.

Термическая обработка.

Термическая обработка осуществлялась в электропечи при температуре 1060°С в течение часа, после чего изделие выдерживалось до полного остывания при комнатной температуре 20-25°С. Примечание: Время выдержки считать с момента достижения заданной температуры.

Пескоструйная с ОТК.

Для механической очистки использовалась пескоструйная камера и электрокорунд марки 25А ГОСТ 28818-90 зернистостью F100 ГОСТ Р 25381-2005. Пескоструйная обработка проводилось под давлением 0,2 кгс/см^2.

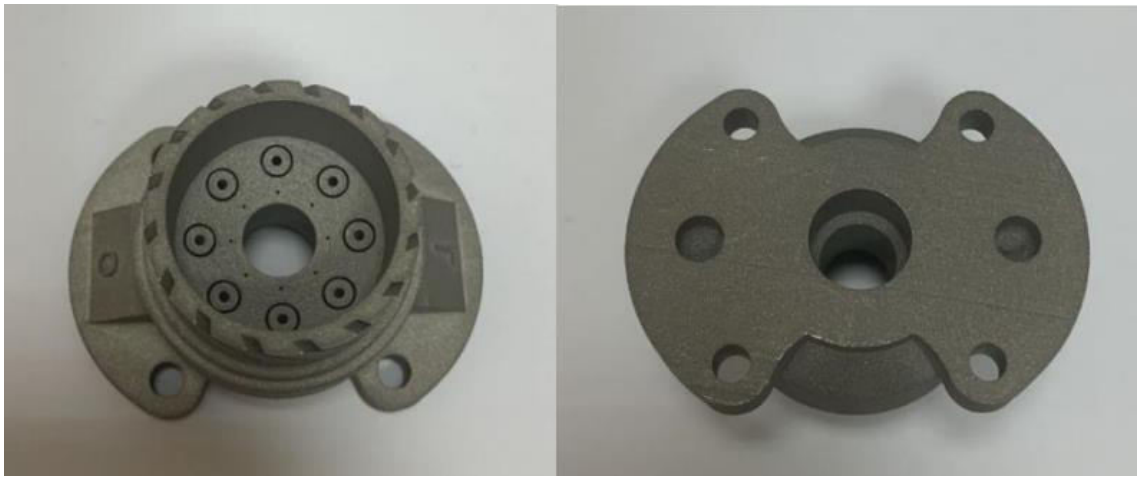


Рис. 4. Смесительная головка, изготовленная из Inconel 718

Технические требования:

1. Аргон, применяемый при изготовлении деталей в 3D-принтере, должен соответствовать ГОСТ 10157-2016
2. Баллоны, используемые под аргон, должен соответствовать ГОСТ 949-73

3. Редукторы, используемые под аргон, должны соответствовать ГОСТ Р 54791-2011

4. Металлический порошок Inconel 718 должен соответствовать стандартам - UNS-7718, ASTM — B537, B670, AMS- 5832, 5596, DIN - 2.4668

С каждым годом аддитивные технологии приобретают большую огласку в связи с появлением все новых и новых исследований и практических экспериментов в данной области. Это инновационный способ проектирования и изготовления деталей по сравнению с традиционными технологиями.

Для внедрения аддитивных методов производства в ракетном двигателестроении необходима обязательная сертификация на государственном уровне для подтверждения отраслевых стандартов. Это возможно только при проведении большого количества научно-исследовательских работ и экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Зленко, М.А.* Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш. – Москва: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с. - Текст: непосредственны.

2. Применение аддитивных технологий для изготвления деталей перспективных газотурбинных двигателей / Л.А. Магеррамова, Б. Е. Васильев и др. // Технология легких сплавов. -2015. – №4. - С. 7 – 13. - Текст: непосредственный.

3. *Килина, П.Н.* Исследование режимов селективного лазерного плавления металлических порошков / П.Н. Килина, Е.А. Морозов и др.// Современные проблемы науки и образования. – 2014. - № 6. – С.133. - Текст: непосредственный.

4. Сплав RS-300 (AlSi10Mg) [Электронный ресурс], HTTPS://ILMIT.RU/UPLOAD/ ILMIT/DOCUMENTS/DAT/RS-300-РУС.PDF (дата обращения 8.10.22).

5. Alloy 718 / Inconel 718 [Электронный ресурс], HTTPS://PKFURALMET.RU/ UPLOADEDFILES/FILES/ALLOY_718.PDF (дата обращения 26.10.23).

6. Отработка применения аддитивных технологий при изготовлении ракетного двигателя малой тяги / Ю. Ю. Степанищев, В. В. Зуев, Д. А. Коровин [и др.] // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Сборник материалов VIII международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. В 3-х томах. – Красноярск, 11–15 апреля 2022 года / Под общей редакцией Ю.Ю. Логинова. Том 1. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф.

MANUFACTURING A DEMONSTRATOR CHAMBER FOR A LPRE MOTOR FROM SILUMIN RS-300 AND INCONEL 718

Kudryavtsev N.A., Balabanov A.L.

Supervisor: Nazarov V.P., Full Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk)

Abstract. The purpose of this work is to manufacture a chamber and mixing head for a LPRE using selective laser melting.

УДК 621.455

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБРАТИМЫХ ПОТЕРЬ НАПРАВЛЕННОЙ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ НА КЛА С ЛАЗЕРНЫМ РАКЕТНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Курбанова В.А.

Научный руководитель: Саттаров А.Г., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. Целью данного исследования является определение потерь энергии электромагнитного излучения с длиной волны 0,459-1,064 мкм при передаче через атмосферу на КЛА с лазерным ракетным двигателем. Данный диапазон электромагнитного излучения атмосфера Земли пропускает с минимальными потерями. В работе проводится количественная оценка энергии, которая проходит без потерь в процессе прохождения электромагнитного излучения через атмосферу и влияние различных погодных условий на нее, что является важном в понимании возможности создания космических аппаратов, выводимых на орбиту лазерным ракетным двигателем, использующим для нагрева в камере рабочего тела энергию электромагнитного излучения.

Направленное электромагнитное излучение с длиной волны 0,459-1,064 мкм может быть эффективно, с минимальными потерями, передано на космический аппарат (КА), выводимой на орбиту лазерным ракетным двигателем, использующим данной вид энергии для нагрева в камере рабочего тела (рис.1). Такие КЛА могут быть использованы для вывода на орбиту полезных грузов с малой массой, например, нано и микроспутников.

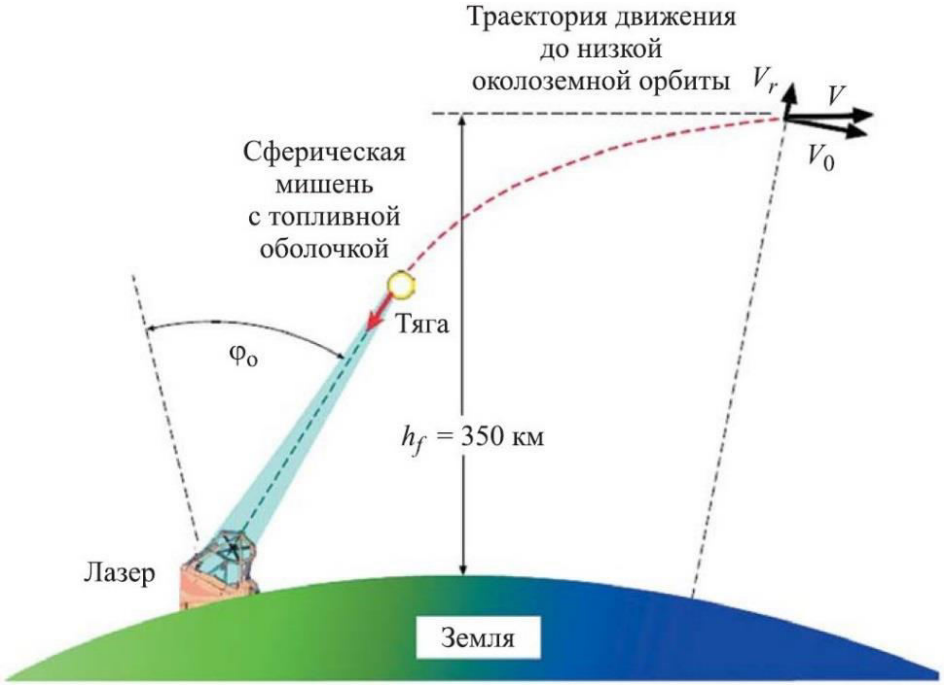


Рис. 1. Космический аппарат, использующий направленную энергию электромагнитного излучения для вывода на орбиту полезную нагрузку с малой массой

С учетом необратимых потерь в струе ракетного двигателя и оптимальных значений тяговооруженности определена необходимая мощность лазерного излучения для вывода на околоземную орбиту КЛА с малой массой, без учета потерь направленной электромагнитной энергии, требуемая мощность для вывода на орбиту Земли КЛА с лазерным ракетным двигателем составляет 1.2 МВт для аппарата начальной с массой 100 кг [1]. Данные расчеты

выполнены без учета ослабления при прохождении через атмосферу электромагнитного излучения. С учетом потерь в результате ослабления электромагнитного излучения в атмосфере, требуемая мощность направленной энергии электромагнитного излучения для вывода на орбиту КЛА будет существенно выше.

Известны ряд работ, посвященных исследованию процессов ослабления (в результате поглощения и рассеяния) Земной атмосферой электромагнитного излучения различных длин волн [2-11].

Для молекулярного рассеяния радиации атмосферы принят единый вертикальный профиль эффективной концентрации $q_{MP}(H) = q'_{MP}(H)$. При этом под эффективной концентрацией для молекулярного рассеяния $q_{MP}(Z)$ будем понимать вертикальный профиль коэффициента молекулярного рассеяния $\beta_{0\,MP}(H)$ на длине волны $\lambda = 1{,}064$ мкм. Тогда

$$\beta_(\lambda\, MP)\ \ (H) = \lambda\hat{}(-4{,}08). \tag{1}$$

В первом приближении

$$q_{MP}(Z) = 0{,}0011\ P(Z)\frac{T(Z)}{T_0}. \tag{2}$$

Спектральное пропускание τ_λ слоя атмосферы определяется выражением

$$\tau_\lambda = \tau_{\lambda_{\text{МП}}} \cdot \tau_{\lambda_{\text{аэр}}} \cdot \tau_{\lambda_{\text{МР}}}, \tag{3}$$

где $\tau_{\lambda_{\text{МП}}}$ – пропускание, обусловленное молекулярным поглощением радиации атмосферными газами;

$\tau_{\lambda_{\text{аэр}}}$ – пропускание, обусловленное аэрозольными ослаблениями;

$\tau_{\lambda_{\text{МР}}}$ – пропускание, обусловленное молекулярным рассеянием.

Для расчета функции спектрального пропускания любого компонента (аэрозоля, молекулярного рассеяния, газового компонента) применяется единая формула

$$\tau_{\lambda_i} = exp\{-\beta_{\lambda_i}(W_i')^{m_{\lambda_i}}\}, \tag{4}$$

где W_i' – эффективное количество i-го компонента;

λ_i, m_{λ_i}, n_{λ_i} – параметры функции спектрального пропускания. Значения этих параметров соответствуют спектральному разрешению 0,001 и 0,025 мкм для спектральных областей 0,459-1.064 мкм.

Эффективное количество W_i' i-го компонента на пути l луча определяется формулой

$$W_i' = \int_l \quad q_i'(H)dl(H), \tag{5}$$

где эффективная концентрация $q_i'(H)$ i-го компонента

$$q_i'(H) = q_i(H)P(H)^{n/m}. \tag{6}$$

В формуле (3, 4) $q_i(H)$ - концентрация (для аэрозоля и молекулярного рассеяния эффективная концентрация) i-го компонента, $P(H)$ - давление в атмосфере на высоте H, l - геометрический путь.

При рассмотрении модели поглощающей атмосферы мы можем выделить, что в области спектра 0,459-1.064 мкм основными поглощающими компонентами являются озон (O_3), кислород (O_2), аммиак (NH_3), пары воды (H_2O). Поглощением другими газами в рассматриваемой области спектра можно пренебречь. Предполагается азотно-кислородная атмосфера с объемными концентрациями $C(N_2) = 78{,}084\%$, $C(O_2) = 20{,}946\%$, $C(CO_2) = 32 \cdot 10^{-4}$, $C(NH_3) = 2 \cdot 10^{-9}$.

Вертикальные профили объемной концентрации паров H_2O изменяются в широких пределах в зависимости от времени наблюдения и географического пояса. Тем не менее, статистические данные свидетельствуют, что средняя концентрация паров воды в тропосфере коррелирует с температурой приземного слоя воздуха. Поэтому на высотах $Z <$ 12 км предлагаются средние вертикальные профили $q_{H_2O}(H)$ ($\text{см} \cdot \text{км}^{-1}$) для различных температур приземного слоя воздуха. Эти профили соответствуют средней влажности $r = 50 - 60\%$ тропосферы, характерной для большинства географических районов. При выполнении расчетов следует помнить, что в районах сухих поясов (пустыни) средняя влажность тропосферы составляет $\approx 20 - 25\%$. Абсолютная влажность не может

превосходить соответствующей относительной влажности $r = 100\%$. Выше 15 км приняты модели сухой и влажной стратосферы.

Возвращаясь к модели рассеивающей атмосферы мы видим, что аэрозольное рассеяние в нижней тропосфере зависит существенно от метеоусловий, поэтому для нижней атмосферы с высотами $Z < 5$ км вертикальный профиль привязан к коэффициенту аэрозольного рассеяния $\beta_{\text{аэр}}$ на длине волны $\lambda_0 = 0{,}55$ мкм, который одновременно является показателем эффективной концентрации аэрозоля $q_{\text{аэр}} = \beta_{0\,\text{аэр}}(\lambda_0 = 0{,}55)$. В соответствие с моделью Эльтермана между высотами $H = 0$ км и $H = 5{,}5$ км зависимость $q_{\text{аэр}}(H)$ имеет экспоненциальный характер. Выше высоты $Z = 5{,}5$ км принят единый средний вертикальный профиль $q_{\text{аэр}}(H) \cdot q_{\text{аэр}}(H = 0) = q_{0\,\text{аэр}}$. Спектральный ход коэффициента аэрозольного ослабления выше 5,5 км $\beta^{II}_{\lambda\,\text{аэр}}$ не зависит от высоты. Спектральные коэффициенты аэрозольного ослабления ниже 5,5 км $\beta^{I}_{\lambda\,\text{аэр}}$ зависят от типа аэрозольных дымок и описываются формулой

$$\beta^{I}_{\lambda\,\text{аэр}} = \beta^{I}_{0\,\text{аэр}}(\lambda = 0{,}55)(n_0 + n_1\lambda^{-n_2}). \quad (7)$$

Ниже в таблице 1 приведены погодные условия и соответствующие им значения удельного пропускания и дальности видимости [2].

Таблица 1

Пропускание атмосферы и дальность видимости

Состояние атмосферы (видимость)		Балл по коду	Удельное пропускание, км-1	Метеорологическая дальность видимости, км
Туман:	очень сильный	0	Менее 10-34	Менее 0.05
	сильный	1	10-34 -10-8.5	0.05-0.2
	слабый	3	10-3.4 -2*10-2	0.5-1.0
Дымка:	очень сильная	4	0.02-0.14	1-2
	сильная	5	0.14-0.38	2.4
	слабая	7	0.68-0.82	10-20
Хорошая видимость		8	0.82-0.92	20-50
Отличная видимость		9	0.92 и более	50 и более

Как следует из таблицы 1, максимальное пропускание электромагнитного излучения наблюдается в случае «отличной видимости» и ослабление составляет 2 % на 1.0 км.

В результате проведенного теоретического исследования ослабления Земной атмосферой направленного электромагнитного излучения в диапазоне длины волн 0,459-1,064 мкм было установлено, что это пропускание зависит от молекулярного поглощения, аэрозольных ослаблений и молекулярного рассеяния. Спектральные коэффициенты аэрозольного ослабления для высот ниже 5,5 км варьируются в зависимости от типа аэрозольных частиц. Для определения эффективного содержания атмосферных компонентов были использованы формулы (3, 4), которые используются при анализе различных сценариев: горизонтальные и вертикальные направления, а также наклонные трассы с зенитными углами визирования в диапазоне 80°-90°. Данные результаты подчеркивают важность учета аэрозольных характеристик и молекулярного взаимодействия при оценке атмосферного пропускания, что имеет значительное влияние для различных областей науки и практики.

Электромагнитного излучение в диапазоне длины волн 0,459-1,064 мкм может быть использовано в КЛА, для вывода на орбиту малых космических аппаратов, типа нано и микроспутников. Удельные потери энергии электромагнитного излучения в атмосфере при отличной видимости (таблица 1) составляют 0.08 на 1.0.км. В ракетных двигателях данного вида КЛА для нагрева в камере рабочего тела возможно использование направленного электромагнитного излучения, например, лазерное излучение. Лазерные ракетные двигатели (ЛРД) являются альтернативными вариантами силовых установок для ракет-носителей и

космических аппаратов. Достоинствами данного типа двигателя является то, что для него требуется только один компонент топлива, размещаемого на борту, а также его компактность и возможность работы, например, от энергетической установки, которая находится вне аппарата, на поверхности Земли. В таком случае, важно знать, сколько энергии доходит до КЛА, поскольку часть энергии поглощается атмосферой в процессе передачи с наземной установки к приемному зеркалу космического аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Саттаров А.Г.* Концепция летательного аппарата с малой начальной массой, выводимого на околоземную орбиту лазерным ракетным двигателем. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника, 2008, №2, с.41-45.
2. *Мишура Т.П., Платонов О.Ю.* Проектирование лазерных систем: Учебное пособие. /Балт. гос. техн. ун-т. СПб.,2006.98 с.
3. Optical propertics of the atmosphere. //ARCRL 70- Res.Pap.331, -1970 г.
4. *Георгиевский Ю.С.* О спектральной прозрачности дымок в области спектра от 0.37-до 1 мкм. //Изв. АН, ФАО,/ СССР, 5, №4 -1969 г.
5. *Кондратьев К.Я., Москаленко Н.И., Поздняков Д.В.* «Атмосферная аэрозоль» Ленинград: Издательство Гидрометеоиздат, 1983г. 224с.
6. *Баранов, В. П., Герасименко, Ю. Н.* (2004). "Оптические свойства атмосферы." Москва: Издательство МГУ.
7. *Петров, В. А., Соловьев, А. И.* (2011). Излучение и поглощение в атмосфере: модели и методы. *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана*, 47(6), 761-771.
8. *Шумилов, О. И.* (2009). "Спектральные характеристики атмосферного поглощения." *Научные труды МГТУ им. Баумана*, 14, 45-50.
9. *Лавров, С. А., Тихонов, В. А.* (2018). "Моделирование спектрального пропускания атмосферы." *Журнал вычислительной математики и математической физики*, 58(3), 420-429.
10. K. M. P. W. M. (2013). "Atmospheric transmission and radiative transfer in the UV-visible range." In: *Atmospheric Science Letters*, 14(3), 150-158.
11. *Kylling, A., Fioletov, V.* (2003). "The role of atmospheric composition in the spectral transmission of solar radiation." *Journal of Geophysical Research*, 108(D14), 4417.

STUDY OF THE SPECTRAL TRANSMISSION OF DIRECTED ELECTROMAGNETIC RADIATION BY THE ATMOSPHERE FO LAUNCHING SMALL SPACECRAT INTO ORBIT

Kurbanova V.A.

Supervisor: Sattarov A.G., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. The purpose of this study is to determine the energy losses of electromagnetic radiation with a wavelength of 0.459-1.064 μm during transmission through the atmosphere to a spacecraft with a laser rocket engine. The Earth's atmosphere passes this range of electromagnetic radiation with minimal losses. The work provides a quantitative assessment of the energy that passes without losses during the passage of electromagnetic radiation through the atmosphere and the impact of various weather conditions on it, which is important for understanding the possibility of creating spacecraft launched into orbit by a laser rocket engine using electromagnetic radiation energy to heat the working fluid chamber.

УДК 621.51

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА В УСЛОВИЯХ НИЗКОГО ЧИСЛА РЕЙНОЛЬДСА

Лян Ихун

Научный руководитель: Харчук С.И., доцент, к. ф.-м. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. Проанализированы изменения характеристик осевого компрессора: степени повышения давления и коэффициента полезного действия компрессора (КПД), в условиях низкого числа Рейнольдса. Также установлено, что запас устойчивости компрессора в этих условиях серьезно снижается. На основе численных экспериментов с «Ротор 37 НАСА» выявлены и объяснены соответствующие причины.

Эксперименты НАСА [1-2] по изучению производительности компрессоров при различных числах Рейнольдса показали, что уменьшение числа Рейнольдса приведет к снижению степени повышения давления и КПД. Известные экспериментальные данные приведены на рисунке 1.

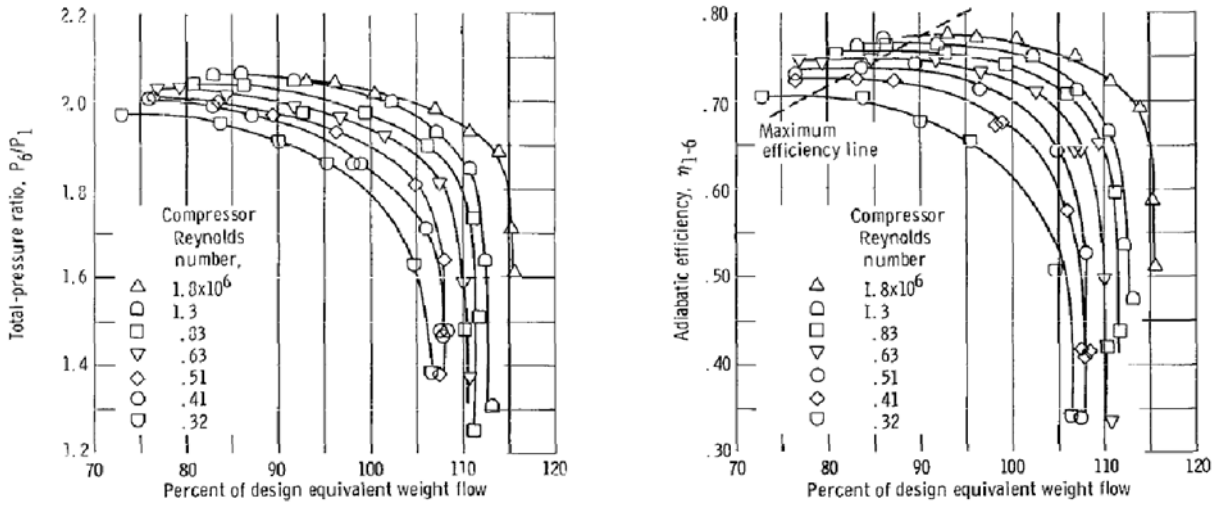


Рисунок 1. Экспериментальные данные по зависимости производительности и КПД компрессора от относительного числа Рейнольдса набегающего потока

Как следует из графиков для степени повышения давления (слева) и адиабатного КПД (справа), уменьшение числа Рейнольдса набегающего потока приводит к снижению этих основных характеристик компрессора.

Согласно формуле (1) расчета запаса устойчивости компрессора S_M:

$$S_M = \left(\frac{\pi_{stall}}{\pi_{peak}} * \frac{m_{peak}}{m_{stall}} - 1 \right) * 100\%, \quad (1)$$

где: π - степень повышения давления; m - массовый расход воздуха; *stall* – граница стабильной работы; *peak* – режим максимального КПД, данные изменения степени повышения давления и КПД приведут к уменьшению запаса устойчивости компрессора.

Поэтому в данной работе исследуются причины, влияющие на изменение запаса устойчивости компрессора при низких числах Рейнольдса.

Объектом исследования моделирования в данной работе является ротор 37 НАСА. На рисунке 2 показаны его геометрические параметры [2].

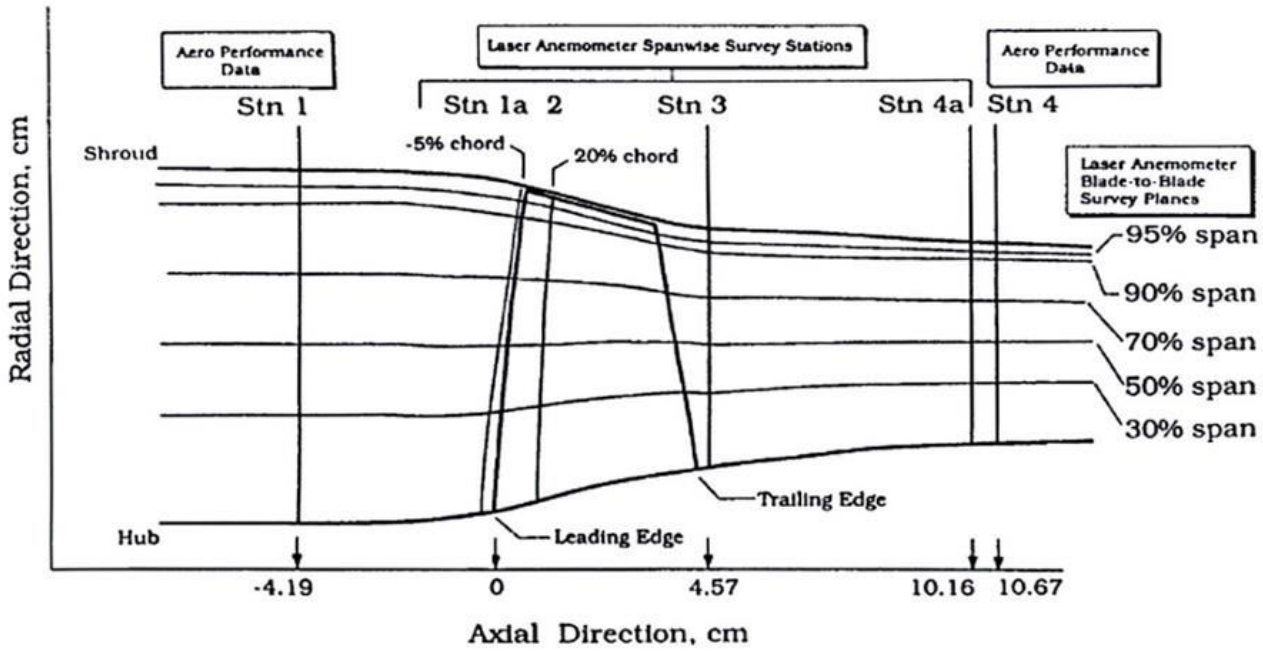


Рисунок 2. Геометрические параметры Rotor 37

С учетом периодического расположения лопаток компрессора построенная расчётная область составляет одну тридцать шестую часть кольцевой проточной области (рисунок 3). Проведены тестовые расчеты для оценки качества расчетной сетки и проверки сеточной независимости решения. Для последующих вычислений выбрана сетка с числом ячеек 3,03 миллиона (рисунок 3).

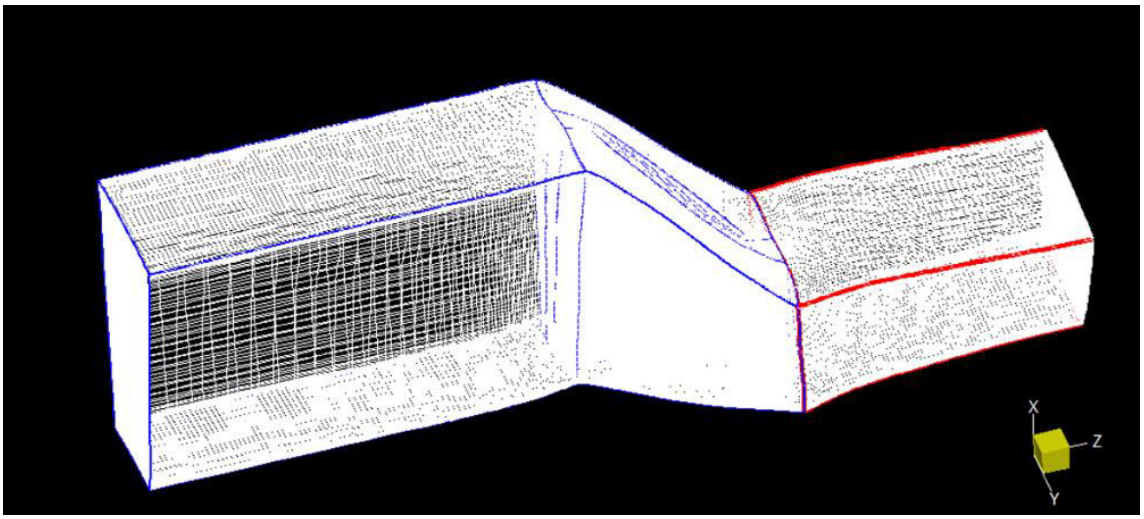


Рисунок 3. Трехмерная область и расчетная сетка для Rotor 37

Для замыкания осредненных по Рейнольдсу уравнений Нье-Стокса использована модель турбулентности SA (Спаларта-Аллмараса) и модель AGS (Абу-Ганнама-Шоу), которая представляет собой классическую эмпирическую модель для прогнозирования перехода от ламинарного к турбулентному течению в пограничном слое [3]. При одинаковой приведенной частоте вращения рассчитана производительность компрессора при числах Рейнольдса, равных $2{,}29*10^5$ и $3{,}15*10^6$. Полученные результаты расчета представлены на рисунках 4, 5 и в таблице 1.

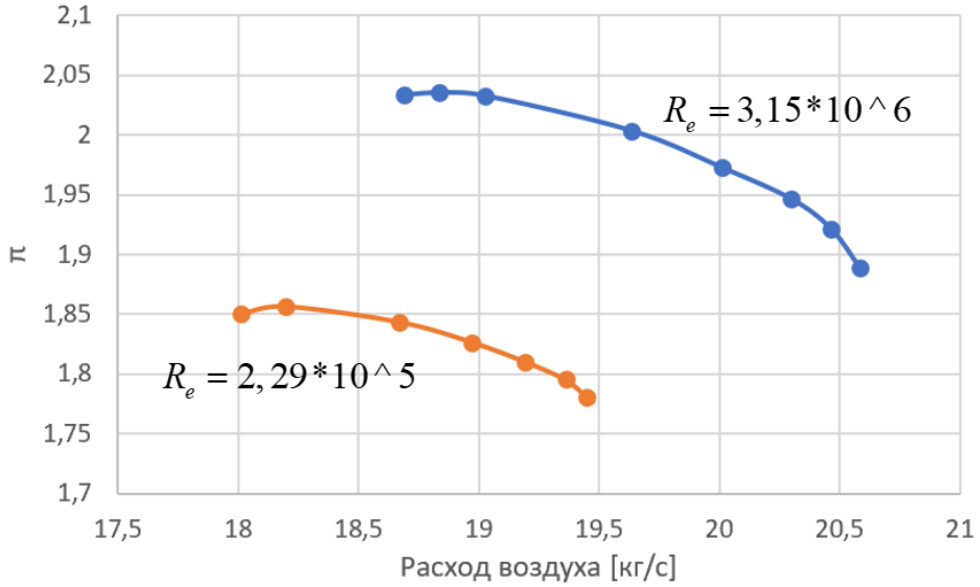


Рисунок 4. Степень повышения давления компрессора на разных числах Рейнольдса

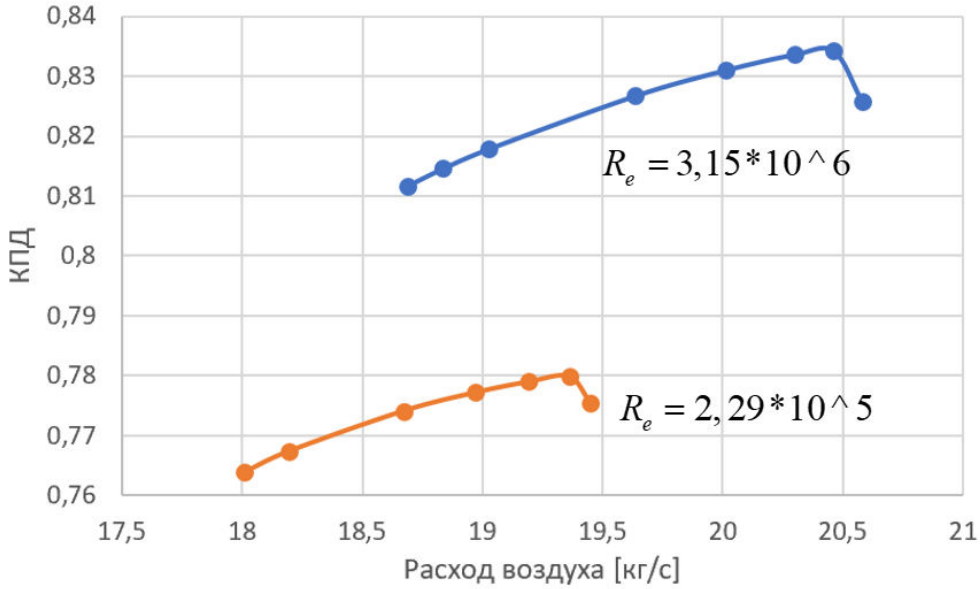


Рисунок 5. Коэффициент полезного действия компрессора на разных числах Рейнольдса

Таблица 1

Расчётные параметры компрессора для разных чисел Рейнольдса набегающего потока

Число Рейнольдса	Максимальная степень повышения давления	Максимальный коэффициент полезного действия	Запас устойчивости
$3,15*10^6$	2,036	0,8342	15,91%
$2,29*10^5$	1,856	0,7799	10,78%
Процентное изменение	-8,84%	-6,51%	-32,24%

Как видно из графиков сохраняется качественный вид зависимостей, но количественные значения степени повышения давления и адиабатного КПД уменьшаются с уменьшением числа Рейнольдса. Данные из таблицы 1 свидетельствуют, что в условиях низкого числа Рейнольдса запас устойчивости компрессора значительно ухудшается.

Почему возникает такая проблема? Это происходит потому, что в условиях низкого числа Рейнольдса, толщина ламинарного пограничного слоя увеличивается и в условиях диффузионного течения ламинарный пограничный слой легче отрывается от лопаток ввиду малости кинетической энергии. Это усиливает возмущение и турбулентность воздушного потока, что приводит к росту гидравлического сопротивления потоку между лопатками.

Поток воздуха, отходящий от поверхности лопатки, под действием центробежной силы направляется к внешнему корпусу компрессора ($W_x>0$) и собирается в верхней части лопаток (рисунок 6, 7).

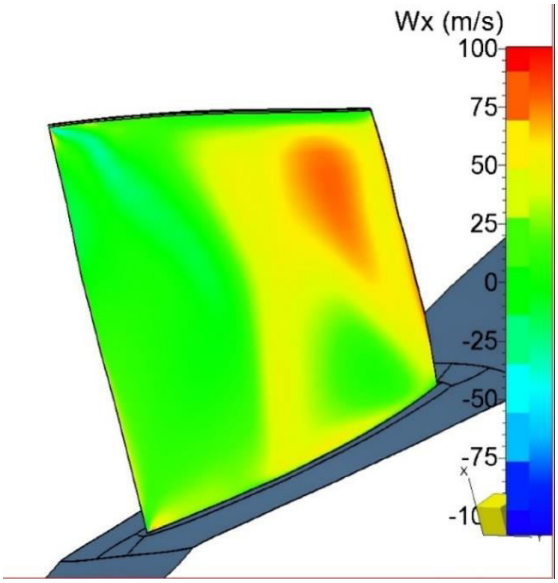


Рисунок 6. Скорость воздушного потока в радиальном направлении

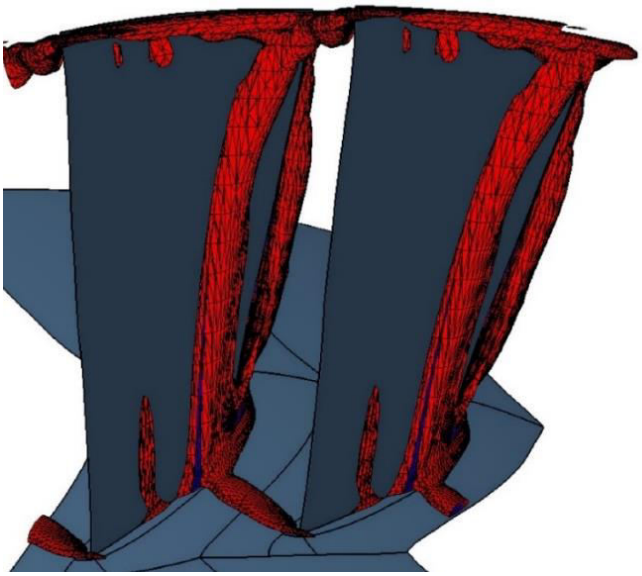


Рисунок 7. Распределение вихревых токов между каналами лопаток

Для анализа разницы между характером течения воздушного потока вблизи верхней части лопатки компрессора рассмотрим распределение безразмерной относительной скорости M (число Маха) в сечении, образованном поверхностью цилиндра радиусом 95% высоты лопатки, при двух числах Рейнольдса (рисунок 8 и 9).

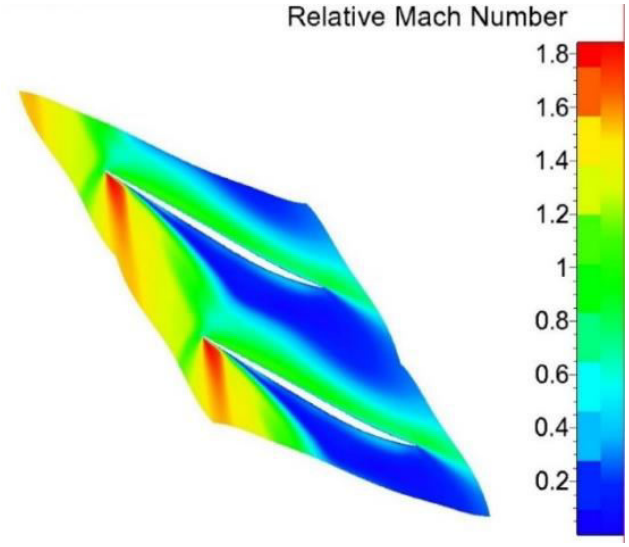


Рисунок 8. Относительная безразмерная скорость воздушного потока в продольном сечении, расположенном на 95% высоты лопатки при Re=2,29*10^5

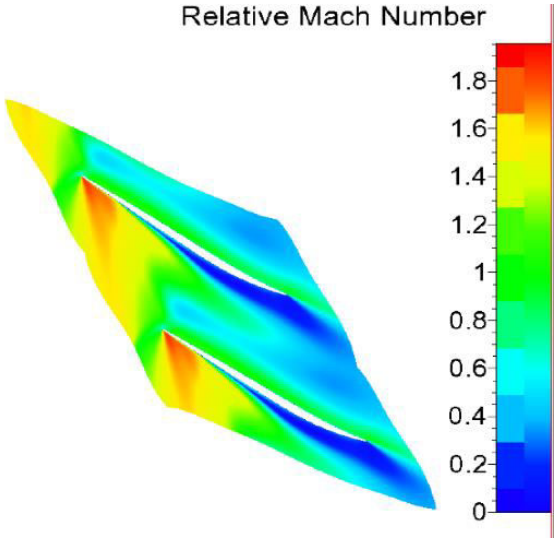


Рисунок 9. Относительная безразмерная скорость воздушного потока в продольном сечении, расположенном на 95% высоты лопатки при Re=3,15*10^6

При сравнении результатов можно обнаружить, что в условиях низкого числа Рейнольдса (Re=2,29*10^5) более половины межлопаточной проточной области заняты воздухом с нулевой скоростью, а при большем числе Рейнольдса эта область значительно меньше четверти проточной области межлопаточного канала. Следовательно, при уменьшении числа Рейнольдса режим работы компрессора приближается к состоянию, близкому к неустойчивому – к помпажу, из-за значительной закупорки проточной области вблизи верхней части лопатки. Полученная картина течения воздуха в верхней части лопаток компрессора позволяет объяснить причину изменения характеристик компрессора и уменьшение запаса устойчивости в условиях низкого числа Рейнольдса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ball C., Heidelberg L., Weigel C.* Effect of Reynolds number on overall performance of a 6-inch radial bladed centrifugal compressor. NASA TN D-5761, 1970.

2. *Boretti A.* Experimental and Computational Analysis of a Transonic Compressor Rotor. Paper presented at the 17th Australasian Fluid Mechanics Conference, Auckland, New Zealand, December 5-9, 2010.

3. https://digitalgeotechnical.com/2024/03/introducing-the-ags-data-transfer-format/.

STUDY OF CHANGES IN THE STABILITY MARGIN OF AN AXIAL COMPRESSOR UNDER LOW REYNOLDS NUMBER CONDITIONS

Liang Yihong

Supervisor: Kharchuk S.I., Associate Professor, Candidate of Physico-Mathematical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. Changes in the characteristics of an axial compressor: the degree of pressure increase and the compressor efficiency (CPE), under low Reynolds number conditions are analyzed. It is also established that the compressor stability margin under these conditions is seriously reduced. Based on numerical experiments with the "Rotor 37 NASA", the corresponding reasons are identified and explained.

УДК 621.51

ПОВЫШЕНИЕ ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА В УСЛОВИЯХ НИЗКОГО ЧИСЛА РЕЙНОЛЬДСА

Лян Ихун

Научный руководитель: Харчук С.И., доцент, к. ф.-м. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. Понижение числа Рейнольдса потока на входе в компрессор приводит к ухудшению характеристик осевого компрессора и снижению его запаса устойчивости. В работе обоснован способ повышения запаса устойчивости компрессора в условиях низкого числа Рейнольдса на основе перепуска воздуха. Предложенное техническое решение позволило увеличить запас устойчивости компрессора для малых чисел Рейнольдса набегающего потока на 46% по сравнению с базовым вариантом.

Исследование [1] показывает, что некоторые каналы, расположенные на поверхности корпуса и сообщающиеся с основным воздушным потоком, потенциально могут увеличить запас устойчивости компрессора в условиях низкого числа Рейнольдса. В связи с этим, в настоящем исследовании разработаны специальные осевые каналы на корпусе компрессора для проверки идеи повышения запаса устойчивости работы компрессора на низких числах Рейнольдса набегающего потока. Объектом исследования моделирования в данной работе является «Ротор 37 НАСА».

Геометрические параметры специального осевого канала, разработанного на основе анализа литературы, приведены в таблице 1, а геометрическая трехмерная модель сектора компрессора с каналами показана на рисунке.1 и 2.

Таблица 1

Геометрические параметры специального осевого канала

Осевые координаты передней кромки канала	-3,38 мм
Осевые координаты задней кромки канала	20,41 мм
Ширина канала	4,93 мм
Глубина канала	11 мм
Угол наклона проточной части канала	45º
Количество каналов, окружающих корпус	216

При разработке математической модели были построены три расчетных сетки, исходя из требований модели турбулентности SA (Спаларта-Аллмараса) и необходимости учета области ламинарно-турбулентного перехода вблизи стенки с помощью модели AGS(Абу-Ганнама-Шоу). Проведены тестовые расчеты для оценки качества расчетной сетки и проверки сеточной независимости решения. Для последующих вычислений выбрана сетка

для новой расчетной области с добавленными специальными осевыми каналами и числом ячеек 4,31 миллиона (рисунке.3).

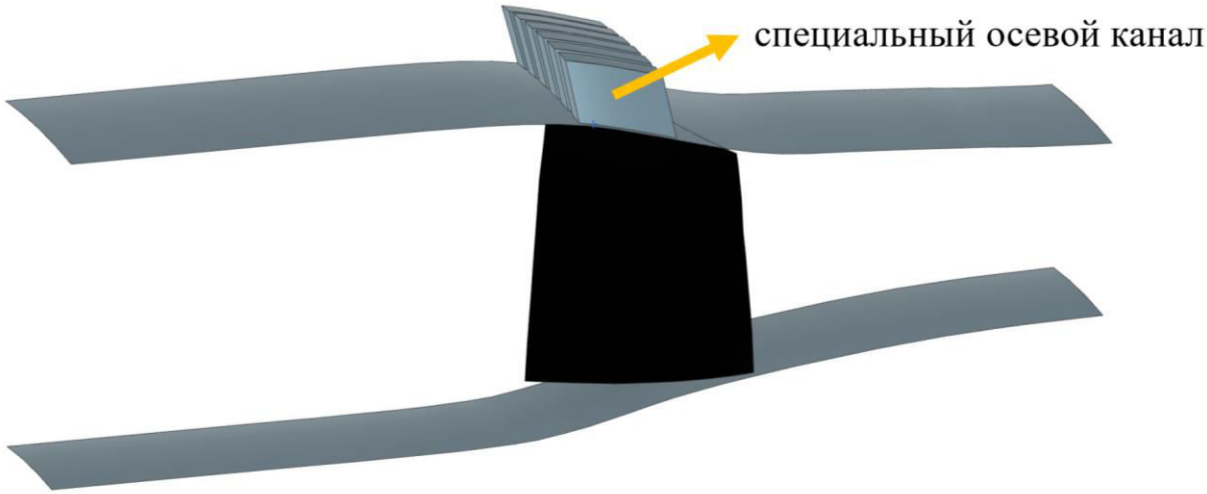


Рисунок 1. Положение осевых каналов относительно лопатки компрессора

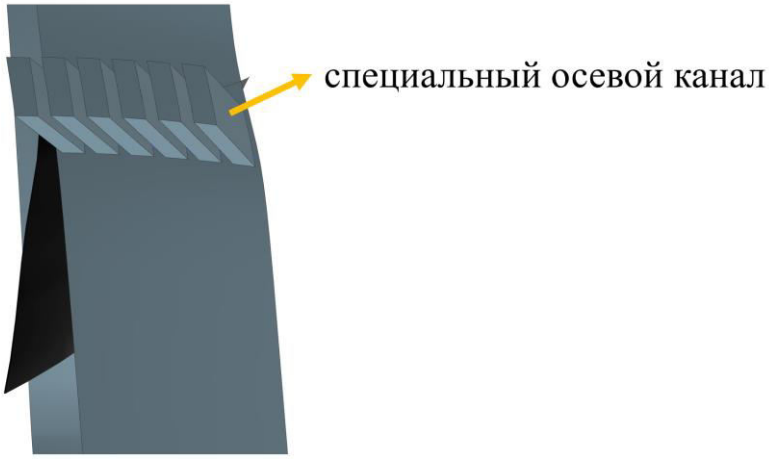


Рисунок 2. Вид на проточную область компрессора в виде сектора с шестью добавленными осевыми каналами на наружном кожухе

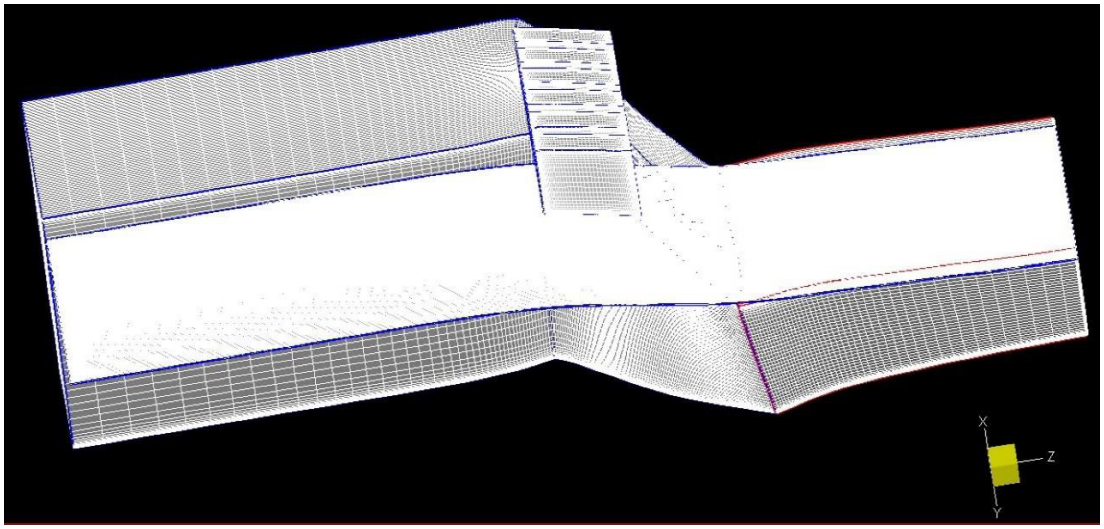


Рисунок 3. Сетка расчетной 3-х мерной области с добавленными каналами на поверхности корпуса компрессора

Выбранная сетка, обеспечивающая заданную точность решения при минимальных требованиях к вычислительным ресурсам, была использована для расчета характеристической линии на одних и тех же режимах базового и модернизированного компрессора. На рисунке 4 и 5 представлены степень повышения давления и КПД (коэффициента полезного действия) компрессора, полученные при числе Рейнольдса, равном $2{,}29*10^5$ в обоих случаях.

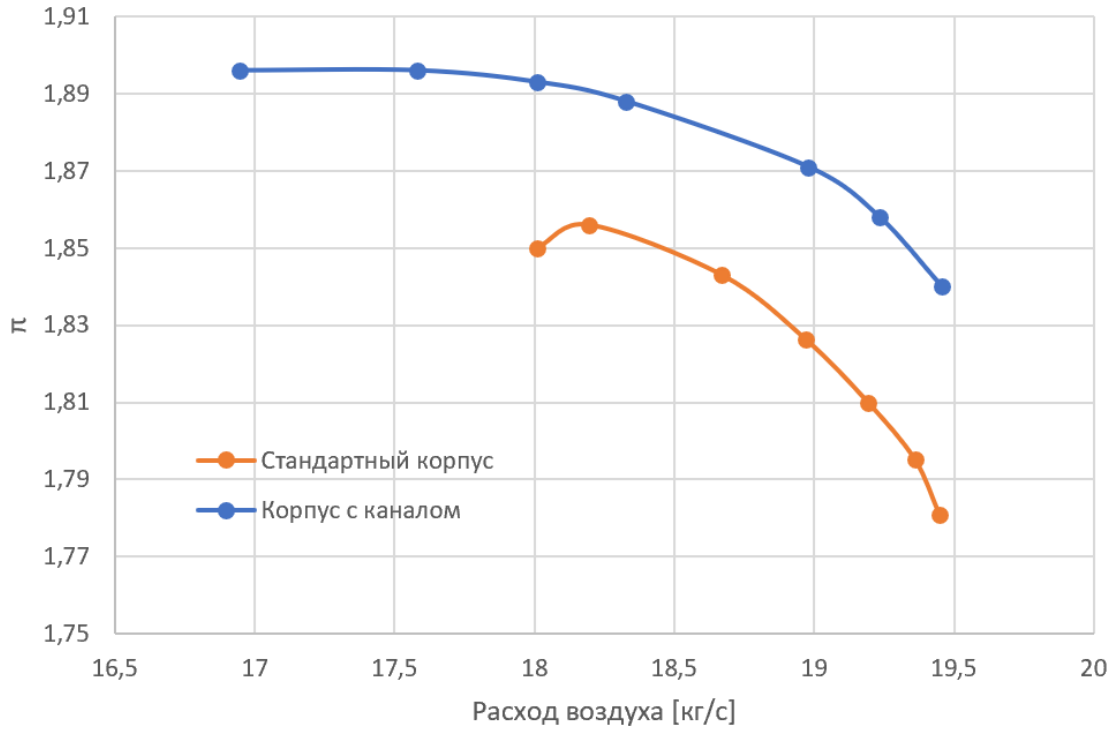


Рисунок 4. Степень повышения давления в исходном компрессоре и в компрессоре с добавочными осевыми каналами на корпусе

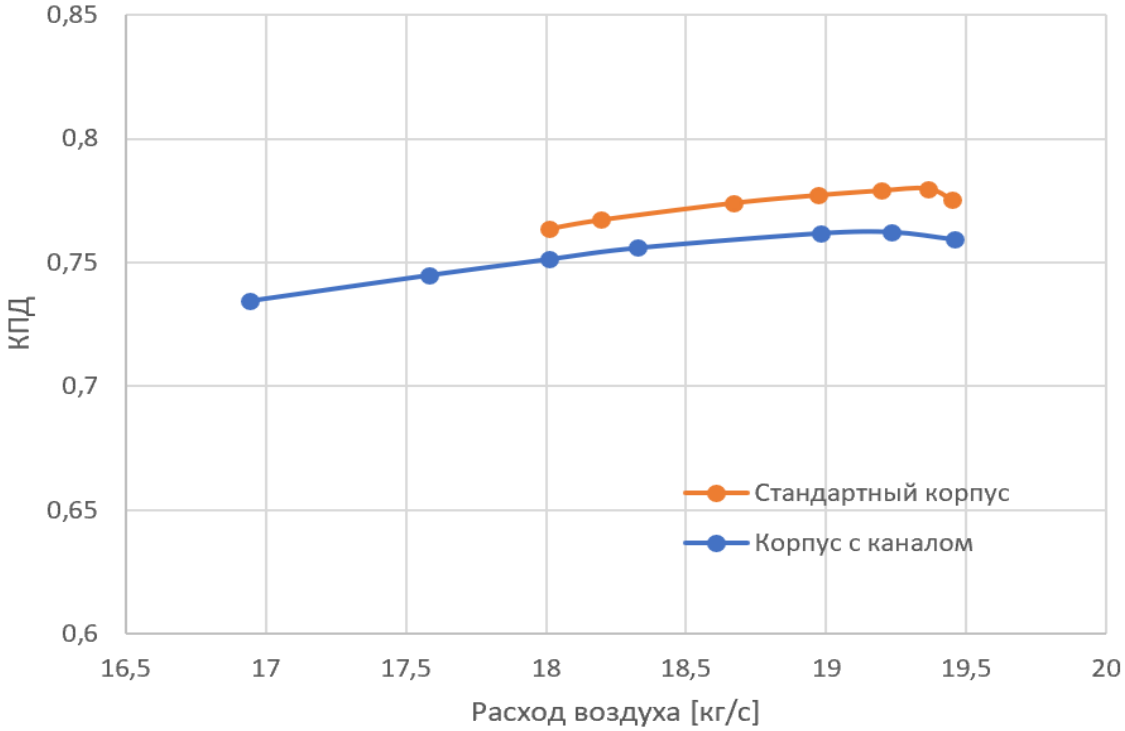


Рисунок 5. Коэффициент полезного действия компрессоров с обычным корпусом и корпусом, дополненным специальными перепускными каналами

После использования этого канала степень повышения давления компрессора увеличилась примерно на 2%, но это сопровождается снижением пикового КПД не более, чем на 2,5%.

Согласно формуле расчета запаса устойчивости компрессора S_M

$$S_M = \left(\frac{\pi_{stall}}{\pi_{peak}} * \frac{m_{peak}}{m_{stall}} - 1 \right) * 100\%, \quad (1.1)$$

где: π - степень повышения давления; m - массовый расход воздуха; *stall* – граница стабильной работы; *peak* – режим максимального КПД, данные изменения степени повышения давления и КПД приведут к уменьшению запаса устойчивости компрессора.

Рассчитанный на основе полученных характеристик (рисунок 4 и 5) запас устойчивости компрессора с различными корпусами приведен в таблице 2.

Таблица 2

Запас устойчивости компрессора в условиях низкого числа Рейнольдса при использовании различных корпусов

Тип корпуса компрессора	Запас устойчивости
Стандартный корпус	10,78%
Корпус со специальным осевым каналом	15,83%

Результаты, приведенные в таблице 2, подтверждают, что использование дополнительных специальных каналов на корпусе компрессора (каналов перепуска), помогает повысить запас устойчивости компрессора в условиях низкого числа Рейнольдса на 46%.

Подробное сравнение физической картины течения воздуха в межлопаточном канале позволяет объяснить причины увеличения запаса устойчивости компрессора в условиях низкого числа Рейнольдса при установке каналов перепуска на корпусе компрессора.

Распределение статического давления в корпусе компрессора с каналами показано на рисунок 6 и 7.

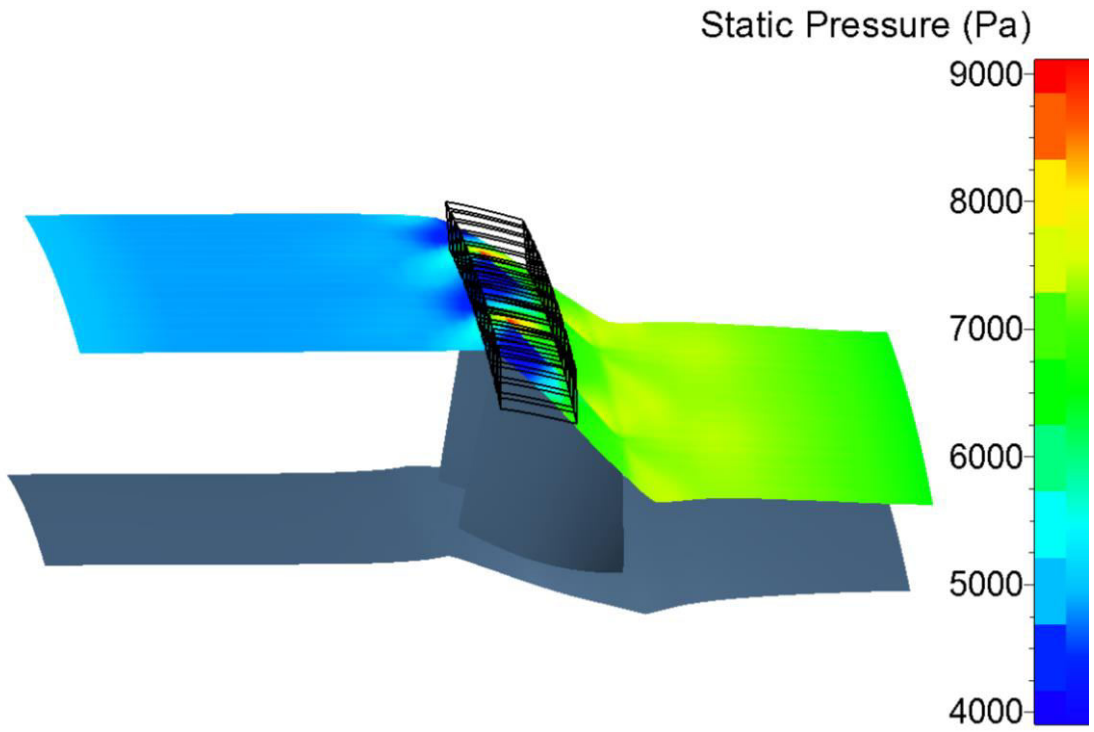


Рисунок 6. Распределение статического давления в корпусе компрессора

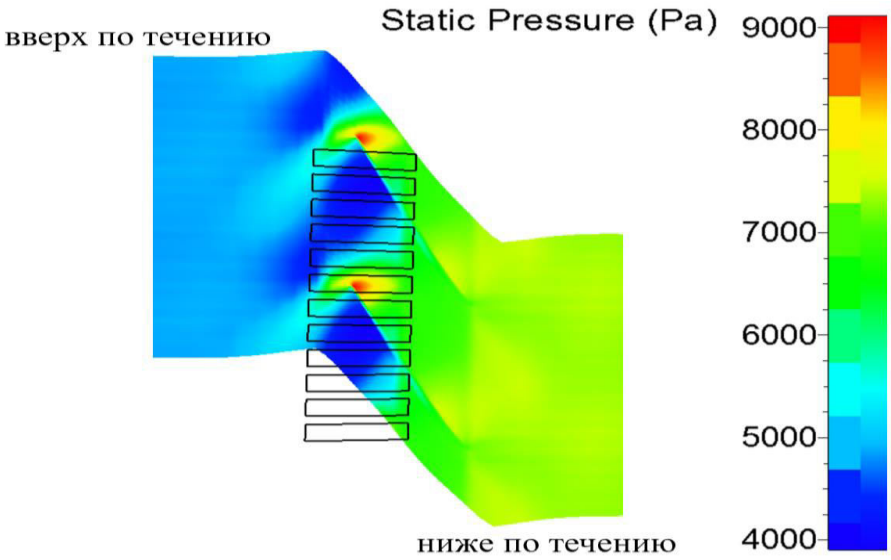


Рисунок 7. Распределение статического давления в корпусе компрессора вблизи каналов

Давление воздушного потока в межлопаточном канале растет в осевом направлении. У поверхности соединения перепускного канала с корпусом давление тоже различно, поэтому газ будет поступать в канал из места, где давление высокое, и выходить из канала в месте, где давление низкое. То есть отрывные зоны потока в диффузорной части межлопаточного канала, поднявшись по радиусу к корпусу компрессора, не загромождают поток, а устремляются в специальный канал на корпусе и перетекают навстречу потоку в зону меньшего давления [2]. На рисунке 8 и 9 показано распределение скорости вдоль радиального направления на поверхности соединения канала и оболочки. Из полученного распределения скорости на рисунке 8 следует, что воздух в большей части канала вниз по течению имеет положительную скорость, то есть поток сжатого воздуха радиально входит в канал и движется в зону с меньшего давления, то есть вверх по течению против основного потока. Затем воздух из канала возвращается в поток, в передней части канала, где радиальная скорость отрицательная, что хорошо видно на подробном поле скоростей на рисунке 9. Перетекание воздуха из задней части канала в переднюю обеспечивает уменьшение застойной зоны, сужающей проходное сечение межлопаточного канала. Тем самым повышается расход воздуха в компрессоре и растет степень повышения давления. Однако, из-за перетечек снижается объемный КПД компрессора, а соответственно и полный КПД.

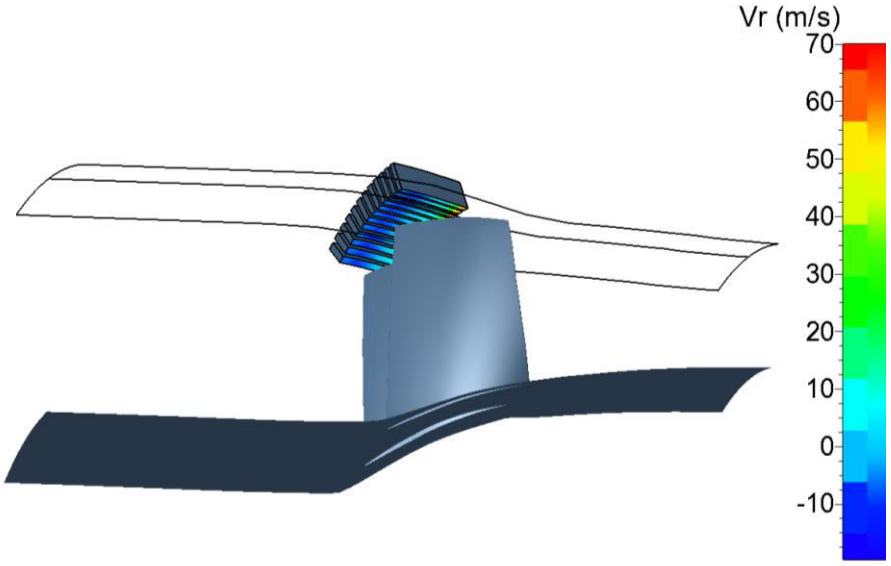


Рисунок 8. Распределение скоростей в радиальном направлении в канале

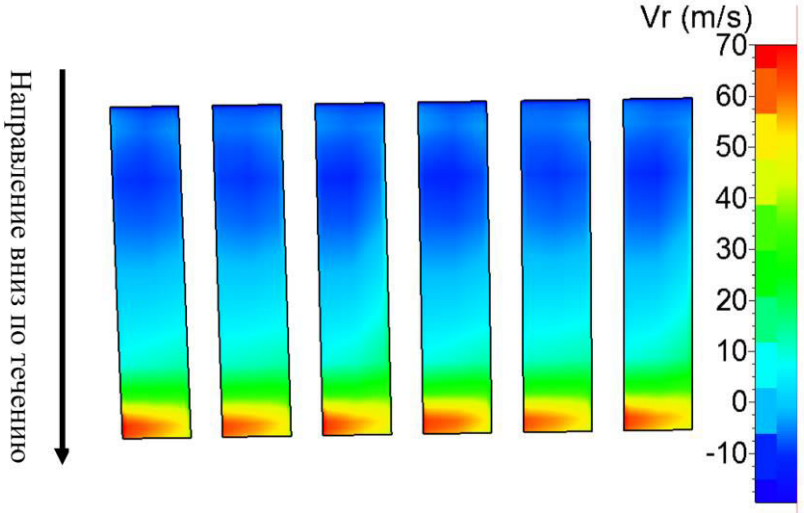


Рисунок 9. Подробная информация о распределении скоростей в радиальном направлении

Анализ течения в верхних областях лопаток подтверждает полученный вывод об уменьшении закупорки верхней части межлопаточного пространства за счет подсоединения перепускного канала к корпусу компрессора. На рисунке 10 и 11 показано поле относительной безразмерной скорости, числа Маха, на цилиндрической поверхности между лопатками. Радиус этой поверхности соответствует 95% высоты лопатки. Расход воздуха через базовый компрессор и компрессор с перепускными каналами равен 18,0 *кг/с*. Из рисунке 10 следует, что по мере прохождения воздуха по межлопаточному каналу базового компрессора, область с нулевой относительной скоростью, скоростью движения воздуха вдоль лопаток, возрастает. На входе в межлопаточный канал область с относительной скоростью равной нулю отсутствует, а на выходе из межлопаточного канала уже занимает более 3/4 проходного сечения. Тем самым образуется закупорка - значительное уменьшение проходного сечения, межлопаточного канала в верхней части лопатки.

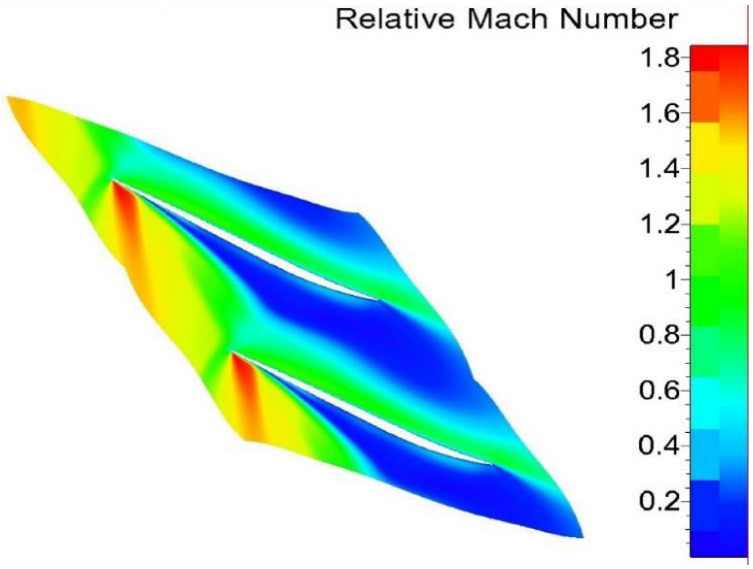


Рисунок 10. Относительная безразмерная скорость воздушного потока в продольном сечении, расположенном на 95% высоты лопатки с использованием стандартного корпуса

Для подтверждения предположения об отрыве потока от лопаток в диффузорной части межлопаточного канала при уменьшении числа Рейнольдса достаточно сравнить поле скоростей на той же цилиндрической поверхности при работе компрессора с добавленными специальными каналами перепуска на одинаковом режиме по оборотам и расходу воздуха (рисунок 11). Видно постепенное увеличение зоны нулевых скоростей от входа в

межлопаточный канала к выходу. Но при использовании переходных каналов на корпусе картина течения существенно меняется. К выходу из межлопаточного канала загромождение потока значительно меньше, чем в базовом компрессоре, и составляет не более 1/4 проходного сечения. Тем самым расход воздуха через компрессор с перепускными каналами на корпусе увеличивается, его объемный КПД растет, но степень сжатия уменьшается.

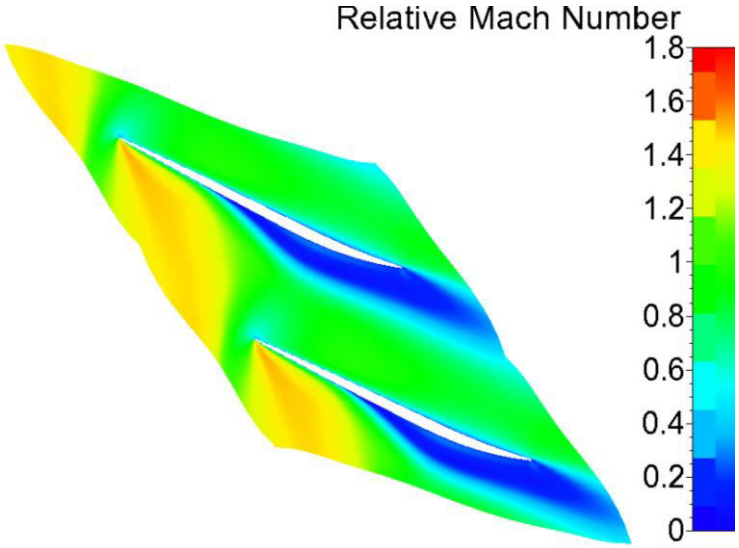


Рисунок 11. Относительная безразмерная скорость воздушного потока в продольном сечении, расположенном на 95% высоты лопатки с использованием корпуса с каналом

Таким образом, выявлено, что при уменьшении числа Рейнольдса изменяются основные характеристики осевого компрессора – падают степень сжатия и адиабатный КПД, что приводит к ухудшению характеристик двигателя, а также снижает запас устойчивости компрессора в целом.

Подтверждено, что использование дополнительных каналов на корпусе компрессора в области рабочих лопаток улучшает характеристики компрессора и значительно повышает запас устойчивости, уменьшая закупорку проточной области компрессора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Zhao J., Li Z., Luo Q., Lu X., Han G., Wang M.* Investigation of the flow mechanisms in an axial fan with casing treatment at different Reynolds numbers. Energy, 2025.

2. *Виноградов Б. С.* Газовая динамика [М]. Москва: Университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, 1965.

INCREASING THE STABILITY MARGIN OF AN AXIAL COMPRESSOR UNDER LOW REYNOLDS NUMBER CONDITIONS

Liang Yihong

Supervisor: Kharchuk S.I., Associate Professor, Candidate of Physico-Mathematical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. A decrease in the Reynolds number of the flow at the inlet of the compressor leads to deterioration of the characteristics of the axial compressor and a decrease in its stability margin. The paper substantiates a method for increasing the stability margin of the compressor under low Reynolds number conditions based on air bypass. The proposed technical solution made it possible to increase the stability margin of the compressor for low Reynolds numbers of the incident flow by 46% compared to the baseline version.

УДК 621.43.018

ПРИМЕНЕНИЕ ЭНТРОПИЙНОГО АНАЛИЗА К ИССЛЕДОВАНИЮ ТЕЧЕНИЯ В МЕЖЛОПАТОЧНОМ КАНАЛЕ ТУРБИННОЙ РЕШЕТКИ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Михайлов Д.В.

Научный руководитель: Сутягин А.Н., первый проректор – проректор по науке и цифровой трансформации, к. т. н., Белова С.Е., доцент, к. т. н.

(Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева, г. Рыбинск)

Аннотация. В докладе рассматривается вопрос возможности применения подхода в рамках энропийного анализа к исследованию течения в межлопаточном канале решетки турбины газотурбинного двигателя. Приведены результаты изучения соответствия течения в межлопаточном канале признакам сложной открытой системы.

Течение в межлопаточном канале во многом определяется влиянием вторичных масс, что непосредственно сказывается на аэродинамическом совершенстве решетки профилей и во многом – на эффективности системы охлаждения лопаток.

Как известно из внутренней аэродинамики турбин, перед решеткой профилей пограничный слой сворачивается в систему вихрей, образующей при обтекании входной кромки так называемый подковообразный вихрь, ветви которого простираются вдоль спинок и корытец лопаток. Ветви подковообразного вихря соединяются, образуя канальный вихрь. В сопловых аппаратах данный процесс происходит на обеих торцевых полках, т. о. канальных вихрей появляется два. В зависимости от высоты решетки эти вихри либо двигаются независимо друг от друга, либо находятся во взаимодействии (слабом при более высоких лопатках, сильном – при более низких высотах решетки, в этом случае вихри начинают взаимодействовать ядрами и со временем разрушаются).

Кроме канальных вихрей при изучении течения в межлопаточном канале турбинной решетки необходимо учитывать феномен стекания пограничного слоя со спинки лопатки, а также отрывные явления, действие угловых вихрей.

Интересно в плане фундаментальных исследований и важно для практики создание полноценной модели течения в межлопаточном канале турбинной решетки, которая позволяла бы исследовать влияние многочисленных геометрических и физических параметров на аэродинамические характеристики турбинной решетки. Но сложность самого процесса течения и сложность взаимовлияний различных факторов на него, а также элементов течения друг на друга делают эту задачу практически нерешаемой в рамках системного анализа.

Исследованием сложных систем в настоящее время занимается преимущественно системный анализ. Согласно общей концепции системного анализа, «модель сложной системы должна учитывать общесистемные закономерности» [1]. Вместе с тем, несмотря на остаточное **к**оличество работ по этой тематике, сегодня так и не создано полноценной теории **м**оделирования сложных систем, которая могла бы позволить путем численного моделирования изучать различные явления.

Рассмотрим проблематику системного моделирования на примере работы [2]. Авторы приводят рекомендации по практическому применению положений общей теории систем.

Суть данного подхода заключается в формализации частных моделей. Однако автор упускает важный момент – нет системных и конструктивных рекомендаций для движения от частного к общему.

В работе [3] автор, рассматривая вопрос описания объекта моделирования как наиболее значимого этапа построения модели сложной системы, обращает внимание на следующие нюансы:

1) выбор показателей качества, отражающих цели моделирования;

2) определение управляющих переменных, выбор состава контролируемых характеристик объекта моделирования;

3) детализация описания функционирования системы;

4) представление информации о воздействии внешней среды.

В качестве одного из направлений исследования сложных систем хороший результат может дать энтропийное моделирование. Энтропия является универсальным физическим параметром, позволяющим объединять различные проявления физического мира в единое целое. В самом общем виде под энтропией понимают меру рассеяния энергии и увеличения форм беспорядка, меру необратимого рассеивания энергии. Надо иметь в виду, что не всю энергию системы можно использовать для превращения в полезную работу. Например, авторы работы [4] трактуют энтропию как меру структурного разнообразия систем.

Известно, что энтропия является фундаментальным свойством любых систем с неоднозначным, или вероятностным, поведением. Понятие энтропии достаточно гибкое, чтобы допускать четкую интерпретацию в терминах того раздела науки, где применяется. Энтропия используется в науке для описания структурной организации и дезорганизации, степени разрушения связей между элементами системы. Поэтому представляется, что «энтропия может выступать в роли универсального параметра и идеально подходит для решения рассматриваемых задач о поведении сложных стохастических систем» [5].

Таким образом, энтропия как общесистемный фактор способна удовлетворять требованиям к моделям сложных систем. Поэтому энтропийное моделирование можно отнести к числу перспективных и актуальных направлений исследования сложных систем, которое целесообразно применить к сложным техническим объектам, например, таким как турбина газотурбинного двигателя.

Если рассмотреть турбину газотурбинного двигателя (ГТД) как систему, то её следует отнести к открытой сложной системе. Известно, что открытые системы обмениваются с окружающей средой веществом и энергией [6]. В турбину из камеры сгорания подается горячий газ, из последней ступени турбины газ истекает через сопло в атмосферу, а теплоотвод от турбины идет и через корпуса, таким образом, имеются оба фактора, относящие турбину ГТД к открытым системам.

Определим признаки систем на основании работы Тырсина А.Н. [6]. Это позволит нам более детально рассмотреть соответствие течения в межлопаточном канале принципам энтропийного анализа.

1) система обладает другими (новыми) свойствами по сравнению с элементами, составляющими эту систему;

2) система – это организационное единство её элементов. Нарушение взаимосвязей ведет к разрушению системы;

3) системы создаются для достижения поставленной цели. Не существует систем, не решающих никаких задач.

Если рассматривать турбину ГТД как систему, то она вполне удовлетворяет этому перечню признаков. Можно определить соответствие признакам следующим образом:

1) рабочее колесо имеет одни свойства, сопловой аппарат – другие, а ступень обладает собственными аэродинамическими свойствами;

2) да, нарушение связей между деталями разрушает ступень;

3) цель ступени турбины – преобразование энергии рабочего тела в механическую работу вращения ротора.

Если полагать, что турбина – это сложная система, то ступени будут выступать подсистемами. Например, Черняк Ю.И. [7] называет сложными системами такие, которые нельзя скомпоновать из подсистем. Турбину нельзя скомпоновать, например, только из колес статора или только из колес ротора.

Пригожиным И.Р. [8] сформулирована идея, что «при объединении частиц в систему у последней появляются новые (системные) свойства, которые отсутствуют у каждой из частиц, взятой в отдельности, при этом также имеется в виду, что если мы знаем свойства

каждой частицы, то исходя только из этого знания, нам не удастся предсказать все свойства системы, образованной этими частицами». Если рассмотреть различные характеристики каждой отдельной ступени турбины, то они, разумеется, будут отличаться от характеристик турбины в целом. Также если рассматривать отдельно рабочие колеса и сопловые аппараты, их параметры, функции, условия работы и характеристики не совпадут с параметрами, функциями, условиями работы и характеристиками турбины.

Особенности сложных систем – неопределенный (стохастический) характер поведения и наличие множества сложным образом взаимосвязанных между собой элементов [6]. Известно, что газотурбинный двигатель – один из самых сложных механизмов, то же можно сказать и отдельно о турбине. Разнообразие деталей, влияние их конструкции на работу турбины, взаимодействие лопаточных венцов в плане газодинамики, влияние многих параметров на тепловое состояние деталей, влияние системы охлаждения на конструктивный облик элементов турбины и её надежность – все взаимосвязи в работе турбины трудно перечислить.

В этой ситуации с позиций теории энтропии сложную систему представляют в виде случайного вектора Y = (Y1, Y2, … , Yz). Каждая компонента этого вектора является одномерной случайной величиной, характеризующей функционирование соответствующего элемента всей системы. Основная проблема изучения таких систем – неоднозначность выбора элементов системы. Но что касается течения в межлопаточном канале турбинной решетки, эта проблема решаема, и применение описанного подхода дает широкие перспективы для исследователей и проектировщиков газотурбинных двигателей.

Таким образом, применение к представлению течения в межлопаточном канале турбинной решетки методов энтропийного анализа позволит создать его модель, содержащую максимально корректные взаимосвязи различных параметров – геометрических, аэродинамических, тепловых. Описывая каждый элемент течения в рамках энтропийного подхода и объединяя их в систему, можно получить мобильную с позиции вариативности в целях исследования модель, способную давать для проектировщика достаточно корректные решения без сложного и дорогостоящего физического эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Прангишвили И.В.* Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами. М.: Наука, 2003.

2. *Волкова В.Н., Денисов А.А.* Основы теории систем и системного анализа. СПб.: Изд-во ПбГТУ, 1999.

3. *Антонов А.В.* Системный анализ. М.: Высшая школа, 2004.

4. *Благин А.В., Благина Л.В., Попова И.Г., Сахарова Ю.В*. Энтропийный анализ сложных систем как инструмент инженерной деятельности // ИВД. 2018. №4 (51). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/entropiynyy-analiz-slozhnyh-sistem-kak-instrument-inzhenernoy-deyatelnosti (дата обращения: 30.06.2025).

5. *Timashev S.A., Tyrsin A.N.* Entropy approach to risk-analysis of critical infrastructures systems // First International Conference on Vulnerability and Risk Analysis and Management. Fourth International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis. Proc. of the ICVRAM 2011 and ISUMA 2011 Conf. 2011. P. 147–154.

6. *Тырсин А.Н.* Векторное энтропийное моделирование многомерных стохастических систем / А.Н. Тырсин. – М.: Наука, 2022.

7. *Черняк Ю.И.* Системный анализ в управлении экономикой. М.: Экономика, 1975.

8. *Николис Г., Пригожин И.* Самоорганизация в неравновесных системах: от диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации: Пер. с англ. М.: Мир, 1979.

APPLICATION OF ENTROPY ANALYSIS TO STUDY THE FLOW IN THE INTERSCAPULAR CHANNEL OF A GAS TURBINE ENGINE

Mikhailov D.V.
Supervisors: Sutyagin A.N., First Vice-Rector – Vice-Rector for Science and Digital Transformation, Candidate of Engineering Sciences,
Belova S.E., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(*Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solovyov, Rybinsk*)

Abstract. The report discusses the possibility of applying the entropy analysis approach to the study of flow in the interblade channel of the turbine lattice of a gas-turbine engine. The results of studying the compliance of the flow in the interblade channel with the features of a complex open system are presented.

УДК 621.45

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ В ПЛОСКИХ НЕОХЛАЖДАЕМЫХ РЕШЕТКАХ ТУРБИН

Нгуен Т.Б., Якимов А.Е.
Научный руководитель: Горячкин Е.С., доцент, к. т. н.
(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара)

Аннотация. Исследование посвящено нестационарному моделированию потока в плоской решётке турбины. Полученные результаты сопоставлены с данными стационарного расчёта и экспериментальными данными для оценки расхождений и прогностической точности нестационарной модели.

Профиль решетки основан на профиле №168 из Атлас экспериментальных характеристик плоских решеток охлаждаемых газовых турбин [1]. Высота решетки принята равной h = 100 мм. Основные геометрические параметры профиля решетки приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные геометрические параметры профиля

№	Наименование	Обозначение	Размерность	Значение
1	Шаг	t	мм	46,972
2	Хорда	l	мм	82,05
3	Радиус входной кромки	r_1	мм	2,868
4	Радиус выходной кромки	r_2	мм	1,495
5	Угол установки	γ	град	62,5
6	Угол отгиба косого среза	θ	град	20,173
7	Лопаточный угол на входе	β_1	град	36,05
8	Лопаточный угол на выходе	β_2	град	19,963
9	Эффективный угол на выходе	$\beta_{2\,эф}$	град	17,88
10	Угол заострения на входе	ω_1	град	18,02
11	Угол заострения на выходе	ω_2	град	10,32

Построение сеточной модели решётки выполнено в Numeca AutoGrid5, для корректного расчёта пограничного слоя была построена структурированная гексаэдральная сетка со сгущением у стенок. Ключевые параметры сетки при $y^+ \approx$ 1: толщина пристеночного слоя y_1 = 0,001 мм, коэффициент роста элементов от стенки $ER = y_{i+1} / y_i = 1,2$

, отношение размеров максимального и пристеночного элементов $MR = y_\infty / y_1 \approx 1500$. Созданная сеточная модель состояла из 6,544 млн. элементов. Вид расчетной сетки в поперечном сечении межлопаточного канала представлен на рис. 1, на рис. 2 показано распределение элементов расчетной сетки по высоте проточной части.

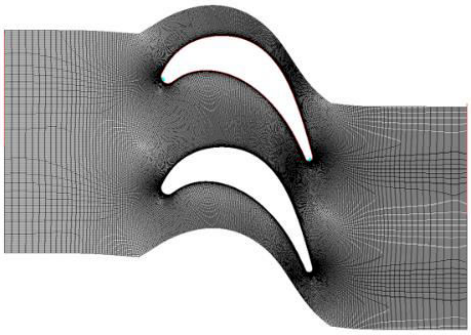


Рисунок 1. Расчетная сетка межлопаточного канала решетки

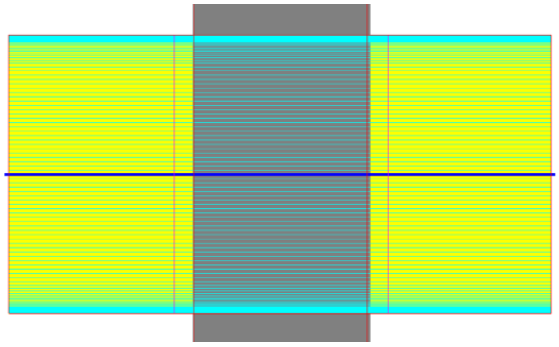


Рисунок 2. Меридиональный вид расчетной сетки решетки

Численное моделирование течения в решётке проведено в программном пакете Ansys CFX. Расчеты проводились с следующими граничными условиями: на входе задано полного давления p_0^* = const, полной температуры T_0^* = const и угла потока β_1 = var. На выходе варьировалось статическое давление p_2 = var. Модель турбулентности была выбрана SST $k-\omega$ [2]. Результаты стационарного расчета использовались в качестве начального решения для инициализации нестационарного. Расчёт выполнялся с шагом по времени Δt = 1e-5 с для соблюдения условия числа CFL < 10 [2], общее количество шагов $N_{\Delta t}$ не превышало 2000.

Обработка параметров: плотности ρ_{2i}, скорости c_{2i}, давления p_{2i} и угла β_{2i} выполнялось по высоте h_j в n точках (n > 100) на расстоянии горла решётки a_2 от выходной кромки.

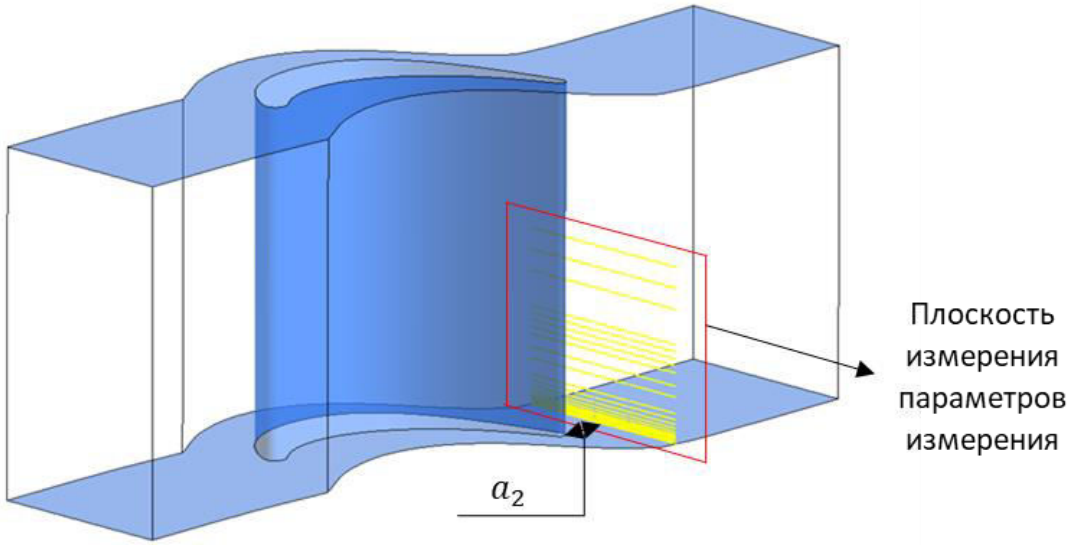


Рисунок 3. Положение точек измерения параметров

Средние значения параметров на каждой высоте h_j на t_k-ом временном шаге определяются по следующим формулам [1]:

$$p_{2cp} = \frac{1}{t}\int p_2 dy \qquad (1)$$

$$c_{2cp} = \frac{\int p_2 c_2^2 dy}{\int p_2 c_2 dy} \tag{2}$$

$$\beta_{2cp} = \arctan\left(\frac{\int p_2 c_2^2 \sin\beta_2 \sin\beta_2 dy}{\int p_2 c_2 \sin\beta_2 \cos\beta_2 dy}\right) \tag{3}$$

Средние значения параметров на выходе из решётки p_{2cp}, c_{2cp}, β_{2cp} находились аналогичным образом путём численного интегрирования выражения:

$$p_{2cp} = \frac{1}{t}\sum_{i=1}^{n-1}\left[\frac{p_{2i} + p_{2i+1}}{2}\left(y_{i+1} - y_i\right)\right] \tag{4}$$

$$c_{2cp} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1}\left[\frac{p_{2i}c_{2i}^2 \sin\beta_{2i} + p_{2i+1}c_{2i+1}^2 \sin\beta_{2i+1}}{2}\left(y_{i+1} - y_i\right)\right]}{\sum_{i=1}^{n-1}\left[\frac{p_{2i}c_{2i} \sin\beta_{2i} + p_{2i+1}c_{2i+1} \sin\beta_{2i+1}}{2}\left(y_{i+1} - y_i\right)\right]} \tag{5}$$

$$\beta_{2cp} = \arctan\left\{\frac{\sum_{i=1}^{n-1}\left[\frac{p_{2i}c_{2i}^2 \sin\beta_{2i} \sin\beta_{2i} + p_{2i+1}c_{2i+1}^2 \sin\beta_{2i+1} \sin\beta_{2i+1}}{2}\left(y_{i+1} - y_i\right)\right]}{\sum_{i=1}^{n-1}\left[\frac{p_{2i}c_{2i} \sin\beta_{2i} \cos\beta_{2i} + p_{2i+1}c_{2i+1} \sin\beta_{2i+1} \cos\beta_{2i+1}}{2}\left(y_{i+1} - y_i\right)\right]}\right\} \tag{6}$$

Значения параметров изоэнтропической скорости потока c_{2s}, изоэнтропической приведенной скорости потока λ_{2s}, коэффициента скорости φ и суммарного коэффициента потери ξ определяются по следующим формулам:

$$c_{2s} = \sqrt{2\frac{k}{k-1}RT_1^*\left[1 - \left(\frac{p_{2cp}}{p_1^*}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]} \tag{7}$$

$$\lambda_{2s} = \frac{c_{2s}}{\sqrt{\frac{2k}{k+1}RT_1^*}} \tag{8}$$

$$\varphi = \frac{c_2}{c_{2s}} \tag{9}$$

$$\xi = 1 - \varphi^2 \tag{10}$$

где k – показатель адиабаты воздуха;

R – постоянная воздуха.

Для каждого значения высоты h_j суммарный коэффициент потери ξ может быть выражен как сумма коэффициента профильных потерь $\xi_{пр}$ и коэффициента вторичных потерь $\xi_{вт}$. Расчёт суммарного коэффициента потерь ξ определяется по формуле:

$$\xi = \xi_{пр} + \xi_{вт} \tag{11}$$

После расчёта значений параметров λ_{2s}, ξ, β_{2cp} на каждой высоте h_j для всех временных шагов был определён период их колебаний T и количество периодов N в области регулярных колебаний (рис. 4). Результаты расчетов показали, что период колебаний параметров на каждой высоте одинаков.

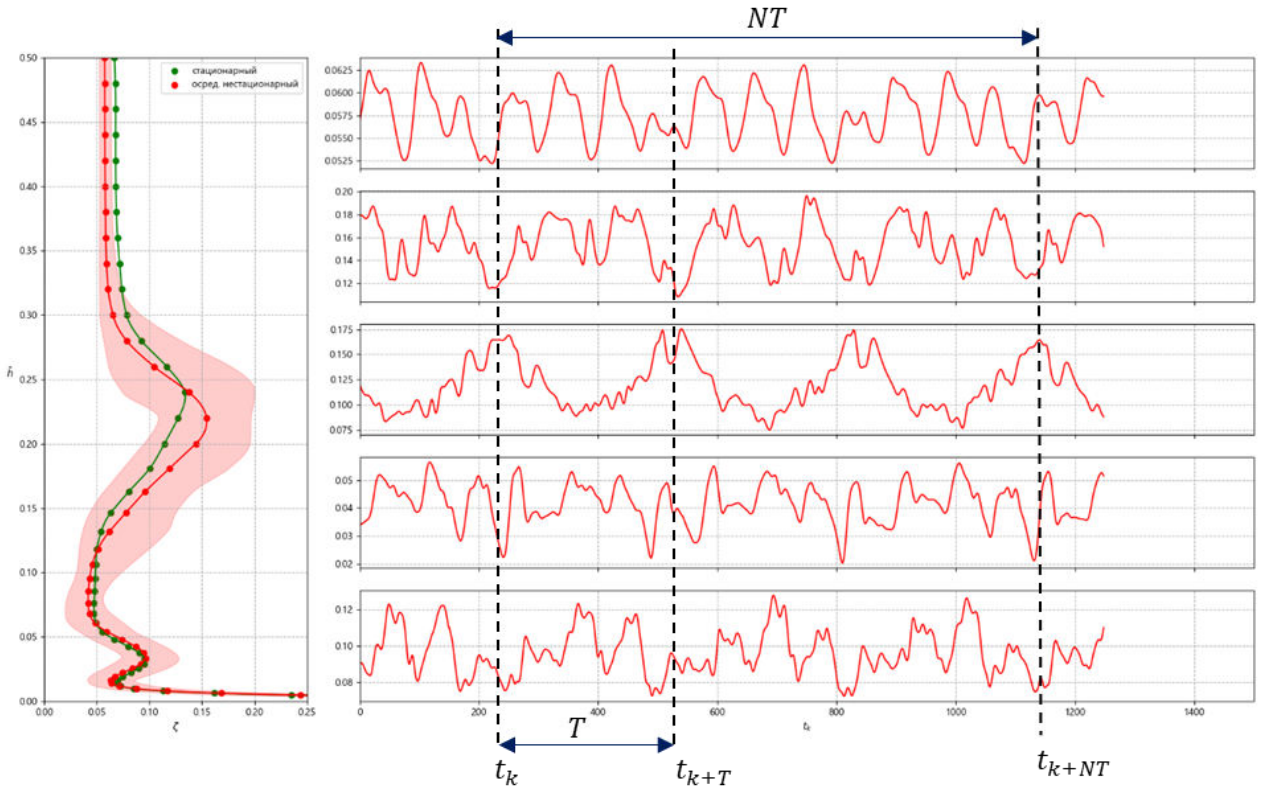


Рисунок 4. Зависимость $\xi_{h_j} = f(t_k)$ при $\beta_1 = 24$ град и $\lambda_{2s} = 1{,}0$

Средние значения параметров λ_{2s}, ξ и β_{2cp} на всех временных шагах на высоте h_j определяются по следующей формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{t=t_k}^{t_{k+NT}} x_t}{t_{k+NT} - t_k + 1} \tag{12}$$

где t_k – начальный временной шаг первого цикла;

t_{k+NT} – конечный временной шаг N-го цикла;

Поскольку решетки состоят из одинаковых профилей лопаток и одинакового угла потока на входе по высоте решётки, на который не влияют центробежные силы, можно допустить, что профильные потери ξ_{np} должны быть равны для различных высот, а изменение потерь по высоте связано с вторичными потерями $\xi_{вт}$. Как видно из рис. 5, при $\beta_1 = 24$ град и $\lambda_{2s} = 1{,}0$ суммарный коэффициент потерь ξ остается практически постоянным в области с $\bar{h} \geq 0{,}35$, что подтверждает влияние только профильных потерь в средней области. В то же время, в области $\bar{h} \leq 0{,}35$, где возникает заметное колебание эпюры потерь, объясняется влиянием вторичных потерь. Аналогично при $\beta_1 = 40$ град и $\lambda_{2s} = 1{,}0$ (рис. 7).

При $\beta_1 = 24$ град, $\lambda_{2s} = 1{,}0$ в нестационарной постановке наблюдается значительное (до 0,1) изменение значений (амплитуда) суммарного коэффициента потерь ξ, что особенно заметно в области влияния вторичных вихрей $\bar{h} \leq 0{,}35$. А при $\beta_1 = 40$ град, $\lambda_{2s} = 1{,}0$ изменение значений суммарного коэффициента потерь ξ не так значительно и имеет хорошее совпадение при нестационарном и стационарном моделировании (рис. 7).

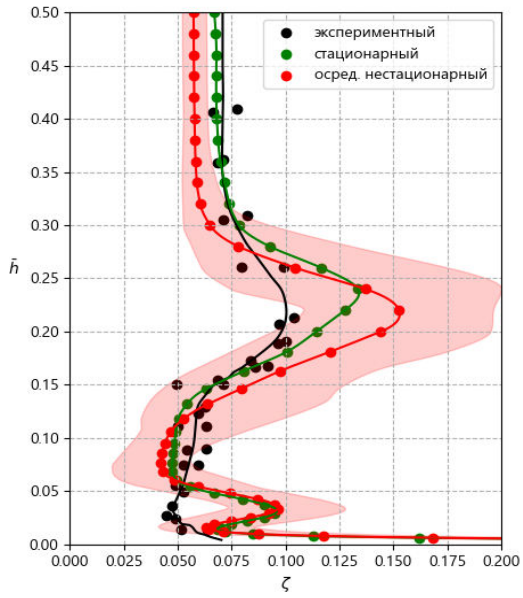


Рис. 5. Зависимость $\xi = f\left(\bar{h}\right)$ при $\beta_1 = 24$ град и $\lambda_{2s} = 1{,}0$

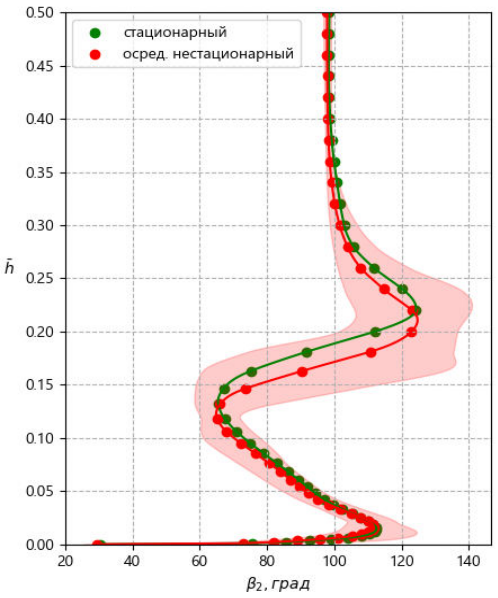


Рис. 6. Зависимость $\beta_2 = f\left(\bar{h}\right)$ при $\beta_1 = 24$ град и $\lambda_{2s} = 1{,}0$

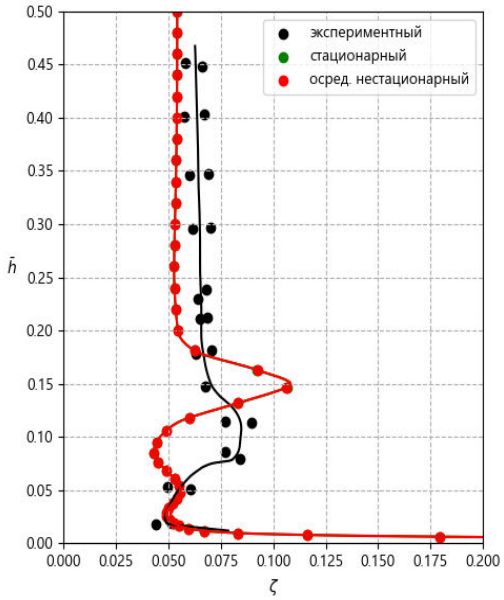


Рис. 7. Зависимость $\xi = f\left(\bar{h}\right)$ при $\beta_1 = 40$ град и $\lambda_{2s} = 1{,}0$

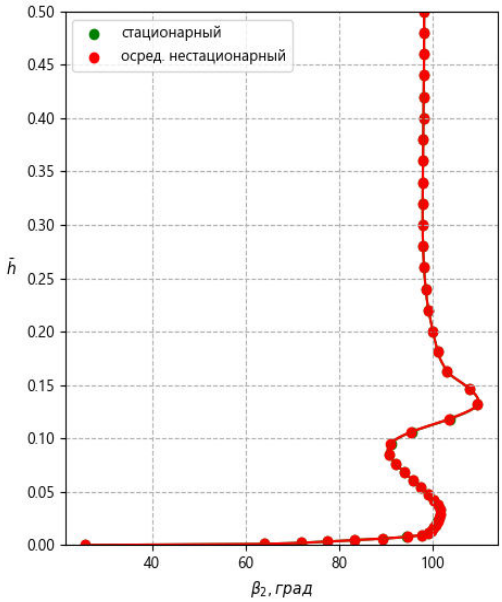


Рис. 8. Зависимость $\beta_2 = f\left(\bar{h}\right)$ при $\beta_1 = 40$ град и $\lambda_{2s} = 1{,}0$

На рис. 9 и рис. 10 показаны профильные потери ξ_{np} в зависимости от приведенной скорости на выходе λ_{2s}. В дозвуковых областях ($\lambda_{2s} \le 0{,}85$) среднее значение коэффициента профильные потерь ξ_{np} нестационарного моделирования и стационарного моделирования почти одиноковы, а в транзвуковых областях наблюдается различие при большом угле атаки i ($\beta_1 = 24$ град) и хорошее совпадение при углах атаки i близким к нулю ($\beta_1 = 40$ град). В дозвуковых областях амплитуда колебаний коэффициента профильных потерь ξ_{np} больше чем в транзвуковых областях областях как и большом угле атаки i, так и при близком к нулю.

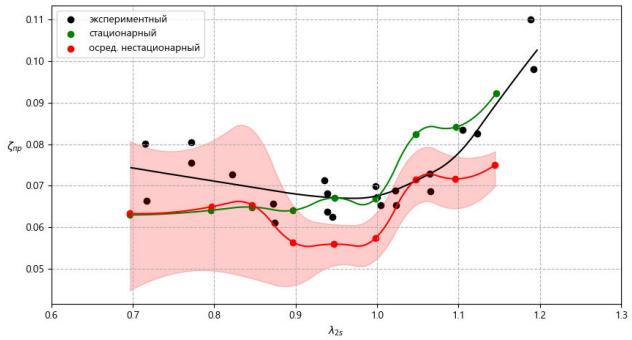


Рисунок 9. Зависимость $\xi_{пр} = f(\lambda_{2s})$ при $\beta_1 =$ 24 град

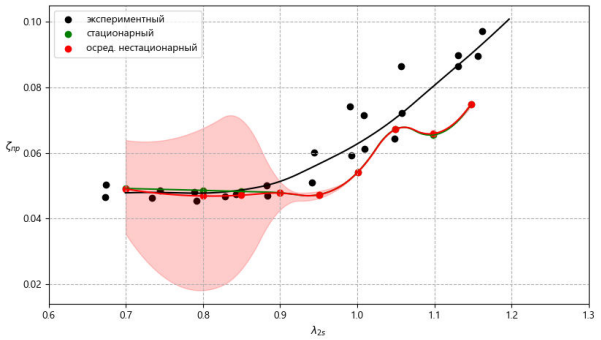


Рисунок 10. Зависимость $\xi_{пр} = f(\lambda_{2s})$ при $\beta_1 = 40$ град

Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках государственного задания (номер проекта FSSS-2023-0008, «Фундаментальные проблемы динамики и виброакустики в гидравлических и газовых системах машин и энергетических установок»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *В.Д. Венедиктов, А.В. Грановский, А.М. Карелин, А.Н. Колесов, М.Х. Мухтаров*. Атлас экспериментальных характеристик плоских решеток охлаждаемых газовых турбин. М.: Машиностроение, 1990. С. 393.

2. Ansys CFX-Pre User's Guide – Текст: электронный. – 2021. – URL: https://dl.cfdexperts.net/cfd_resources/Ansys_Documentation/CFX/Ansys_CFX-Pre_Users_Guide.pdf.

INVESTIGATION OF UNSTEADY FLOW IN FLAT, UNCOOLED TURBINE CASCADES

Nguyen T.B., Yakimov A.E.

Supervisor: Goryachkin E.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara)

Abstract. This research focuses on the unsteady flow simulation in a planar turbine cascade. The results were then compared with data from a steady-state simulation and experimental data to evaluate the discrepancies and the predictive accuracy of the unsteady model.

УДК 621.454.3 + 621.45.02

ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ПОТЕРЬ УДЕЛЬНОГО ИМПУЛЬСА ИЗ-ЗА ДВУХФАЗНОГО ТЕЧЕНИЯ В СОПЛЕ РДТТ КЛАССИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Нигматуллин Б.Д., Цивильский М.А.

Научный руководитель: Сабирзянов А.Н., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. Известно, что для увеличения энергетических характеристик твердого ракетного топлива (ТРТ) в последние добавляют металлические горючие компоненты с высокой теплотой сгорания. При работе твердотопливного ракетного двигателя (РДТТ) из-за наличия металла в топливе происходит образование конденсированных частиц, размер которых может достигать от нескольких десятков до сотен микрометров. Наличие этих частиц в продуктах сгорания приводит к усложнению физической картины течения в тракте двигателя по сравнению с однофазным течением. При течении в сопле ускорение частиц происходит лишь под воздействием аэродинамических сил, возникающих при обтекании

газом, из-за которого имеет место отставание частиц по скорости. Скоростная неравновесность двухфазного течения в сопле является причиной дополнительных потерь удельного импульса [1].

Для исследования влияния двухфазного течения на потери удельного импульса в сопле был проведен численный расчет РДТТ классической схемы (рис. 1) в осесимметричной постановке с использованием программного пакета Ansys Fluent. Расчетная область была дискретизирована структурной сеткой с общим количеством элементов около 211 тыс. Минимальное ортогональное качество составило 0,5, соотношение сторон (Aspect Ratio) – 6, что говорит о высокой точности результатов решения. Пристеночные области были сгущены для корректного определения параметров пограничного слоя, значение безразмерного расстояния y+ у стенок не превышало 1.

Моделирование газодинамики осуществлялось с помощью подхода, основанного на решении осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса, замкнутых двухпараметрической моделью турбулентности Transition SST с типовым набором модельных констант. Выбор модели турбулентности Transition SST обусловлен ее способностью более точно предсказывать переход ламинарного течения в турбулентное и поведение в пограничном слое по сравнению со стандартной k-ε моделью, что критически важно для корректного расчета теплообмена и трения в сопле. Моделирование дисперсной фазы проводилось в рамках подхода Эйлера-Лагранжа, где газовая фаза рассматривается как сплошная среда (уравнения Эйлера), а движение каждой частицы отслеживается вдоль ее траектории путем интегрирования уравнения движения (уравнение Лагранжа). Уравнение движения частицы учитывало силу аэродинамического сопротивления (с использованием корреляции по Шиллеру-Науманну), силу Сэффмана (подъемную силу из-за сдвига скоростей), а также силу термодиффузии (из-за градиента температуры). Для учета инерционности частиц на больших скоростях использовался способ High-Mach-Number, позволяющий корректно описать взаимодействие частиц с газовой фазой. Влияние частиц на газовую фазу (обратное влияние, Two-Way Coupling) учитывалось по импульсу и энергии. Столкновениями, коагуляцией и дроблением частиц пренебрегали ввиду их низкой объемной концентрации.

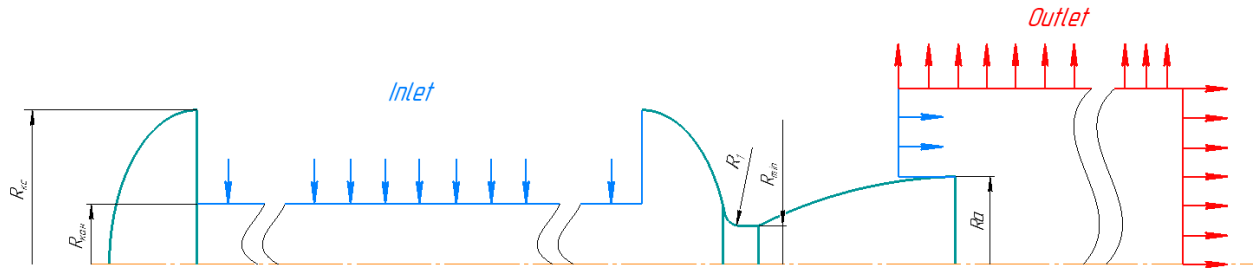


Рис.1. Расчетная схема РДТТ

Геометрические параметры РДТТ не изменялись. Стенки сопла и участков днищ принимались гладкими с условиями прилипания и непротекания. Теплообмен со стенкой не учитывался. На выходе из расчетной области задавалось постоянство атмосферного давления. Рабочее тело с температурой 2888 К и молекулярным весом 28,966 кг/кмоль подавалось в камеру сгорания (КС) с поверхности горения ТРТ с массовым расходом 21,62 кг/с; давление в КС принималось равным 7 МПа. Изменение параметров рабочего тела по тракту двигателя подчинялось уравнению состояния идеального газа; теплоемкость задавалась полиномиальным законом, а вязкость изменялась по закону Сазерленда. Частицы принимались инертными и вдувались в среду моделирования с постоянной массовой долей конденсированной фазы z = 0,046. Для каждого фиксированного диаметра частиц dz (в диапазоне от 1 до 100 мкм) в расчете отслеживались траектории частиц. Число траекторий

задавалось обратно пропорционально размеру частиц, в соответствии с их количеством в расчетной зоне и массовым расходом конденсированной фазы.

Система уравнений решалась с использованием сопряженного решателя по давлению COUPLED, связывающего давление и скорость неявным образом. Дискретизация конвективных членов уравнений осуществлялась схемой второго порядка точности. Расчет считался сходящимся при падении невязок на 6 порядков и стабилизации давления, температуры и скорости в расчетной схеме.

Критерием оценки выступал коэффициент сопла, который приближенно можно определить по формуле (1):

$$\varphi_c = \frac{w_a}{w_a^{\text{ид}}}, \quad (1)$$

где $w_a^{\text{ид}} = \sqrt{\frac{2n}{n-1} RT_0 \left[1 - \left(\frac{p_a}{p_0}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right]}$ – идеальная скорость на срезе сопла; n и p_a– показатель изоэнтропы и статическое давление на срезе сопла.

Результаты исследования представлены графиком зависимости коэффициента сопла φc от диаметра частиц dz (рис. 2). Анализ данных показывает немонотонный характер зависимости. Коэффициент сопла снижается от значения 0,978 для частиц диаметром 1 мкм до минимального значения φc = 0,958 для частиц диаметром 6 мкм, что соответствует потерям удельного импульса около 4,2% по сравнению с однофазным течением. При дальнейшем увеличении размера частиц до 100 мкм коэффициент сопла практически линейно растет до значения 0,966. Таким образом, можно сделать вывод, что для данной схемы РДТТ наибольшие потери удельного импульса в сопле вызываются частицами с размерами от 3 до 15 мкм.

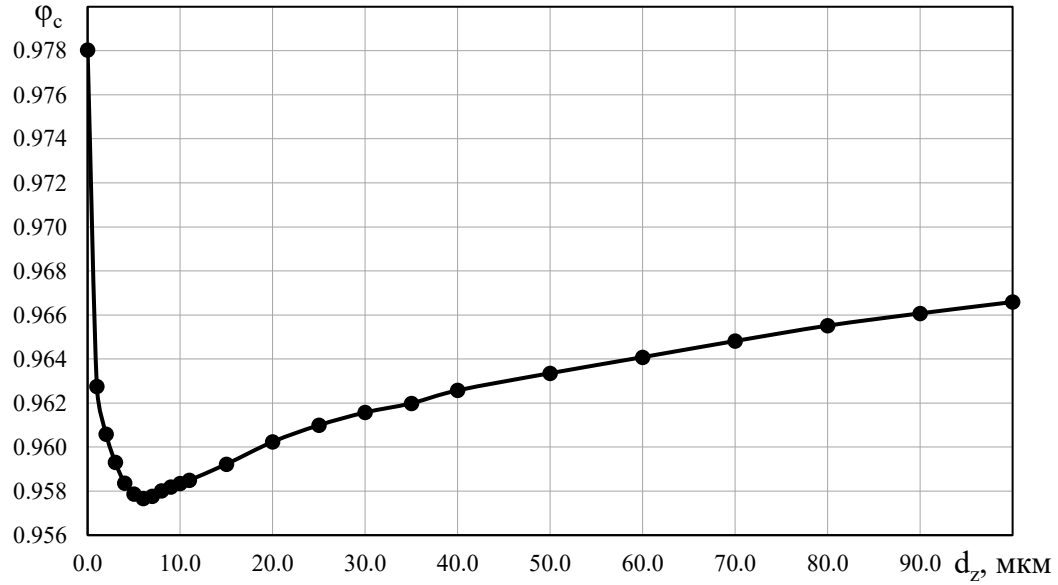


Рис.2. График зависимости изменения коэффициента сопла от диаметра частиц

Полученная немонотонная зависимость имеет следующее физическое объяснение. Мелкие частицы (dz < 3 мкм) обладают малой инерцией и эффективно ускоряются потоком газа, практически не отставая от него по скорости (скоростная неравновесность мала). С ростом размера частиц (3-15 мкм) их инерция увеличивается, что приводит к значительному отставанию по скорости от газовой фазы. При этом площадь поверхности частиц все еще достаточно велика для интенсивного аэродинамического взаимодействия, что вызывает максимальные потери энергии газа на их ускорение. Для крупных частиц (dz > 15 мкм) инерция становится доминирующей. Из-за очень большой инерции такие частицы практически не успевают ускориться в сопле, и скоростная неравновесность по отношению к

газу остается высокой. Однако из-за малого отношения площади поверхности к массе взаимодействие с газом ослабевает — газ в меньшей степени взаимодействует с этими частицами, «обходя» их. Энергозатраты на их ускорение снижаются, что и объясняет рост φc для крупных фракций.

Подобное немонотонное влияние на тяговые характеристики РДТТ можно наблюдать в работе [2], в котором исследовалось двухфазное течение в сопле с коническими входным и выходным участками. Так, в ряде размеров частиц 1, 30 и 100 мкм наибольшие потери скорости на срезе сопла соответствуют среднему размеру частиц. Сопоставляя данные настоящей работы с работой [2] только относительно ряда размеров 1, 30, 100 мкм можно найти определенные соответствия в результатах исследования даже при отличиях моделируемых сред и подходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Теория и расчет ракетных двигателей твердого топлива. Учебник для машиностроительных вузов / Абугов Д.И., Бобылев В.М. Москва: Машиностроение, 1987. 272с.

2. *Xing Li, Haibin Zhang, Bo Bai.* Particle-free zone of the two-phase flow in a convergent-divergent nozzle. Powder Technology. December 2021. 394. p. 1169 – 1177. DOI: 10.1016/j.powtec.2021.09.055.

NUMERICAL ESTIMATION OF SPECIFIC IMPULSE LOSSES DUE TO TWO-PHASE FLOW IN THE NOZZLE OF A CLASSICAL SCHEME SOLID ROCKET MOTOR

Nigmatullin B., Tsivilskiy M.

Supervisor: Sabirzyanov A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. It is known that to increase the energy characteristics of solid rocket propellant, metallic fuel is added to the latter, which leads to the formation of particles during engine operation. When flowing in the nozzle, the particles lag behind the gas phase in speed. The velocity nonequilibrium of the two-phase flow in the nozzle is the cause of additional losses of specific impulse. To study the effect of velocity nonequilibrium, a numerical calculation of the solid rocket motor was performed using the Ansys Fluent software. It was found that particles of about 6 μm in size have the greatest effect on velocity losses in the nozzle.

УДК 629.7.017.076: 629.7.036.34; 531.39

АНАЛИЗ ЗАПАСОВ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ДИСКА РОТОРА ТВД НАЗЕМНОЙ ГТУ ДЛЯ ГПА В ТРЁХМЕРНОЙ ПОСТАНОВКЕ

Новожилов А.А., Алиев Р.Н.

Научные руководители: Великанова Н.П., профессор, д. т. н.,
Великанов П.Г., доцент, к. ф-м. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. Данная работа содержит анализ расчёта диска ротора турбины высокого давления двигателя НК-16-18СТ для газоперекачивающего агрегата. В работе описывается алгоритм расчета для построенной модели сегмента рабочего колеса, приводятся результаты расчёта действующих в диске статических напряжений, обусловленных центробежными и температурными нагрузками, контактным взаимодействием с сопряженными деталями. В работе также исследовано влияние двух основных схем разрушения на сборку диска ротора турбины высокого давления: разрушение от тангенциальных напряжений (разрыв диска по

меридиональной плоскости) и разрушение от радиальных напряжений (разрыв по цилиндрическому сечению).

Современные ЭВМ позволяют рассчитывать математические модели повышенной сложности и выполнять уже привычные методики расчётов на прочность деталей машин [1–3] гораздо быстрее. Стремительный рост компьютерных мощностей даёт возможность не просто рассчитать геометрию модели по точности максимально приближенную к реальной, но и учесть влияние на неё других элементов сборочной конструкции. Данная работа демонстрирует расчёт сборочной конструкции первой ступени диска турбины высокого давления (ТВД).

Объектом исследования является диск первой ступени ТВД газотурбинного двигателя НК-16-18СТ для газоперекачивающего агрегата.

Оценка напряжённо-деформированного состояния (НДС) диска проводилась с применением конечно-элементного комплекса ANSYS Mechanical.

Расчетная модель представляет собой сектор сборочной конструкции, которая включает в себя диск ТВД, дефлектор, кольцо лабиринтное и часть вала.

Создание расчетной 3D-модели с учётом всех геометрических параметров было выполнено в соответствии с конструкторской документацией в системе КОМПАС-3D (рисунок 1). В модели учитывались все отверстия. Вал, кольцо лабиринтное и дефлектор диска использовались в расчетной модели как вспомогательные детали, НДС которых в данной работе не рассматривалось. Также в модели учтены болтовые соединения для корректного расчета НДС в контактных зонах деталей ротора ТВД.

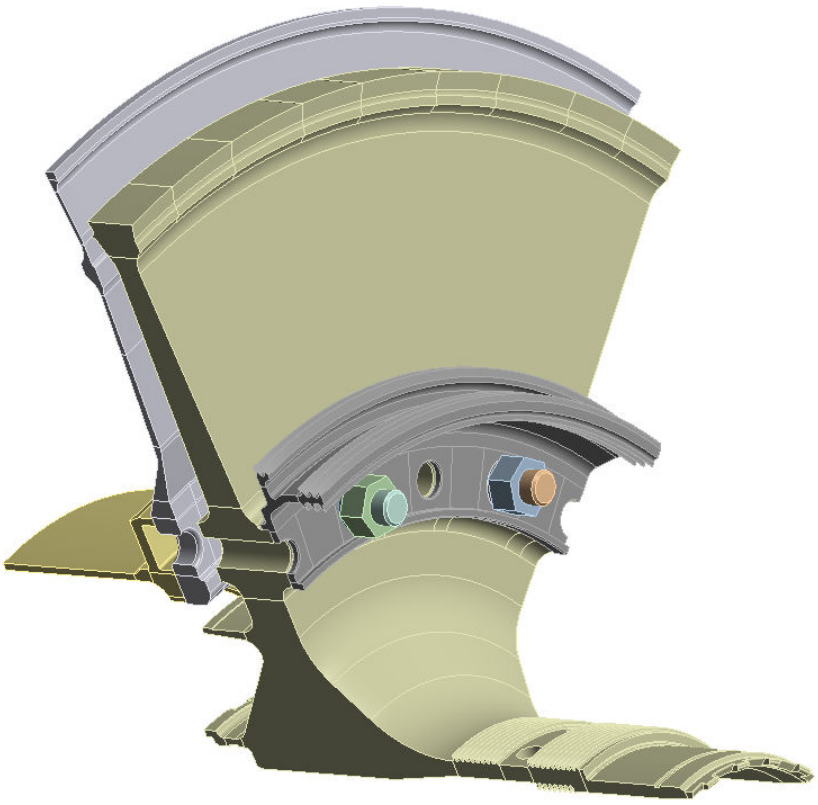


Рисунок 1. Расчётная модель деталей диска ротора ТВД

Конечно-элементная модель (КЭМ), состоящая из элементов второго порядка, представлена на рисунке 2.

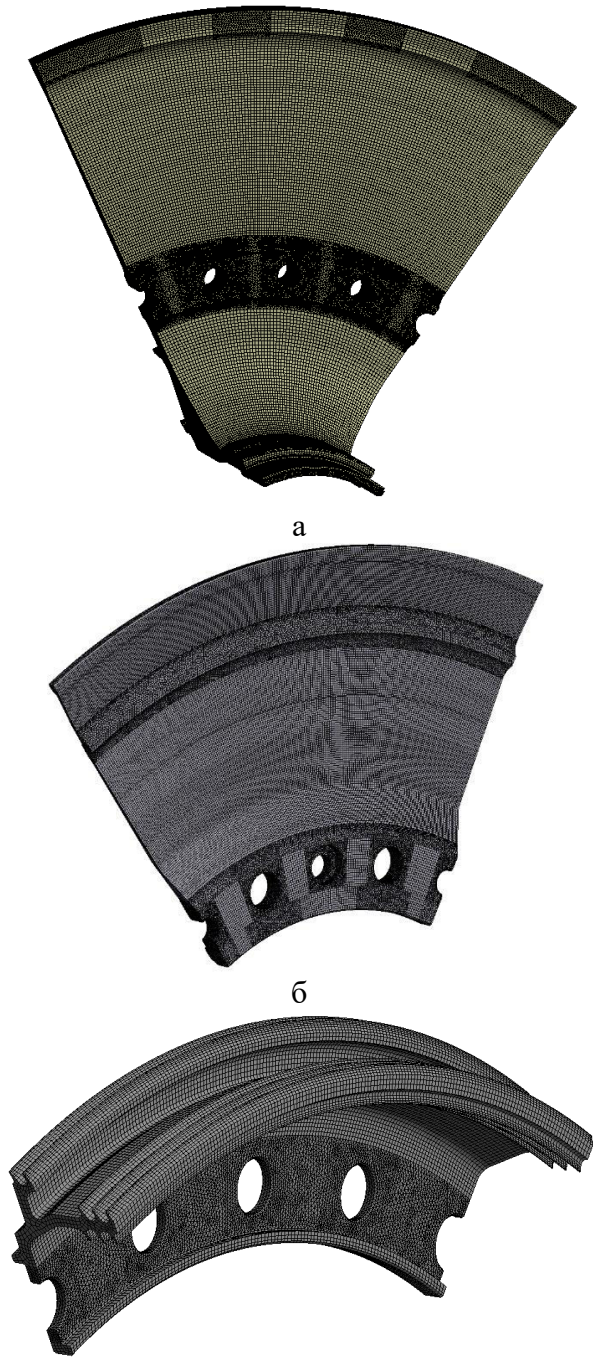


Рисунок 2. Конечно-элементная модель ротора ТВД: а - диск, б – дефлектор,
в – кольцо лабиринтное АА

Материал диска турбины – деформируемый жаропрочный сплав ЭИ698-ВД на никелевой основе. Основные свойства материала приняты согласно [4].

Граничные условия нагружения и закрепления модели представлены на рисунке 3. На модель заданы частота вращения ротора $n_{вд}$= 6905 об/мин, усилия затяжки болтов (40600 Н), ограничения перемещений в осевом и окружном направлениях, контурная сила на обод диска, имитирующая нагрузку от рабочих лопаток и пазов. На боковые поверхности расчётной модели заданы условия циклической симметрии.

Температурное состояние сборки деталей диска ТВД представлено в виде эпюры распределения температурных полей на рисунке 4.

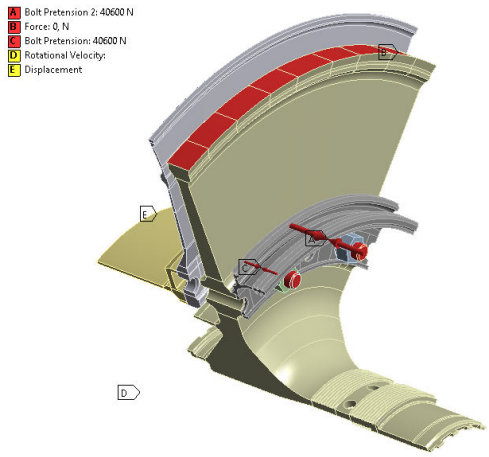


Рисунок 3. Граничные условия для расчетной модели

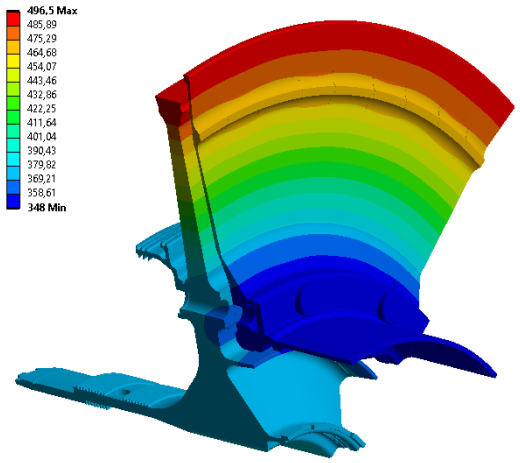


Рисунок 4. Температурное состояние расчетной модели

Расчет НДС проведен в упругопластической постановке с учетом геометрической нелинейности.

В результате проведённого расчёта были получены эпюры полей распределения эквивалентных напряжений по критерию прочности Мизеса-Губера-Генки диска турбины при максимальной частоте вращения ротора (рисунок 5).

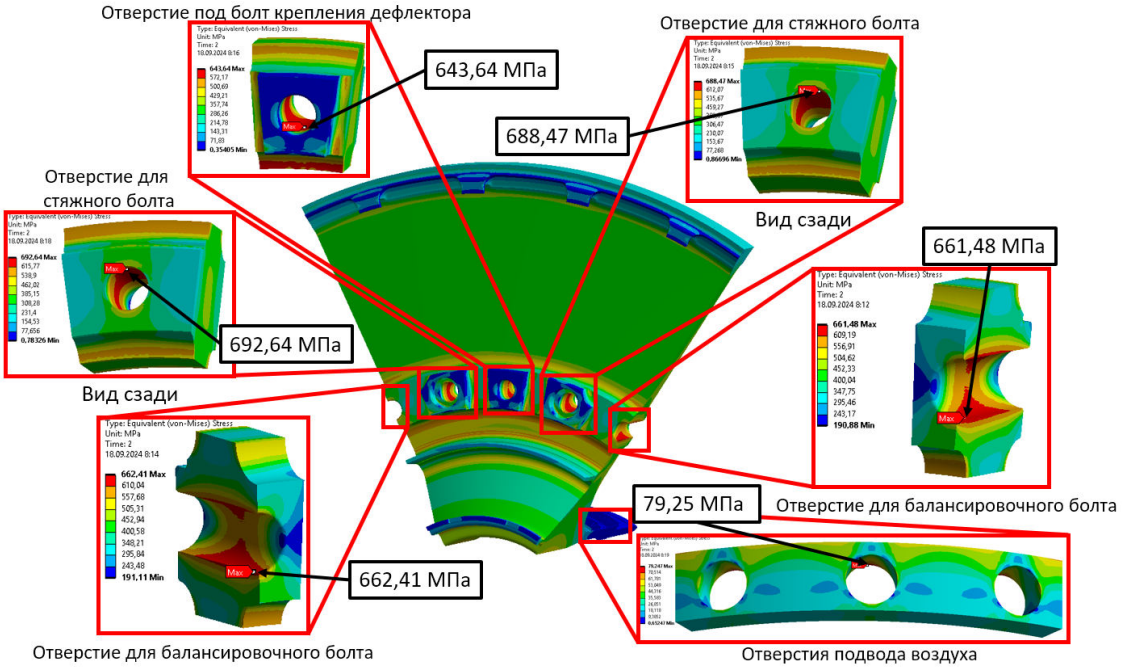


Рисунок 5. Распределение эквивалентных напряжений по критерию прочности Мизеса-Губера-Генки в диске ТВД

Для оценки несущей способности диска ТВД рассмотрены две основные схемы разрушения: разрушение от тангенциальных напряжений (разрыв диска по меридиональной плоскости) и разрушение от радиальных напряжений (разрыв по цилиндрическому сечению).

Распределение тангенциальных напряжений и меридиональное сечение диска с максимальными тангенциальными напряжениями представлено на рисунке 6.

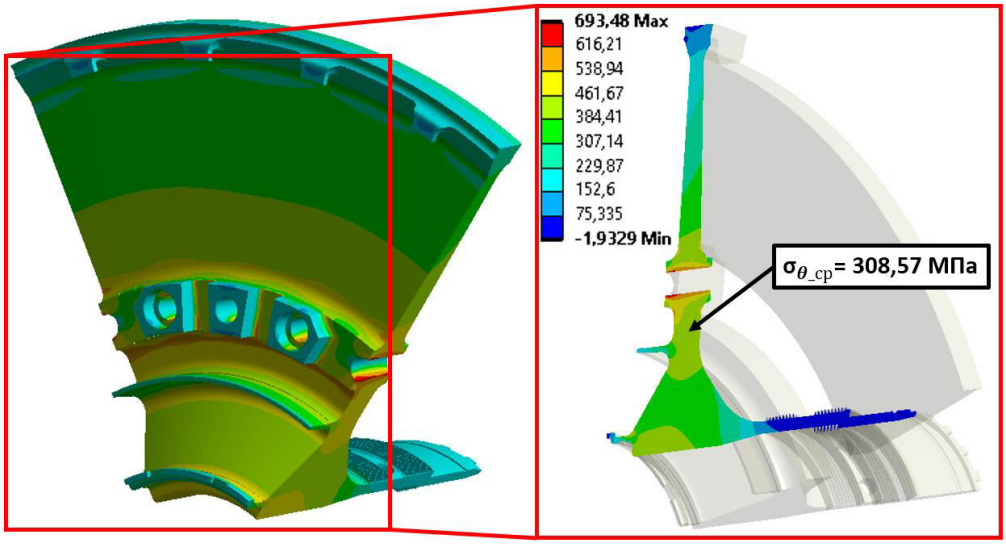


Рисунок 6. Распределение тангенциальных напряжений и меридиональное сечение с максимальными тангенциальными напряжениями в диске ТВД

Распределение радиальных напряжений и цилиндрическое сечение диска с максимальными радиальными напряжениями представлены на рисунке 7.

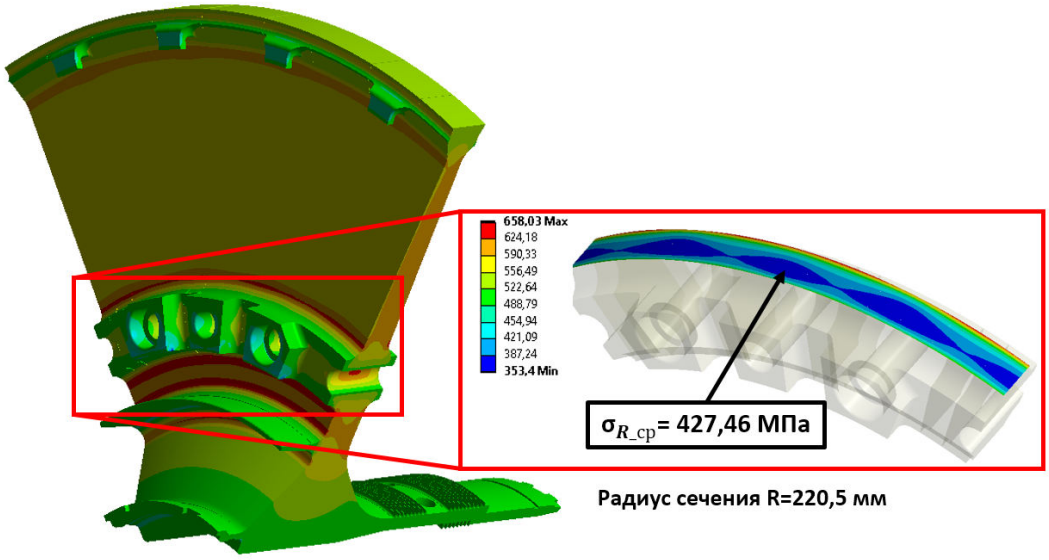


Рисунок 7. Распределение радиальных напряжений и цилиндрическое сечение с максимальными радиальными напряжениями в диске ТВД

В результате проведённого анализа НДС диска первой ступени ТВД газотурбинного двигателя НК-16-18СТ для газоперекачивающего агрегата установлено следующее:

1. Диск первой ступени ТВД имеет максимальное значение эквивалентных напряжений σ_{max}=692,64 МПа в отверстии стяжного болта. Минимальные коэффициенты запаса в диске определялись на ресурс 200000 часов. Минимальный запас местной статической прочности равен K_σ=1,59, что соответствует требованиям технической документации.

В работе [5] представлены результаты расчетов НДС диска первой ступени ТВД газотурбинного двигателя НК-16-18СТ в 2D и 3D постановке с упрощенной геометрией, без учета контактных взаимодействий диска с остальными деталями и без болтовых соединений. Полученные в работе [5] распределения полей эквивалентных напряжений по критерию

прочности Мизеса-Губера-Генки в большей степени согласуется с результатами, представленными в данной статье. Однако стоит отметить, что максимальные значения эквивалентных напряжений и зоны их расположения в данных работах отличаются. Такое перераспределение максимальных значений эквивалентных напряжений по критерию прочности Мизеса-Губера-Генки в представленной статье обосновывается использованием сложной геометрии, детализированной конечно-элементной сетки и моделированием условий работы диска, более приближенным к реальным, что позволяют точнее определить критические точки и ресурс диска.

Реальная нагруженность диска ступени ТВД рассматриваемого ГТУ после длительной эксплуатации, подтверждённая статистическими и численными расчётами, проведёнными в [5–9], согласуется с результатами настоящей работы.

2. Тангенциальные напряжения, действующие в меридиональном сечении, имеют значение$\sigma_\theta = 308{,}57$МПа. Радиальные напряжения, действующие в цилиндрическом сечении, составляют σ_r = 427,46 МПа. Минимальные запасы по несущей способности при разрушении по меридиональному сечению K_{B1} и при разрушении по цилиндрическому сечению K_{B2} равны соответственно 1,67 и 1,42. Оба этих коэффициента запаса на ресурс 200000 ч удовлетворяют требованиям технической документации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б.* Расчет на прочность деталей машин: справочник. 3-е издание. М.: Машиностроение, 1979. 702 с. ил.

2. *Кинасошвили Р.С* Расчет на прочность дисков турбомашин. / Р.С. Кинасошвили – М.: Оборонгиз, 1954. – 144 с.

3. *Биргер И.А.* Конструкционная прочность материалов и деталей газотурбинных двигателей / Под ред. И.А. Биргера и Б.Ф. Балашова. М.: Машиностроение. – 1981. – 222 с.

4. *Биргер И.А.* Авиационные материалы. Справочник в девяти томах. Том 3. Жаропрочные стали и сплавы. Сплавы на основе тугоплавких металлов. Часть1. Деформируемые жаропрочные стали и сплавы: Справочник ОНТИ НПО «ВИАМ» / под общ. ред. докт. техн. наук Р. Е. Шалина – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: ОНТИ, 1989. – 570 с.

5. *Великанова Н.П.* Прогнозирование долговечности деталей турбин газогенераторов наземных ГТУ для ГПА семейства НК на основе вероятностного подхода / Н.П. Великанова, П.Г. Великанов, Н.А. Протасова, Р.Н. Алиев // Журнал «Авиационные двигатели». 2023, № 3 (20). С. 3-10.

6. *Великанова Н.П.* Изменение характеристик прочностной надёжности дисков турбин авиационных ГТД в процессе длительной эксплуатации / Н.П. Великанова, П.Г. Великанов // Авиационно-космическая техника и технология. Харьков. - № 10 (77). – 2010. – С. 123-125.

7. *Великанова Н.П., Протасова Н.А.* Влияние длительной эксплуатационной наработки на характеристики долговечности жаропрочных сплавов для деталей турбин // Известия высших учебных заведений.

8. Закономерности снижения значений прочностных характеристик материала дисков турбины двигателей газоперекачивающих агрегатов после различных сроков эксплуатации / *Протасова Н.А., Великанова Н.П., Великанов П.Г., Ахмадеев А.А., Салих И.Ш.С.* // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2020. № 2. С. 38–44.

9. *Великанова Н.П., Великанов П.Г., Алиев Р.Н.* Анализ нагруженности дисков турбины авиационного ГТД и наземной ГТУ // Современные проблемы ракетной и космической техники: сб. статей / Рос. акад. наук, Комис. по разработке науч. наследия В.И. Вернадского и др.; отв. ред.: В.А. Алтунин и др. Казань: Школа, 2022. С. 114–125. LVI Чтения, посвященные разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского, г. Калуга, 21–23 сентября 2021 г., секция «Проблемы ракетной и космической техники».

ANALYSIS OF THE STRENGTH MARGINS OF THE HIGH-PRESSURE TURBINE ROTOR DISC PARTS OF A GROUND-BASED GAS TURBINE UNIT FOR A GAS PUMPING IN A THREE-DIMENSIONAL FORMULATION

Novozhilov A.A., Aliyev R.N.
Supervisors: Velikanova N.P., Full Professor, Doctor of Engineering,
Velikanov P.G., Associate Professor, Candidate of Physico-Mathematical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. This work contains an analysis of the calculation of the rotor disc of a high-pressure turbine of the NK-16-18ST engine for a gas pumping unit. The paper describes the calculation algorithm for the constructed model of the impeller segment, and provides the results of calculating the static stresses acting in the disk, caused by centrifugal and temperature loads, and contact interaction with adjacent details. The paper also investigates the influence of two main failure modes on the assembly of a high-pressure turbine rotor disk: failure from tangential stresses (rupture of the disk along the meridional plane) and failure from radial stresses (rupture along the cylindrical section).

УДК 621.515

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ НА МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ВЫХОДНОЙ УЛИТКИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

Петров С.Е., Гончаров Е.С.
Научный руководитель: Новикова Ю.Д., старший преподаватель, к. т. н.
(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва, г. Самара)

Аннотация. Данная работа посвящена проектированию геометрии и изучению эффективности выходной улитки для испытательного стенда центробежного компрессора (ЦБК) малоразмерной газотурбинной установки. Проведено исследование влияния параметра шероховатости турбулентности на моделирование рабочего процесса в выходной улитке.

Под выходным устройством центробежного компрессора понимается неподвижный элемент проточной части, через который осуществляется вывод газа.

Назначение выходного устройства состоит в том, чтобы собрать газ после колеса или кольцевого диффузора и подводить его к нагнетательному трубопроводу.

Чаще всего выходные устройства выполняются в виде улитки, которая представляет собой криволинейный канал с кольцевым входным поперечным сечением, одна из стенок которого в радиальной плоскости выполняется в виде спирали.

За последние десятилетия в России было проведено большое количество исследований элементов проточной части турбомашин: рабочее колесо, лопаточные и безлопаточные диффузоры и др. Но исследований устройств выполнено намного меньше, несмотря на то, что повышение аэродинамического качества и эффективности этих устройств существенно влияет на КПД ступени и компрессора в целом.

Вопрос стоит намного острее по причине того, что большая часть исследовательских работ по выходным устройствам турбомашин являются предметом корпоративной тайны, а в оставшейся части не раскрывается вопрос проектирования выходных устройств, а только даются ссылки на труды почётного профессора КНИТУ (КХТИ) Мифтахова Альберта Абдрахмановича.

В настоящее время на кафедре теории двигателей летательных аппаратов им. В.П. Лукачева Самарского университета им. Королева создается экспериментальный стенд ЦБК.

В его составе имеется выходная улитка, функцией которой является отвод воздуха, идущего от ЦБК, в выходной трубопровод (рис. 1).

Опытный образец выходной улитки был изготовлен методом 3D-печати (рисунок 1). Улитка напечатана в 12 деталей ввиду ограниченной площади столов имеющегося 3D-принтера. Из-за его поломки и ограничений по срокам одна половина деталей была напечатана из полиамида PA66 GF30 – высокотемпературного пластика, выдерживающего $200 \ldots 250$ ℃, вторая половина – из пластика АБС и АБС gf4. Соединение было осуществлено сваркой паяльником.

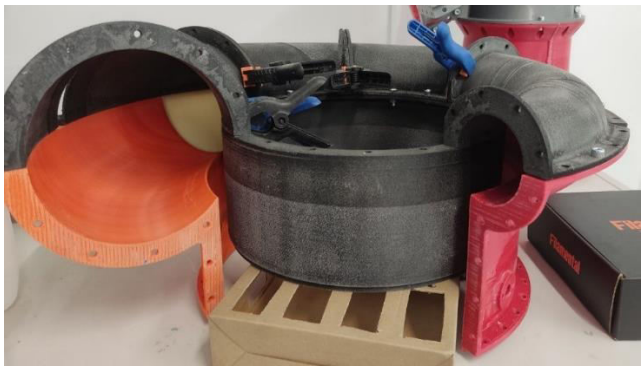


Рисунок 1. Часть улитки, напечатанной на 3D-принтере

Из-за слишком больших скруглений шлифуемых поверхностей и факта печати частей улитки под разным уклоном проявляется так называемый эффект «ступенки». Поэтому шероховатости делателей, составляющих улитку, получились недородными и большими. Обработка внутренних поверхностей осуществлялось шлифовкой. По итогу обработки средняя шероховатость деталей стала равна $\sim Ra12{,}5$.

Замер шероховатостей осуществлялся профилографом «Восток-7 ИШП-210» (рисунок 2). Действие прибора основано на принципе ощупывания неровностей измеряемой поверхности щупом (алмазной иглой), который перемещается по определенной линии (трассе) относительно поверхности. Неровности вызывают механические колебания иглы, в результате которых формируется электрический сигнал, пропорциональный размерам неровностей [1].

Рисунок 2. Профилограф «Восток-7 ИШП-210»

Поэтому возник вопрос, как шероховатость будет влиять на результаты расчётов, проводимых в программном пакете ANSYS CFX, и нужно ли проводить дальнейшие расчёты, учитывая её.

Сначала в программе KOMPAS была создана модель выходной улитки идентичная проточной части опытного образца (с разделением спиральной части в районе языка с каналом с новыми стойками) (рисунок 3).

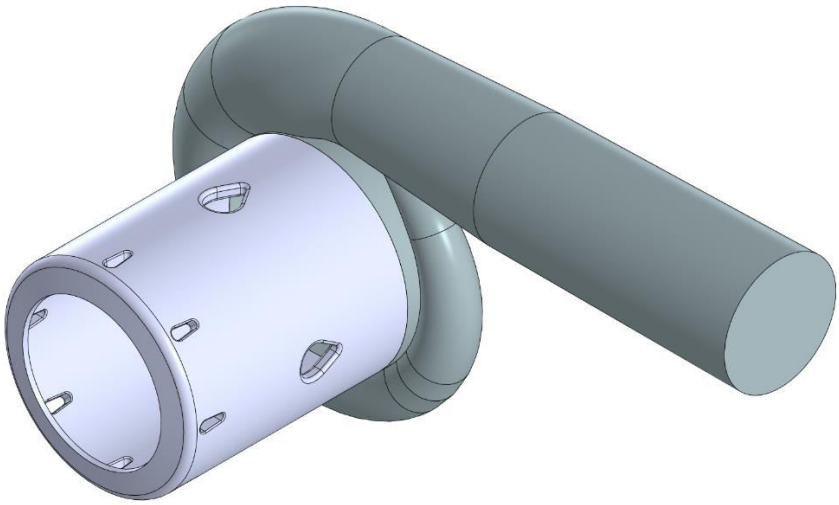


Рисунок 3. 3D-модель выходной улитки

Далее в программный пакет Ansys была загружена построенная 3D-модель для построения сеток и задания параметров.

Для получения сеточной сходимости был создан набор неструктурных тетраидальных сеток с разной плотностью элементов.

Для построения так называемой «базовой» сетки, необходимо взять выходное сечение модели и разделить его на 20, получив значение параметра «максимальный размер элемента»:

$$\frac{D_{\text{вых}}}{20} = \frac{210}{20} = 10{,}5 \text{ мм} \approx 10\text{мм}$$

Опираясь на базовую сетку, остальные мельчатся или укрупняются [2].

Характеристики построенных сеток приведены в таблице 1.

Таблица 1

Данные о сетках выходной улитки

Количество элементов, млн.	Максимальный размер элемента, мм	Количество слоёв пристенка	Коэффициент роста элементов пристенка
7	20	11	2,195
14,6	*10*	*41*	*1,55*
15,1	6	37	1,23
20,6	4	32	1,26
32,5	3	32	1,25
44,8	2,5	31	1,25

Граничными условиями для выполнения газодинамических расчётов в Ansys CFX являются полные температура и давление, угол закрутки потока, задаваемые на входе в проток, массовый расход, задаваемые на выходе из протока (рисунок 4). Исходные данные представлены в таблице 2. Для оценки сеточной сходимости для всех сеток было взято расчётное значение массового расхода в 1кг.

Таблица 2

Граничные условия для расчёта модифицированной улитки

$G_{\text{вых}}$, кг	$T^*_{\text{вх}}$, К	$\alpha_{\text{вх}}$, °	$P_{\text{вх}}$, Па
0,1			
0,2			
0,3			
0,4			
0,5			
0,6			

0,7	444	50	338000
0,8			
0,9			
1,0			
1,1			
1,2			
1,3			
1,4			
1,5			

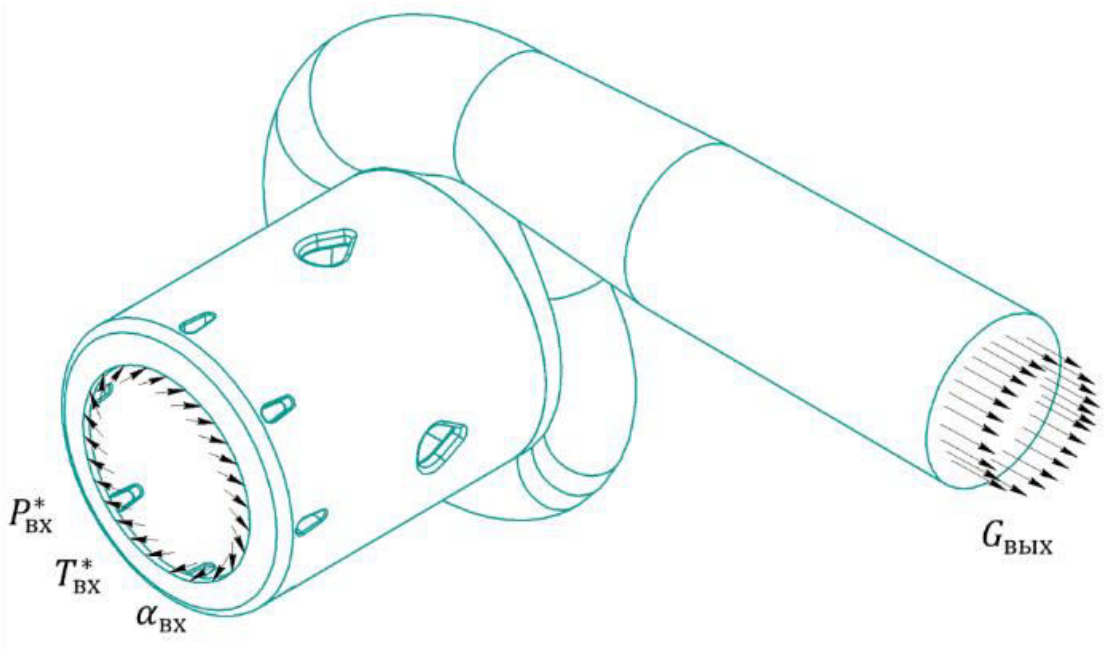


Рисунок 4. Расчётная схема выходной улитки

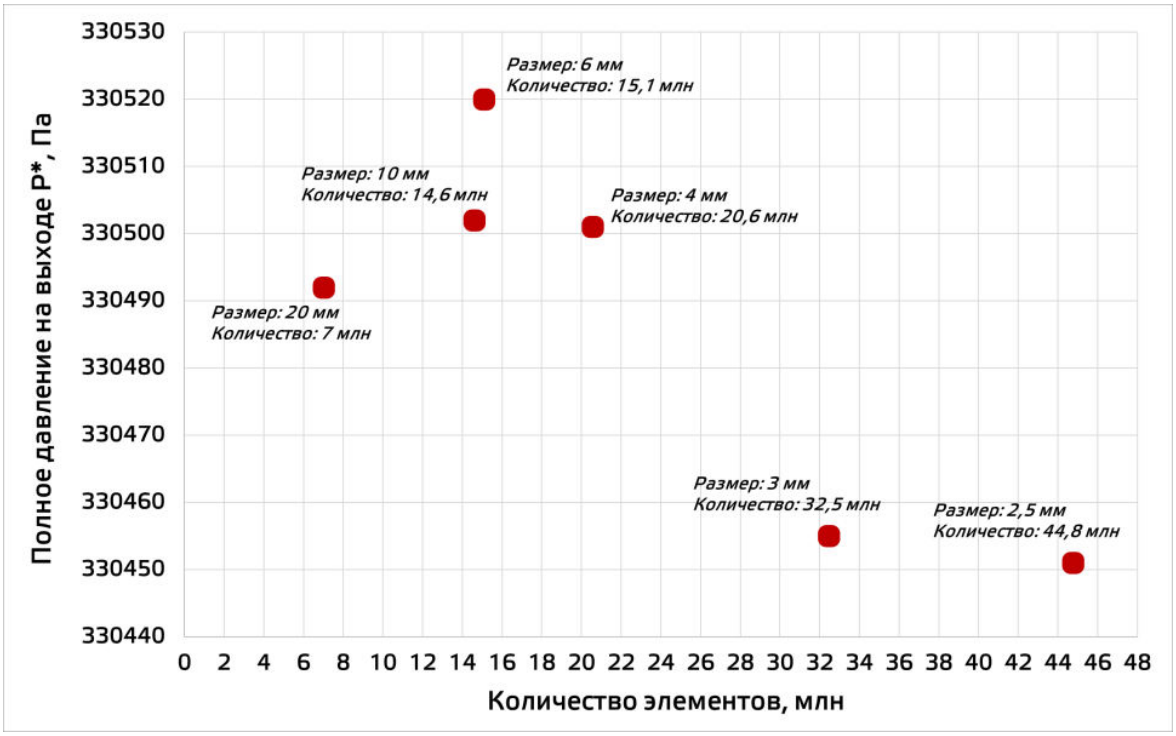


Рисунок 5. График сеточной сходимости выходной улитки

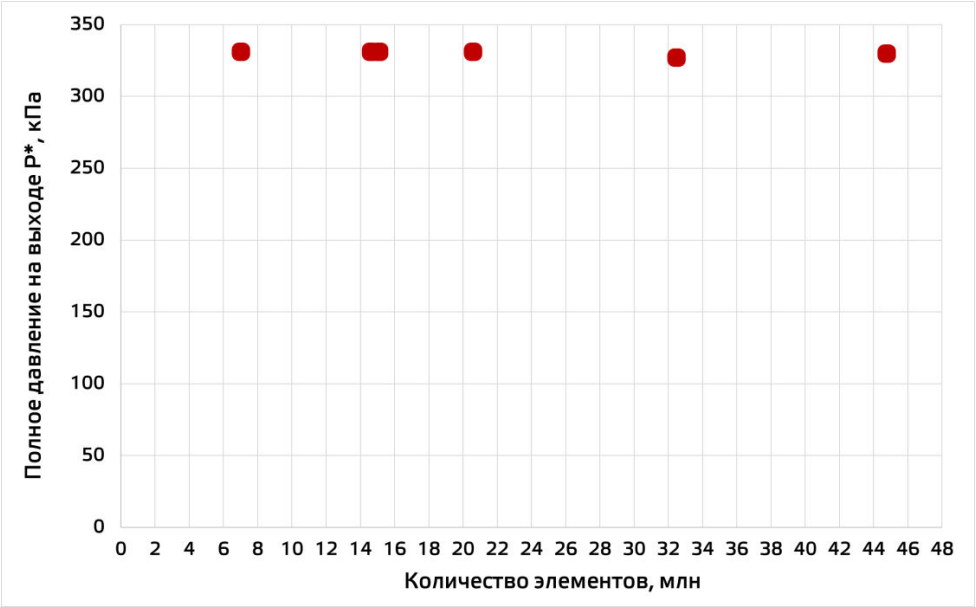


Рисунок 6. График сеточной сходимости выходной улитки с уменьшенным масштабом вертикальной оси

Из графиков представленных на рисунках 5 и 6 видно, что максимальная разница полных давлений в выходном сечении составляет не более ~0,021% и что сразу была получена так называемая «полка», то есть с изменением плотности сетки результат почти не меняется. В итоге было отдано предпочтение «базовой» сетке с максимальным размером элемента в 10мм (рисунок 7), так как наименее плотная из тех, в которых соблюдаются все рекомендации по построению сетки.

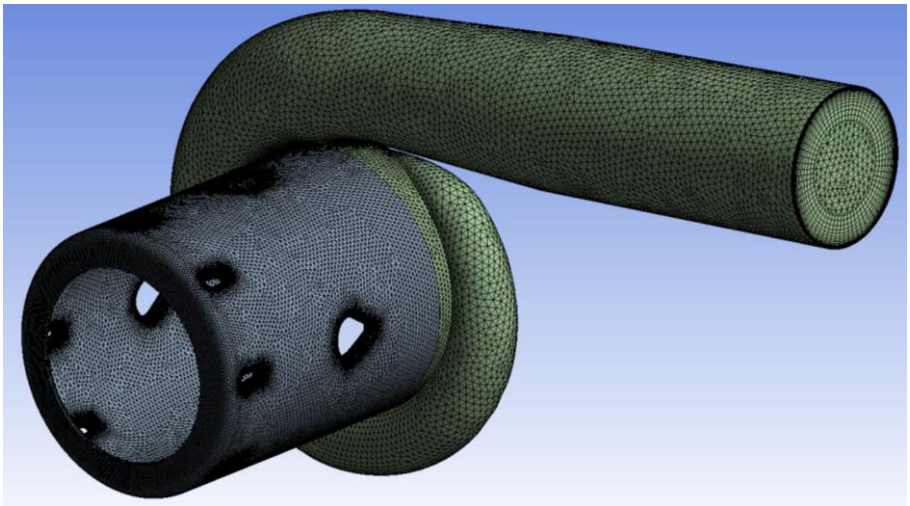


Рисунок 7. Сетка выходной улитки (максимальный размер элемента 10 мм)

Далее для модели необходимо задать шероховатость. В Ansys CFX применяется эквивалентная песочная шероховатость (шероховатость, образуемая зёрнами песка на исследуемой поверхности). Определяется эквивалентная песочная шероховатость по следующей формуле:

$$k_s = 2{,}19 \cdot Ra^{0{,}877} = 20{,}065 \text{ мкм},$$

где k_S – высота бугорков зёрен песка [3].

Для анализа влияния шероховатости использованы следующие зависимости:

- Коэффициент восстановления полного давления в улитке ЦБК σ^* от пропускной способности на входе в улитку μ [4]:

$$\sigma^* = \frac{P^*_{\text{вых}}}{P^*_{\text{вх}}},$$

где $P^*_{\text{вых}}$ – полное давление на выходе из тракта;
$P^*_{\text{вх}}$ – полное давление на входе в тракт.

$$\mu = \frac{G_{\text{вх}} * \sqrt{T^*_{\text{вх}}}}{P^*_{\text{вх}}},$$

где $G_{\text{вх}}$ – расход на входе в улитку ЦБК;
$T^*_{\text{вх}}$ – полная температура на входе в улитку ЦБК;
$P^*_{\text{вх}}$ – полное давление на входе в улитку ЦБК.

- Коэффициент гидравлического сопротивления ζ от числа Рейнольдса Re на входе в улитку [5]:

$$\zeta = \frac{2 \cdot \Delta P^*}{\rho_{\text{вх}} \cdot w^2_{\text{вх}}},$$

где $\Delta P^* = P^*_{\text{вх}} - P^*_{\text{вых}}$ – разница полных давлений на входе в улитку ЦБК и на выходе из улитки ЦБК;
$\rho_{\text{вх}}$ – плотность воздуха на входе в тракт;
$w_{\text{вх}} =$ – нормальная скорость потока воздуха на входе в тракт.

$$Re = \frac{\rho_{\text{вх}} \cdot w_{\text{вх}} \cdot D_{\text{гидрав.}}}{\mu},$$

где $\mu = \mu_0 \cdot \left(\frac{273+\text{C}}{T_{\text{вх}}+\text{C}}\right) \cdot \left(\frac{T_{\text{вх}}}{273}\right)^{\frac{3}{2}} = 17{,}2 \cdot 10^{-6}$ – коэффициент динамической вязкости воздуха;
$\mu_0 = 27{,}9 \cdot 10^{-6}$ – коэффициент динамической вязкости воздуха при температуре воздуха равной 273 К.;
$\text{C} = 124$ – Константа для воздуха;
$T_{\text{вх}}$ – статическая температура воздуха на входе в тракт;
$D_{\text{гидрав.}} = 0{,}017$ м– гидравлический диаметр входного канала тракта.

С помощью полученных по итогу расчёта данных были построены 2 графика для зависимостей, описанных выше (рисунки 8 и 9).

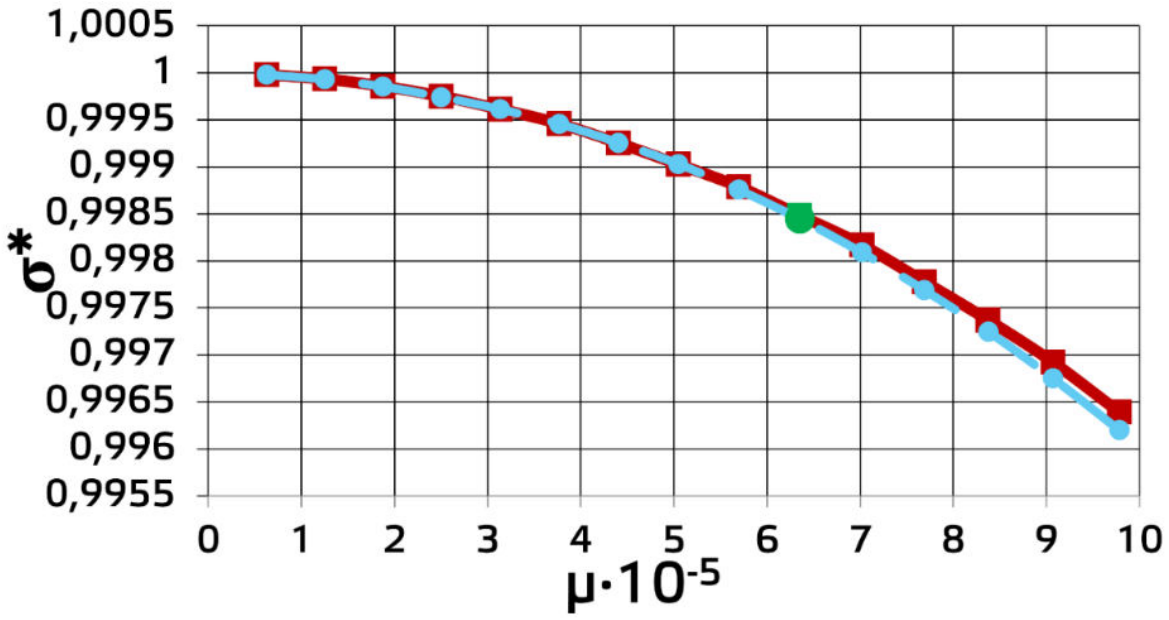


Рисунок 8. График зависимости σ^* от μ для модифицированной улитки (зелёным выделены точки при расчётном расходе в 1 кг)

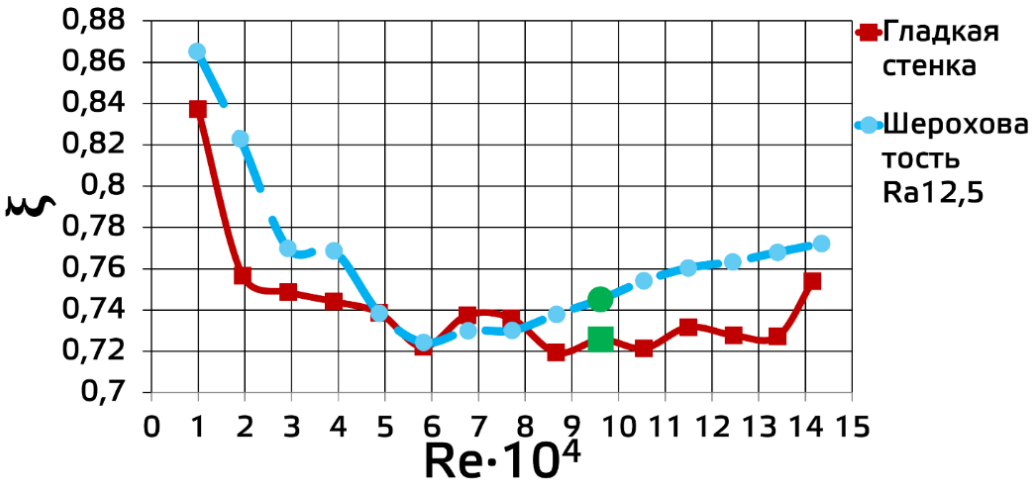


Рисунок 9. График зависимости ζот Re для модифицированной улитки (зелёным выделены точки при расчётном расходе в 1 кг)

Из графика на рисунке 8 можно увидеть, что коэффициент сохранения полного давления, хоть и с разницей не более 0,02%, меньше на всём диапазоне расходов меньше для шероховатой стенки.

Из графика на рисунке 9 видно, что гидравлическое сопротивление больше для гладкой стенки только в диапазоне чисел Рейнольдса Re от $5{,}5 \cdot 10^4$ до $8 \cdot 10^4$ (что может говорить о промахе при снятии результатов), в остальном диапазоне (в том числе и на расчётном режиме) – наоборот, и разница составляет не более 2,5%.

Сделан общий вывод, что хоть и разница в результатах для гладкой и шероховатой стенки почти минимальна, но в дальнейших расчётах предпочтительно учитывать шероховатость стенки выходной улитки, так как потери больше, а, следовательно, и запас, хоть и минимально.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Евдокимов Ю.К.* Распределенные измерительные среды и континуум-измерения: принципы, топология, алгоритмы // Нелинейный мир. 2007. Т. 5. № 10–11. С. 639–656.

2. Профилометр ИШП-210 [Электронный ресурс] // Научно-технический центр «Эксперт». – URL: https://www.ntcexpert.ru/vic/profilometry/2170-profilometr-ishp-210 (дата обращения: 21.05.2025).

3. *Зубанов В.М.* Метод и средства доводки системы запуска авиационного газотурбинного двигателя на база воздушного турбостартера [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.07.05. // – М., 2021. – 133 с.

4. *Садовский Н.И.* Повышение эффективности малорасходных ступеней центробежных компрессоров высокого и сверхвысокого давления на основе изучения влияния числа Рейнольдса и шероховатости на рабочие процессы [Текст]: дис. ... канд. тех. наук. – СПб.: СПбГТУ, 1994.

5. *Абрамович Г.Н.* Прикладная газовая динамика [Текст]: 4-е изд., испр. и доп. – М.: Наука, 1976. – 888 с.

STUDY OF THE EFFECT OF ROUGHNESS ON THE MODELING OF THE WORKING PROCESS OF THE OUTLET SCROLL OF A CENTRIFUGAL COMPRESSOR

Petrov S.E., Goncharov E.S.

Supervisor: Novikova Yulia, Senior lecturer, Candidate of Engineering Sciences

(Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara)

Abstract. This work is devoted to the design of the geometry and the study of the efficiency of the discharge volute for the test bench of a centrifugal compressor (CC) of a small-sized gas

turbine unit. The influence of the turbulence roughness parameter on the simulation of the workflow in the output cochlea has been studied.

УДК 621.45.01

ВЛИЯНИЕ ЭПЮРЫ ПОЛНОГО ДАВЛЕНИЯ ЗА КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СОПЛОВОГО АППАРАТА И ПОЛОЖЕНИЕ ЛИНИИ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ

Покидько А.М.

Научный руководитель: Ковалева Н.Н., доцент, к. т. н.

(Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева, г. Рыбинск)

Аннотация. В работе рассмотрены 2 модели плоских решеток сопловых аппаратов при различных эпюрах полного давления на входе. Установлено, что наличие эпюры изменяет вид аэродинамических характеристик решетки, уменьшается эффективная площадь межлопаточного канала, из-за чего рабочая точка на характеристике компрессора смещается к границе устойчивой работы. Факт влияния эпюры полного давления на параметры двигателя необходимо учитывать на ранних этапах проектирования, чтобы избежать продолжительной доводки.

Каждое новое поколение двигателей сопровождается улучшением параметров рабочего процесса, в том числе увлечением температуры газа перед турбиной, что негативно влияет на КПД высоконагруженной ТВД ввиду усложнения системы охлаждения и увеличения расхода охлаждающего воздуха. Вместе с тем, развитие ГТД по параметрам рабочего процесса приводит снижению размера проточной части лопаточных машин, из-за чего имеются предпосылки к возникновению эффекта смыкания вторичных течений, особенно в первом сопловом аппарате. Не учёт данной особенности приводит к необходимости перепрофилирования турбины и доработке уже изготовленных двигателей для испытаний, а, как следствие - увеличению сроков доводки и финансовым убыткам.

Одним из факторов, влияющих на высоту смыкания вторичных течений, является градиент полного давления на входе в первый сопловой аппарат, который не учитывают при закладке турбины. Реализацию смыкания вторичных течений в сопловом аппарате ступени турбины можно зафиксировать по такому критерию, как h/hs, то есть отношению высоты проточной части к высоте, при которой реализуется смыкание вторичных течений решетки данной геометрии [1-3].

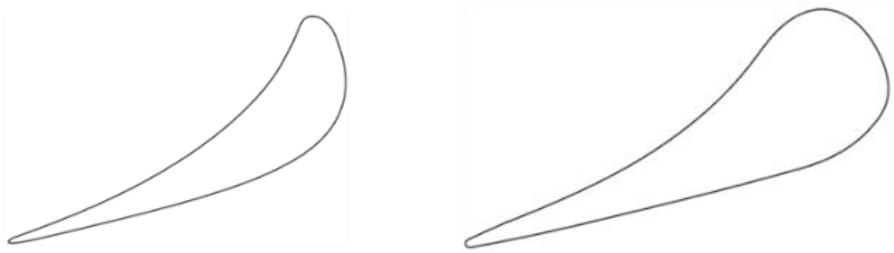
Существующие методы определения высоты смыкания справедливы только для плоских решеток и не учитывают уровень неравномерности полного давления по входу. Коллективом кафедры авиационных двигателей РГАТУ была получена формула (1) для определения высоты смыкания канальных вихрей на основе многочисленных экспериментальных продувок и численных исследований плоских и кольцевых сопловых решеток различной геометрии, которая учитывает входную неравномерность. На данный момент идут работы по уточнению зависимости и ее точности на профилях различного типа и различных градиентов полного давления на входе.

$$\frac{h_s}{b} = \sqrt{\frac{0,04}{2\pi}\sin\alpha_1 \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^{0,55} \cdot \left(1+h_v\right)^{1,3} \cdot \left(1+\frac{d_1}{b}\right)^{1,5}}, \qquad (1)$$

где h_s – высота смыкания вторичных вихрей, мм; α_1 – угол выхода потока из решетки, град; t – шаг решетки, мм; b – хорда профиля, мм; d_1 – диаметр входной кромки, мм; h_v – коэффициент, учитывающий уровень неравномерности распределения полного давления на входе.

Основной целью данного исследования является определение аэродинамических характеристик сопловых аппаратов различного типоразмера при возможных вариантах неравномерности полного давления по входу. Сделать вывод о влиянии наличия эпюры на выходе в сопловой аппарат на изменение положения точки совместной работы на характеристики компрессора.

Турбины высокого давления современных ГТД имеют схему с одной или двумя ступенями. Количество ступеней определяет форму профиля венцов, а, соответственно, и распределение параметров в межлопаточном канале. В данной работе рассмотрены 2 типа профилей, характерных для современных двухступенчатой (рис.1, а) и одноступенчатой (рис.2, б) ТВД.



(а) – модель 1 (б) – модель 2

Рисунок 1. Профили исследуемых сопловых аппаратов

Каждая модель решетки исследовалась в диапазоне высот от 30 мм до 160 мм (диапазон охватывает решетки с практически полным отсутствием взаимодействия вихрей, началом взаимодействия и их полным слиянием) при различных эпюрах полного давления на входе, имеющих характерный размер участка постоянного значения полного давления (рис. 2.).

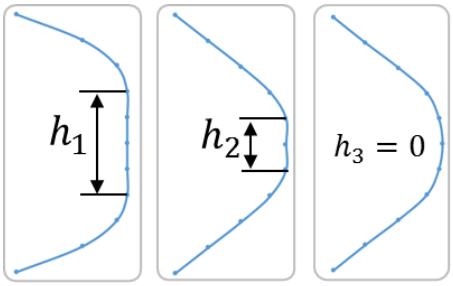


Рисунок 2. Эпюры распределения полного давления на входе в исследуемые решетки

Исследование проводилось при помощи численных методов моделирования. Расчеты выполнены с использованием программного комплекса вычислительной газовой динамики ANSYS CFX 20R2. Конечно-элементная модель, представляющая собой структурированную гексагональную сетку блочного типа, генерировалась в автоматическом сеточном генераторе для турбомашин NUMECA Autogrid5. Количество элементов и слоев сетки для каждой расчетной модели различное и зависит от высоты решетки, количество слоев по высоте подбиралось из условия сохранения их плотности по высоте проточной части.

Для количественной оценки степени аэродинамического совершенства решеток использовался коэффициент потерь кинетической энергии (2):

$$1 - \frac{W_2^2}{W_{2t}^2} = \frac{p_2^* - p_2}{p_1^* - p_2} = \varsigma , \qquad (2)$$

где W_2, W_{2t} – действительная и теоретическая скорости потока за решеткой; p_2^* - полное давление потока за решеткой (в ядре потока); p_1^* - полное давление перед решеткой; p_2 - статическое давление за решеткой.

В аэродинамически длинных решетках имеют место две локальные зоны повышенных потерь, связанные с канальными вихрями в межлопаточном канале. При уменьшении высоты проточной части решеток локальные максимумы потерь и углов сближаются в области среднего по высоте сечения решетки. С определенной высоты рабочей части начинается увеличение потерь в закромочном следе, расширяется его область. Именно данную размерность решетки следует считать началом слияния вихрей, хотя напрямую в решетке они еще не взаимодействуют. На аэродинамически коротких решетках происходит не только объединение канальных вихрей, но и рост неактивной массы в средней части канала. Это связано с эффектом шестерёнчатого насоса, который реализуется при взаимодействии вихрей своими ядрами (рис.3).

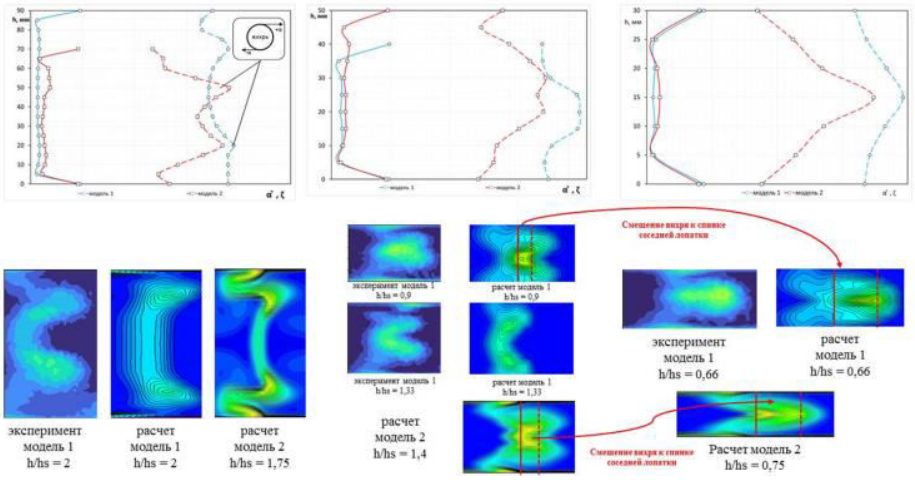


Рисунок 3. Распределение потерь кинетической энергии и углов выхода потока при постоянном значении полного давления на входе

Распределение углов выхода потока из решетки коррелируется с распределением потерь. Аналогично наблюдаются две зоны с повышенными значениями углов выхода потока. Увеличение значений углов во внутренней области межлопаточного канала связано с воздействием на поток канального вихря, который увеличивает угол выхода потока во внутренних областях и уменьшает в пристеночных.

При различных эпюрах полного давления на входе для модели 1 (рис. 4), можно установить, что уменьшение зоны постоянного значения полного давления сопровождается сближением канальных вихрей и ростом потерь в приторцевых областях, что особенно заметно на решетке высотой 30 мм.

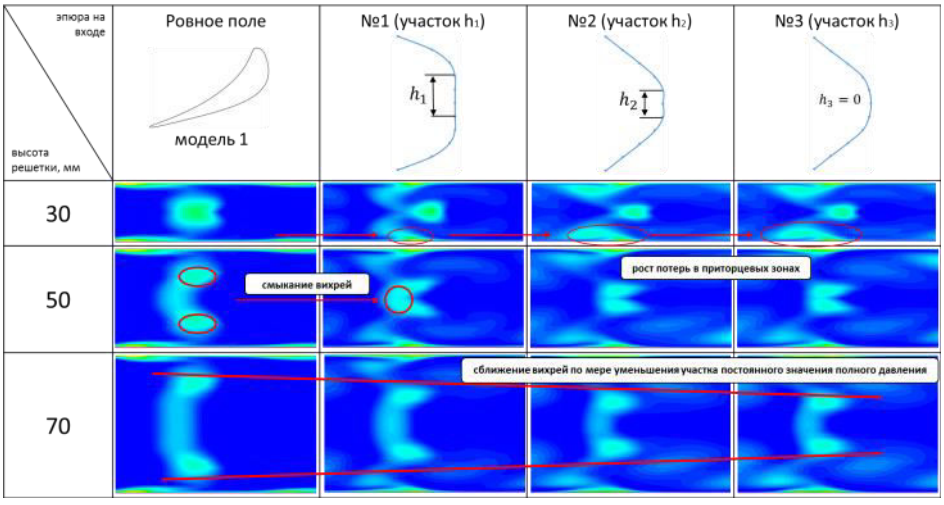


Рисунок 4. Распределение потерь кинетической энергии при наличии неравномерности на входе для модели 1

Для модели 2 характер движения канальных вихрей зависит от высоты решетки (рис. 5.). На высоте 30 мм он схож с моделью 1. Обратный эффект наблюдается на решетке высотой 50 мм, где наличие любой входной неравномерности размыкает вихри. Положение вихрей на решетке 70 мм слабо зависит от наличия входной неравномерности, лишь несколько увеличиваются потери в ядре потока.

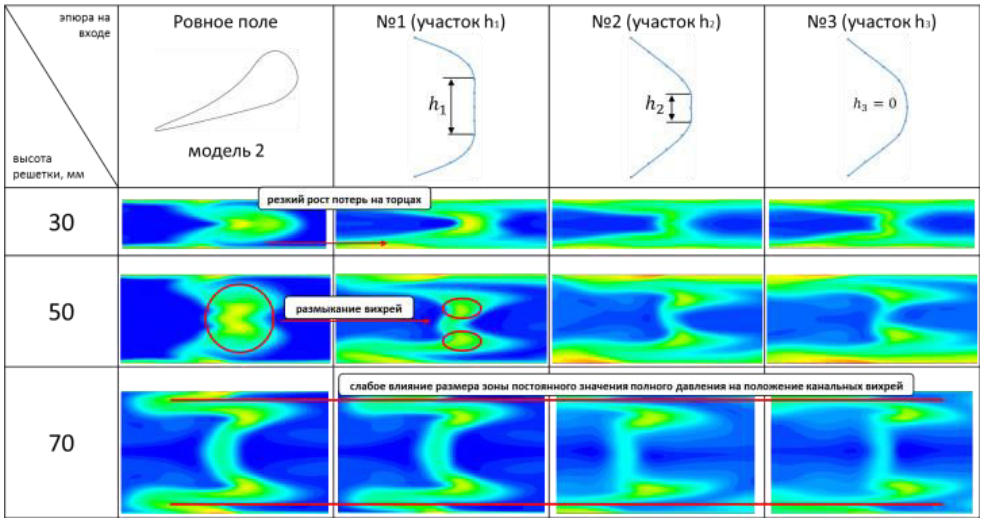


Рисунок 5. Распределение потерь кинетической энергии при наличии неравномерности на входе для модели 2

На рисунке 6 представлены графики распределения характеристик потока по высоте с равномерным полем и эпюрой №3. Установлено, что при подходе к высоте начала смыкания канальных вихрей наличие входной неравномерности потока оказывает все бóльшее влияние на аэродинамические характеристики потока, в частности угла, увеличивается разница в показателях по сравнению с ровным полем на входе в решетку.

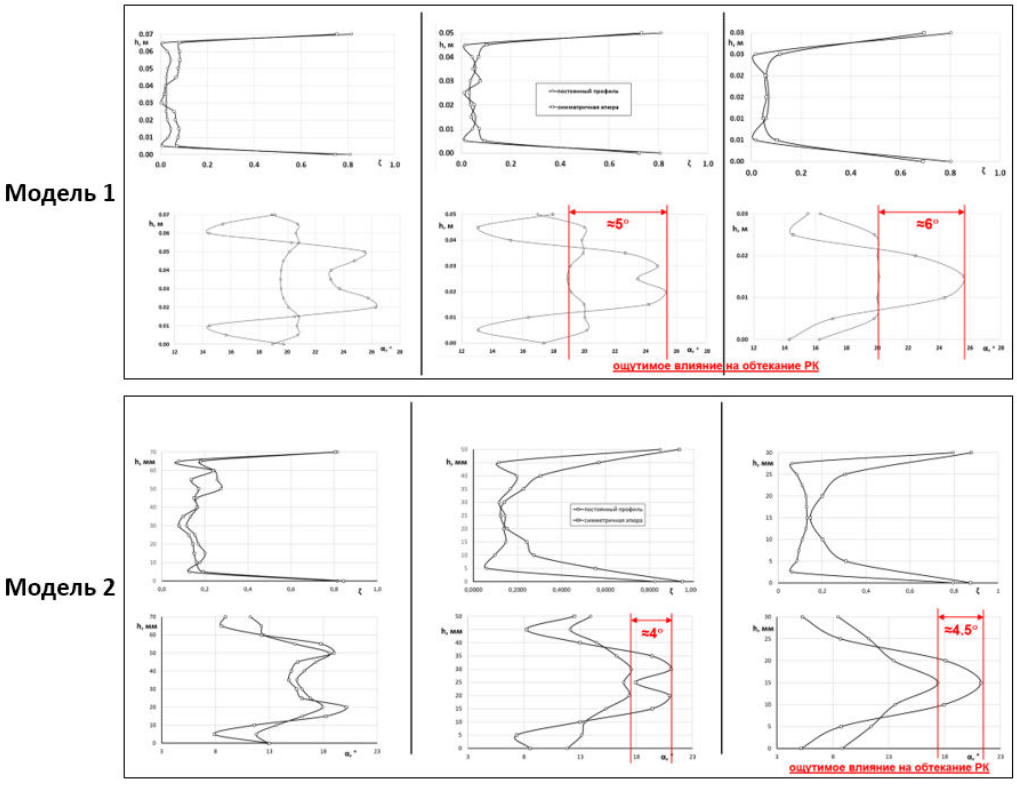


Рисунок 6. Распределение параметров решетки по высоте при различных полях полного давления на входе

Для изучения влияния эпюры полного давления на входе в первый сопловой аппарат была взята решетка модели 1 высотой 40 мм. Рассматривались 2 варианта граничных условий: равномерное поле полного давления на входе и эпюра вида $y=x^2$, то есть без участка постоянного значения полного давления. Измерялся расход через один межлопаточный канал, плоскость снятия соответствует геометрическому положению критического сечения канала решетки (рисунок 7).

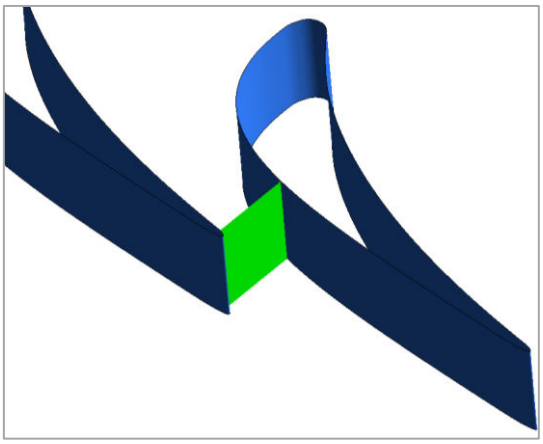


Рисунок 7. Плоскость снятия расхода в критическом сечении канала

Расход воздуха при наличии эпюры уменьшился на 0,99% относительно ровного поля. Это связано с тем, что канальные вихри занимают большую площадь в канале, тем самым увеличивая зону пониженного давления и снижая эффективную площадь межлопаточного канала. Наличие эпюры в данном случае эквивалентно снижению площади горла соплового аппарата, которая влияет на положение точки совместной работы узлов. При снижении расхода рабочая точка перемещается по напорной ветке компрессора в зону пониженных расходов, приближаясь к границе устойчивой работы, запас газодинамической устойчивости снижается. Это может наложить ограничения на время приемистости и сброса (смены режима) двигателя, при которых точка имеет наибольшую амплитуду.

По результатам исследования можно сделать следующие заключения:

1. Наличие входной неравномерности по полному давлению меняет распределение аэродинамических характеристик плоской сопловой решетки.
2. Высотка смыкания канальных вихрей зависит от типа профиля (схемы турбины) и наличия неравномерности по полному давлению на входе.
3. Разница по углу выхода из решетки при различных входных параметрах достигает 6 градусов, что будет влиять на обтекание рабочего колеса.
4. Неучет входной неравномерности пол полному давлению может изменить положение рабочей точки компрессора, что приведет к снижению запасов газодинамической устойчивости.
5. Факт влияния эпюры полного давления за камерой сгорания на течение в сопловом аппарате и параметры двигателя в целом необходимо учитывать на ранних этапах проектирования, чтобы избежать продолжительной и дорогостоящей доводки уже спроектированного двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Е.Н. Богомолов* О смыкании зон вторичных течений в турбинных решетках и его влиянии на концевые потери // Изв. вузов. Авиационная техника, 1991, №3, С. 25 – 31.

2. *М.Е. Дейч, Г.А. Зарянкин, М.Ф. Филиппов, А.Е. Зацепин* Методы повышения КПД ступеней турбины с малыми высотами лопаток // Теплоэнергетика, 1960, №2, С. 18 - 24.

3. *Sutheland W.* The viscosity of gas and molecular force // Phil. Mag. 1983. № 5. P. 507–531.

THE INFLUENCE OF THE TOTAL PRESSURE EPURE BEHIND THE COMBUSTION CHAMBER ON THE CHARACTERISTICS OF THE NOZZLE AND THE POSITION OF THE OPERATING MODE LINE

Pokidko A.M.
Supervisor: Kovaleva N.N., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(P.A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University, Rybinsk)

Abstract. The study examines two models of flat grid nozzles under various total pressure distributions at the inlet. It is established that the presence of these distributions alters the aerodynamic characteristics of the grid, reducing the effective area of the interblade channel, which causes the operating point on the compressor characteristic to shift toward the boundary of stable operation. The impact of the total pressure distribution on engine parameters must be considered in the early stages of design to avoid prolonged tuning.

УДК 621.455

ИМПУЛЬСНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ РАКЕТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ СТАБИЛИЗАЦИИ И КОРРЕКЦИИ ОРБИТЫ МИКРОСПУТНИКА

Полятыкин А.А., Зименкова А.Э., Языков Г.Б.
Научный руководитель: Саттаров А.Г., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. Описан принцип работы импульсного лазерного ракетного двигателя (ИЛРД) (импульсный оптический разряд в камере сгорания) и конструктивные особенности, включая систему подачи газа. Проведен анализ аэродинамического сопротивления микроспутника на различных высотах орбиты (100–700 км), показавший, что ИЛРД может эффективно использоваться на высотах свыше 500 км. Результаты работы демонстрируют перспективность применения ИЛРД для малых космических аппаратов.

В настоящее время создано и запущено на орбиту большое количество микроспутников. Однако, данные спутники не имеют эффективных микродвигателей с достаточно большим импульсом тяги и ресурсом работы. Данный типы ИЛРД предназначены для ориентации микроспутника в пространстве, стабилизацию и коррекцию орбиты спутника [1-7].

На рисунке 1.1 представлен микроспутник с импульсным лазерным ракетным двигателем, разработанный в студенческом конструкторском бюро (СКБ) «Импульс».

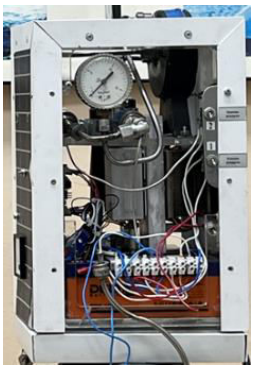


Рис. 1.1. Микроспутник, разработанный в СКБ «Импульс»

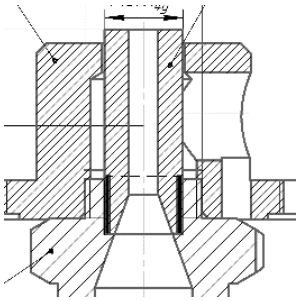


Рис. 1.2. Схема импульсного лазерного ракетного двигателя

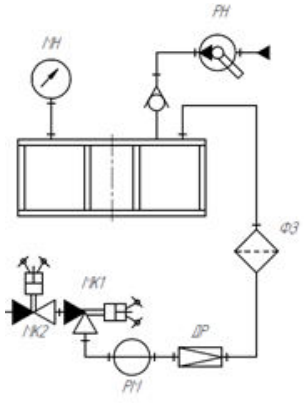


Рис. 1.3. Пневмосистема подачи рабочего газа в камеру

На рисунке 1.2 приведена схема импульсного лазерного ракетного двигателя, в котором импульс продолжительностью 10 нс, энергией в единичном импульсе 0,1 Дж, частотой 20 Гц поступает в линзу с длиной фокуса 20 мм, где осуществляется фокусировка и концентрация лазерного излучения. В результате этого в камере микродвигателя происходит импульсный оптический разряд, возникает плазма, обладающая высокой температурой, давление в камере повышается и горячие газы выбрасываются из сопла, создавая импульс тяги.

Подача порции газа в камеру сгорания показана на рисунке 1.3. Рабочий газ из бака поступает сначала в открытый клапан МК1, при этом клапан МК2 находится в закрытом состоянии. Затем клапан МК1 закрывается, и после открытия клапана МК2, порция газа между клапанами МК1 м МК2 поступает в камеру, в этот момент синхронно подается импульс лазерного излучения для создания оптического разряда.

На рисунке 2 показан процесс работы импульсного лазерного ракетного двигателя.

Рис. 2. Процесс работы импульсного лазерного ракетного двигателя

Значение скорости пенопластового шарика, с массой m = 1,0 мг, в момент отрыва от среза сопла оценивался путем измерения высоты подъема h. При давлении в камере (имеется в виду атмосферное давление), в камеру поступал лазерный импульс с энергией 0,1 Дж, длительностью 10 нс. Шарик, установленный на срезе сопла поднимался на высоту h = 0,43 м (см. рисунок 3).

Рис. 3. Момент максимальной величины высоты подъема шарика,
установленного на срезе сопла

Из условия равенства кинетической $E_К$ и потенциальной энергий $E_П$, т.е.

$$E_к = E_п = mgh = 1{,}0 * 9{,}8 * 0{,}43 * 10^{-6} = 4{,}214 * 10^{-6}\ \text{Дж},$$

находим скорость шарика в момент отрыва от среза сопла:

$$V = \left(2E_к/m\right)^{0{,}5} = \left(2 * 4{,}214 * 10^{-6}/1{,}0 * 10^{-6}\right)^{0{,}5} = 2{,}9\ \text{м/с}.$$

Импульс тяги равняется:

$$I = mV = 2{,}9 * 10^{-6}\ \text{Нс}$$

В работе [8], получено значение коэффициента реактивной отдачи при энергии для энергии 0,1 Дж в импульсе $C_m = 4{,}2 * 10^{-5}$ Нс/Дж, тогда импульс тяги камеры, равняется $I = 0{,}1 * 4{,}2 * 10^{-5} = 4{,}2 * 10^{-6}$ Нс. Расхождение значений импульса, измеренной нашим способом (по максимальной высоте подъема шарика, установленного на срезе сопла ИЛРД) и полученное в работе [8], на $(4{,}2 - 2{,}9) * 10^{-6} = 1{,}3 * 10^{-6}$ Нс меньше. Снижение измеренного значения импульса тяги по высоте можно объяснить потерей импульса тяги, связанной сопротивлением воздуха при подъеме шарика.

В таблице 1 приведены массовые и энергетические характеристики импульсного ракетного двигателя, разработанного в СКБ «Импульс».

Таблица 1

Массовые и энергетические характеристики импульсного ракетного двигателя

Тип аппарата	Тип импульсного оптического разряда	Импульс тяги в земных условиях, мкНс	Частота лазера, Гц	Эффективная тяга лазерного микродвигателя в земных условиях, Н	Потребляемая мощность ДУ, Вт	Сухая масса ДУ, кг
Микроспутник разработка СКБ «Импульс» КНИТУ-КАИ	Оптический разряд в среде рабочего газа (воздуха)	2,9	20	$1{,}4 * 10^{-3}$	60	10,2

В результате выполненных опытов получено значение импульса тяги импульсного лазерного ракетного двигателя (ИЛРД) 2,9 Нс. При частоте работы импульсного лазера, равной 20 Гц определяем эффективную тягу ИЛРД:

$$P_{эфф} = If = 2{,}9 * 20 * 10^{-6}\ \text{Н}$$

Двигательная установка ИЛРД ориентации и стабилизации микроспутника в первую очередь должна компенсировать силу аэродинамического сопротивления микроспутнику остатков воздуха на околоземной орбите на соответствующей высоте полета. Тяга двигательной установки (ДУ) должна в несколько раз превышать силу аэродинамического сопротивления $F_{сопр}$, которую можно оценить по следующей формуле:

$$F_{сопр} = \frac{1}{2} C_x \rho V^2 S,$$

где C_x - коэффициент лобового сопротивления, ρ - плотность среды на высоте полета МКА [кг/м^3], V – скорость полета МКА [м/с], S – площадь миделя [м^2].

Скорость полета космического аппарата (КА) на круговой орбите определяется выражением:

$$V = \sqrt{\frac{k}{R_З + H}},$$

где k – гравитационный параметр Земли (k = 3,986 * 10^{14} м^3/с^2), $R_З$ – радиус Земли [м], Н – высота орбиты микроспутника [м].

Плотность среды на высоте полета микроспутника ρ можно определить исходя из справочных данных, высоту полета Н предполагаем равным от 100 до 700 км. Принимая C_x =

2,3 для прямоугольного сечения, с учетом площади миделевого сечения S = 0,06 м^2 (площадь корпуса микроспутника 0,06 м^2), найдем зависимость силы сопротивления от высоты полета.

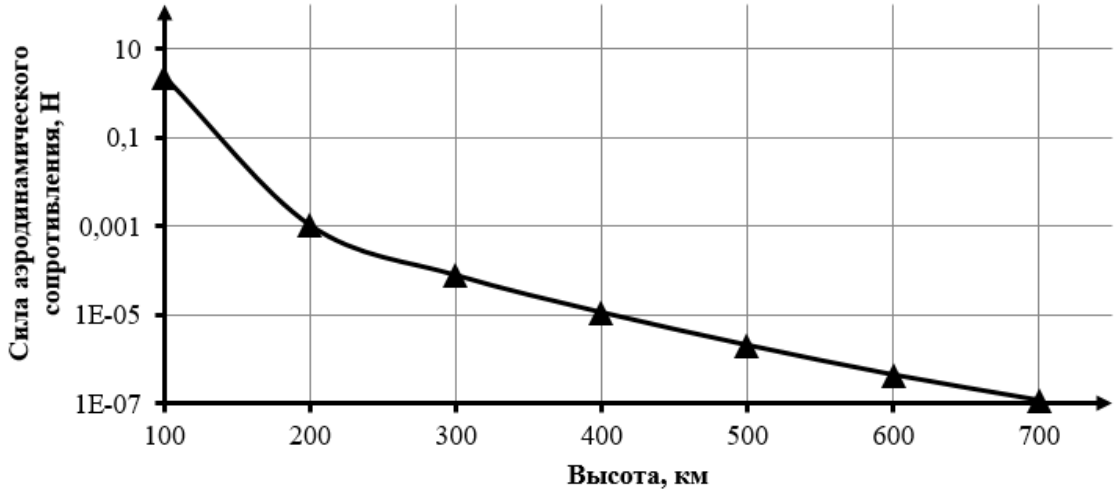


Рис. 4. Зависимость аэродинамического сопротивления МКА от высоты орбиты

Как следует из зависимости $F_{\text{сопр}} = f\ H$, приведенной на рисунке 4, разработанный ИЛРД в составе ДУ микроспутника может быть использован для ориентации, стабилизации при полете на высоте орбиты более 600 км.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Саттаров А.Г., Сочнев А.В., Зиганшин Б.Р.*; КНИТУ-КАИ. Способ работы двигателя космического летательного аппарата Патент на изобретение №2757615, дата регистрации 15.03.2021.

2. *Саттаров А.Г., Сочнев А.В., Зиганшин Б.Р.*; КНИТУ-КАИ. Лазерный двигатель космического летательного аппарата Патент на изобретение № 2756147, дата регистрации 15.03.2021.

3. *Саттаров А.Г., Сочнев А.В., Зиганшин Б.Р., Кадиров А.А.;* КНИТУ-КАИ. Способ работы импульсного лазерного ракетного двигателя для систем ориентации, стабилизации и коррекции низкоорбитальных орбитальных космических летательных аппаратов с малой массой №2022110735, дата регистрации 25.04.2022.

4. *Саттаров А.Г., Сочнев А.В., Зиганшин Б.Р., Кадиров А.А.*; КНИТУ-КАИ. Импульсный лазерный ракетный двигатель для систем ориентации, стабилизации и коррекции орбитальных космических летательных аппаратов с малой массой. Патент на изобретение №2794391, дата регистрации 2022.

5. *Sattarov A.G., Ziganshin B.R., Sochnev A.V., Nagulin K.Y., Lapshin S.V.* Numerical simulation of gas propagation process behind a shock wave during optical breakdown of air in a cylindrical channel. Journal of Physics: Conference Series, 2020, vol. 1687. DOI: 10.1088/1742-6596/1687/1/012004.

6. *Sattarov A.G., Sochnev A.V., Ziganshin B.R.* Comparison of initial pressure distributions in shock wave simulation of optical breakdown on surface. Journal of Physics: Conference Series, 2021, vol. 1870. DOI:10.1088/1742-6596/1870/1/012008.

7. *Зиганшин Б.Р., Сочнев А.В.* Существующие концепции и обзор экспериментальных исследований лазерного ракетного двигателя. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана.Сер. Машиностроение, 2021, № 1 (136), с. 20–52. DOI: https://doi.org/10.18698/0236-3941-2021-1-20-52.

8. *Агейчик А.А., Егоров М.С, Резунков Ю.А., Сафронов А.Л., Степанов В.В.*; ФГУП НИИКИ ОЭП. Аэрокосмический лазерный реактивный двигатель Пат 2266420, опубл. 20.12.2005.

PULSED LASER ROCKET ENGINE FOR ATTITUDE CONTROL, STABILIZATION, AND ORBIT CORRECTION SYSTEM OF A MICROSATELLITE

Polyatykin A., Zimenkova A., Yazykov G.
Supervisor: Sattarov A.G., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. The pulsed laser rocket engine (PLRE) is designed for attitude control, stabilization, and orbit correction systems of microsatellites. The article describes the engine's operating principle based on creating a pulsed optical discharge in the combustion chamber, along with its design features including the working gas delivery system. An analysis of the microsatellite's aerodynamic drag at various orbital altitudes (100-700 km) demonstrates that the PLRE can operate effectively at altitudes above 500 km. The results highlight the promising potential of PLRE for small spacecraft applications.

УДК 533.95

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ОПТИЧЕСКИЙ ПРОБОЙ В ВОЗДУХЕ

Самойлова Е.С.
Научный руководитель: Сочнев А.В., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева– КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе, анализируя взаимодействие лазерного излучения с воздухом под воздействием внешних полей, исследуется влияние электростатического поля на оптический пробой в воздухе. Экспериментальные и теоретические методы показывают, что увеличение напряженности электростатического поля снижает порог пробоя, что дает новые возможности для управления процессами ионизации. Полученные результаты могут быть использованы при разработке двигательных установок для наноспутников на новом принципе.

Введение. Современные исследования в области физики плазмы и электростатики открывают новые возможности для понимания взаимодействия электрических полей с веществом. Одной из актуальных тем является изучение влияния электростатического поля на оптический пробой в газах. Оптический пробой — это процесс, при котором интенсивное лазерное излучение вызывает ионизацию воздуха, что приводит к образованию плазмы и, как следствие, к возникновению электрических разрядов [1]. В условиях современного технологического прогресса и увеличения применения лазерных систем в различных областях, таких как медицина, связь и промышленность, исследование данного феномена становится особенно важным.

Цель работы — выявить закономерности изменения пороговых значений интенсивности лазерного излучения в зависимости от параметров электростатического поля. Объектом исследования является процесс оптического пробоя, вызываемый импульсным лазерным излучением в воздухе при атмосферном давлении. Актуальность работы обусловлена необходимостью понимания процессов плазмообразования для разработки новых двигательных установок для наноспутников.

Новизна исследования заключается в систематическом анализе зависимости порога оптического пробоя от напряженности электростатического поля и разработке схемы, учитывающей совместное действие лазерного излучения и внешнего поля. Гипотеза исследования: электростатическое поле снижает порог оптического пробоя за счет усиления ионизационных процессов в газе.

Теоретическая часть. Оптический пробой в воздухе представляет собой явление, возникающее, когда интенсивность лазерного излучения превышает определенное пороговое значение, необходимое для ионизации молекул газа, таких как азот и кислород. При достижении этого порога молекулы газа теряют электроны, что приводит к образованию плазмы — состояния вещества, в котором присутствуют свободные заряженные частицы. Это явление имеет важное значение в различных областях, включая лазерную технологию, медицинскую диагностику и обработку материалов [2].

Пороговая интенсивность, необходимая для возникновения оптического пробоя, зависит от нескольких факторов. Во-первых, длина волны лазера играет ключевую роль: разные длины волн взаимодействуют с молекулами газа по-разному, что влияет на эффективность ионизации. Во-вторых, давление газа также существенно влияет на пороговую интенсивность. При высоком давлении количество молекул в единице объема увеличивается, что может привести к более частому взаимодействию лазерного излучения с молекулами и, следовательно, к изменению порога пробоя. Наконец, длительность импульса лазера также важна: короткие импульсы могут создавать более высокие пиковые интенсивности, что способствует ионизации.

Расчет ведется исходя из модели Келдыша. Модель Келдыша — это теоретическая модель, используемая для описания процессов ионизации атомов и молекул под действием интенсивного лазерного излучения [3]. Данный метод применяется для анализа оптического пробоя, нелинейной ионизации и других явлений в сильных электромагнитных полях.

Режимы ионизации: Модель описывает два предельных механизма:

- Многоквантовая ионизация: энергия фотона мала по сравнению с потенциалом ионизации, поэтому требуется поглощение множества фотонов для ионизации атома.
- Туннельная ионизация: электрон может "просачиваться" через потенциальный барьер в сильных электрических полях (эффект туннеля).

Параметр Келдыша (γ) определяет, какой механизм ионизации доминирует:

$$\gamma = \sqrt{\frac{U_i}{2 * U_p}},$$

где: U_i — потенциал ионизации атома или молекулы (энергия, необходимая для ионизации);
$U_p = \frac{e^2 E^2}{4 * m_e \omega^2}$ — энергия осцилляции электрона в поле лазера (пондеромоторная энергия).

$\gamma \gg 1$: Преобладает многоквантовая ионизация (слабое поле, высокая частота).

$\gamma \ll 1$: Преобладает туннельная ионизация (сильное поле, низкая частота).

$\gamma \approx 1$: Переходный режим.

В контексте оптического пробоя в газах (например, в воздухе) модель Келдыша используется для расчета пороговой интенсивности лазерного излучения, при которой начинается лавинная ионизация, приводящая к образованию плазмы. Формула для пороговой интенсивности (1), основана на этой модели:

$$I_{th} \approx \frac{c\varepsilon_0}{2} * \left(\frac{m_e \omega^2 U_i}{e^2}\right), \quad (1)$$

где: e — заряд электрона;
E — амплитуда электрического поля лазера;
m_e — масса электрона;
ω — циклическая частота лазерного излучения.

Наличие дополнительного электростатического поля может модифицировать потенциальный барьер, влияя на U_i и, следовательно, на γ, что изменяет вероятность ионизации.

Модель Келдыша широко используется в физике лазеров, плазменной физике и оптике для:

- Расчета порогов оптического пробоя в газах и твердых телах.
- Анализа генерации гармоник высокого порядка.
- Исследования процессов в ультракоротких лазерных импульсах.

Для расчетов был использован импульсный лазер LQ 529B.

Методология

Теоретический подход базируется на основе модели Келдыша**:**

Исходные данные:

Длина волны лазера: $\lambda = 1064$ нм (LQ 529B);

Давление воздуха: $p = 1$атм;

Температура воздуха: $T = 300$К;

Длительность импульса: $\tau = 10$ нс;

Выходное напряжение: $U = 800$ кВ;

Расстояние между электродами: $d = 0.02$ м.

Справочные единицы:

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с — скорость света;

$\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — электрическая постоянная;

$me = 9.11 \cdot 10^{-31}$ кг — масса электрона;

$e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл — заряд электрона;

$U_i = 34$ эВ $= 5.45 \cdot 10^{-18}$ Дж — потенциал ионизации воздуха.

Циклическая частота излучения:

$\omega = \frac{2\pi c}{\lambda} = \frac{2 * 3.14 * 3 \cdot 10^8}{1064 \cdot 10^{-9}} \approx 1.77 \cdot 10^{15}$ рад/с ;

Пороговая интенсивность без поля находится по формуле (1):

$I_{th} \approx \frac{3 \cdot 10^8 * 8.85 \cdot 10^{-12}}{2} * \frac{9.11 \cdot 10^{-31} * (1.77 \cdot 10^{15})^2 * 5.45 \cdot 10^{-18}}{(1.6 \cdot 10^{-19})^2} =$≈ 8.05·10¹⁷ Вт/м² = 8.05·10¹³ Вт/см²;

Напряженность электростатического поля:

$E_{\text{DC}} = U / d = \frac{800 * 10^3}{0{,}02} = 4 * 10^7$В/м .

Эффективный потенциал с учетом электростатического поля:

$$U_{\text{эфф}} = U_i - \frac{e * E_{\text{DC}} * l}{2}, \quad (2)$$

где l — длина свободного пробега электрона.

Зависимость длины пробега электрона от давления описывается формулой, вытекающей из кинетической теории газов. Длина свободного пробега обратно пропорциональна давлению:

$$l = \frac{1}{\sqrt{2}\pi {d_0}^2 N}, \quad (3)$$

где $d_0 = 3.7 * 10^{-10}$, м — эффективный диаметр молекул газа;

N — концентрация молекул газа.

Концентрацию молекул выразим через уравнение состояния идеального газа:

$$N = \frac{p}{kT},$$

где p=1 атм = 101325 Па — давление;

k=1.38*10^{-23} Дж/К — постоянная Больцмана;

T — абсолютная температура.

Подставив N в формулу (3), получаем:

$l = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi {d_0}^2 p} = \frac{1.38 * 10^{-23} * 300}{\sqrt{2} * 3.14 * (3.7 * 10^{-10})^2 * 101325} = 67.18$ нм.

При давлении равном 1атм получаем длину пробега электрона 67,18 нм.

Из уравнения (2):

$U_{\text{эфф}} = 5.45 \cdot 10^{-18} - \frac{1.6 \cdot 10^{-19} * 4 * 107 * 67.18 * 10^{-9}}{2} \approx 5.235 \cdot 10^{-18}$ Дж .

В результате получаем следующие значения пороговой интенсивности:

Без влияния напряженности поля:

$I \approx 8{,}05 \cdot 10^{13}$ Вт/см^2;

С учетом поля E_{DC}:

$I_{\text{эфф}} = I * \frac{U_{\text{эфф}}}{U_i} = 8.05 \cdot 10^{13} * \frac{5.235}{5.45} \approx 7.732 \cdot 10^{13}$ Вт/см^2.

В данном случае вклад электростатического поля незначителен из-за малой длины пробега. Пересчитаем значения длины пробега (3) при давлении равном:

$p_2 = 0{,}1$ атм и $p_3 = 0{,}05$ атм.

Получим следующие длины свободного пробега электрона:

$l_2 = 671.8$ нм и $l_3 = 1.35$ мкм.

Эффективный потенциал с учетом электростатического поля:

$$U_{эфф_2} = 5.45 \cdot 10^{-18} - \frac{1.6 \cdot 10^{-19} * 4 * 107 * 671.8 * 10^{-9}}{2} \approx 3.3 \cdot 10^{-18} \text{ Дж},$$

$$U_{эфф_3} = 5.45 \cdot 10^{-18} - \frac{1.6 \cdot 10^{-19} * 4 * 107 * 1.35 * 10^{-6} * 10^{-9}}{2} \approx 1.136 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}.$$

Пороговая интенсивность с учетом электростатического поля:

$$I_{эфф_2} = I * \frac{U_{эфф_2}}{U_i} = 8.05 \cdot 10^{13} * \frac{3.3}{5.45} \approx 4.874 \cdot 10^{13} \text{ Вт/см}^2,$$

$$I_{эфф_3} = I * \frac{U_{эфф_3}}{U_i} = 8.05 \cdot 10^{13} * \frac{1.136}{5.45} \approx 1.678 \cdot 10^{13} \text{ Вт/см}^2.$$

Электростатическое поле снижает пороговую интенсивность для оптического пробоя, что связано с уменьшением эффективного потенциала ионизации.

Экспериментальный подход. Исследование проводилось с использованием импульсного лазера LQ 529B с длиной волны 1064 нм, длительностью импульса 10 нс и энергией импульса до 350 мДж. Лазерное излучение фокусировалось линзой с фокусным расстоянием 50 мм в область между двумя плоскими электродами, создающими электростатическое поле. Расстояние между электродами составляло 2 см, выходное напряжение варьировалось от 0 до 800 кВ, что обеспечивало напряженность поля до 400 кВ/см. Эксперименты проводились в воздухе при атмосферном давлении (760 мм рт. ст.) и температуре 20°C. Электрическая схема представлена на рисунке 1.

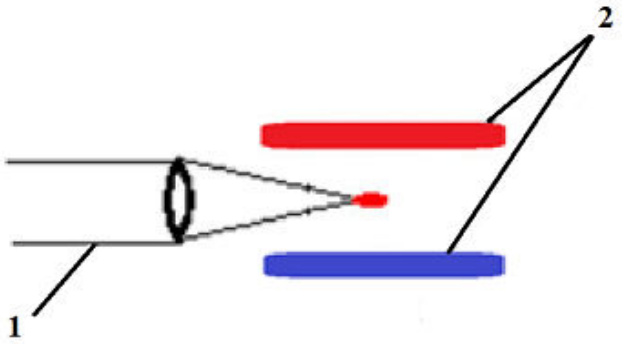


Рис.1. Электрическая схема экспериментальной установки: 1. лазерный луч; 2. плоские электроды

Методика измерений. Порог оптического пробоя определялся как минимальная интенсивность лазерного излучения, при которой регистрировалась плазма (определялась на основе регистрации светового импульса и акустического сигнала). Интенсивность излучения регулировалась с помощью изменения энергии накачки.

Результаты. При использовании импульсного лазера LQ 529B и электрического поля, создаваемого высоковольтным генератором с напряжением 800 кВ, порог энергии накачки, необходимой для возникновения оптического пробоя, не снизился по сравнению с контрольными измерениями в отсутствии поля. Приборы не зафиксировали оптического пробоя при данной настройке.

В соответствии с теоретическими расчетами, ожидается, что увеличение длины свободного пробега электронов путем уменьшения давления среды должно привести к возможности уменьшения энергии накачки, необходимой для достижения оптического пробоя (Рис.2).

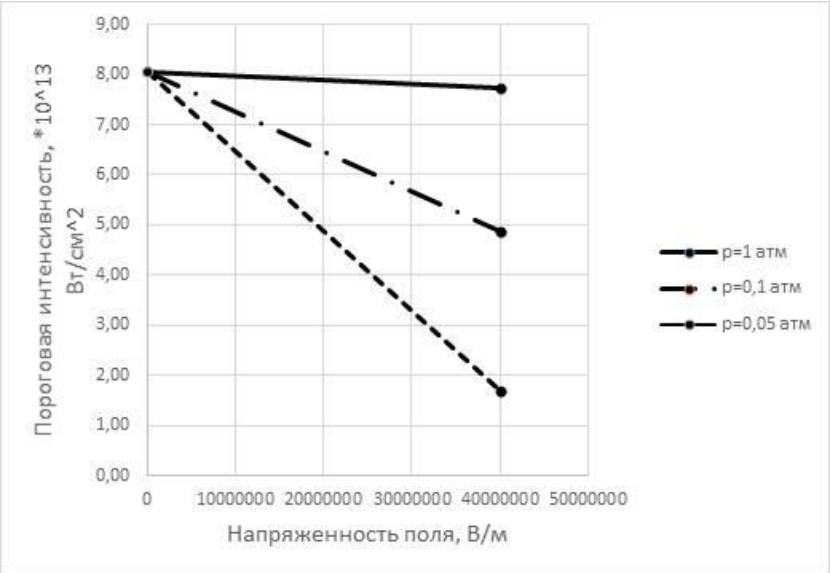


Рис. 2. Зависимость порога оптического пробоя от напряженности электростатического поля

Данные выводы подчеркивают необходимость дальнейших экспериментов с пониженным давления среды для проверки поставленной гипотезы о влиянии поля на пробой в воздухе.

Уменьшение порога пробоя имеет практическое значение для лазерных систем, где требуется управление образованием плазмы. Однако дальнейшие исследования необходимы для изучения влияния поля на пробой в других газах и при различных длинах волн лазерного излучения.

Ограничением исследования является фиксированное атмосферное давление и ограниченный диапазон напряженности поля. В будущем рекомендуется продолжить эксперименты при использовании других условий окружающей среды и более широкого спектра лазерных параметров.

Заключение. В ходе выполненного исследования было проанализировано влияние электростатического поля на процесс оптического пробоя в воздухе. Теоретические расчёты показали, что уменьшение давления среды увеличивает длину пробега электронов, что, в свою очередь, приводит к снижению порога оптического пробоя. Эксперимент не подтвердил наличие этой зависимости в пределах чувствительности оборудования при максимальной напряжённости поля, доступной в эксперименте (до 400 кВ/см), достоверного уменьшения порога пробоя зафиксировано не было.

Хотя экспериментальные результаты не подтвердили значительного снижения порога пробоя, они подчёркивают необходимость дальнейших исследований в условиях пониженного давления и с использованием более мощных электростатических полей.

Перспективность данной темы для наноспутников обусловлена потенциалом создания лёгких, масштабируемых двигательных установок, использующих лазерно-индуцированную плазму под воздействием электростатических полей. Такие системы могут значительно повысить манёвренность и долговечность наноспутников, а также снизить требования к энергопотреблению. Дальнейшие исследования позволят уточнить оптимальные условия для практической реализации таких технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Исследования в области лазерной физики и плазмы / Институт лазерной физики СО РАН. — Новосибирск, 2025. — URL: http://laser.nsc.ru (дата обращения: 03.06.2025).

2. Кафедра оптики: исследования в области физической оптики и лазерной физики / Санкт-Петербургский государственный университет. — Санкт-Петербург, 2025. — URL: http://www.phys.spbu.ru (дата обращения: 01.06.2025).

3. *Келдыш Л.В.* "Ионизация в поле сильной электромагнитной волны" // Журнал экспериментальной и теоретической физики, 1964, том 47, № 5, с. 1945–1957 (дата обращения: 15.05.2025).

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF AN ELECTROSTATIC FIELD ON OPTICAL BREAKDOWN IN AIR

Samoylova E.S.
Supervisor: Sochnev A.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. This research paper examines the influence of an electrostatic field on optical breakdown in air. The main focus of the study is the analysis of the interaction between laser radiation and air under the influence of external electrostatic fields. The research methodology includes both experimental and theoretical approaches. The experimental part involves conducting a series of tests using a laser setup and measuring the electrostatic field strength. The theoretical part is based on the analysis of the obtained data using the Keldysh model. The results of the study indicate that an increase in the electrostatic field strength leads to a reduction in the breakdown threshold, which opens new possibilities for controlling air ionization processes. The obtained results can be applied in the development of propulsion systems for nanosatellites based on a new principle.

УДК 629.7.036.3.01

К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ТЕЧЕНИЯ ПОТОКА В УСТРОЙСТВЕ РЕВЕРСИРОВАНИЯ ТЯГИ ТРДД ПРИ ЕГО ВКЛЮЧЕНИИ

Саухин Л.А.
Научный руководитель: Варсегов В.Л., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. Проведено численное исследование аэродинамики течения устройства реверсирования тяги решётчатого типа, расположенного в наружном контуре двухконтурного турбореактивного двигателя (ТРДД), на этапе его включения при перекладке створки. Выявлены особенности течения потока на режимах при переходе от прямой тяги к обратной.

Проектирование, создание и газодинамическое совершенствование устройств реверсирования тяги является одной из основных задач на этапе разработки современного конкурентоспособного турбореактивного двигателя [1-4].

Процедура перемещения створки устройства реверсирования тяги при его включении приводит к деформации и последующему развороту потока наружного контура ТРДД. Изучение этого процесса носит не только познавательный характер, но и имеет практическое применение результатов при проектировании кинематики привода реверса и прочностных расчётах.

Работа посвящена численному моделированию аэродинамики устройства реверсирования тяги решетчатого типа, расположенного в наружном контуре ТРДД, с целью изучения картины течения и определения газодинамических характеристик на режиме его включения при перекладке створки.

Актуальность данного исследования заключается в следующем:

1) Результаты численного моделирования позволяют расширить представление о картине течения в реверсивном устройстве, при перекладке створки из режима прямой в режим обратной тяги.

2) Расчётные результаты позволяют скорректировать величину обратной тяги, создаваемую реверсивным устройством с момента включения до выключения режима реверсирования тяги.

3) Знание усилий, действующих на створку и лопатки реверсивного устройства со стороны потока, могут быть использованы при разработке кинематики реверса и при прочностных расчётах лопаток.

4) Результаты численного моделирования позволяют оценить возможное влияние режима перекладки створки на повышение давления за вентилятором и, как следствие, на работу турбокомпрессора.

5) Знание закономерностей течения позволит предусмотреть мероприятия, обеспечивающие повышение запаса газодинамической устойчивости двигателя при перекладке створки реверсивного устройства.

Исходя из этого сформулирована основная цель исследования, как определение на основе численного моделирования интегральных характеристик реверсивного устройства, необходимых для повышения его эффективности.

Решаемые в ходе исследования задачи сформулированы следующим образом:

1) Разработка численной модели аэродинамики устройства реверсирования тяги решетчатого типа на режиме его включения.

2) Верификация численной модели на основе результатов экспериментального исследования, полученных в модельных условиях.

3) На основе результатов численного моделирования определение закономерностей изменения коэффициентов расхода, восстановления полного давления и реверсирования при перекладке створки из режима прямой в режим обратной тяги.

4) Определение величины усилия, действующую на створку реверсивного устройства со стороны потока наружного контура при её перемещении, а также возникающую при этом нагрузку на лопатки.

5) Оценка влияния режима включения устройства реверсирования тяги на работу турбокомпрессора.

Численное моделирование выполнено применительно к компоновке реверсивного устройства перспективного двигателя [5, 6]. Задача решалась в осесимметричной двумерной постановке с использованием пакета прикладных программ ANSYS Fluent для стационарного режима течения. В расчетной модели приняты следующие граничные условия:

- на входной границе задавалась среднерасходная скорость потока;
- на выходной границе предполагались атмосферные давление и температура;
- на выходной границе задавалась скорость набегающего потока.

Расчетная модель без имитации набегающего потока в положении створки в режиме обратной тяги и принятые граничные условия приведены на рис. 1.

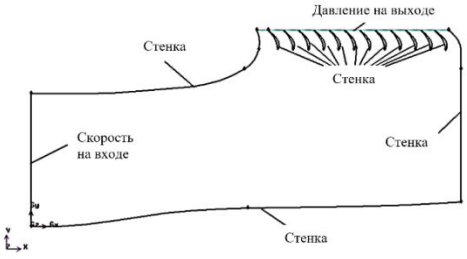


Рисунок 1. Расчетная модель в положении створки в режиме обратной тяги и принятые граничные условия

Верификация численной модели выполнена по результатам экспериментального исследования, проведённого в модельных условиях для положения створки в режиме обратной тяги при отсутствии набегающего потока [7, 8]. Экспериментальная модель

выполнена по геометрическому подобию с устройством реверсирования тяги перспективного двигателя в масштабе 1:2. Процедура верификация осуществлялась по значениям скорости на выходе из решётки.

С целью выбора адекватной модели турбулентности расчёты выполнены с использованием следующих моделей турбулентности:

- *k-ε Standard, k-ε RNG и k-ε Realizable;*
- *k-ω Standard и k-ω SST;*
- *Spalart – Allmaras;*
- RSM *(Reynolds Stress Model).*

Сравнение расчётных зависимостей для различных моделей турбулентности с измеренными в модельных условиях значениями скоростей на выходе из решётки при скорости на входе в расчётную модель 79,348 м/с приведено на рис. 2.

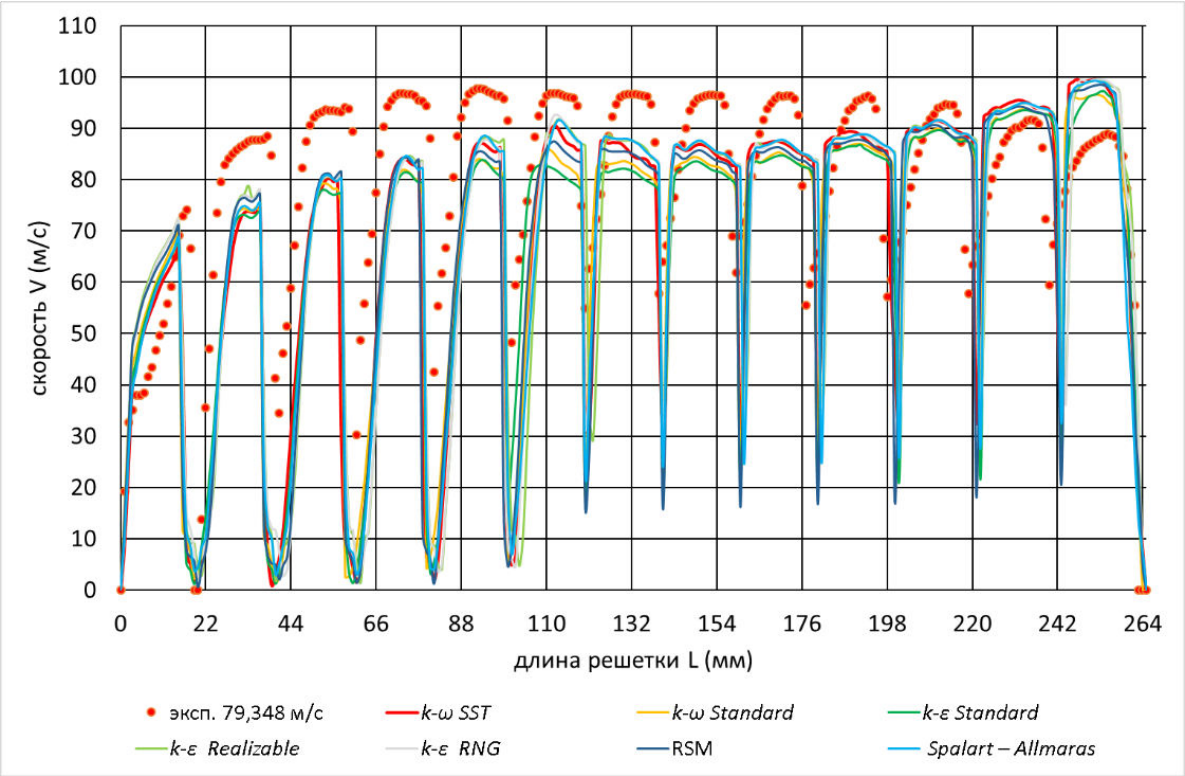


Рисунок 2. Сравнение результатов расчёта с использованием различных моделей турбулентности с измеренными значениями скорости

По результатам сравнения расчётного профиля скорости на выходе из решётки с экспериментальными результатами, предпочтение было отдано модели переноса сдвиговых напряжений Флориана Ментера (*k-ω SST*). Сопоставление расчётных и экспериментальных результатов для двух значений скорости на входе в расчётную модель 53,510 м/с и 79,348 м/с приведено на рис. 3.

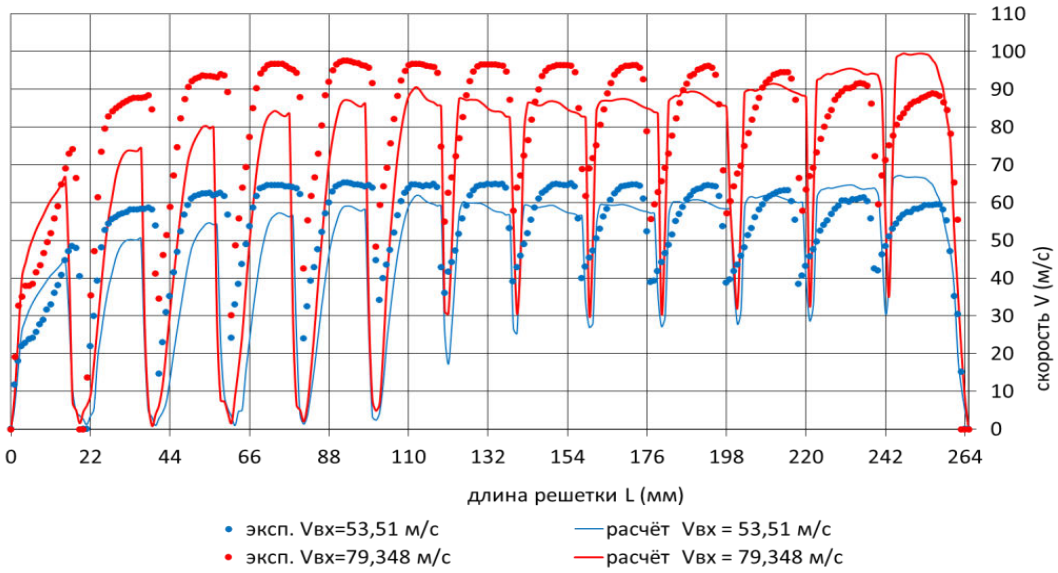


Рисунок 3. Сравнение результатов расчёта с использованием модели турбулентности *k-ω SST* для двух значений скорости на входе в расчётную модель

Проведена проверка сеточной независимости результатов расчёта для четырёх вариантов сеток с диапазоном величины $y^+ = 1…40$. Для последующих вычислений выбран вариант сетки с детальным разбиением в пристеночной зоне лопаток ($y^+ = 1$).

Сопоставление расчётных и экспериментальных результатов для различных сеток при скорости на входе в расчётную модель 79,348 м/с приведены на рис. 4.

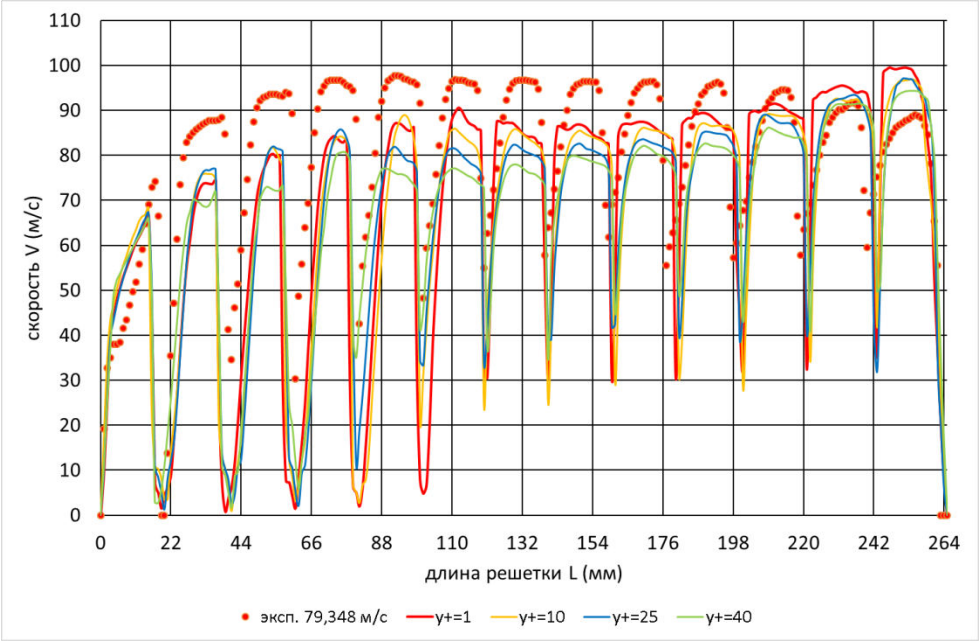


Рисунок 4. Сравнение результатов расчёта с использованием различных расчётных сеток с измеренными значениями скорости

Режим включения реверса, то есть режим перекладки створки из положения прямой тяги в положение обратной тяги занимает около 2 с. Таким образом движение створки разбивалось на 6 положений через 0,4 с. За первое положение створки при начале её движения (0 секунда движения) принят режим прямой тяги, за шестое положение при её остановке (2 секунда движения) принят режим обратной тяги.

Выполнено численное моделирование течения для 6 положений створки реверсивного устройства при среднерасходной скорости на входе в расчётную модель 79,35 м/с и скорости

набегающего потока 97,22 м/с. Картина течения для различных положений створки показана на рис. 5.

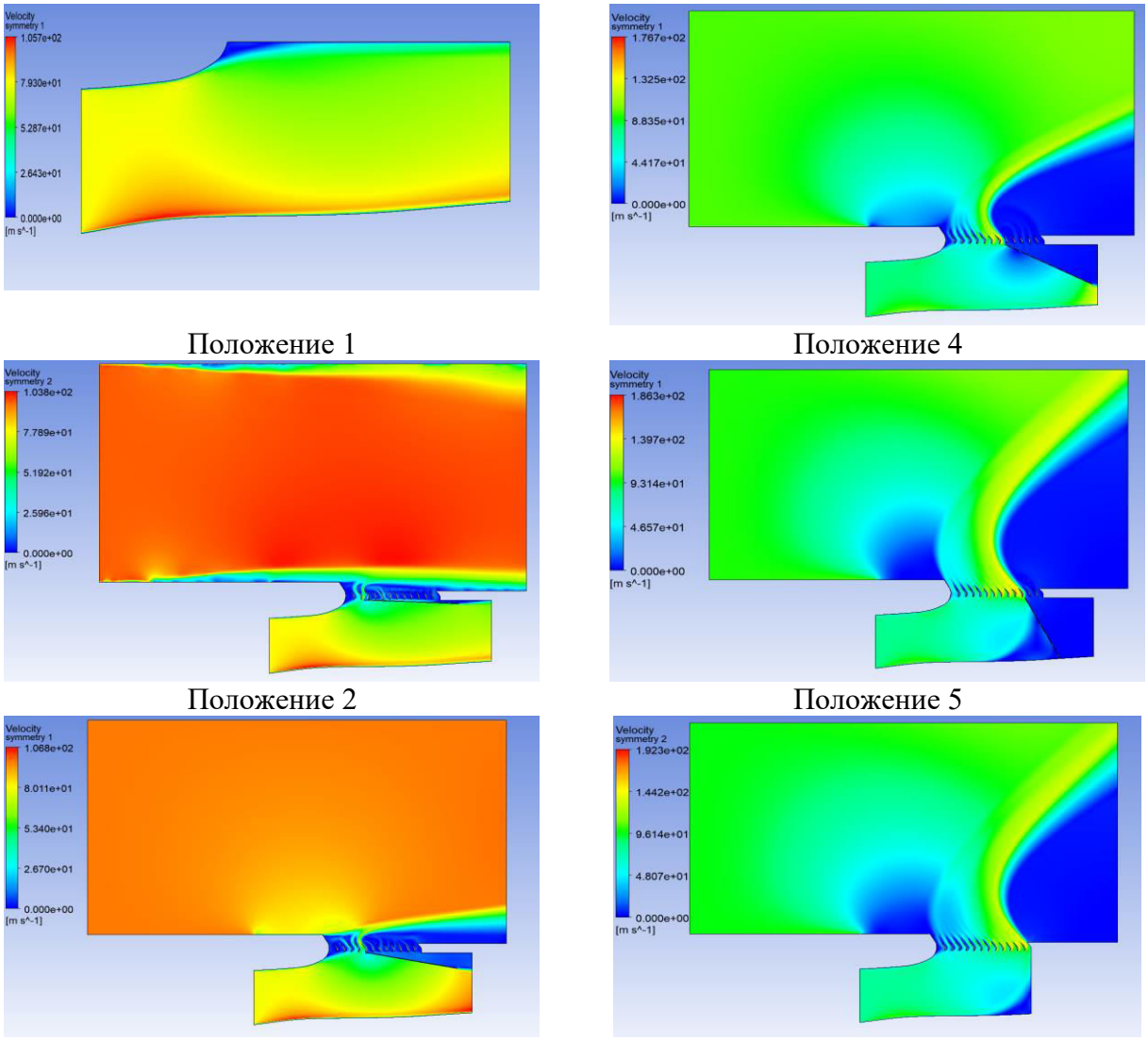


Рисунок 5. Картина течения в устройстве реверсирования тяги при его включении для различных положений створки

Результаты численного моделирования позволили определить особенности течения потока в устройстве реверсирования тяги ТРДД при его включении.

Обработка результатов расчёта позволила определить интегральные аэродинамические характеристики реверсивного устройства на режимах его включения при переходе от прямой к обратной тяге, которые необходимы при проектировании кинематики привода реверса и при прочностных расчётах лопаток решётки. Кроме этого, полученные расчётные результаты позволили скорректировать величину обратной тяги, создаваемую реверсивным устройством за время работы с момента его включения, а также оценить возможное кратковременное воздействие перекладки створки на работу турбовентилятора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гилерсон А. Г.* К вопросу об оптимизации применения реверсивных устройств // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – Казань: КНИТУ-КАИ, № 2, 1987. – с. 22-26.

2. *Иноземцев А. А., Нихамкин М. А., Сандрацкий В. Л.* Газотурбинные двигатели. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Том 2. – М.: «Машиностроение», 2008. – 365 с.

3. *Комов А. А.* Газодинамическое совершенствование реверсивных устройств / Научный вестник МГТУ ГА, серия Эксплуатация воздушного транспорта, № 134, 2008. – с. 45-51.

4. *Поляков В. В., Голубев В. А., Бондарев О. В.* Реверсивные устройства ВРД. – М.: Изд-во МАИ, 1990. – 47 с.

5. *Варсегов В. Л., Шабалин А. С.* Численное определение газодинамических характеристик решеток с различными углами отклонения выходных кромок продольных ребер реверсивного устройства перспективного газотурбинного двигателя. // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – Казань: КНИТУ-КАИ, 2017, № 2. – с. 43-49.

6. *Варсегов В. Л., Шабалин А. С.* Выбор оптимальной модели турбулентности при численном моделировании течения в устройстве реверсирования тяги ТРДД решетчатого типа // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – Казань: КНИТУ-КАИ, 2015, № 4. – с. 117–120.

7. *Маклаков Д. В., Углов А. Н.* Течение жидкости в канале реверсивного устройства решетчатого типа с учетом потерь полного давления в решетке. – Казань: Казанский университет, 1987. – 23 с.

8. *Бекурин Д. Б., Умпелева О. А., Копысов Д. В.* Использование численных методов при аэродинамическом проектировании реверсивного устройства решетчатого типа для перспективного ТРДД / III международная научно-техническая конференция «Авиадвигатели XXI века». – М.: ЦИАМ им. П. И. Баранова, 2010. – с. 1482-1485.

ON THE ISSUE OF STUDYING THE FLOW IN THE THRUST REVERSING DEVICE OF A TURBOFAN ENGINE WHEN IN SWITCH-ON POINT

Saukhin L.A.

Supervisor: Varsegov V.L., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. A numerical study of the flow aerodynamics of a lattice-type thrust reversing device located in the outer contour of a turbofan engine (TRD) was conducted at the stage of its switching on during the valve shift. Flow flow features were revealed in the modes during the transition from direct to reverse thrust.

УДК 621.452.3

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФРОНТОВОГО УСТРОЙСТВА С АНАЛИЗОМ ЭМИССИОННЫХ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Сун Юньфань

Научный руководитель: Александров Ю.Б., доцент, к. х. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

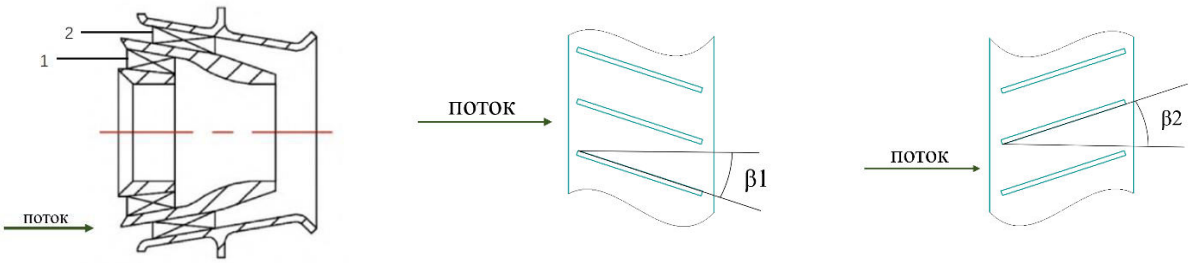
Аннотация. Особое внимание в данной работе уделено оптимизации конструкции двухступенчатого завихрителя, где методом численного моделирования исследовано влияние углов установки лопаток на характеристики горения, включая рассмотрения структуры течения потоков, эмиссию загрязняющих веществ, равномерность температурного поля и потери давления.

В традиционных камерах сгорания газотурбинных двигателей более 30 % воздуха для

горения поступает в основную камеру сгорания через фронтовое устройство. Подготовка основного потока воздуха, проходящего через завихритель, зависит от размеров завихрителя, углов установки и формы его лопаток. В настоящее время для газотурбинных двигателей все больше стали применяться двухступенчатые и трехступенчатые завихрители. Преимуществом таких конструктивных решений является: хорошее распыливание топлива, стабильное горение и высокая эффективность сгорания. Этот тип завихрителей стал объектом многочисленных исследований. В данной статье продемонстрировано исследование такого завихрителя на примере численного расчета камеры сгорания ТВ3-117 [1].

В данной работе программа трехмерного моделирования используется для создания геометрической 3D-модели кольцевой камеры сгорания с двухступенчатым завихрителем. Для уменьшения вычислительной мощности при выполнении расчета, модель кольцевой камеры сгорания была упрощена до одного сектора с углом 20°, содержащего один завихритель. По краям выбранного сектора отброшенные части моделировались за счет условия периодичности. Расчет проводился в нестационарной постановке с использованием модели турбулентной вязкости DES (Detached Eddy Simulation) сочетающей в себе осреднение уравнений Навье-Стокса по Рейнольдсу вблизи пограничного слоя и метод крупных вихрей LES в основных областях течений. В качестве топлива в расчетах используется авиационный керосин испаренной с применением модели DPM (модель дискретной фазы) в нестационарной постановке. В данной работе используется механизм горения RP-3-NOx, опубликованный Сычуаньским университетом. Трехкомпонентная модель альтернативного топлива для RP-3 представляет собой н-додекан (s0C12H26) с массовой долей 73,0 %, 14,7 % 1,3,5-триметилциклогексана (s1C9H18) и 12,3 % н-пропилбензола (PHC3H7) [2-3].

Геометрические параметры выбранного двухступенчатого завихрителя, показанного на рисунке 1, выбирались согласно материалам [2, 4] и в соответствии с местом установки в жаровой трубе.



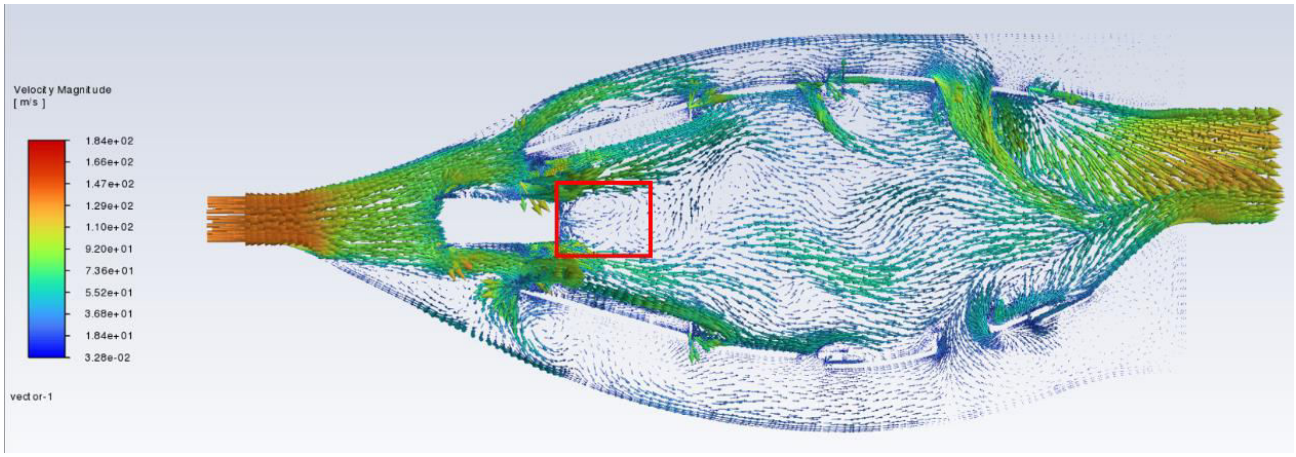
а б в

Рисунок 1. Схема двухступенчатого завихрителя: *а* – продольный разрез; *б* - первая ступень (1) завихрителя, с углом установки лопатки β1; *в* - вторая ступень (2) завихрителя, с углом установки лопатки β2

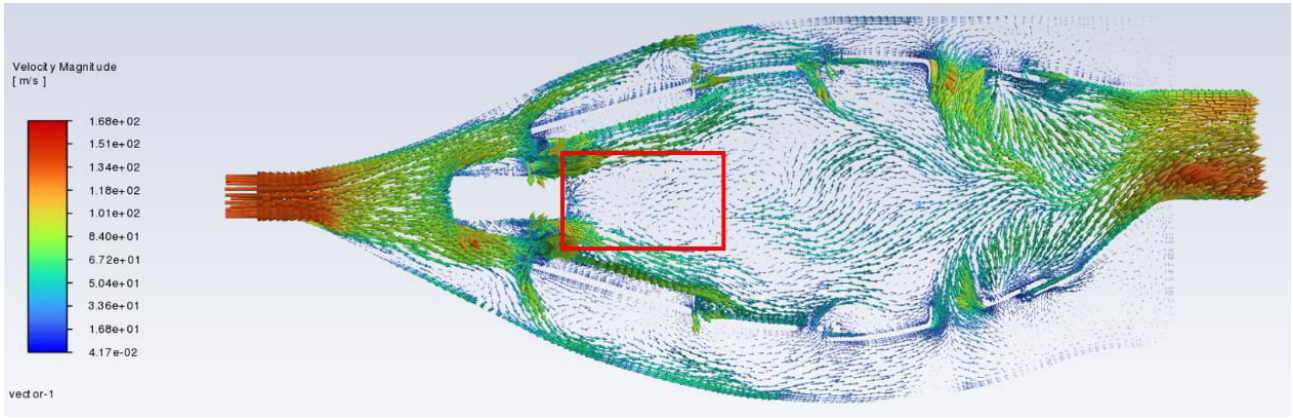
При различном направлении вращения двухступенчатого завихрителя, поток через каждую ступень завихрителя проходит в противоположном направлении, два потока образуют определенный эффект сдвига, способствующий распылению капель топлива, что повышает эффективность сгорания топлива. Поэтому в двухступенчатом завихрителе, исследованном в данной работе, используются различные направления вращения. Углы второй ступени завихрителя выбирались равными 40°, 50° и 60°, а количество лопаток в ряде – 12 штук. Углы второй ступени завихрителя выбирались равными 30°, 45° и 60°, а количество лопаток в ряде – 8 штук.

На рисунке 2, 3 и 4 показаны влияния комбинации различных углов установки лопаток первого и второго ряда на векторное поле скоростей с выявлением зоны обратных токов (ЗОТ).

а



б



в

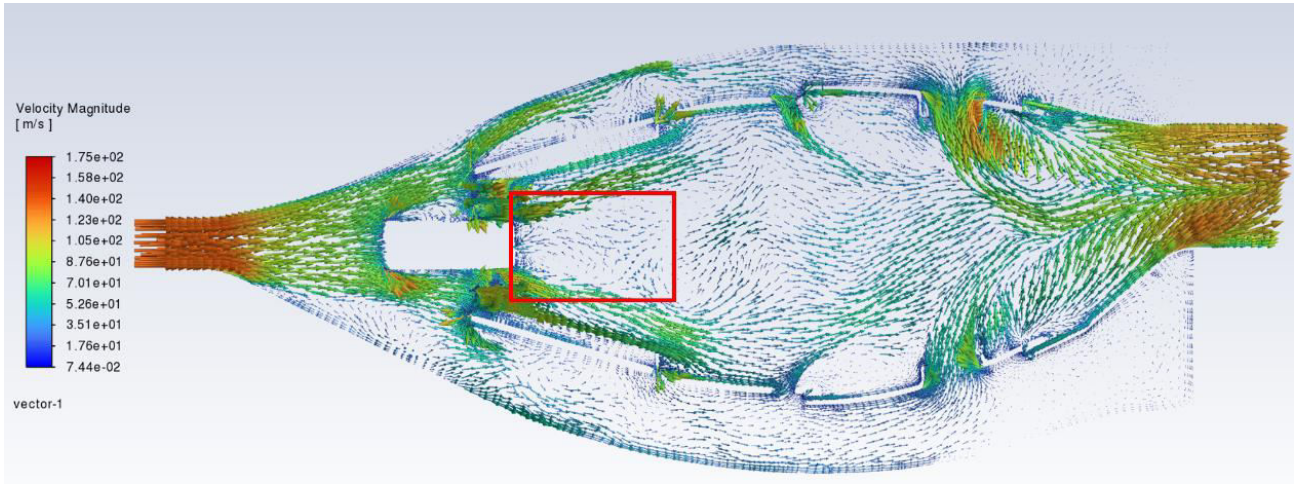
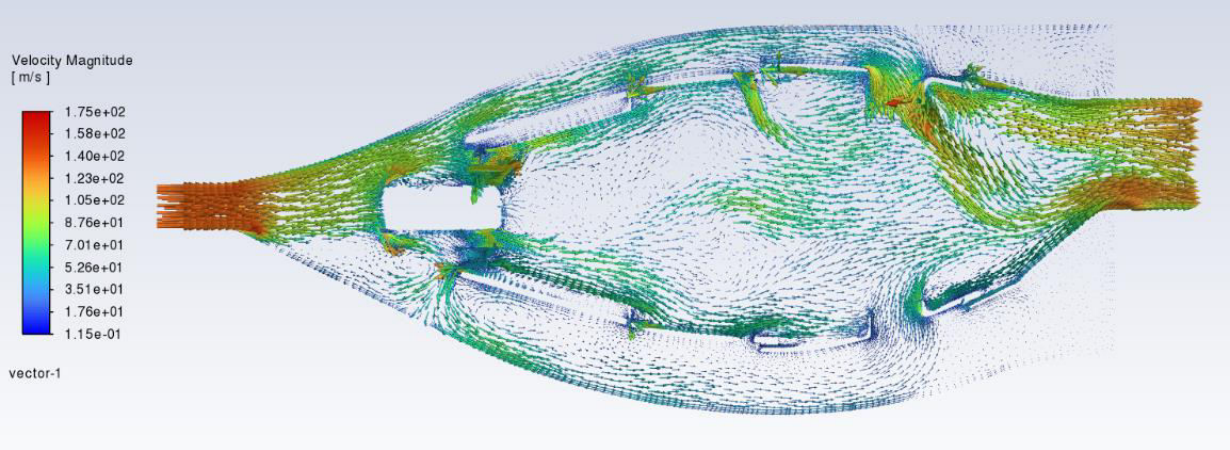
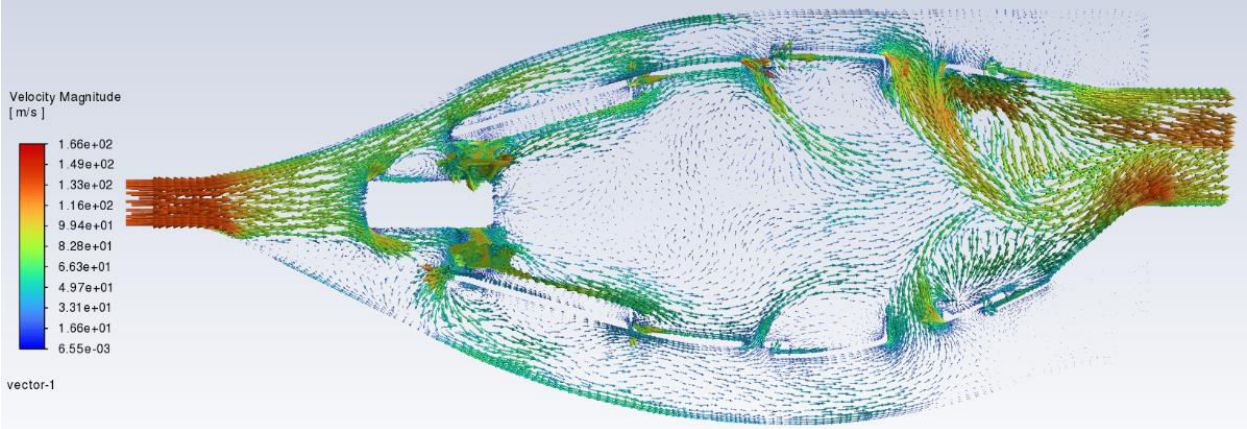


Рисунок 2. Векторное поле скорости при фиксированном угле β1 = 30° и: *а* – при β2 = 40°; *б* – при β2 = 50°; *в* – при β2 = 60°

а



б



в

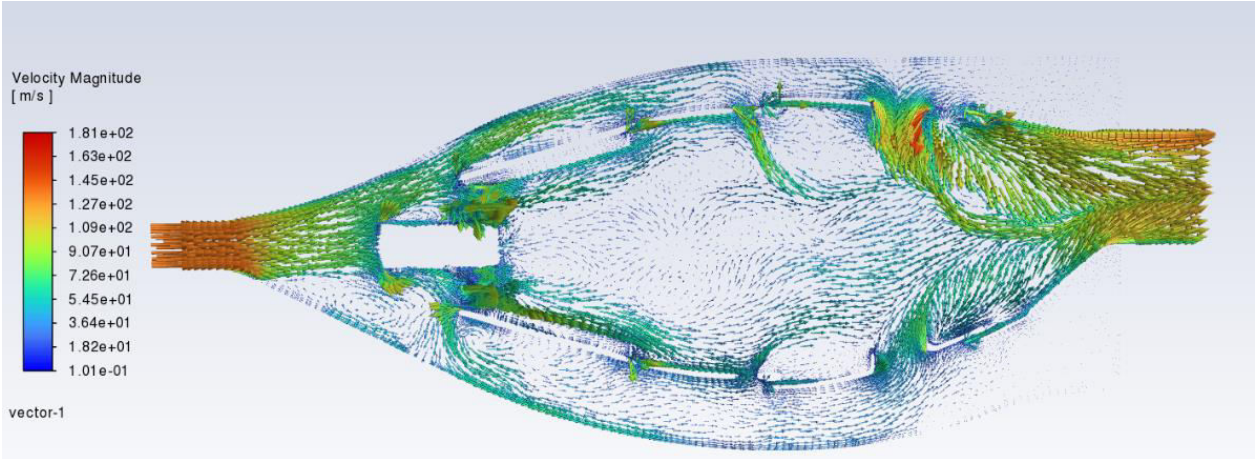
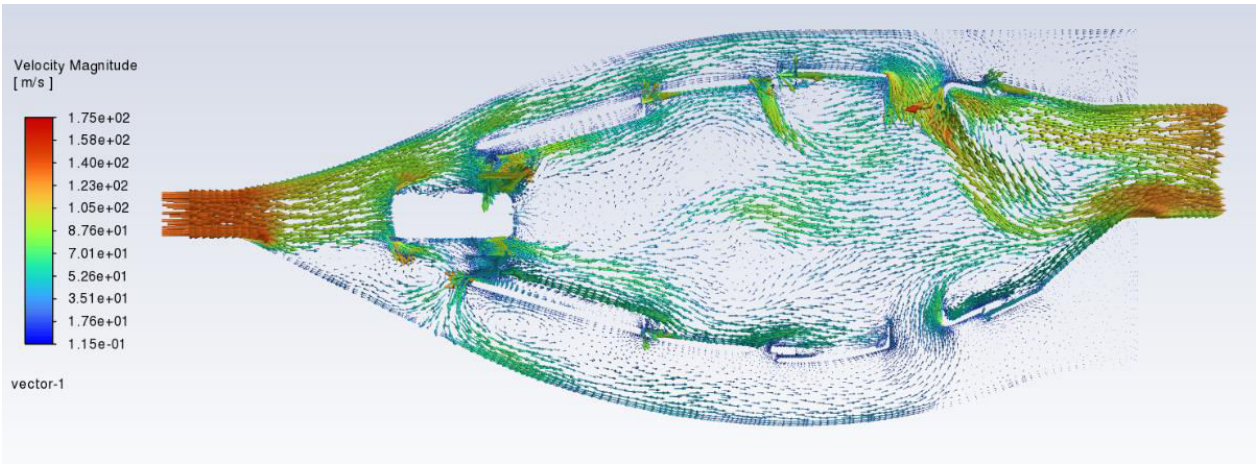
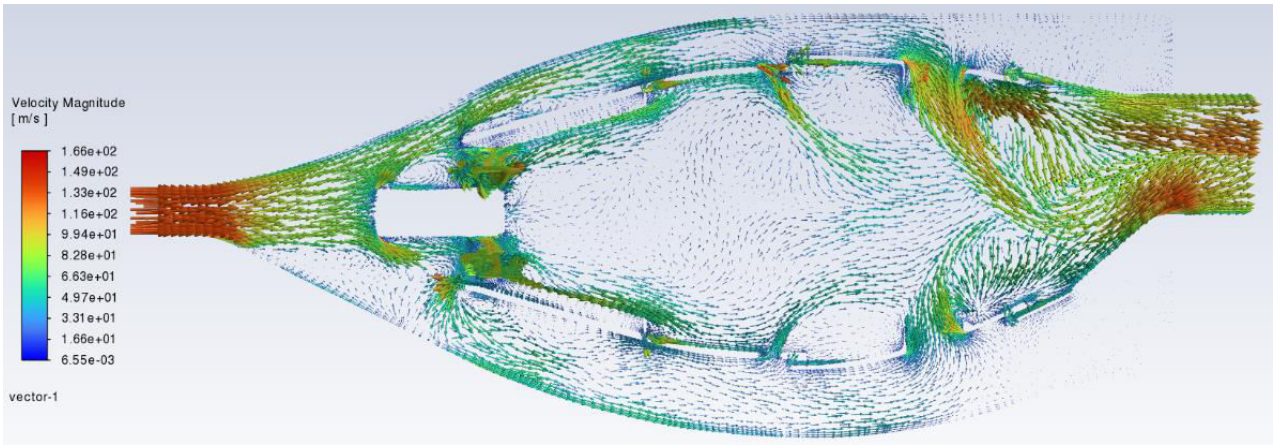


Рисунок 3. Векторное поле скорости при фиксированном угле β1 = 45° и: *а* – при β2 = 40°; *б* – при β2 = 50°; *в* – при β2 = 60°

а



б



в

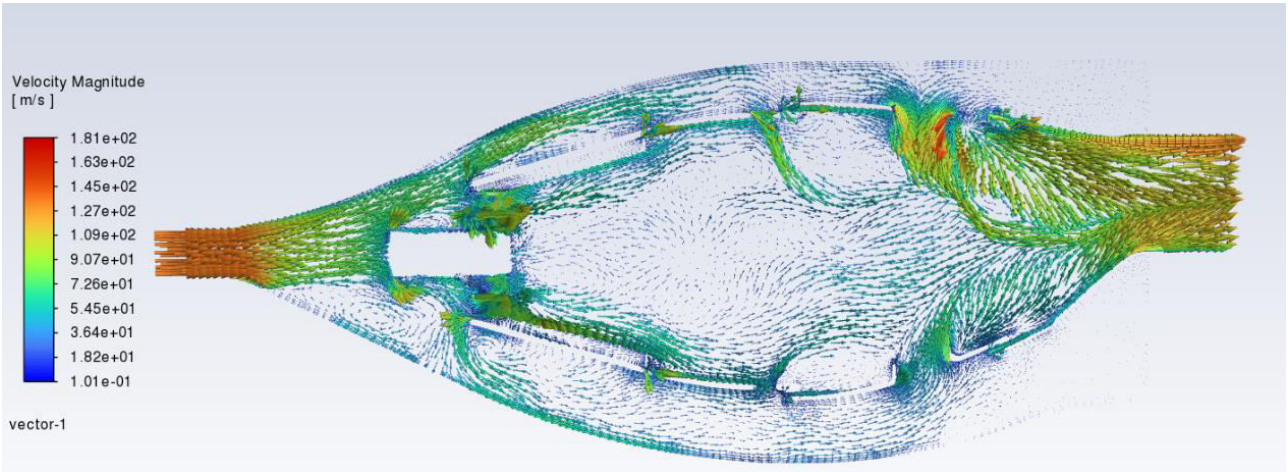


Рисунок 4. Векторное поле скорости при фиксированном угле β1 = 60° и: *а* – при β2 = 40°; *б* – при β2 = 50°; *в* – при β2 = 60°

При угле установки лопаток первой ступени 30° (рисунок 2), что соответствует слабому уровню закрутки, осевой размер зоны обратных токов в головной части жаровой трубы минимален, обратное течение газа слабо выражено, а пламя отличается неустойчивостью.

При углах установки лопаток первой ступени 45° и 60° (рисунок 3 и 4), то есть при сильной закрутке, наблюдается увеличение как размеров ЗОТ, так и интенсивности вихревого течения. Наиболее значительные изменения структуры течения внутри жаровой трубы проявляются при переходе от слабой закрутки (β1 = 30°) к сильной (β1 = 45°, 60°).

При фиксированном угле установки лопаток второй ступени также проведено сравнение векторных картин скоростей потока в камере сгорания для различных углов установки лопаток первой ступени: 30°, 45° и 60°. При фиксированном угле установки лопаток второй ступени 40° угол β1 необходимо увеличивать для оптимизации структуры течения внутри жаровой трубы. Для других сочетаний углов был также сделан вывод, что с увеличением угла установки лопатки первой ступени возрастает интенсивность вращения газа. Это приводит к значительному увеличению осевого и радиального габарита зоны обратных токов (ЗОТ), что, в свою очередь, усиливает смешивание распыленного керосина и воздуха в жаровой трубе. Кроме того, это способствует возврату высокотемпературного газа для воспламенения вновь смешанного топлива и воздуха.

При фиксированном угле установки лопаток второй ступени равном 60° и увеличении угла первой ступени, характер поля течения в жаровой трубе оказывается таким же как при фиксированном угле второй ступени 45°. Хотя длина ЗОТ слегка увеличивается, но наблюдается снижение интенсивности образования вихря.

По эмиссионным характеристикам наилучшие показатели были достигнуты при углах установки лопаток завихрителя β1 = 45° и β2 = 50°. Сопоставление поля полной температуры, представленного на рисунке 5, и распределения концентраций NOx в жаровой трубе, показанных на рисунке 6, позволяет сделать вывод, что процесс образования оксидов азота сосредоточен в тех областях, где наблюдаются высокие температуры и насилие достаточного количества кислорода. Такая зависимость наблюдается при различных сочетаниях углов установки лопаток первой и второй ступени.

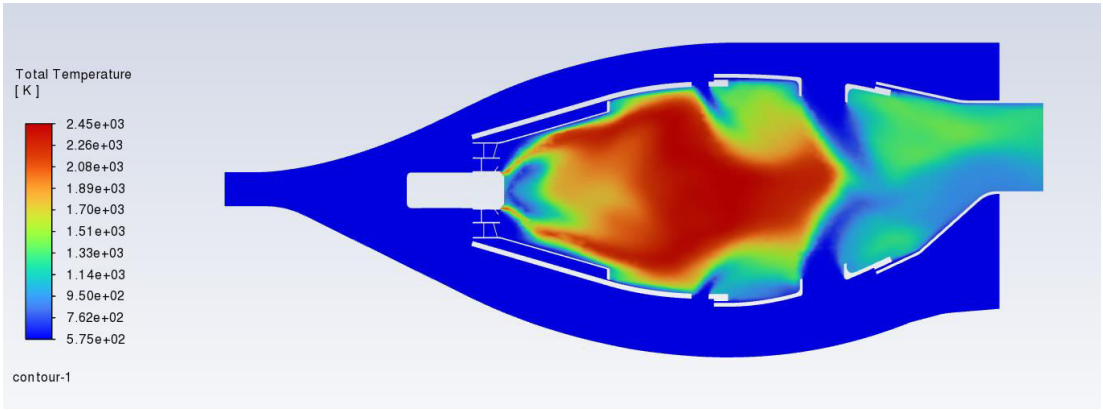


Рисунок 5. Температурные поля при углах β1 = 45° и β2 = 50°

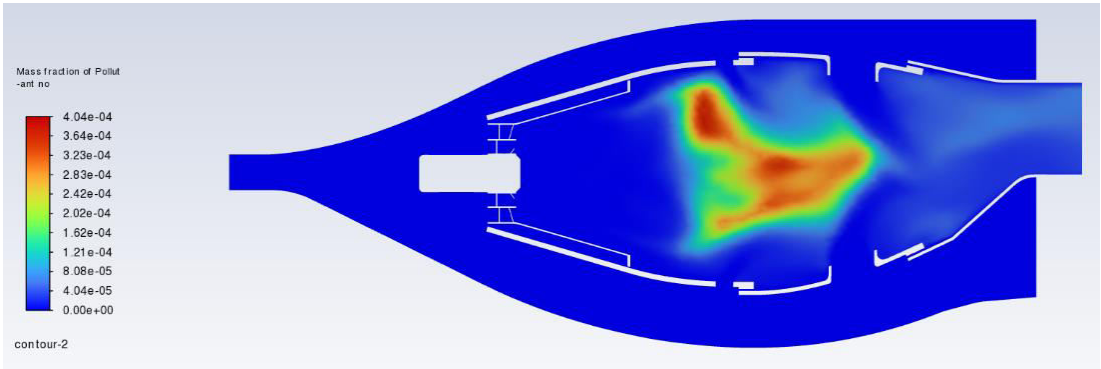


Рисунок 6. Образование NOx при β1 = 45° и β2 = 50°

Согласно картине образования CO, показанной на рисунке 7, наблюдается образование

CO в основном в первичной зоне горения. Затем в зоне смешения интенсивная подача вторичного воздуха приводит к догоранию смеси и снижению концентрации CO.

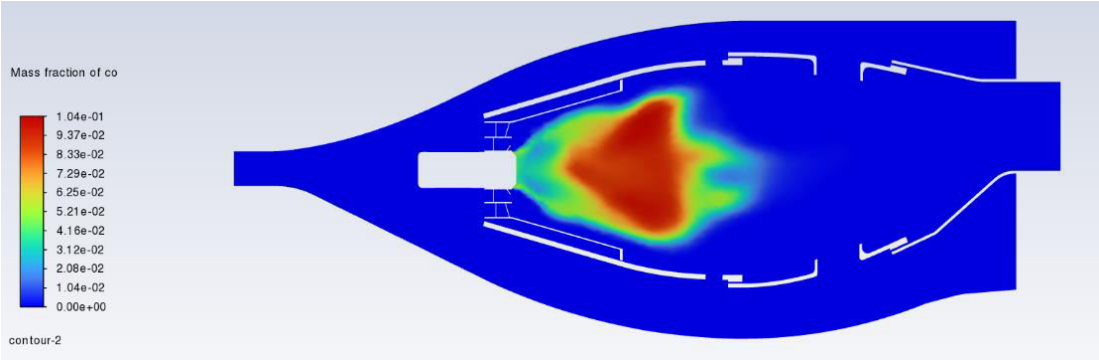


Рисунок 7. Образование CO при β1 = 45° и β2 = 50°

При различных сочетаниях установки лопаток завихрителя анализировалась неравномерность температурного поля на выходе из камеры сгорания по уравнению [5] и гидравлические потери по камере сгорания оценивались с помощью коэффициента восстановления полного давления:

$$\sigma_{кс} = \frac{P^*_г}{P^*_к} = 1 - \frac{\Delta P^*_{кс}}{P^*_к} \quad (1)$$

где $\Delta P^*_{кс} = P^*_к - P^*_г$ разность полных давлений на входе и выходе из камеры сгорания.

Ниже приведены данные по неравномерности температурного поля (таблица 1) и коэффициентам потери полного давления (таблица 2) при различных углах установки лопаток:

Таблица 1

Неравномерность температурного поля на выходе из жаровой трубы

Угол установки лопаток, град		β2,°		
		40	50	60
β1,°	30	0,289	0,265	0,273
	45	0,267	0,235	0,293
	60	0,238	0,328	0,371

При значении угла β_2 = 40° увеличение угла β_1 способствует более интенсивному смешиванию керосина с воздухом в жаровой трубе. Это приводит к равномерности процесса горения и снижению неравномерности температурного поля на выходе. В случае же постоянного угла β_1 рост угла β_2 ведет к увеличению зоны обратных токов и нарастанию интенсивности вихревой структуры. В результате этого неравномерность температуры на выходе из камеры имеет оптимальное значение при угле β2 = 50°. Сочетание углов β1 = 45° и β2 = 50° обеспечивает минимальные температурные поля на выходе.

Таблица 2

Коэффициент восстановления полного давления

Угол установки лопаток, град		β2,°		
		40	50	60
β1,°	30	0,9855	0,9851	0,9845
	45	0,9756	0,9716	0,9676
	60	0,9730	0,9698	0,9641

Во всех случаях когда угол установки лопаток первой ступени остается неизменным, а

угол установки лопаток второй ступени увеличивается, это приводит к интенсивности ЗОТ и увеличению потери давления на камере. Так же потери давления увеличиваются при увеличении углов установки лопаток первой ступени. Самые низкие потери достигаются при углах $\beta 1 = 30°$ и $\beta 2 = 30°$, но этот случай не оптимальный по другим процессам прохядищих в камере сгорания.

Обобщенный анализ сочетаний углов установки лопаток по представленным выше результатам позволяет установить, что оптимальной является комбинация углов: $\beta_1 = 45°$, $\beta_2 = 50°$. При данной конфигурации достигается хорошая стабилизация пламени, зона обратных токов имеет достаточный размер, потери полного давления остается на приемлемых значениях и неравномерность температуры на выходе обеспечивается на низком уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Богданов А. Д., Калинин Н. П. Кривко А. И.* Турбовальный двигатель ТВ3-117ВМ. Учебное пособие. М.: Воздушный транспорт, 2000. - 392с.

2. Combustion and Combustion Chamber / Huang Yong, Lin Yuzhen, Li Feng, Guo Zhifeng, Xu Quanhong, Guo Zhihui, Liu Yuying, Yang Xiaoyi, Wang Fang, Beihang University Press, P. R. China 2008. - 393 Pages.

3. *Ren HaiSheng, Wang JingBo, Li XiangYuan*, Combustion Dynamics, Sichuan, CDS, Center for Combustion Dynamics, Sichuan University, 2021.9, http://cds.scu.edu.cn

4. *Лефевр А*. Процессы в камеры сгорания ГТД / А. Лефевр. -Москва: Мир, 1986. - 566с.

5. *Мигазов Б.Г.* Процессы горения и экология камер сгорания газотурбинных двигателей. Конструкция, теория, испытание и расчёт – Казань, 2022.

NUMERICAL STUDY OF A FRONT DEVICE WITH ANALYSIS OF EMISSION AND HYDRAULIC CHARACTERISTICS

Song Yunfan

Supervisor: Aleksandrov Yu.B., Associate Professor, Candidate of Chemical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. Particular attention of this paper is paid to the optimization of the two-stage swirler design, where the influence of blade angles on combustion characteristics, including consideration of the flow structure, emission of pollutants, uniformity of temperature field and pressure loss, is studied by the method of numerical simulation.

УДК 621.45.034

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА ВХОДА ВОЗДУХА И УГЛА РАСПЫЛЕНИЯ ТОПЛИВА СТУПЕНЧАТОГО ВОЗДУХОЗАБОРНИКА КАМЕРЫ СГОРАНИЯ НА ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Цзинь Линь, Ван Цинюнь

Научный руководитель: Сыченков В.А., доцент, к. т. н, ст. н. с.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье на примере трубчатой камеры сгорания турбовентиляторного двигателя с высокой степенью двухконтурности представлены результаты трехмерного численного моделирования течения. Расчеты выполнены с использованием программного обеспечения для трехмерного моделирования Ansys-Fluent, с описанием параметров сетки, граничных условий, модели турбулентной вязкости и модели горения с переносом компонентов. Проанализированы контурные диаграммы распределения температуры и векторные поля на выходе из камеры сгорания, установлена взаимосвязь

между углом входа воздуха и углом распыла топливных форсунок с температурой на выходе и коэффициентом неравномерности температурного поля. В заключение статьи сделаны выводы и даны рекомендации по диапазонам значений угла падения воздуха и угла распыла топлива.

Современные дальнемагистральные пассажирские самолеты повсеместно оснащаются турбовентиляторными двигателями с высокой степенью двухконтурности. С одной стороны, авиакомпании стремятся к все более низкой стоимости топлива, а с другой стороны, такие организации, как ИКАО (Международная организация гражданской авиации), предъявляют все более строгие требования к уровню выбросов авиационных двигателей [1]. Поэтому конструкция камеры сгорания авиадвигателя имеет решающее значение, и инженеры по всему миру ищут способы сделать двигатели более эффективными и экологичными. В частности, команда специалистов по технологиям горения американской компании General Electric (GE) разработала камеру сгорания TAPS (Twin Annular Premixing Swirler) и внедрила ее в двигатели серии GEnx (рис. 1). Благодаря сочетанию двухконтурного предварительного смешения и ступенчатого сгорания, эта технология преодолела противоречие между низким уровнем выбросов и стабильностью горения, заложив основу современных технологий малоэмиссионного сгорания в гражданской авиации.

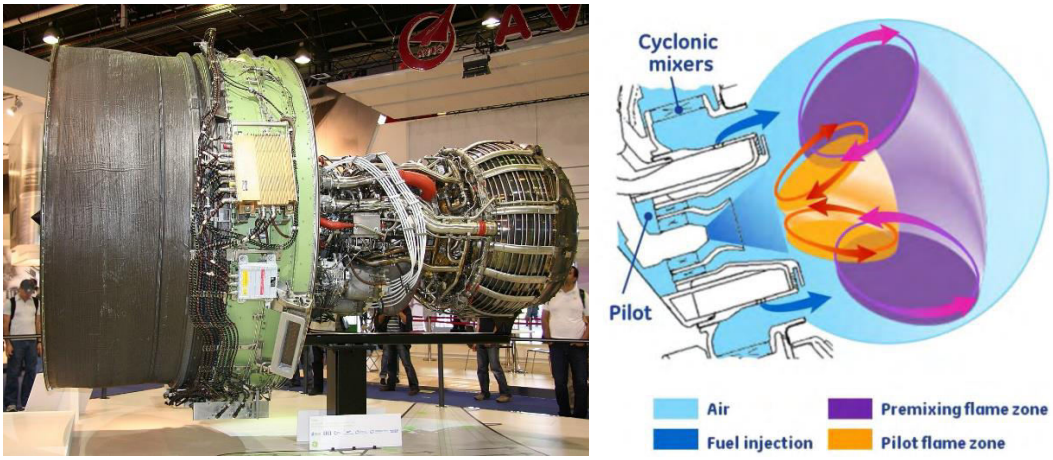


Рисунок 1. Двигатель «GEnx» и камера сгорания «TAPS»

Сначала в Ansys Geometry была смоделирована упрощенная трубчатая камера сгорания, имеющая два радиальных воздухоподвода и круглый газоотводящий патрубок. На осевой линии входного торца установлена центробежная топливная форсунка (рис. 2).

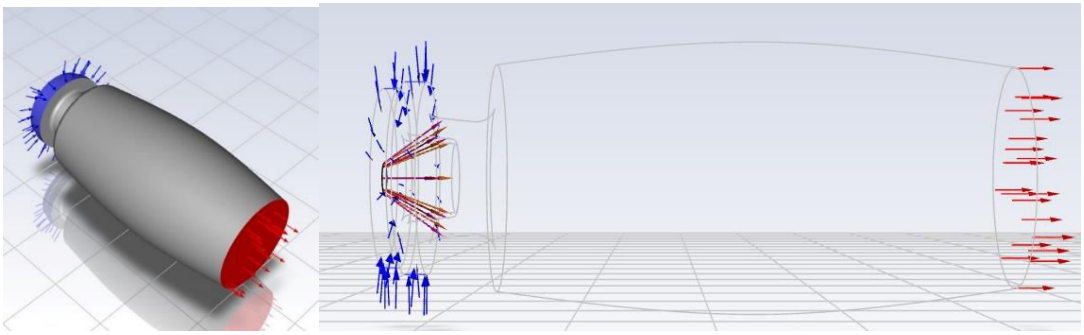


Рисунок 2. Твердотельная модель камеры сгорания

Расчеты выполнялись на вычислительной сетке, содержащей 350 000 полиэдральных ячеек, с локальным сгущением в областях с высокими градиентами параметров (рис. 3). На входе задавались следующие параметры воздуха (на выходе из компрессора): давление 3.8 МПа, температура 900 К, скорость 150 м/с [2]. Угол между направлением потока воздуха и

осевой нормалью составлял 45° (один поток закручен по часовой стрелке, другой – против часовой стрелки). Массовые доли компонентов воздуха составляли: кислород (O_2) – 23.2%, диоксид углерода (CO_2) – 0.1%, водяной пар (H_2O) – 0.1%, остальное – азот (N_2).

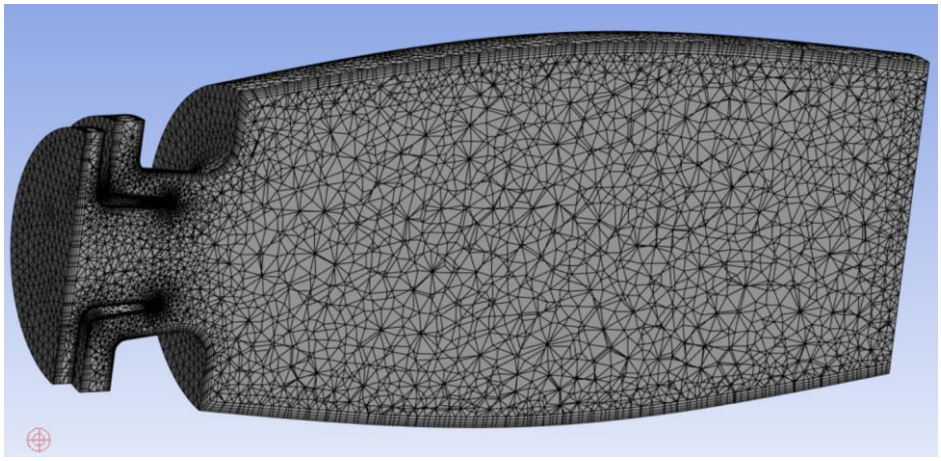


Рисунок 3. Многогранная сетка расчетного сектора

Модель горения была выбрана "перенос компонентов" (Species Transport), материал - "керосин-воздушная смесь". Для модели турбулентного горения была выбрана "модель вихревого диссипации" (Eddy-Dissipation). Расход топлива через одну топливную форсунку был задан равным 64.4 грамма в секунду (г/с), давление на выходе - 3.8 мегапаскаля (МПа), диаметр сопла форсунки - 8 миллиметров (мм). Удельная теплоемкость керосина была задана как "кусочно-полиномиальная" (piecewise-polynomial) [3].

Получил некоторые предварительные результаты:

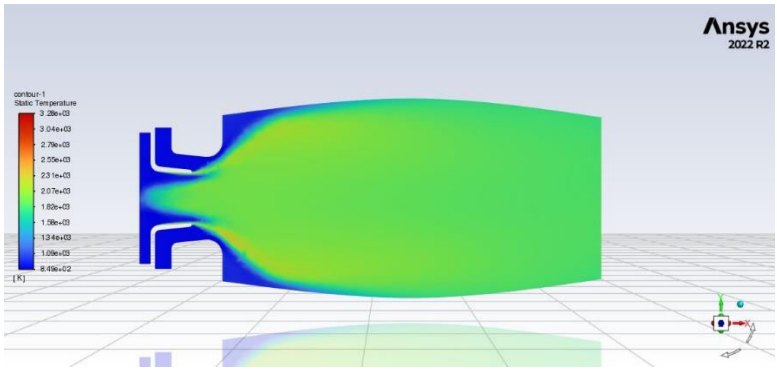


Рисунок 4. Диаграмма статическая температура

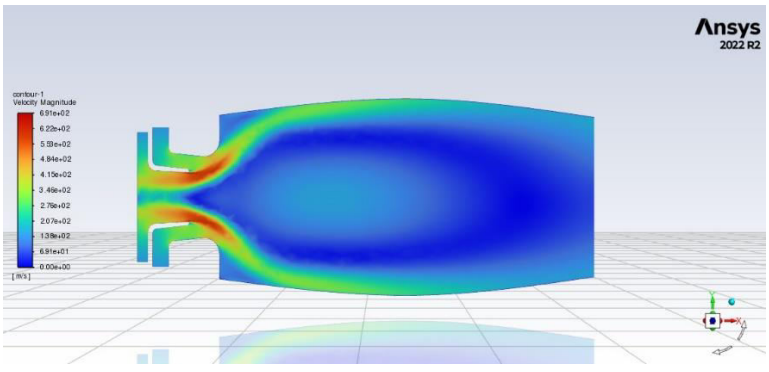


Рисунок 5. Диаграмма скоростей

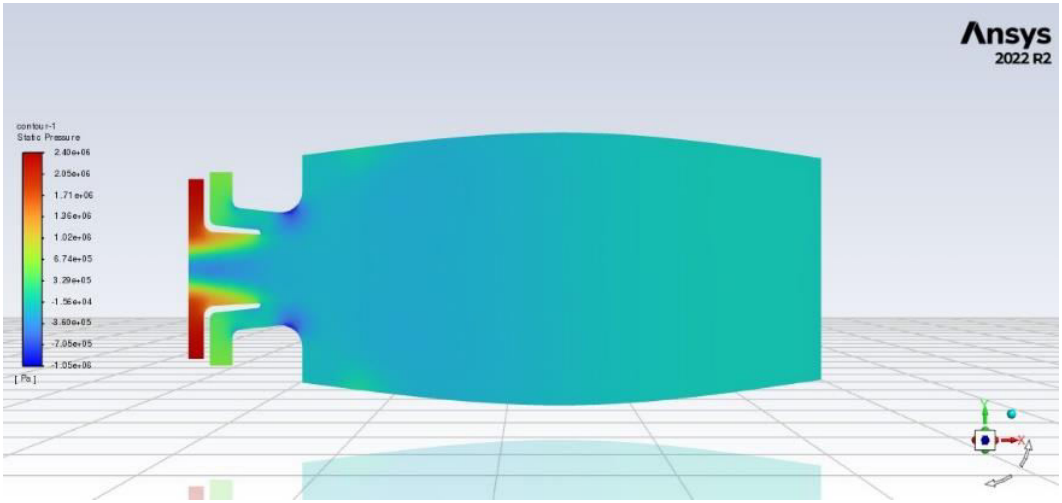


Рисунок 6. Диаграмма статического давления

Наблюдая за траекторией потока капель керосина, было установлено, что после попадания топлива в камеру сгорания оно имело большую окружную скорость движения и сгорало в среднем и заднем положении жаровой трубы (рис. 7). Можно считать, что эту упрощённую модель можно использовать для моделирования процесса горения. На основе приведённых выше расчётов ниже подробно корректируются граничные условия модели.

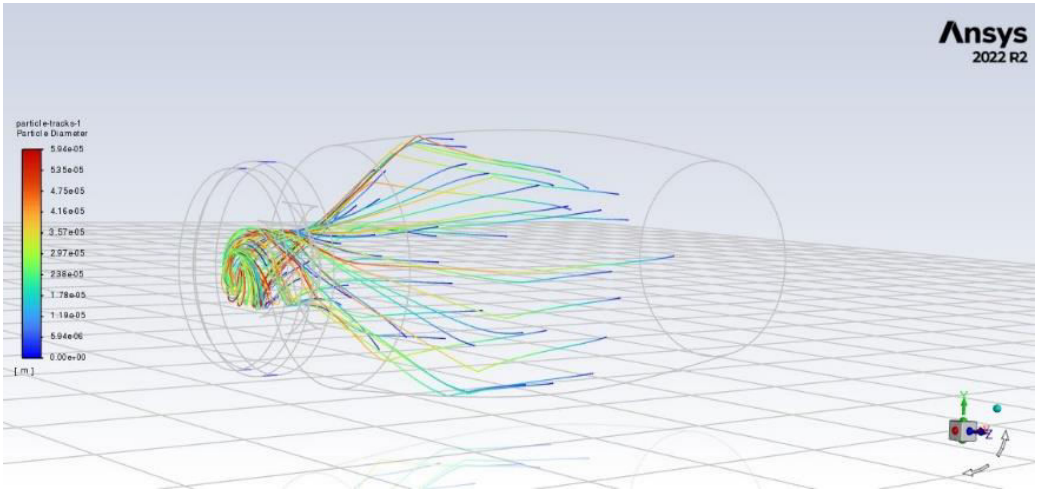


Рисунок 7. Линия потока керосина

Основываясь на приведённых выше расчётах, я отрегулировал тип воздухозаборника на постоянный поток (Type: mass-fluxinlet). Из расчёта, расход топлива должен быть равно 0,644 кг/с для каждого форсунки. Сохраняя расход топлива постоянным, я несколько раз менял расход воздуха на впуске (рис. 8), чтобы довести среднюю температуру на выходе до заданного мной значения — 1700К.

Таблица 1

Расчетные параметры

G_1, кг/с	G_2, кг/с	$T_{ста}$, К	α
0.898	1.43	1787.42	2.42448
0.95	1.5	1763.87	2.55154
1	1.6	1714.57	2.70776
1.03	1.61	1663.52	2.74942
1.05	1.7	1648.55	2.86397
1.1	1.8	1650.6	3.02019

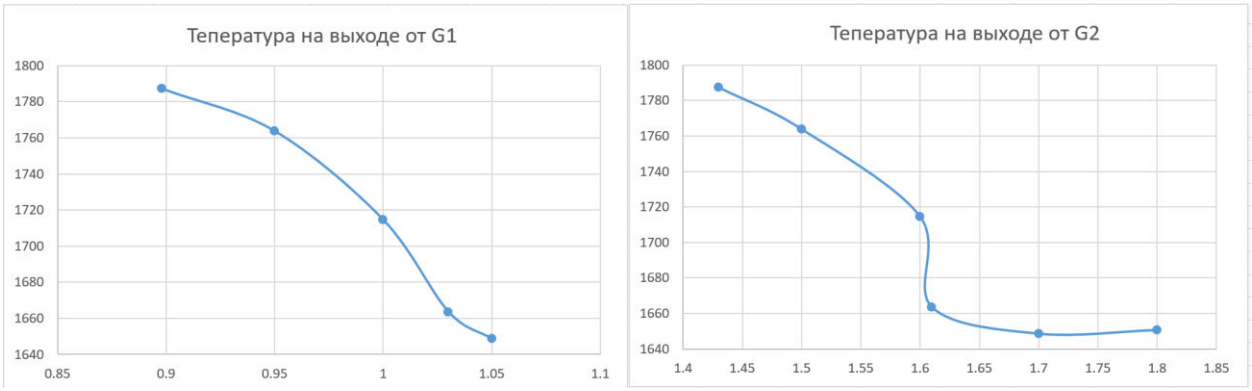


Рисунок 8. Зависимость средней температуры на выходе от расхода воздуха на входе

Таким образом, мой расход воздуха на впуске должен составлять 1,0 и 1,6 кг/с соответственно. Но в данном случае из-за малых геометрических размеров моей модели воздух в камере сгорания достиг сверхзвуковой скорости, что заведомо недопустимо. Поэтому я решил вдвое сократить расход топлива и воздуха и удвоить количество топливных форсунок, чтобы соответствовать текущей геометрии модели. То есть воздушные расхода равно 0,5 и 0,8 кг/с, топливной расход равно 0,322 кг/с.

Далее я оставил остальные параметры без изменений и изменил только угол распыливания топлива. Посчитал температуру на выходе из камеры сгорания и неравномерность под разными углами. Ниже приведены результаты моделирования для нескольких ситуаций.

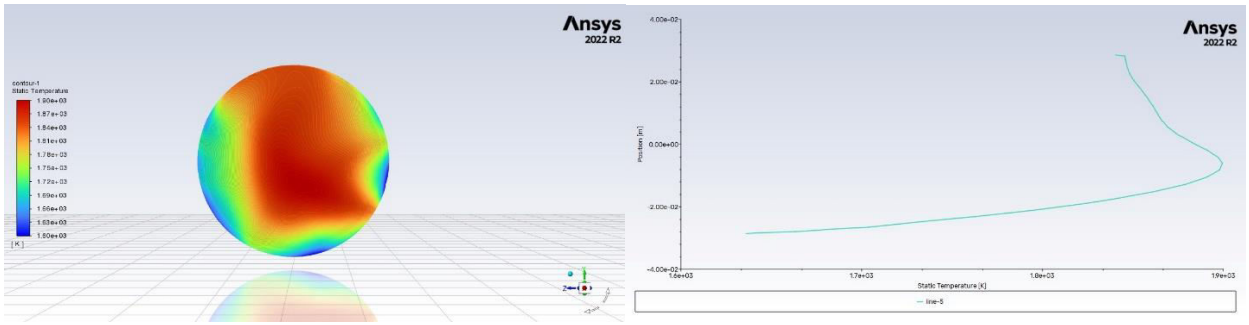


Рисунок 9.Температурная поля на сечение выходном и её распределение

Результаты моделирования выглядели нормально, поэтому я начал изменять половину угла распыления топлива.

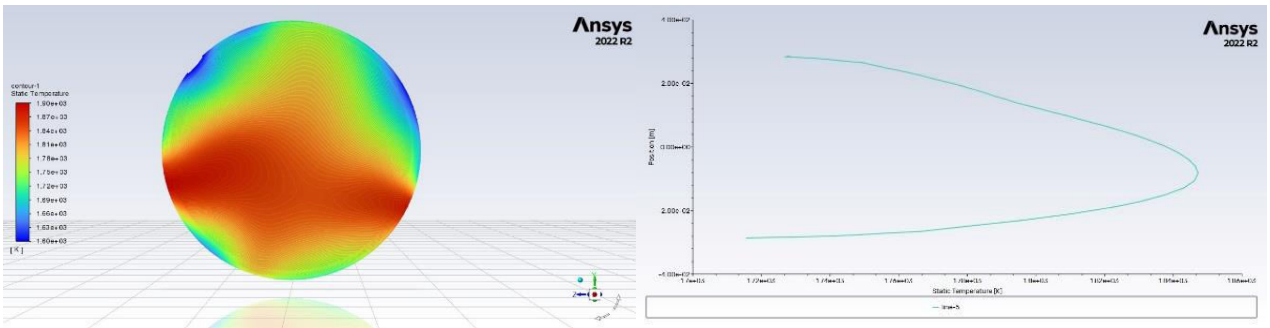


Рисунок 10. Выходная температура при половине угла распыления равно 22,5 градус

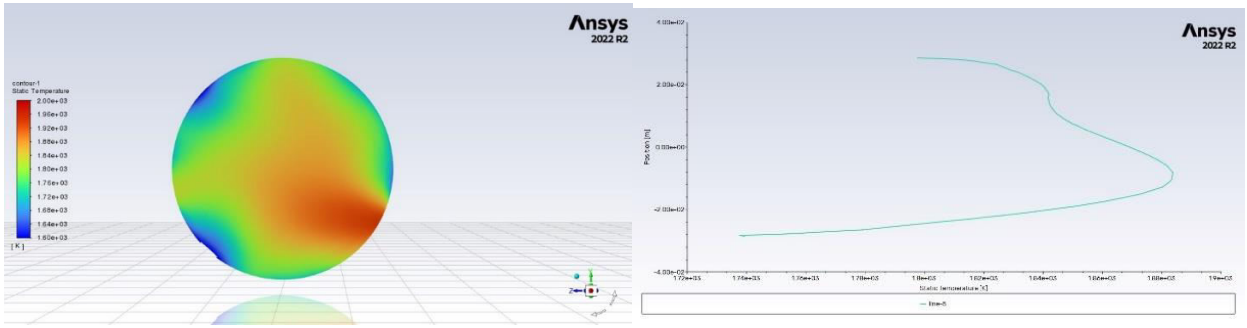


Рисунок 11. Выходная температура при половине угла распыления равно 52,5 градуса

Детальная температура и неравномерность температурного поля под разными углами распыливания следующая:

Таблица 2

Зависимость неравномерности температурного поля от угла распыливания

Spray half angel	T_{min}, K	T_{max}, K	$T_{ср}$, K	θ	$θ_{max}$	$θ_{min}$
15	1491.57	1784.76	1712.63	0.24602	0.04212	0.12908
30	1503.63	1808.58	1720.65	0.28833	0.0511	0.12613
45	1457.69	1766.01	1692.01	0.24004	0.04374	0.13848
52.2	1569.6	1788.59	1727.74	0.27783	0.03521	0.09153
60	1488.24	1802.4	1709.46	0.29583	0.05437	0.12941
75	1517.39	1764.56	1702.53	0.25096	0.03643	0.10874

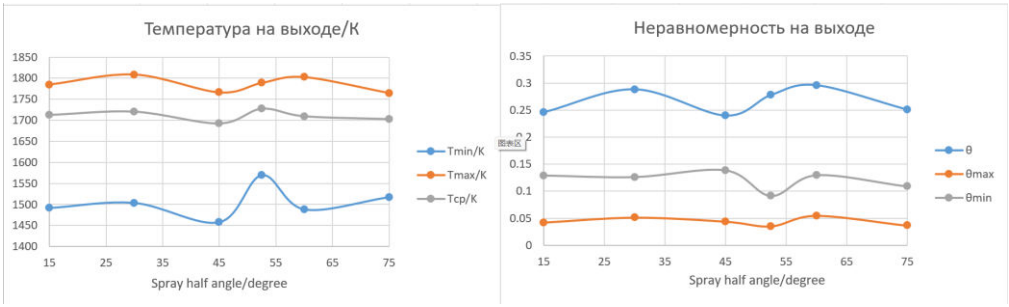


Рисунок 12. Температура и неравномерность поля температуры на выходе от угла распыливания форсунки

Очевидно, что угол распыливания мало влияет на температуру и неравномерность выхода (рис. 12). Поэтому, исходя из теоретических расчётов, использование угол распыливания равно 52,5 градусов является хорошим выбором.

Затем я оставил угол распыливания равное 52,5 градуса и другие параметры неизменными, изменил угол входного воздуха (относительно радиального напряжения) от 0 до 75 градусов и получил следующие результаты:

Таблица 3

Влияние угла распыливания на различные параметры

Inlet air angle	T_{min}, K	T_{max}, R	$T_{ср}$, K	θ	$θ_{max}$	$θ_{min}$	$λ_{max}$	$G_{топ_вы}$	η
0	963.831	2599.28	1554.37	0.63891	0.67224	0.37992	0.332	-4.96E-03	0.985054
15	1068.07	2843.55	1669.38	0.66133	0.70336	0.3602	0.335	-1.26E-03	0.996193
30	1121.12	2100.41	1697.04	0.4119	0.23769	0.33937	0.417	-1.22E-08	1.000000

35	1415.03	1840.63	1722.4	0.27779	0.06864	0.17845	0.474	-3.50E-09	1.000000
40	1452.46	1804.88	1729.09	0.21504	0.04383	0.15999	0.537	-1.11E-09	1.000000
45	1502.28	1814.1	1728.96	0.27302	0.04924	0.13111	0.570	-4.32E-10	1.000000
50	1550.23	1768.71	1720.06	0.22268	0.02829	0.09874	0.629	-2.03E-13	1.000000
55	1567.09	1762.93	1709.08	0.27494	0.0315	0.08308	0.724	-3.53E-12	1.000000
60	1587.83	1767.04	1713.12	0.30089	0.03148	0.07314	0.722	-9.26E-12	1.000000
75	900	1517.9	1431.31	0.14014	0.0605	0.37121	1.369	-2.77E-38	1.000000

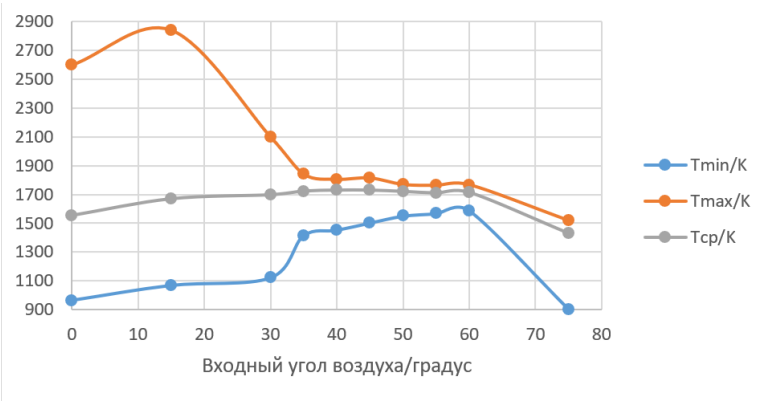


Рисунок 13. Температура (К) на выходе от угла входного воздуха

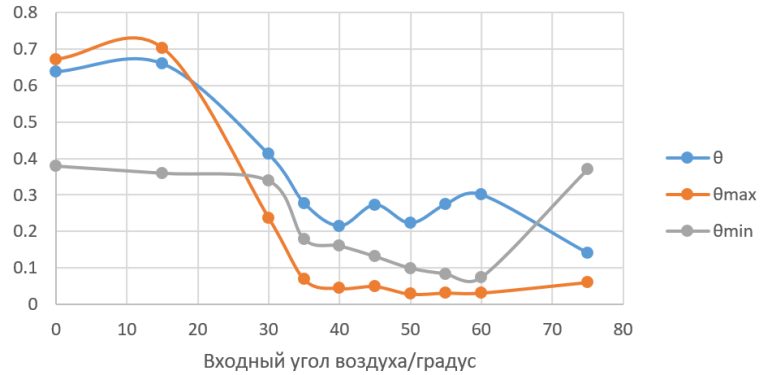


Рисунок 14. Неравномерность температуры на выходе от угла входного воздуха

Здесь (на рис. 14) неравномерность: $\theta = \frac{T_{\max} - T_{cp}}{T_{\max} - T_{\min}}$, $\theta_{\max} = \frac{T_{\max} - T_{cp}}{T_{cp}}$, $\theta_{\min} = \frac{T_{cp} - T_{\min}}{T_{cp}}$.

Видно, что когда угол входного воздуха мал или велик, средняя температура на выходе ниже требуемого значения. Причины этого явления разные.

Когда угол входного воздуха слишком мал (0 и 15 градусов), окружная скорость воздуха в камере сгорания слишком мала, а осевая скорость слишком велика, что приводит к недостаточному смешиванию топлива и воздуха, а время реакции в камере сгорания мало, поэтому сгорание неполное, то есть полнота сгорания значительно меньше единицы (0,985 и 0,996).

Когда угол падения слишком велик, в соответствии с принципом сохранения углового момента воздух достигнет очень высокой скорости вблизи оси в камере сгорания, даже

сверхзвуковой скорости, что также ослабляет температуру, создаваемую горением, приведённая скорость λ=1,369.

Поэтому угол входного воздуха должен быть между 30 – 60 градусов. При этом условии средняя температура на выходе из камеры сгорания стабильна и составляет около 1700 К, а неравномерность не большой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Fu Zhenbo, Lin Yuzhen, Li Lin, Zhang Chi. Experimental and numerical studies of a lean-burn internally-staged combustor. Beijing: Chinese Journal of Aeronautics, 2014.

2. Булавкин А.А., Рогожин В.А., Выбор параметров, термогазодинаамический расчёт и расчёт вс ТРД, ДТРД и ТВД – Казань: КАИ, 1985.

3. Мигазов Б.Г., Процессы горения и экология камер сгорания газотурбинных двигателей. Конструкция, теория, испытание и расчёт – Казань, 2022.

NUMERICAL STUDY OF THE INFLUENCE OF AIR ENTRY ANGLE AND FUEL SPRAY ANGLE OF A STAGED AIR INTAKE OF A COMBUSTION CHAMBER ON OUTPUT PARAMETERS

Jin Lin, Wang Qingyun

Supervisor: Sychenkov V.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, Senior Research Officer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. This article presents the results of three-dimensional numerical flow simulation using the example of a tubular combustor of a high-bypass turbofan engine. The calculations were performed using the Ansys-Fluent three-dimensional simulation software, with a description of the grid parameters, boundary conditions, turbulent viscosity model, and combustion model with component transfer. Contour diagrams of temperature distribution and vector fields at the outlet of the combustor were analyzed, the relationship between the air inlet angle and the spray angle of the fuel injectors with the outlet temperature and the coefficient of non-uniformity of the temperature field was established. In conclusion, the article draws conclusions and gives recommendations on the ranges of air incidence angle and fuel spray angle.

УДК 621.454.3 + 621.45.02

ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ДОЛИ ОСАЖДЕННОЙ КОНДЕНСИРОВАННОЙ ФАЗЫ В СОПЛЕ РДТТ КЛАССИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Цивильский М.А., Нигматуллин Б.Д., Немцев Д.А.

Научный руководитель: Сабирзянов А.Н., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. Конденсированная фаза в продуктах сгорания РДТТ создает дополнительные газодинамические потери, которые зависят от размера частиц. Представлены результаты численной оценки осаждения частиц в дозвуковой части классического сопла с использованием модели Ansys Fluent DPM для монодисперсных частиц (1-100 мкм). Показана нелинейная зависимость доли осевших частиц с явным экстремумом при 5 мкм.

Наличие конденсированной фазы в продуктах сгорания приводит к скоростному отставанию частиц от газа. Возможно и осаждение частиц на стенки сопла. Изменение массового расхода двухфазного течения является причиной изменения коэффициента

расхода, что вкупе со скоростной неравновесностью влияет на потери удельного импульса [1].

Для исследования осаждения двухфазного течения на стенки двигателя проведен численный расчет. Использовалась модель РДТТ классической схемы с неутопленным профилированным соплом в осесимметричной постановке с дополнительным объемом за соплом для расчета в программном пакете Ansys Fluent. Расчетная область была дискретизирована структурной сеткой с общим количеством элементов около 211 тыс. Минимальное ортогональное качество составило 0,5, соотношение сторон (Aspect Ratio) – 6, что говорит о высокой точности результатов решения. Пристеночные области были сгущены для корректного определения параметров пограничного слоя, значение безразмерного расстояния y+ у стенок не превышало 1.

Моделирование осуществлялось с помощью подхода, основанного на решении осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса, замкнутых двухпараметрической моделью турбулентности Transition SST с типовым набором модельных констант. Выбор модели турбулентности Transition SST обусловлен ее способностью более точно предсказывать переход ламинарного течения в турбулентное и поведение в пограничном слое по сравнению со стандартной k-ε моделью, что критически важно для корректного расчета теплообмена и трения в сопле. Моделирование дисперсной фазы проводилось в рамках подхода Эйлера-Лагранжа, где газовая фаза рассматривается как сплошная среда (уравнения Эйлера), а движение каждой частицы отслеживается вдоль ее траектории путем интегрирования уравнения движения (уравнение Лагранжа). Уравнение движения частицы учитывало силу аэродинамического сопротивления (с использованием корреляции по Шиллеру-Науманну), силу Сэффмана (подъемную силу из-за сдвига скоростей), а также силу термодиффузии (из-за градиента температуры). Для учета инерционности частиц на больших скоростях использовался способ High-Mach-Number, позволяющий корректно описать взаимодействие частиц с газовой фазой. Влияние частиц на газовую фазу (обратное влияние, Two-Way Coupling) учитывалось по импульсу и энергии. Столкновениями, коагуляцией и дроблением частиц пренебрегали ввиду их низкой объемной концентрации.

Геометрические параметры РДТТ оставались постоянными для всех расчетов. Стенки сопла и участков днищ принимались гладкими с условиями прилипания и непротекания. Теплообмен со стенкой не учитывался. На выходе из расчетной среды задавалось постоянство атмосферного давления. Рабочее тело с температурой 2888 К и молекулярным весом 28,966 кг/кмоль подавалось в камеру сгорания (КС) с поверхности горения ТРТ с массовым расходом 21,62 кг/с; давление в КС принималось равным 7 МПа. Изменение параметров рабочего тела по тракту двигателя подчинялось уравнению состояния идеального газа; теплоемкость задавалась полиномиальным законом, а вязкость изменялась по закону Сазерленда. Частицы принимались инертными и вдувались в среду моделирования с постоянной массовой долей конденсированной фазы $z = 0{,}046$. На стенках применялось условие «trap», отвечающее за осаждение частиц. Для каждого фиксированного диаметра частиц d_z (в диапазоне от 1 до 100 мкм) в расчете отслеживались траектории частиц. Число траекторий задавалось обратно пропорционально размеру частиц, в соответствии с их количеством в расчетной зоне и массовым расходом конденсированной фазы.

Система уравнений решалась с использованием сопряженного решателя по давлению COUPLED, связывающего давление и скорость неявным образом. Дискретизация конвективных членов уравнений осуществлялась схемой второго порядка точности. Расчет считался сходящимся при падении невязок на 6 порядков и стабилизации давления, температуры и скорости в расчетной схеме.

Проанализирована доля выпавших частиц на стенку дозвукового участка сопла. Процентное соотношение выпавших частиц вычислялось как масса выпавших, отнесенное к полной массе частиц, вышедших из расчетной области. Результат исследования представлен на рис.1 в виде зависимости доли осевших на стенку частиц $\psi_{вып}$ от их диаметра d_z,. Согласно графику, значительный рост доли осаждения имеет место для частиц диаметром более 10

мкм. Особый интерес вызывает наличие некоторого повышения значений в области от 3 до 6 мкм.

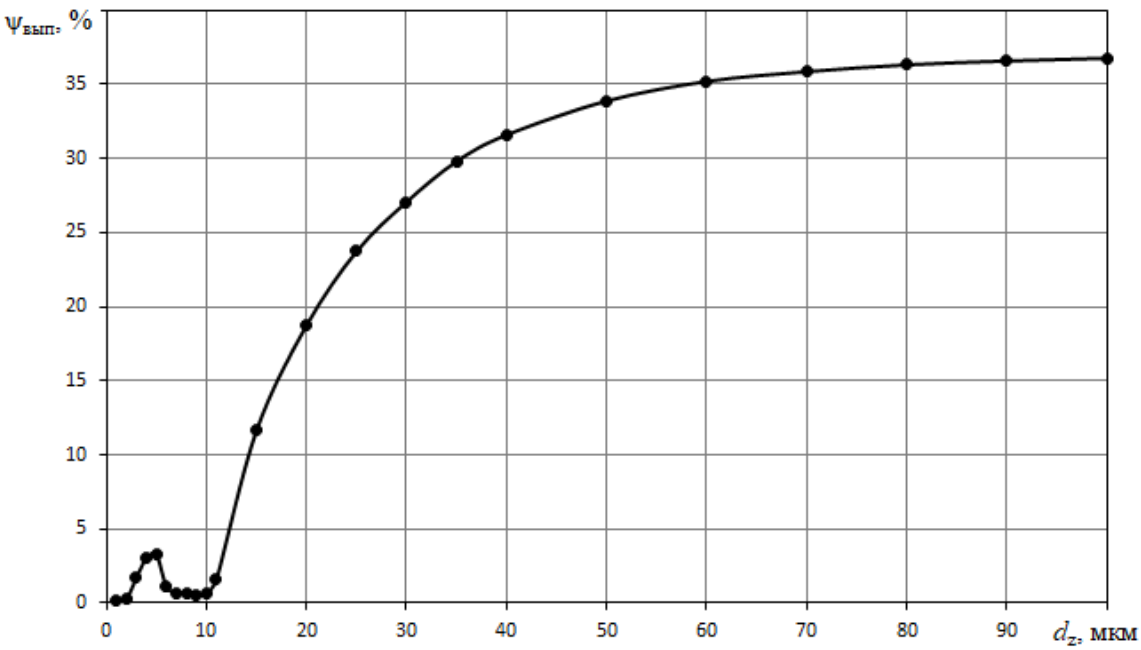


Рис.1. Доля выпавших частиц на стенку дозвукового участка сопла

Подобный сложный немонотонный характер можно описать с позиции баланса аэродинамических сил и инерции. В этом случае режим малых частиц (1-2 мкм) характеризуется высокой площадью поверхности и относительно низкой инертностью, поэтому их скоростное отставание от газовой фазы мало, и они точно следуют линиям тока газовой фазы. В режиме переходного осаждения (область 3-6 мкм) наблюдается локальный максимум осаждения. Это может говорить о том, что частицы конденсата обладают некоторой инертностью, достаточной для отклонения от линий тока, но при этом из-за все еще достаточного аэродинамического сопротивления частицы все еще следуют этим линиям и не концентрируются в ядре потока. Таким образом, в области сужения КС часть частиц осаждается на стенку, тогда как большая часть уносится потоком через критическое сечение. При режиме промежуточного спада (7-10 мкм) частицы уже обладают достаточной инерцией, чтобы в большей степени концентрироваться в ядре потока, чем обусловлена малая доля выпавших на стенку частиц. Для больших частиц (11-100 мкм) инертность уже настолько высокая, что газовый поток практически не в состоянии изменить их траекторию движения, поэтому с ростом размера доля выпавших частиц асимптотически стремится к 35-40%.

Количественно, вклад частиц среднего размера (3-6 мкм) в суммарное осаждение может быть непропорционально высоким по сравнению с их массовой долей в общем распределении. Например, при наличии даже 30% таких частиц в полидисперсной смеси их вклад в осаждение может иметь высокое влияние на общий эффект.

Данные результаты расширяют выводы работ [1, 2], где влияние конденсированной фазы изучалось преимущественно для частиц крупнее 10 мкм. Настоящее исследование демонстрирует, что пренебрежение частицами малого и среднего размера (1-10 мкм) может привести к существенной погрешности в оценке суммарного осаждения, так как их вклад является нелинейным и неаддитивным. Обнаруженный эффект согласуется с указанием в работе [3] на сложность моделирования переходных режимов течения, к которым, вероятно, относится и поведение частиц в диапазоне 3-10 мкм.

Таким образом, численно подтверждено, что зависимость доли осаждения монодисперсных частиц в дозвуковой части сопла РДТТ от их диаметра является

существенно нелинейной. Для больших частиц (>20 мкм) доля осаждения стремится некоторому предельному значению, индивидуальному для конкретной геометрии. Однако ключевой особенностью является наличие локального максимума для частиц малого размера. Это свидетельствует о необходимости учета влияния осаждения малых размеров частиц при оценке газодинамических потерь, особенно если их массовая доля велика.

Представленная нелинейная зависимость с наличием экстремума может быть использована для расчета суммарной доли осажденных частиц при реальном полидисперсном распределении частиц, что необходимо для определения вклада данного эффекта в коэффициент расхода и потери удельного импульса. Учет выявленной немонотонности позволит точнее определять вклад осаждения в изменение коэффициента расхода и суммарные потери удельного импульса ТРД. Полученные результаты позволяют рекомендовать учет выявленной немонотонной зависимости при проектировании сопел РДТТ, особенно для смесевых топлив, где велика вероятность образования конденсированной фазы в том числе в диапазоне частиц 1-10 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Теория и расчет ракетных двигателей твердого топлива. Учебник для машиностроительных вузов / Д.И. Абугов, В.М. Бобылев. М.: Машиностроение, 1987. 272 с.

2. Энергетика ракетных двигателей на твердом топливе / Ю.М. Милехин, А.Н. Ключников, Г.В. Бурский, Г.С. Лавров. М.: Наука, 2013. 207 с.

3. *Crowe, C.C.T., Schwarzkopf, J.D. and Sommerfeld, M.* (2011) Multiphase Flows with Droplets and Particles. CRC Press, Boca Raton. DOI: http://dx.doi.org/10.1201/b11103.

NUMERICAL ESTIMATION OF CONDENSED PHASE DEPOSITION IN THE NOZZLE OF A CONVENTIONAL SOLID ROCKET MOTOR

Nigmatullin B., Tsivilskiy M., Nemtsev D.

Supervisor: Sabirzyanov A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. The condensed phase in solid rocket motor combustion products causes additional gas dynamic losses, which depend on particle size. The results of a numerical evaluation of particle deposition in the subsonic section of a classical nozzle using the Ansys Fluent DPM model for monodisperse particles (1-100 μm) are presented. A non-linear dependence of the deposited particle fraction with a pronounced extremum at 5 μm is demonstrated.

УДК 531.39

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ, НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДИСКА ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ АВИАДВИГАТЕЛЯ

Чжан Тун

Научный руководитель: Великанов П.Г., доцент, к. ф.-м. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. В 2D постановке в программе Fortran с помощью метода интегральных уравнений и в 3D постановке в программе Ansys Workbench с помощью метода конечных элементов было исследовано напряженно-деформированное состояние наиболее нагруженного (сначала построенного, а затем импортированного из программы SolidWorks) диска турбины высокого давления авиадвигателя. Исследовано влияние характерных размеров и типов конечных элементов на полученные результаты. С помощью различных условий прочностной надежности была исследована прочность и несущая способность

диска, а также его циклическая долговечность и усталостная прочность. Для исследуемого диска также были найдены собственные и критические частоты колебаний, для которых затем были определены соответствующие им формы колебаний.

Диски турбин газотурбинных двигателей (ГТД), как авиационных, так и наземных, являются важнейшими деталями, во многом определяющими возможность получения высоких рабочих параметров, ресурс и безопасность работы. Разрушение диска турбины, как в полете, так и на газоперекачивающих станциях, приводит, как правило, к значительным нелокализируемым разрушениям внутри силовой установки, что для авиационного двигателя может привести к опасным последствиям для летательного аппарата. Судя по статистическим данным об отказах двигателей (рис. 1), отказы турбин происходят не так редко, как хотелось бы. Поэтому проблема точного прогнозирования долговечности дисков, сводящего к минимуму вероятность разрушения, всегда была и остается актуальной на всех стадиях создания, доводки и эксплуатации двигателей [1-12].

Рисунок 1. Статистические данные об отказах в двигателях

Для исследования был выбран диск турбины высокого давления (ТВД) одного из отечественных авиационных двигателей (рис. 2).

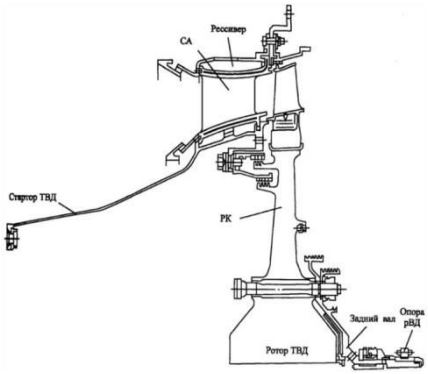


Рисунок 2. Диск ТВД исследуемого авиационного двигателя

Детали турбин ГТД работают в условиях высокотемпературного неизотермического нагружения, включающего статические и динамические нагрузки.

В программе SolidWorks были построены 2D и 3D модели выбранного диска турбины высокого давления авиадвигателя (рис. 3). Затем эти модели были импортированы в программу Ansys Workbench, где в 2D и 3D постановках было произведено разбиение дисков на конечные элементы (совместные (согласованные, конформные), совместимые, изопараметрические), задание кинематических граничных условий и действующих нагрузок (центробежных, поверхностных и неравномерных температурных полей, обусловленных частотой вращения роторов и температурой газа в турбине) (рис. 4). После оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) диска, было произведено исследование влияние характерных размеров и типов конечных элементов на полученные результаты.

Полученные в 2D и 3D постановках с помощью метода конечных элементов результаты были сравнены с результатами, полученными с помощью метода интегральных уравнений. Отличие в результатах оказалось близким к инженерной точности.

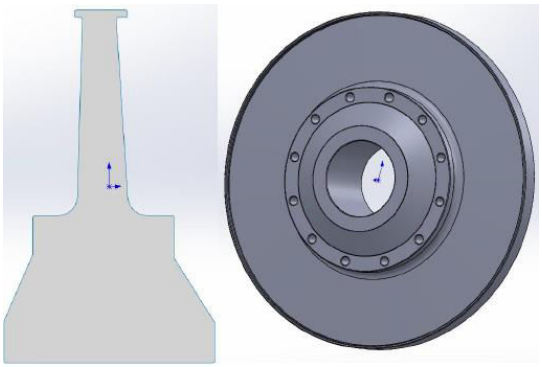


Рисунок 3. Расчетная конструкция диска ТВД в 2D и 3D постановках

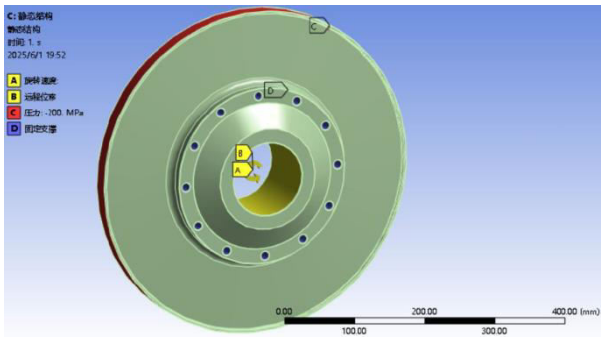


Рисунок 4. Задание кинематических граничных условий: A: Угловая скорость вращения 1200 рад/с; B: Ограничение смещения центрального отверстия в направлениях xyz и вращения вокруг осей y и z; C: Радиальные напряжения, 200 МПа; D: Ограничение смещения отверстий в полотне

После исследования в 2D и 3D (рис. 5) постановках НДС выбранного диска ТВД с помощью условий прочностной надежности по местным напряжениям, несущей способности и циклической долговечности (оказалось, что все условия прочностной надежности удовлетворяют требованиям технической документации) была оценена прочность, несущая способность и циклическая долговечность (рис. 6) диска ТВД.

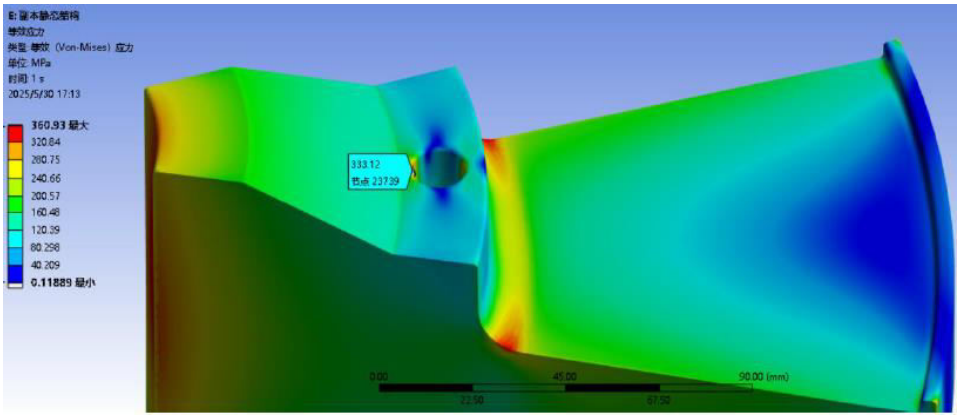


Рисунок 5. Эквивалентные напряжения по критерию прочности Мизеса-Губера-Генки для 3D модели сегмента диска ТВД

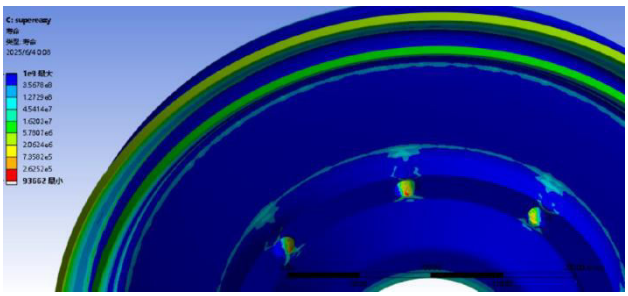


Рисунок 6. Циклическая долговечность диска ТВД

Исследовано влияние характерных размеров и типов конечных элементов на полученные результаты. Вычислительные ресурсы имеющейся в наличии ЭВМ позволили более чем в 3 раза (до 1471192 конечных элементов) увеличить число конечных элементов и довести относительную погрешность эквивалентных напряжений в диске ТВД до 0,2%.

Для исследуемого диска ТВД также были найдены собственные и критические (из диаграммы Кэмпбелла) частоты колебаний, для которых были определены соответствующие им формы колебаний (рис. 7).

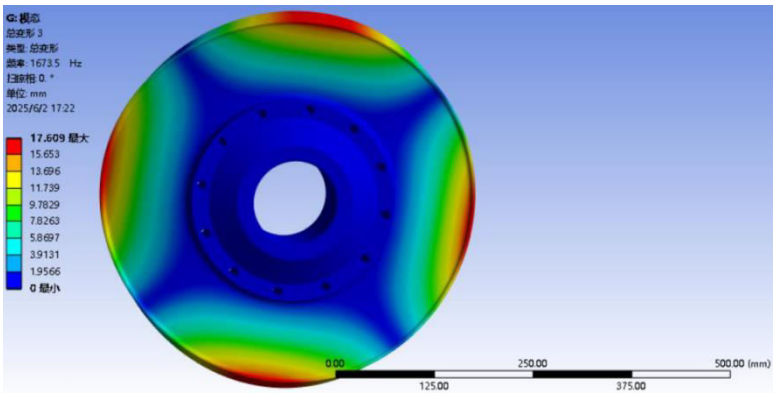


Рисунок 7. Третья смешанная собственная форма колебаний диска ТВД, соответствующая собственной частоте 1673,5 Гц

В результате проведённого с помощью метода конечных элементов и метода интегральных уравнений исследования в 2D и 3D постановках наиболее нагруженного диска турбины высокого давления выбранного авиадвигателя удалось оценить его напряженно-деформированное состояние и влияние на полученные результаты характерных размеров и типов конечных элементов. С помощью условий прочностной надежности по местным напряжениям, несущей способности и циклической долговечности была исследована прочность и долговечность диска. Для исследуемого диска также были найдены собственные и критические частоты колебаний, для которых были определены соответствующие им формы колебаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Великанова Н.П., Великанов П.Г.* Изменение характеристик прочностной надёжности дисков турбин авиационных ГТД в процессе длительной эксплуатации // Авиационно-космическая техника и технология. Харьков. № 10 (77). 2010. С. 123-125.

2. *Протасова Н.А.* Исследование стабильности производства дисков турбин газоперекачивающих агрегатов по механическим свойствам / *Н.А. Протасова, Н.П. Великанова, П.Г. Великанов, А.А. Ахмадеев, И.Ш.С. Салих* // Известия вузов. Авиационная техника. 2019. № 4. С. 138-144.

3. *Velikanova N.P., Velikanov P.G., Kiselev A.S., Salih S.I.S.* The use of the finite element calculations to assess the impact of prolonged use on strength reliability of the turbine disk aviation engine // Journal of Physics: Conference Series – 2019. V .1158. Is. 4. N. 042035.

4. *Протасова Н.А.* Влияние эксплуатационной наработки на свойства и микроструктуру рабочих лопаток турбины двигателей ГПА / *Н.А. Протасова, Н.П. Великанова, П.Г. Великанов, А.А. Ахмадеев* // Насосы. Турбины. Системы. № 1 (30). Воронеж, 2019. С. 18-25.

5. *Протасова Н.А.* Эксплуатационные закономерности расходования прочностных характеристик материала турбинных лопаток двигателей ГПА / *Н.А. Протасова, Н.П. Великанова, П.Г. Великанов, А.А. Ахмадеев* // Авиационные двигатели. № 2 (3). М., 2019. С. 39-48.

6. *Протасова Н.А.* Закономерности снижения значений прочностных характеристик материала дисков турбины двигателей газоперекачивающих агрегатов после различных сроков эксплуатации / *Н.А. Протасова, Н.П. Великанова, П.Г. Великанов, А.А. Ахмадеев, И.Ш.С. Салих* // Известия вузов. Авиационная техника. 2020. № 2. С. 38-44.

7. *Великанова Н.П., Протасова Н.А., Великанов П.Г.* Применение вероятностного подхода для прогнозирования долговечности рабочих лопаток турбины газогенератора наземной ГТУ для газоперекачивающего агрегата // Вестник УГАТУ. 2022, Т. 26, № 1 (95). С. 40-47. DOI 10.54708/19926502_2022_2619540.

8. *Великанова Н.П., Великанов П.Г., Алиев Р.Н.* Анализ нагруженности дисков турбины авиационного ГТД и наземной ГТУ // Современные проблемы ракетной и космической техники: сб. статей / Рос. акад. наук, Комис. по разработке науч. наследия В.И. Вернадского и др.; отв. ред.: В.А. Алтунин и др. Казань: Школа, 2022. С. 114–125. LVI Чтения, посвященные разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского, г. Калуга, 21–23 сентября 2021 г., секция «Проблемы ракетной и космической техники».

9. *Velikanov P.G., Velikanova N.P.* Evaluation possibility of the turbine disks using of converted aircraft engines of the NK family. E3S Web of Conferences 402, 02002 (2023). TransSiberia 2023.

10. *Великанова Н.П., Великанов П.Г.* Изменение жаропрочности материала рабочих лопаток турбины с учетом влияния эксплуатационной наработки // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2023. Т. 20, № 2. С. 42–48.

11. *Великанова Н.П.* Прогнозирование долговечности деталей турбин газогенераторов наземных ГТУ для ГПА семейства НК на основе вероятностного подхода / *Н.П. Великанова, П.Г. Великанов, Н.А. Протасова, Р.Н. Алиев* // Журнал «Авиационные двигатели». 2023, № 3 (20). С. 3-10.

12. *Великанова Н.П., Великанов П.Г.* Оценка долговечности дисков турбин авиационных ГТД семейства НК-8 на основе вероятностно-статистического подхода // Насосы. Турбины. Системы. 2024. № 2 (51). С. 72–82.

EVALUATION OF THE STRENGTH, BEARING CAPACITY AND CYCLIC DURABILITY OF AN AIRCRAFT ENGINE HIGH-PRESSURE TURBINE DISC

Zhang Tong

Supervisor: VelikanovP.G., Associate Professor, Candidate of Physico-Mathematical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. In the 2D formulation in the Fortran program using the integral equations method and in the 2D and 3D formulations in the Ansys Workbench program using the finite element method, the stress-strain state of the most loaded (first constructed and then imported from the SolidWorks program) disk of an aircraft engine high-pressure turbine was investigated. The influence of the characteristic sizes and types of finite elements on the obtained results is investigated. Using various strength reliability conditions, the strength and bearing capacity of the disk, as well as its cyclic durability and fatigue strength, were investigated. Natural and critical oscillation frequencies were also found for the disk under study, for which the corresponding oscillation patterns were then determined.

УДК 536.463

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ТОПЛИВ

Чжан Х.

Научный руководитель: Мингазов Б.Г., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе проведены расчетные исследования выбросов NO_x и CO в камере сгорания с применением керосина, биотоплива и водорода Получены характеристики горения различных топлив в камерах сгорания с помощью одномерного и трехмерного моделей горения, в условиях камеры сгорания. Установлено, что расчеты равновесных значений выбросов CO и NO_x с помощью программы «Chemkin» дают большие погрешности по сравнению с расчетами по одномерной программе и 3D модели.

В целях борьбы с загрязнением окружающей среды многие страны активно содействуют энергосбережению и сокращению выбросов, а также разработке проектов в области чистой энергии, направленных на сокращение выбросов углерода [1]. В настоящее время растущие экологические проблемы предъявляют все больше требований к промышленному развитию технологий горения. Применение экологически чистого биотоплива, и водорода является магистральной линией развития авиационной промышленности [2]. В роботе исследовались керосины RP-3 и Jet-A, биотопливо Jet-C1 и водород (таблица 1).

Таблица 1

Характеристики топлива

Топливо	Jet - A	Jet - C1	RP – 3	Водород
Химическая формула	$C_{11,4}H_{21,7}$	$C_{13}H_{28}$	$C_{14}H_{29}$	H_2
Низшая теплота сгорания мДж / кг	43,1	43,9	43,5	120

В работе была разработана камера сгорания газотурбинного двигателя СМ-146 с тягой 73320 Н [3]. На рисунке 1 представлены модели камеры сгорания и двухярусного завихрителя.

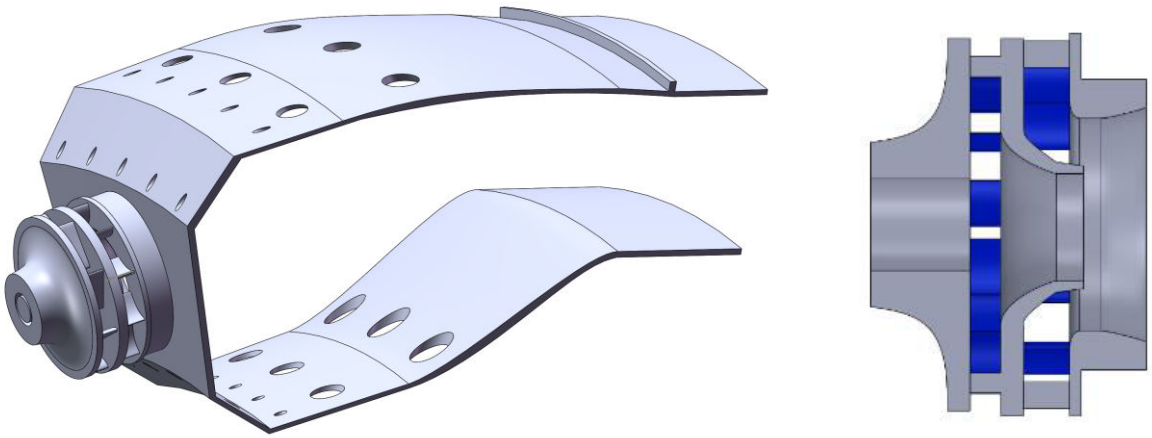


Рисунок 1. Модель исследуемой камеры сгорания и двухступенчатого завихрителя

В настоящей работе проведены расчетные исследования и выбросов CO и NO_x в

представленной модели камеры сгорания газотурбинных двигателей с применение керосина, биотоплива и водорода.

В расчетах использовалась коммерческая программа на основе конечных элементов. В моделях использовались авиационный керосин RP - 3 и водород, и модели горения без предварительного смешивания, и турбулентности модель SST k – omega. Для дискретности дифференциальных уравнений используется метод Couple, связанный давлением и скоростью.

На рисунке 2 показаны температурные характеристики горения авиационного топлива керосина RP - 3, керосина Jet - A, смеси 80% керосина Jet - A и 20% биотоплива Jet - C1, и водорода. Из статьи [5] следует, что у температурные характеристики горения Jet - A и микса 80% Jet - A и 20% биотоплива Jet - C1 почти одинаковы. Поэтому при расчете по сложному методу конечных элементов достаточны только расчеты анализов водорода и авиационного керосина.

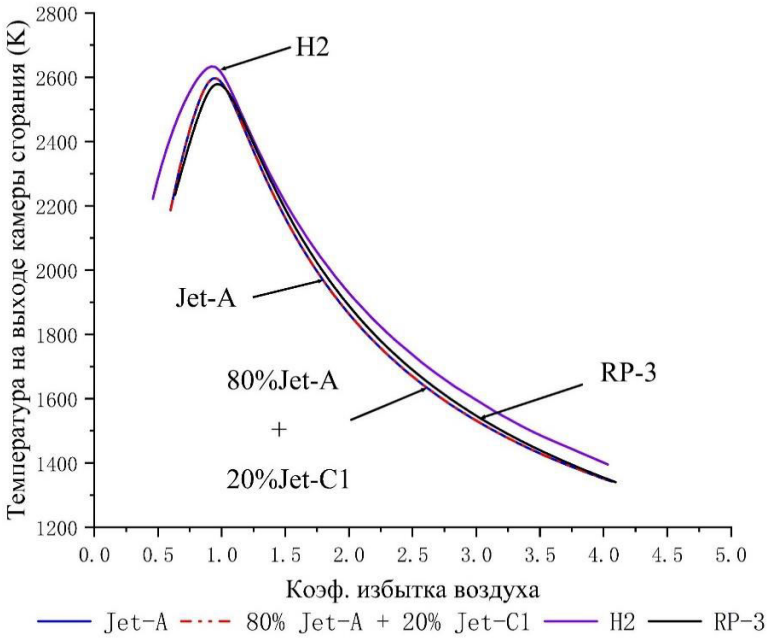


Рисунок 2. Отношение температурных характеристик горения топлива от коэффициентов избытка воздуха при $T_K^* = 740\ K,\ P_K^* = 22$ атм.

Биотопливо — это горючее растительного или животного происхождения. Предполагается, что оно заменит традиционные виды топлива из исчерпаемых ресурсов на те, которые производятся из возобновляемого сырья. По сравнению с водородом, его физические и химические свойства близки к традиционным топливам. И биотопливо легко хранится, и транспортируется. При его использовании не нужно менять конструкцию двигателя.

На рисунке 3 показаны температурные характеристики (формула 1 и 2) полученные по расчету в программе «Chemkin» и уравнению теплового баланса.

При $\alpha_Г \geq 1,0$

$$T_Г^* = T_K^* \frac{c_{pB}}{c_{pГ}} + \frac{H_u \eta_Г}{c_{pГ}\left(1 + \alpha_Г L_0\right)}; \quad (1)$$

При $\alpha_Г < 1,0$

$$T_Г^* = T_K^* \frac{c_{pB}}{c_{pГ}} + \frac{H_u \eta_Г}{c_{pГ}\left(\frac{1}{\alpha_Г} + L_0\right)}; \quad (2)$$

где $T_К^*$ температура торможения за компрессором, $T_Г^*$ температура торможения перед турбиной, H_u низшая теплота горения, $\eta_Г$ полнота сгорания, которая меньше когда коэффициент около 1. $c_{pГ}$ теплоемкость вещества и L_0 стехиометрический коэффициент, для водорода $L_{0H2} = 34,5$ и для керосина $L_{0К} = 14,8$.

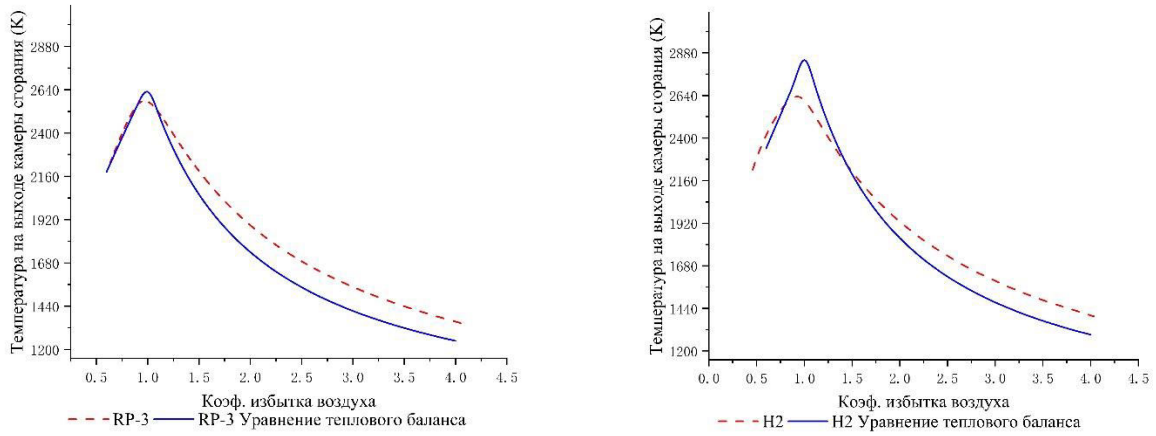


Рисунок 3. Зависимости температур горения топлива от коэффициентов избытка воздуха при $T_К^* = 740$ K, $P_К^* = 22$ атм по разным методам расчета

Для керосина температурная характеристика определится по программе «Chemkin» похожа на которую определится по уравнению теплового баланса, а для водорода есть большая разность. Некоторая разница между двумя методами объясняется отличием условии горения. По методу программы «Chemkin» происходит равновесия реакция, а по методу уравнения тепло балансы определяется времени пребывания в камере сгорания.

На расчете CFD используются модель 78-ступенчатой реакции из 44 компонентов топлива RP - 3 и модель 9-ступенчатой реакции из 11 компонентов водорода. Расчет оксида азота поддерживается 6-компонентной 12-ступенчатой моделью реакции [4]. Результаты вычислений с помощью метода конечных элементов показаны в таблице 2.

Таблица 2

Результаты вычислений с помощью метода конечных элементов

Параметры	Керосин RP-3	Водород	Размерность
Температура на выходе камеры сгорания	1694	1688	K
Полнота сгорания	99,993	99,991	%
EI NO_X	51,66	101,29	NO_x г / кг т.
Выбросов NO_X	4,02	2,44	г / с
EI CO	12,82	0	CO г / кг т.
Максимальная температура в жаровой трубе	2564	2667	K

Исследуемая камера сгорания одинаково обеспечивает высокую эффективность сгорания при использовании различных видов топлива и поэтому может считаться многотопливно адаптивной. Кроме того, поскольку ранее упоминалось, что замена традиционного авиационного топлива биотопливом не окажет существенного влияния на производительность сгорания, можно считать, что камера сгорания подходит для авиационного топлива, биотоплива и водорода.

По сравнению с керосином, применение водорода в качестве топлива имеет более высокую максимальную температуры пламени, что ускоряет тепловую реакцию и в свою очередь, приводит к увеличению выбросов оксидов азота и отсутствует выбросы CO. С целью определения эмиссионных характеристик данной камеры сгорания были проведены расчеты выбросов CO и NOx с помощью программы «Chemkin», один режим по 3D программе, а также с помощью одномерной программы КНИТУ-КАИ.

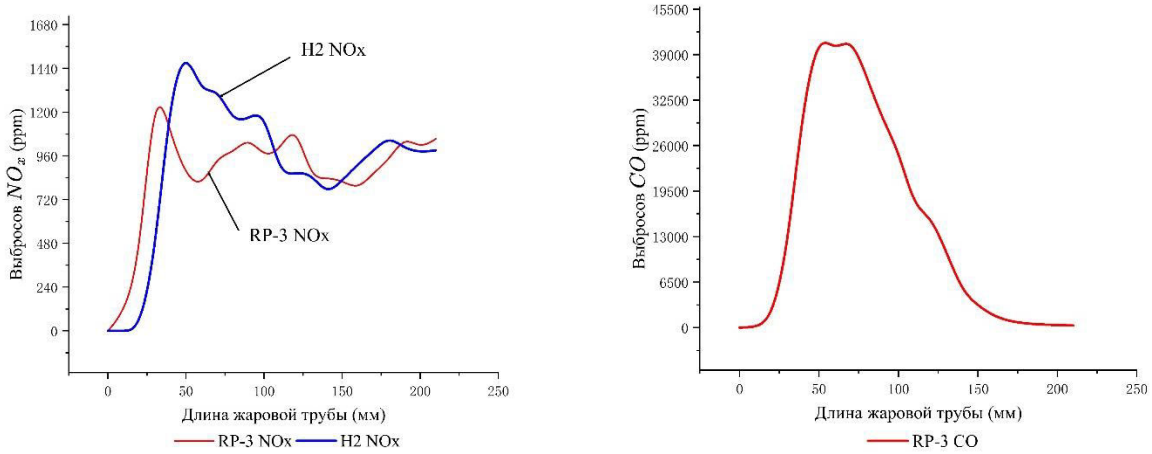


Рисунок 4. Зависимость выбросов NOx и CO от фронтового устройства по длине жаровой трубы при $T_K^* = 740$ K, $P_K^* = 22$ атм.

На рисунке 4 представлены изменение концентраций NO_x и CO по длине камеры сгорания. Видно, что при применении водорода происходит увеличение выброса NO_x в зоне горения, по сравнению с горением керосина, однако к выходу из камеры концентрации оксида азота выравниваются. Окись углерода выделяется только при горении керосина с максимумом в зоне горения. Расчеты выбросов NO_x в зависимости от коэффициента избытка воздуха представлены на рисунке 4. Расчеты выполнены тремя методами: одномерной моделью, по программе «Chemkin», трехмерной моделью CFD.

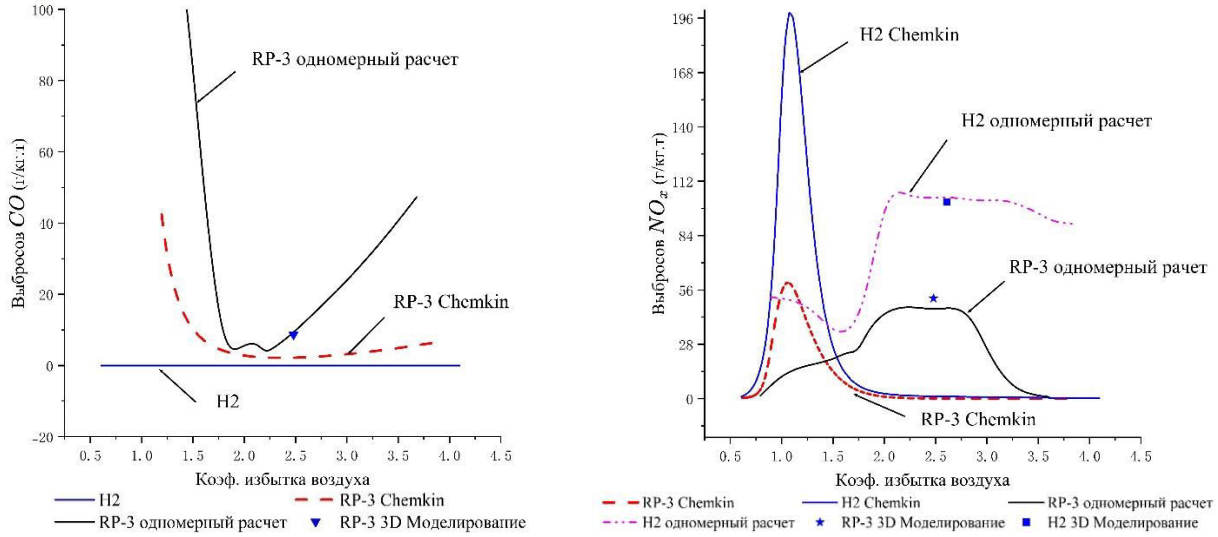


Рисунок 5. Изменение эмиссии NOx по коэффициенту избытка воздуха при $T_K^* = 740$ K, $P_K^* = 22$ атм.

Из анализа зависимостей представленных на рисунке 5 следует, что расчет по программе «Chemkin» дает более высокие значения NO_x, а CO – более низкие, по сравнению с реальными процессами в камерах сгорания. Это объясняется тем, что при

расчете реагирования топлива до равновесного происходит увеличение NO_x и уменьшение CO за счет доокисления CO в CO_2., вследствие большого времени реакции. При расчете 3D моделирования принято время реакции равно времени пребывания в камере сгорания. Необходимо отметить, что расчеты выбросов CO и NO_x по одномерной программе соответствуют данным 3D моделирования, что свидетельствует о правильности принятой в данной модели механизма эмиссии NOx.

Заключение

Проведен анализ температурных характеристик керосина RP - 3, смеси авиационного керосина Jet - A и биотоплива Jet - C1, а также водорода, использованием программного обеспечения метода конечных элементов. Выполнен проект многотопливной адаптивной камеры сгорания авиационного двигателя. На основе анализа результатов расчета получены следующие выводы:

1) Без существенного изменения конструкции, камеры сгорания авиационных двигателей могут применяться различные топлива такие как водород, авиационный керосин и биотопливо;

2) При использовании водородного топлива выбросы углерода отсутствуют, но увеличивается индекс выбросов оксидов азота, вследствие роста локальных температур горения;

3) Расчеты выбросов CO и NOx, полученные с помощью программы «Chemkin», значительно отличаются от реального процесса сгорания;

4) Для камеры сгорания с применением керосина, можно определить температурная характеристику по уравнению теплового баланса. А для камеры сгорания с применением водорода, результаты по уравнению теплового баланса сильно отличатся от реального процессов, так как при расчет по уравнению тепла балансы, не учитывается диссоциация и теплопроводность водорода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. IPCC. Climate change 2023: synthesis report. contribution of working groups I, II and III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. – Geneva, Switzerland, 2033. – URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/ (дата обращения: 26.4.2025).

2. A Review of the Key Technologies of Hydrogen Energy in the Aviation Engine Industry /Yinchun Li, Guanghua Zheng, Hailong Zhang, Chengji Zhang, Taigang Zhou, Cunxiang Ma, Bing Lin, Renzhi Zhou, Yunlei Tang, Yu Fu // Journal of Xihua University, 2024. – Vol. 43. – No. 5. – P. 8–15.

3. EASA. Type certificate data sheets (TCDS). EASA.E.034 - PowerJet S.A. - SaM146 series engines. 2023.

4. Combustion Chemistry Data: сайт. – URL: https://cds.scu.edu.cn/ckl/database/mech (дата обращения: 27.3.2025).

5. Effects of sustainable aviation fuel on nozzle atomization characteristics and combustor performances / Jianwen Zheng, Buming Wan, Qi Zeng, Lijun Jiang, Xian Zhang, Keqian Lu // Journal of Aerospace Power. – 2025. – Vol. 40. – No. 1. – P. 43-50. DOI: 10.13224/j.cnki.jasp.20240427.

INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF THE COMBUSTION CHAMBER OF A GAS TURBINE ENGINE USING VARIOUS FUELS

Zhang H.

Supervisor: Mingazov B.G., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. The calculated studies of NOx and CO emissions in the combustion chamber using kerosene, biofuels and hydrogen were carried out, and the combustion characteristics of various fuels in the combustion chambers were obtained using one-dimensional and three-

dimensional combustion models under combustion chamber conditions. It has been found that calculations of the equilibrium values of CO and NO_x emissions with using the Chemkin program give large errors compared with calculations using a one-dimensional program and a three-dimensional model.

УДК 621.452.3

МОДЕРНИЗАЦИЯ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ПУТЕМ УСТАНОВКИ ФРОНТОВОГО УСТРОЙСТВА TAPS И АНАЛИЗ ЕЁ ВНУТРИКАМЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

Ша Шэнцзэ

Научный руководитель: Александров Ю.Б., доцент, к. х. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе анализируется эффект применения системы TAPS в качестве фронтового устройства, его влияние на полноту сгорания топлива и эмиссионные характеристики. Показана возможность модернизации фронтового устройства камеры сгорания двигателя ПС-90А за счет применения системы TAPS.

Концепция камеры сгорания по схеме TAPS представляет собой систему обедненного сгорания, в которой каждая топливная форсунка содержит центральную пилотную и концентрическую внешнюю зону, как показано на рисунке 1.

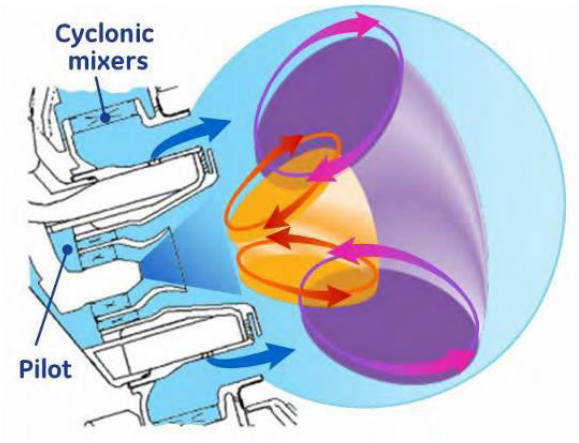


Рисунок 1. Схема организации рабочего процесса фронтового устройства TAPS

Из рисунка 1 видно, что фронтовое устройство TAPS образует две зоны обратных токов, таким образом, чтобы топливо в пилотной и главной зоне обеспечивали горение в широком диапазоне работы.

Пилотная зона горения обеспечивает обогащение топливо-воздушной смеси. При запуске двигателя или работе на низкой мощности все топливо попадает в пилотную зону. При более высокой мощности топливо делится между пилотной и главной зоной. Главный впрыск топлива представляет собой набор радиальных струй, которые поступают в главный воздушный завихритель. Он представляет собой большой эффективный завихритель для сжигания обедненного топлива. При высокой мощности большая часть топлива впрыскивается через главный завихритель. Это позволяет подать топливо для пилотной зоны и главного смесителя в обедненных пропорциях, при этом примерно 70% от общего потока воздуха камеры сгорания проходит через эти 2 смесителя. На рисунке 2 показан процесс сгорания обедненного топлива [1].

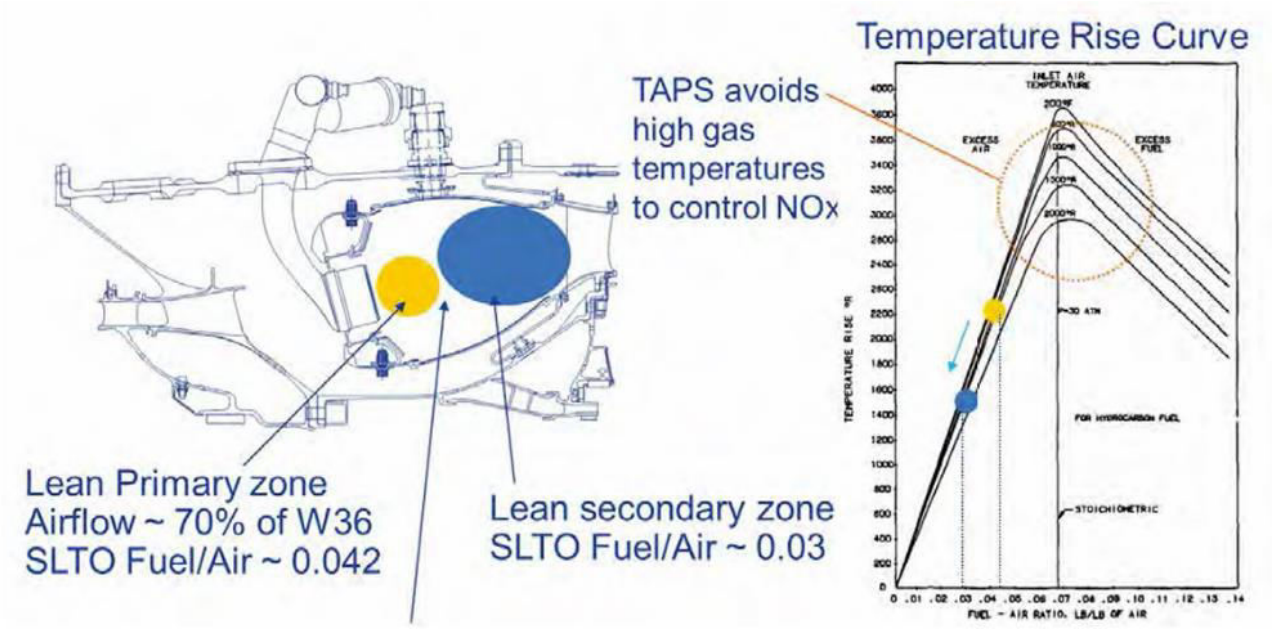


Рисунок 2. Процесс сгорания обедненного топлива

По характеристикам ТРДД ПС-90А было спроектировано фронтовое устройство TAPS [2], показанное на рисунке 3.

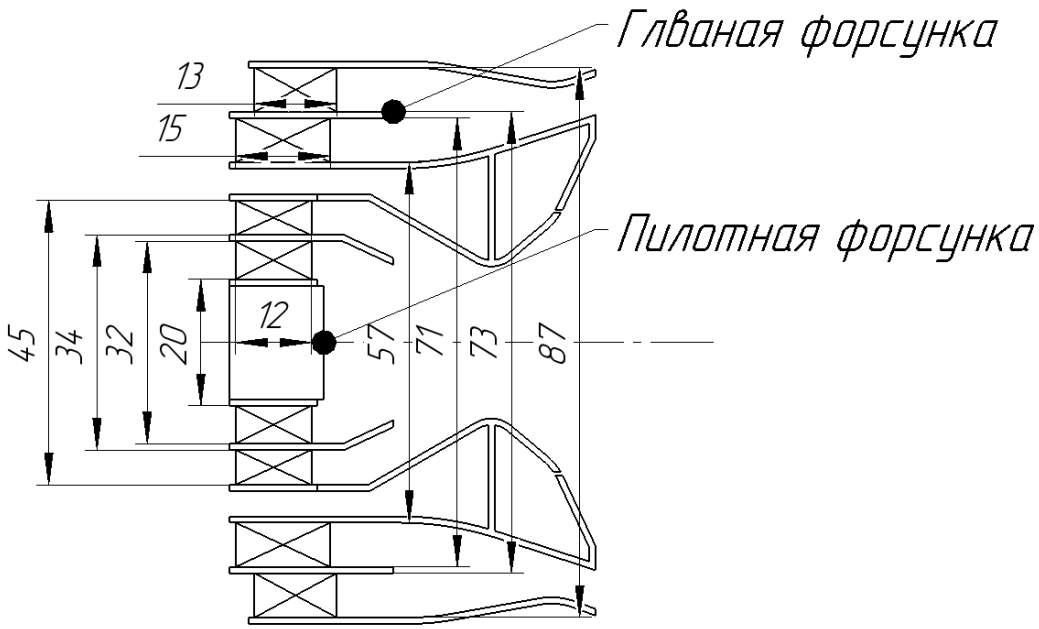
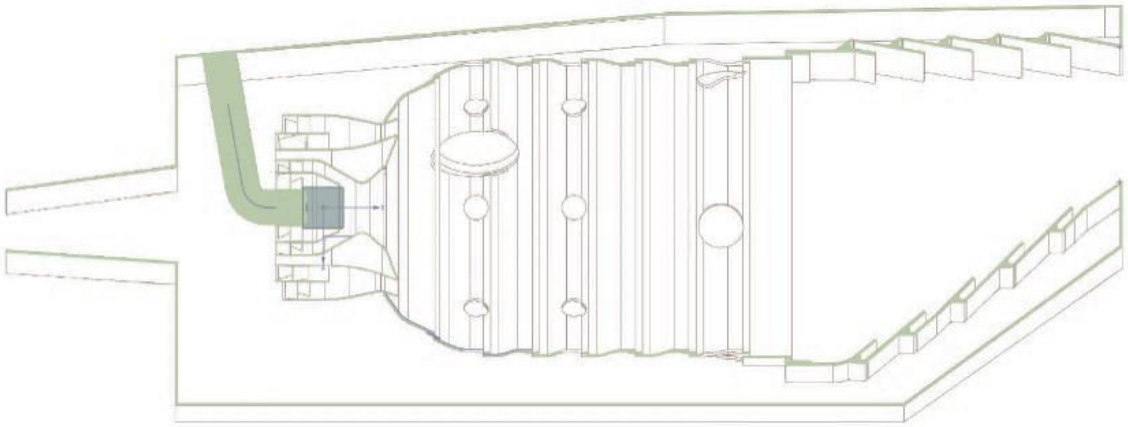


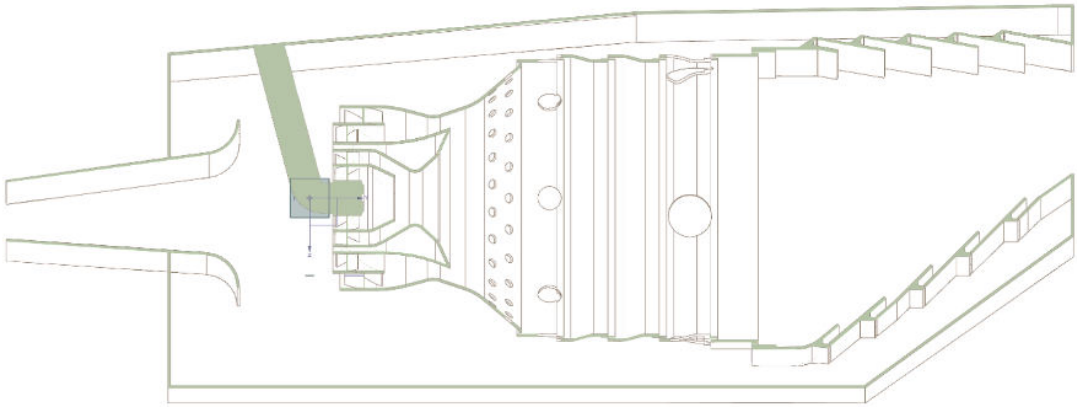
Рисунок 3. Фронтовое устройство TAPS для ТРДД ПС-90А

Воздух течет пропорционально на 1/3 часть через пилотную зону и на 2/3 через главную. Между главным и пилотным завихрителем имеется кольцевая щель, которая может обеспечивать отрыв поверхностного слоя, чтобы уменьшить объем зоны обратных токов (ЗОТ) пилотной ступени и обеспечить образования ЗОТ для главной ступени. Согласно данным [3] выбран угол установки лопатки в пилотной зоне – 45 градусов, а в главной – 55 градусов.

Для выявления влияния объема жаровой трубы на полноту сгорания и характеристику эмиссии, было сделано две разные жаровые трубы, которые можно называть «длинная» и «короткая», показаные в рисунке 4.



а



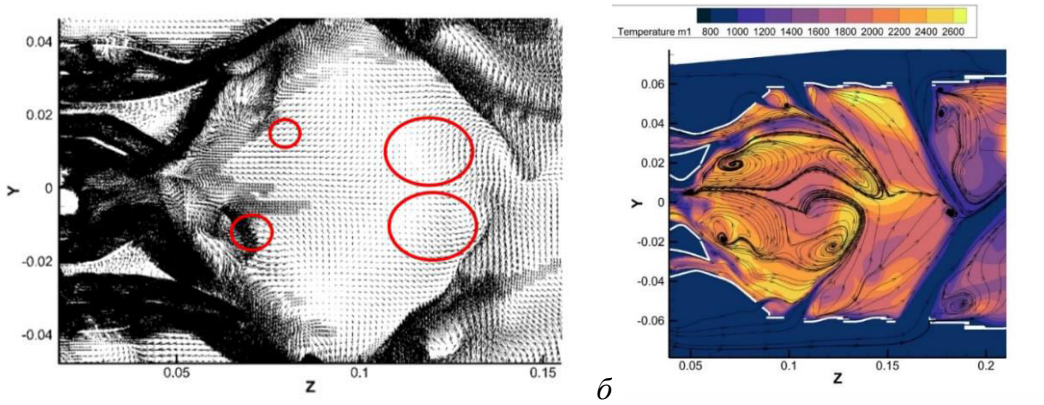
б

Рисунок 4. Длинная камера сгорания для ТРДД ПС-90А с применением фронтового устройства «TAPS»: *а* – длинная; *б* – короткая

Для уменьшения вычислительной мощности при выполнении расчета, модель кольцевой камеры сгорания была упрощена до одного сектора, содержащего одну жаровую трубу и завихритель. По краям выбранного сектора отброшенные части моделировались за счет условия периодичности. Расчет проводился в нестационарной постановке с использованием модели турбулентной вязкости крупных вихрей LES с локальной динамической адаптацией сеточной модели. В качестве топлива в расчетах используется авиационный керосин испаренной с применением модели DPM (модель дискретной фазы) в нестационарной постановке. В данной работе используется механизм горения RP-3-NOx, опубликованный Сычуаньским университетом. Трехкомпонентная модель альтернативного топлива для RP-3 представляет собой н-додекан (s0C12H26) с массовой долей 73,0 %, 14,7 % 1,3,5-триметилциклогексана (s1C9H18) и 12,3 % н-пропилбензола (PHC3H7) [4].

Данная реакторная модель использует двухпараметрическую константу скорости уравнения Arrhenius, энергия активации которой имеет явный физический смысл. Данная реакторная модель комбинирована с механизмом NOx, которая имеет 12-ступенчатую реакцию. В статьи Lin Yuzhen и др. [5] показано моделирование и верификация с экспериментальными данными по выбросам NOx, образующимся при сжигании авиационного керосина в условиях повышенного давления в струйном реакторе с перемешиванием. Экспериментальные давления составляли 2 бар и 3 бар, а температуры на входе — 650 К и 550 К. В условиях богатого топлива механизм ведет себя хуже, однако общие результаты моделирования согласуются с экспериментальными значениями.

Согласно проведенного расчета в короткой жаровой трубе, были построены векторные поля скоростей и линии течения потока, показанных на рисунке 5.



а *б*

Рисунок 5. Параметры в среднем сечением короткой жаровой трубы: *а* - векторная картина поля скоростей; *б* - линии течения потока

На рисунке 5 показано, что фронтовое устройство TAPS образует две зоны обратных токов. Этот результат хорошо совпадает с описаным выше. Кроме того, на рисунке 5, а видно образование две кольцевых зоны низких скоростей (помеченные кружками), которые обеспечат горение, и зоны низких скоростей находящихся в центре зон обратных токов.

Применение системы TAPS и изменение длины камеры сгорания повлияло на эмиссионные характеристики камеры, данные расчета вседены в таблицу 1.

Таблица 1

Результат численного расчета по эмиссионным характеристикам разных типов камер сгорания

Тип камеры	UHC		CO		NO_X	
	Концентрация	EI	Концентрация	EI	Концентрация	EI
Оригинал	$2,2\times10^{-4}$	10,48	7×10^{-5}	3,33	$8,5\times10^{-4}$	40,00
Длинная	$1,7\times10^{-30}$	0	$1,1\times10^{-6}$	0,05	$9,4\times10^{-4}$	44,23
Короткая	$5,2\times10^{-18}$	0	$1,9\times10^{-5}$	0,90	$6,7\times10^{-4}$	31,5

Из таблицы 1 видно, что благодаря применению фронтового устройства можно снизить эмиссии CO и UHC. Из-за конструкции трубчато-кольцевой камеры сгорания и ее большого объема в жаровом трубе, эмиссии NO_x изменяется недостаточно. Данные полученные для короткой и длинной камеры показывают, что короткая камера сгорания снижает эмиссии NO_x на 28%, что совпадает с теорией горения.

По формулам (1) и (2), была подсчитана полнота сгорания в камере сгорания:

$$Q_{пот} = 10,1G_{CO} + 43,1G_{UHC} + 32,8G_{soot}, \quad (1)$$

$$\eta_Г = \left(1 - \frac{Q_{пот}}{Q_T}\right)\cdot 100\%, \quad (2)$$

Полнота сгорания у оригинальной (базовой) камеры составило $\eta_Г$=98,87% у длинной $\eta_{\text{длинная}} = 99,9987\%$; и у короткой $\eta_{\text{короткая}} = 99,9791\%$. Можно сделать вывод, что применение фронтового устройства TAPS намного увеличивает полноту сгорания по сравнению с оригинальной камерой и значительно улучшает ее эмиссионные характеристики.

Результаты исследования демонстрируют значительное улучшение характеристик двигателя за счет оптимизации конструкции камеры сгорания и выбора оптимальных параметров рабочего процесса. Особое внимание уделено практическому применению полученных результатов для модернизации существующих и разработки перспективных авиационных двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Rhett Jefferies*. TAPS II Technology Final Report – Technology Assessment Open Report: CLEEN Program Manager, Federal Aviation Administration, Washington, DC, Sepetmber 2013.9.

2. *Yang Fuzheng, Zhang Qun*. Research on Ignition Characteristics of Aeroengine Combustor / Northwestern Polytechnical University, Xi'an P. R. China, March 2021.

3. Aircraft Engine Design Manual Volume 9: Main Combustion Chamber / Zhang Hongbiao, General Editorial Board of Aircraft Engine Design Manual, Aviation Industry Press, P. R. China 2000. – 551 Pages.

4. RP-3 Aviation Kerosene Surrogate Fuel and the Chemical Reaction Kinetic Model / ZHENG Dong, YU Wei-Ming, ZHONG Bei-Jing, Acta Phys.-Chim. Sin. 2015, 31 (4), 636-642.

5. *Xue X., Lin Y.Z., Zhang C., Tian Y.*, Asme Turbo Expo: Turbine Technical Conference & Exposition, 2014.

UPDATE OF COMBUSTION CHAMBER BY INSTALLING FRONT DEVICE TAPS AND ANALYSIS OF ITS IN-CHAMBER PROCESSES

Sha Shengze

Supervisor: Aleksandrov Yu.B., Associate Professor, Candidate of Chemical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. The paper analyzes the effect of using the TAPS system in the front device, and its effect on the completeness of fuel combustion and emission characteristics. It's possibly to update the front device of the combustion chamber of the PS-90A engine through the use of the TAPS system.

УДК 621.452.3

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА СЕТКИ И МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОЙ ВЯЗКОСТИ НА РЕЗУЛЬТАТ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД

Ша Шэнцзэ

Научный руководитель: Александров Ю.Б., доцент, к. х. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе продемонстрировано влияние сеточной адаптации и модели турбулентной вязкости на определение эмиссионных характеристик, температуры на выходе из камеры сгорания и гидравлические потери. Рассмотрена структура потока и формирование зоны обратных токов при использовании различных моделей вязкости.

Точность численного расчета процессов горения в камере сгорания газотурбинного двигателя тесно связано с моделированием фронта пламени, структурой турбулентного потока, от этого зависит образование токсичных веществ и полнота сгорания топлива. При моделировании горения сильное влияние на результаты оказывает модель турбулентности и размер сеточного разрешения [1-3]. В данной статье продемонстрировано это влияние на примере расчета камеры сгорания ПС-90А и приводятся требования и рекомендации по настройке вычислительных ресурсов с использованием адаптивных сеток.

1. Влияние адаптивной сетки на расчеты течений с горением

Адаптивное построение сетки — это метод решения задач течения потоков с высокой точностью в условиях ограниченных вычислительных ресурсов. Данный метод может автоматически уточнять сетку в областях с высокими градиентами физических величин, чтобы лучше просчитать особенности потока и значительно повышать точность переходных решений при выборе моделей турбулентной вязкости семейства URANS или крупных вихрей DES/LES.

Выбросы CO и NOx очень чувствительны к разрешению фронта пламени, для точного моделирования которого требуется размер сеточной ячейки около 0,1 мм. Построение такой мелкой сеточной модели во всем объёме даже для секторной модели камеры сгорания - невозможно ввиду ограничений по вычислительным мощностям.

На рисунке 1 показана перестройка адаптивной сетки для расчета потока с горением и с использованием модели турбулентности LES на примере расчета камеры сгорания.

Рисунок 1. Сеточная модель в плоскости проходящей через ось завихрителя: *а* – перед адаптацией; *б* – в процессе динамической адаптации

На рисунке 1 видно, что после адаптации сетки образуется очень мелкие ячейки сетки, что позволяет анализировать поля температур и концентраций химической реакции горения с высоким разрешением. Процесс применения адаптации сетки можно представить на рисунке 2 в виде блок схемы.

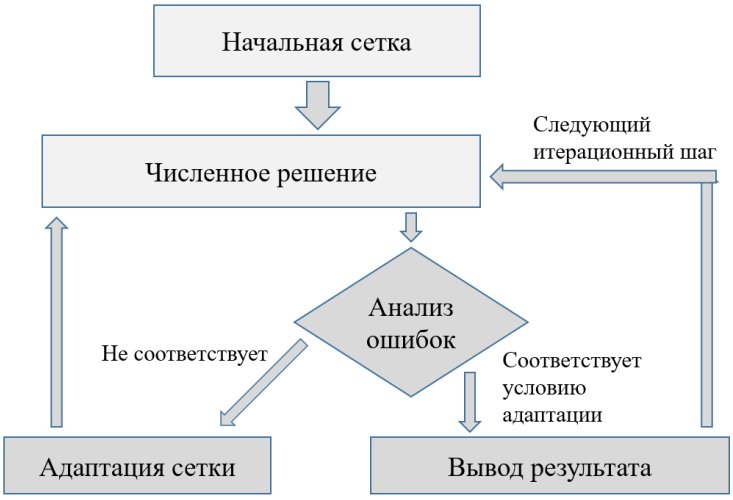
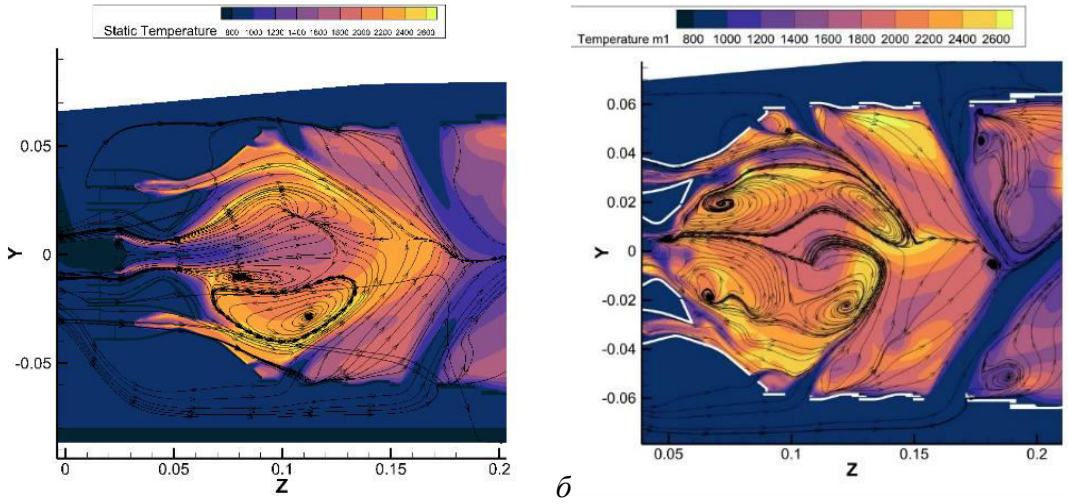


Рисунок 2. Схема процесса адаптации сетки

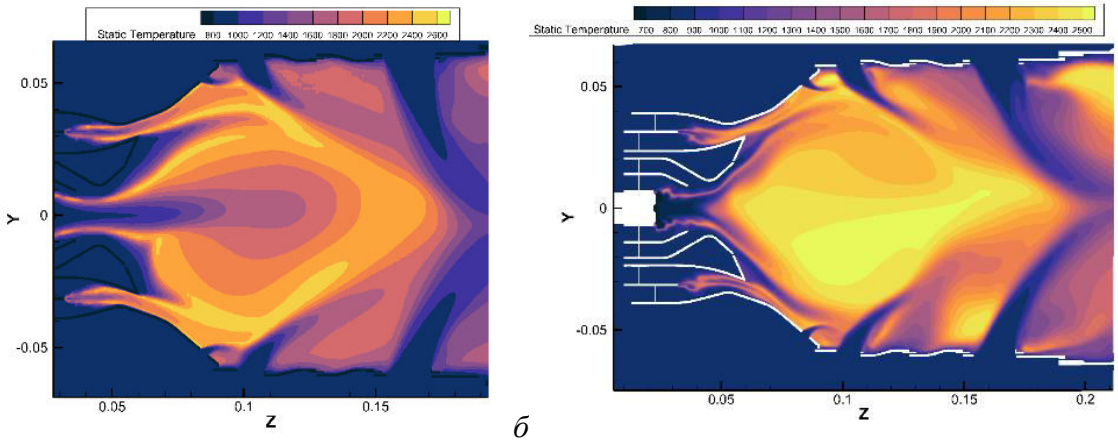
Адаптивное сетка оказывает огромное влияние на генерацию зон обратных токов. Для иллюстрации такого влияния, на примере камеры сгорания ПС-90А, модифицированной с помощью фронтового устройства системы TAPS, была создана расчетная сетка с начальным характерным размером – 3 мм.

На рисунке 3 показано образование зон обратных токов (ЗОТ) на сетках без адаптации и с адаптацией. Как видно из рисунка 3, ЗОТ смоделировна неправильно и имеет смещение вихря в внижнюю часть камеры сгорания. На рисунке 4 показано влияние адаптивной сетки на поле температур. Как видно из рисунка 4, без использования адаптивных сеток невозможно правильно рассчитать температурное поле, поскольку зона рециркуляции и фронт пламени имеет смещение в сторону выхода из жаровой трубы. При заимодействии такого деформированного фронта пламени со вторичном воздухом, поступающего через отверстия в жаровой трубе, происходит снижение температуры в области зоны горения. Это в свою очередь приводит к неправильному определению выбросов токсичных веществ и полноты горения.



а *б*

Рисунок 3. Визуализации образования зоны обратных токов: *а* – сетка без адаптации; *б* – сетка с адаптацией



а *б*

Рисунок 4. Визуализации температурных полей в области фронтового устройства: *а* – сетка без адаптации; *б* – сетка с адаптацией

Несмотря на положительные эффекты применения адаптационной сетки, ее применение имеет и недостатки. Согласно проведенного расчета, применение трехступенчатого преобразования сетки с установкой минимального размера 0,1 мм повышает затраты оперативной памяти компьютера в три раза, от 70 ГБ до 190 ГБ. Процесс адаптации сильно уменьшает качество сетки. Оригинальное качества сетки до адаптации

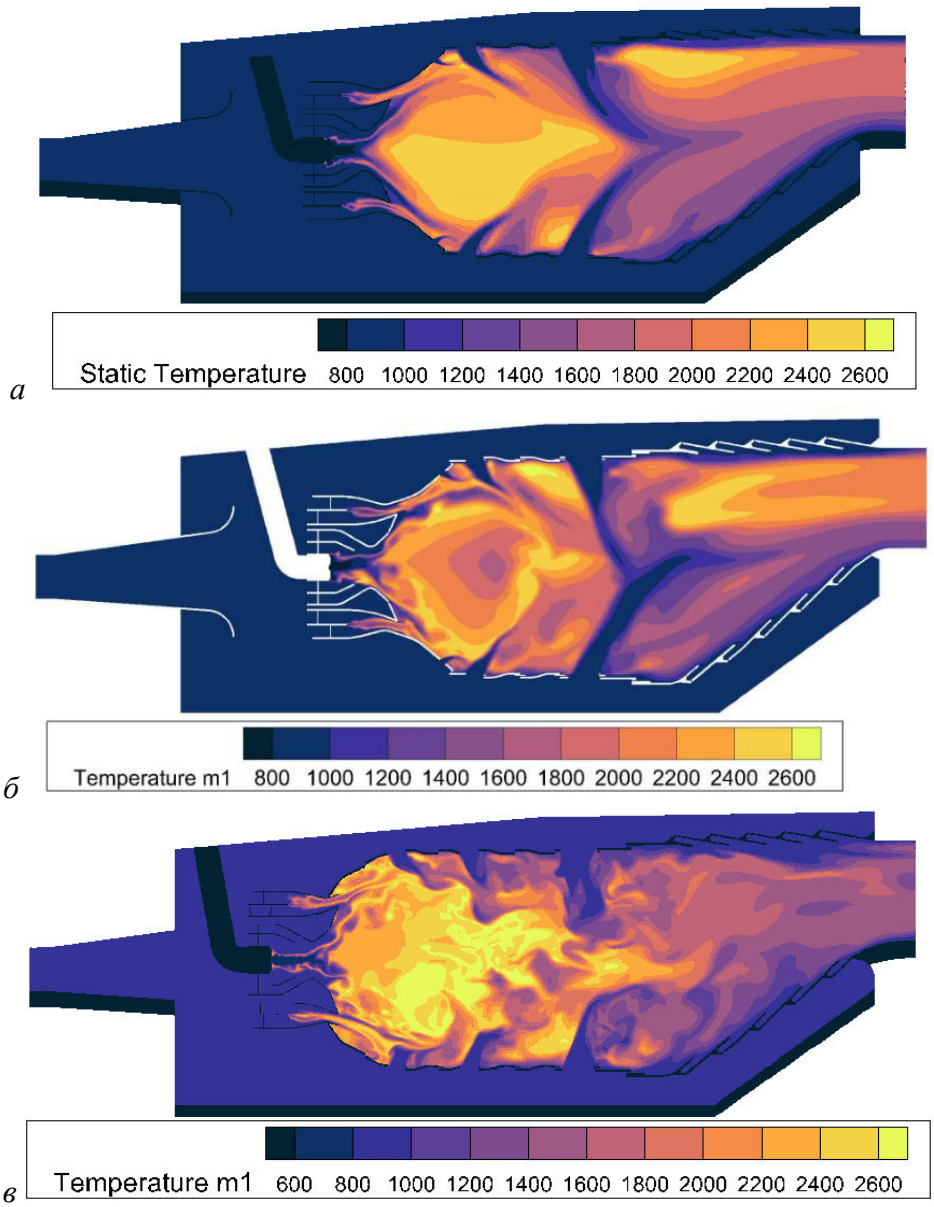
составляло 0,25 по ортогональному качеству, а после адаптации – 0,07. Эти значения дают приближенную рекомендательную характеристику вычислительной мощности и размеров сеточной модели, используемой при решении задач газодинамики с горением.

2. Влияние модели турбулентной вязкости на результаты расчета камеры сгорания ГТД

Различные типы турбулентных моделей оказывают значительное влияние на моделирование структуры пламени и определение фактических параметров зоны горения. В данном разделе демонстрируются различия в структуре пламени и температурном поле при использовании трёх моделей турбулентности (URANS, DES и LES), а также линии тока для демонстрации влияния LES на вихревую структуру.

Как видно на рисунке 5, модель турбулентности LES более точно воспроизводит детальную структуру пламени, которая лучше соответствует реальным условиям горения.

Хотя модель DES менее эффективна при анализе структуры пламени по сравнению с LES, её вычислительная эффективность и устойчивость к завышенным временным шагам значительно выше. Поэтому DES является предпочтительным выбором при ограниченных вычислительных ресурсах.



а

б

в

Рисунок 5. Температурные поля при расчете с разными турбулентными моделями:
а – RANS; *б* – DES; *в* - LES

Кроме того, модель LES позволяет более детально разрешать вихревые структуры, что показано на рисунке 6.

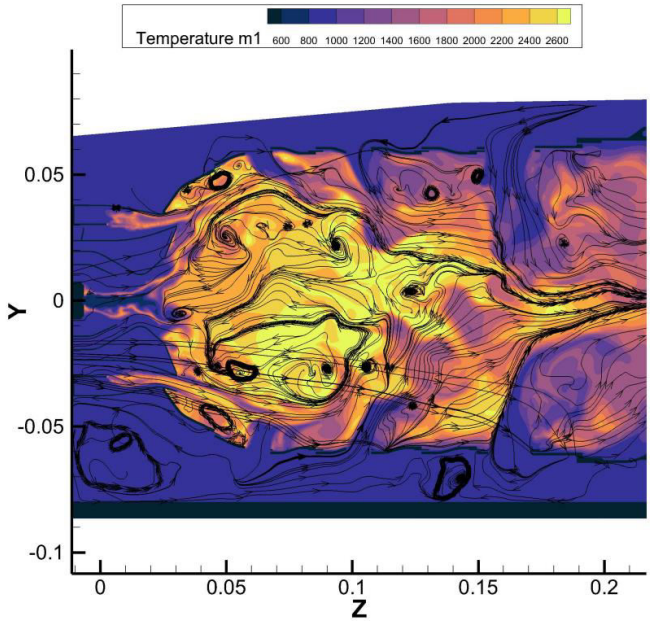


Рисунок 6. Линии тока при моделировании с моделью LES в плоскости проходящей через ось завихрителя

Модель LES лучше воспроизводит детальную вихревую структуру и эти вихри способствуют более точному моделированию пламени, что также объясняет его асимметричную структуру, где вихревой поток отделяется от основной зоны рециркуляции и перемещается вместе с потоком. Поскольку отделившееся вихревые кольцевые структуры не получают дополнительной энергии из зоны рециркуляции, интенсивность их вращения постепенно ослабевает по мере движения и в конечном итоге исчезает.

В этой статье обсуждены результаты полученные при численном расчете камеры сгорания газотурбинного двигателя с применением адаптивных сеток и различных моделей турбулентности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Large-eddy simulations of gas-turbine swirl injector flow dynamics/ Shanwu Wang, Vigor Yang, George Hsiao, Shin-yang Hsieh, Hukam C. Mongia, Department of Mechanical and Nuclear Engineering, The Pennsylvania State University, GE Aviation, USA, January 2007.

2. Combustion and Combustion Chamber / Huang Yong, Lin Yuzhen, Li Feng, Guo Zhifeng, Xu Quanhong, Guo Zhihui, Liu Yuying, Yang Xiaoyi, Wang Fang, Beihang University Press, P. R. China 2008. - 393 Pages.

3. *Ren HaiSheng, Wang JingBo, Li XiangYuan*, Combustion Dynamics, Sichuan, CDS, Center for Combustion Dynamics, Sichuan University, 2021.9, http://cds.scu.edu.cn.

INFLUENCE OF GRID SIZE AND TURBULENT VISCOSITY MODEL ON THE RESULT OF NUMERICAL CALCULATION OF GAS TURBINE ENGINE COMBUSTION CHAMBER

Sha Shengze

Supervisor: Aleksandrov Yu.B., Associate Professor, Candidate of Chemical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. The abstract describes the essence of the research. The paper demonstrates the influence of grid adaptation and turbulent viscosity model on the definition of emissions,

temperature at the outlet of the combustion chamber and hydraulic losses. The flow structure and formation of the reverse current zone are considered when using different viscosity models.

УДК 621.438:621.45.038.3

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО РАЗРЯДА

Шайхутдинов А.С.
Научный руководитель: Саттаров А.Г., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. Выполнено исследование автоколебаний в энергетических установках под воздействием импульсного лазерного разряда. Представлены уравнения, граничные условия, метод численного решения и анализ устойчивости системы.

Автоколебания в энергетических установках снижают надёжность и ресурс систем [1, 4]. Одним из перспективных методов их подавления является импульсный лазерный разряд (ИЛР), позволяющий воздействовать на течение без изменения конструкции. При оптимальных параметрах ИЛР эффективно снижает уровень термоакустических колебаний [3, 9, 11, 12]. Моделирование таких процессов требует учёта нестационарной газодинамики, теплообмена и внешнего возбуждения, при этом влияние ИЛР на устойчивость и спектр колебаний до конца не изучено [2, 5, 7]. В настоящей работе представлена модель автоколебаний в тракте энергетических установок с локализованным воздействием ИЛР, рассматриваемым как кратковременное тепловое возмущение, влияющее на давление, скорость и фазу отклика [1, 4, 6]. Для построения модели учитываются уравнения нестационарной газодинамики, функция теплового отклика пламени и модель лазерного импульса. Все ключевые зависимости представлены ниже:

Уравнения движения газа:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u)}{\partial x} = 0$$
$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial p}{\rho \partial x} = 0$$
$$\frac{\partial p}{\partial t} + \gamma p\frac{\partial u}{\partial x} = (\gamma - 1)Q(x,t)$$

где: *u(x,t)* — осевая скорость потока, *p(x,t)* — давление, *Q(x,t)* — плотность тепловыделения, γ — показатель адиабаты, ρ — плотность газа (приближённо постоянна), *x* — координата вдоль оси тракта, *t* — время.

Пульсации тепловыделения из-за пламени обычно описываются с помощью Flame Transfer Function (FTF) — зависимости между колебаниями давления и тепловыделения:

$$Q'(t) = G \cdot p'(t - \tau)$$

где: G — амплитуда FTF, τ — задержка теплового отклика пламени.

Воздействие импульсного лазерного разряда (ИЛР) моделируется как дополнительное возмущение в Q(x,t) в виде:

$$Q_{\text{ИЛР}}(x,t) = A \cdot \delta(x - x_0) \cdot e^{-\frac{(t-t_0)}{\sigma^2}}$$

где: A — мощность импульса, x_0, t_0 — место и момент воздействия, σ — длительность импульса, $\delta(x-x_0)$— дельта-функция (моделирует локальность).

Общая функция тепловыделения:

$$Q(x,t) = G \cdot p(x, t - \tau) + \cdot \exp\left(-\frac{(t - t_0)^2}{\sigma^2}\right) \cdot \delta(x - x_0)$$

Для численного моделирования далее будут применяться методы конечных разностей и спектрального разложения, описанные в [5], [8], [10]. Результаты позволят исследовать изменение спектра автоколебаний в зависимости от параметров ИЛР.

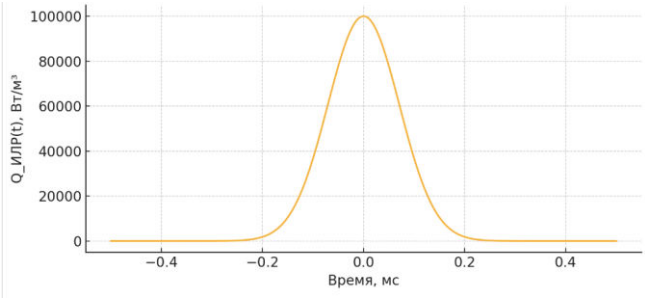


Рисунок 1. Форма импульса ИЛР

Форма лазерного импульса во времени — гауссов профиль, максимум в t = 3.5 мс.

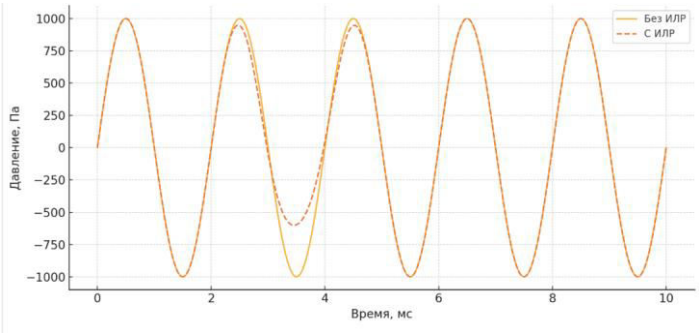


Рисунок 2. Автоколебания давления с фазовым влиянием ИЛР

Давление в тракте с ИЛР — видно снижение амплитуды и фазовый сдвиг после воздействия.

Для численного моделирования далее будут применяться методы конечных разностей и спектрального разложения, описанные в [5], [8], [10]. Результаты позволят исследовать изменение спектра автоколебаний в зависимости от параметров ИЛР.

В базовой конфигурации без воздействия импульсного лазерного разряда в тракте формируются устойчивые автоколебания давления и скорости газа с частотой около 500 Гц, что соответствует первой резонансной акустической моде. Амплитуда остаётся постоянной, что указывает на нейтральную устойчивость системы (рисунок 1). При введении лазерного импульса в момент времени t_0 = 3.5 мс в зоне наибольшей чувствительности наблюдаются: локальное снижение амплитуды, фазовый сдвиг экстремумов давления, а также подавление колебаний на 10–30% в зависимости от параметров импульса. На рисунке 2 видно временное расхождение фаз между основным и возмущённым режимами и снижение амплитуды в области воздействия. Быстрое преобразование Фурье показало, что основной пик на 500 Гц сохраняется, однако появляются побочные гармоники (1000, 1500 Гц), связанные с модуляцией амплитуды. Энергетическая плотность основного пика снижается на 15–20% при A = 1000 Вт/м³ и σ = 0.5 мс.

Таблица 1

Сравнение параметров с ИЛР и без ИЛР

Параметр	Без ИЛР	С ИЛР
Частота автоколебаний, Гц	500	500 (с гармониками)
Амплитуда давления, Па	±1000	±700…900
Энергия в основной моде (БПФ), %	100	~82

Смещение фазы (макс), рад	–	~0.15
Время восстановления, мс	–	1.2–1.5 после импульса

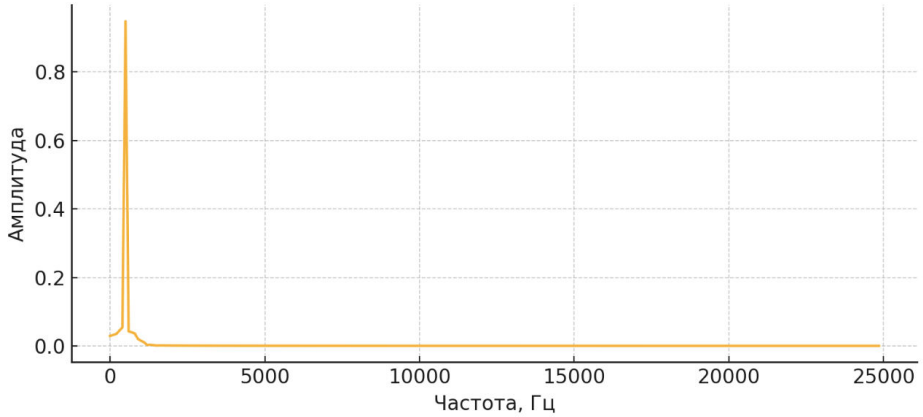


Рисунок 3. Спектр автоколебаний давления (в середине тракта)

Спектр автоколебаний давления в середине тракта — видно выраженный пик на 500 Гц и ослабление энергии из-за ИЛР.

Моделирование показало, что без внешнего воздействия в тракте формируются устойчивые автоколебания с частотой около 500 Гц, соответствующей резонансной моде первого порядка, что подтверждает теоретические оценки для акустических труб [4, 5]. При воздействии ИЛР в момент t = 3.5 мс фиксируется влияние на фазу и амплитуду давления: при удачных параметрах достигается подавление, при неудачных — усиление колебаний [11, 12, 13]. Особенно чувствителен фазовый момент воздействия. Разработанная модель демонстрирует возможность активного управления автоколебаниями, пригодна для адаптации под различные конфигурации и позволяет оценивать влияние параметров ИЛР. Спектральный анализ выявил смещение энергии и появление гармоник, визуализация показала фазовые и амплитудные изменения давления. Перспективы включают развитие многомерных моделей, учёт химических процессов, внедрение систем обратной связи и экспериментальную верификацию. ИЛР подтвердил свою эффективность как средство стабилизации, открывая путь к повышению надёжности энергетических установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Lieuwen, T.* (2012). Unsteady Combustor Physics. Cambridge University Press.

2. *Zeldovich, Y. B., Barenblatt, G. I., Librovich, V. B., Makhviladze, G. M.* (1985). The Mathematical Theory of Combustion and Explosions. Consultants Bureau.

3. *Candel, S.* (2002). Combustion dynamics and control: Progress and challenges. Proceedings of the Combustion Institute, 29(1), 1–28.

4. *Dowling, A. P., & Stow, S. R.* (2003). Acoustic analysis of gas turbine combustors. Journal of Propulsion and Power, 19(5), 751–764.

5. *Poinsot, T., & Veynante, D.* (2005). Theoretical and Numerical Combustion. R.T. Edwards, Inc.

6. *Жданов В. А., Кочанов Н. А.* (2018). Автоколебательные процессы в реактивных двигателях. М.: Машиностроение.

7. *Барановский Е. А., Соловьев С. Л.* (2020). Моделирование нестабильностей в газотурбинных установках. Журнал «Теплофизика высоких температур», №5, с. 98–104.

8. *Иванов В. М.* (2021). Численные методы анализа автоколебаний в ГТУ. М.: МГТУ им. Баумана.

9. *Sattelmayer, T.* (2003). Influence of combustor aerodynamics on combustion instabilities from equivalence ratio fluctuations. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 125(1), 11–19.

10. *Fleifil, M., Annaswamy, A. M., Ghoneim, Z. A., & Ghoniem, A. F.* (1996). Response of a premixed flame to flow oscillations: a kinematic model and thermoacoustic instability results. Combustion and Flame, 106(4), 487–510.

11. *Armitage, D., Balachandran, R., & Mastorakos, E.* (2003). Laser ignition and flame kernel development in turbulent flows. Proceedings of the Combustion Institute, 29(1), 125–131.

12. *Николаев Н. Н., Курочкин С. А.* (2022). Использование лазерного зажигания в турбомашинах. Журнал «Физика горения и взрыва», №3, с. 58–67.

13. *Симонов А. М., Павлов К. Ю.* (2023). Пульсации давления при воздействии импульсного лазерного разряда в ГТ тракте. Журнал «Аэрокосмическая техника и технологии», №4, с. 31–39.

INVESTIGATION OF SELF-EXCITED OSCILLATIONS IN POWER PLANTS INDUCED BY PULSED LASER DISCHARGE

Shaikhutdinov A.S.

Supervisor: Sattarov A.G., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)*

Abstract. This work presents an investigation of self-excited oscillations in power plants subjected to pulsed laser discharge. The study introduces the governing equations, boundary conditions, and numerical methods employed for the analysis. The stability of the system under laser-induced perturbations is examined, providing insight into the dynamic response and potential approaches for oscillation control.

УДК 621.452.3

ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ТУРБИНЫ В УСЛОВИЯХ ФИКСИРОВАННОЙ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ

Якимов А.Е., Нгуен Тхань Бинь, Гатауллина Е.Д.

Научный руководитель: Горячкин Е.С., доцент, к. т. н.

(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара)

Аннотация. В работе проведена газодинамическая оптимизация двухступенчатой турбины с целью снижения пропускной способности при сохранении КПД и неизменности проточной части. Оптимизация выполнялась поэтапно: сначала 1 сопловой аппарат (СА), затем 1 и 2 СА, с использованием двух схем параметризации, при этом было выявлено, что оптимизация двух СА даёт максимальный прирост КПД, а различие между схемами параметризации не более 0,13 % по КПД, при этом схема с меньшим числом варьируемых параметров обладает более высокой вычислительной эффективностью. Наилучший вариант обеспечил снижение пропускной способности на 2,93% при уменьшении КПД всего на 0,1% относительно базового.

Цель исследования состоит в перепрофилировании сопловых аппаратов двухступенчатой турбины с целью обеспечения требуемой пропускной способности при неизменности геометрии меридиональных обводов и роторных элементов, а также сохранении максимально возможного уровня КПД.

Данная постановка задачи обусловлена требованиями модернизации двигателя, целью которой является снижение пропускной способности разработанной турбины газогенератора (рисунок 1). В связи с этим решение должно быть достигнуто за счёт модификации СА.

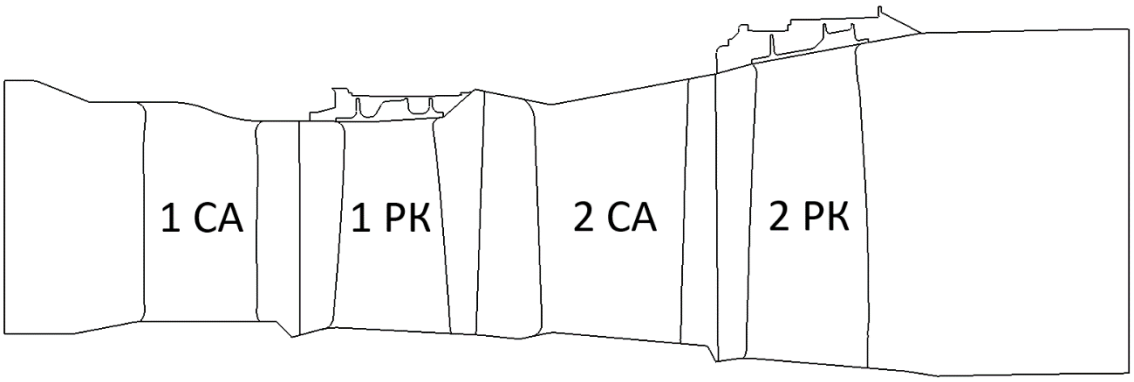


Рисунок 1. Меридиональный вид турбины

Оптимизация состоит из множества последовательных шагов (итераций), на каждом шаге выполняются следующие этапы, представленные на схеме (рисунок 2).

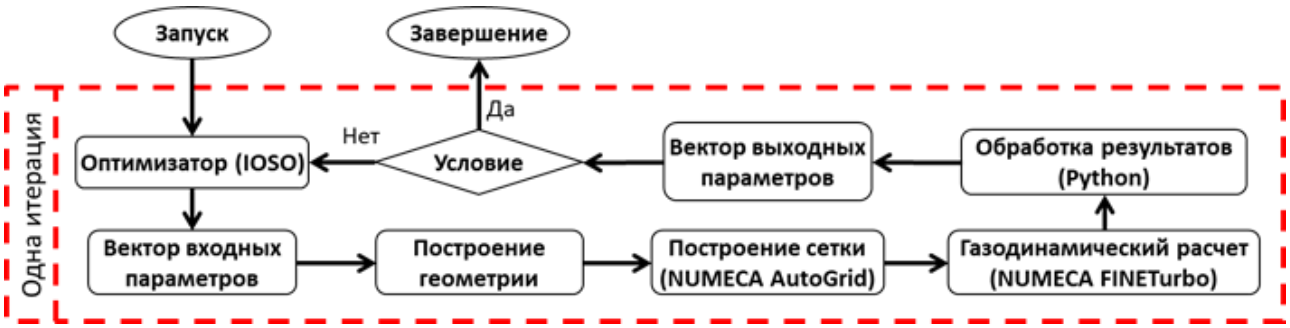


Рисунок 2. Схема оптимизации

1. Программой IOSO [1] автоматически создается вектор входных параметров, включая параметры геометрии лопаток и граничные условия для CFD-расчёта.
2. Запись вектора входных параметров для использования в последующих программах.
3. На основе вектора входных параметров выполняется построение геометрии лопаток.
4. В программе NUMECA AutoGrid выполняется построение сеточной модели проточной части.
5. Выполняется газодинамический (CFD) расчёт в программе NUMECA FINETurbo.
6. Макросами на Python выполняется обработка результатов расчёта и вычисляются ключевые параметры турбины.
7. Полученные параметры передаются в IOSO в виде вектора выходных параметров.
8. Программа IOSO проверяет условие завершения оптимизации (сходимость или завершение пользователем).
9. В IOSO выполняется анализ полученных результатов и формируются следующий вектора входных параметров.

Цикл продолжался до сходимости – отсутствия улучшения критерия оптимизации при генерации новых вариантов геометрии.

Геометрия СА формировалась в программе параметрического профилирования лопаток турбины, разработанная в Самарском университете [2]. Схема параметризации представлена на рисунок 3.

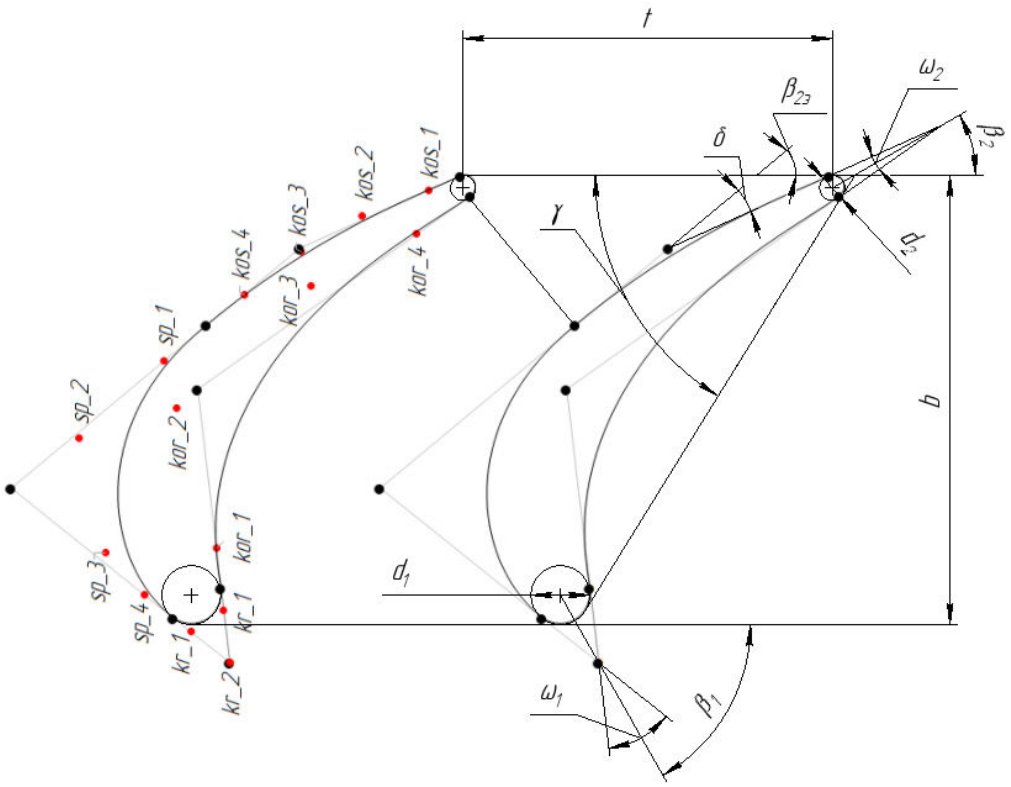


Рисунок 3. Схема параметризации сечения лопатки

В минимальной постановке изменялись основные геометрические параметры профиля: входной и выходной лопаточные углы (β_1, β_2), эффективный выходной угол ($\beta_{2э}$), угол установки профиля (γ), угол отгиба спинки (δ) и хорда (b).

В расширенной постановке, помимо перечисленных параметров, дополнительно варьировались угол заострения входной и выходной кромок (ω_1, ω_2), смещение сечения в окружном направлении ($\Delta_{окр}$), а также коэффициенты кривизны, задающие форму сплайнов (sp_i, kr_i, kor_i, kos_i).

Во всех случаях параметризация осуществлялась в двух характерных сечениях: втулочном и периферийном.

Также в результате построения профиля лопаток, определялись максимальные толщины профиля и его осевые габариты, которые необходимо контролировать в ходе оптимизации.

Для упрощения задачи оптимизации была заменена геометрия бандажных полок, с целью снижения количества элементов сеточной модели (рисунок 4).

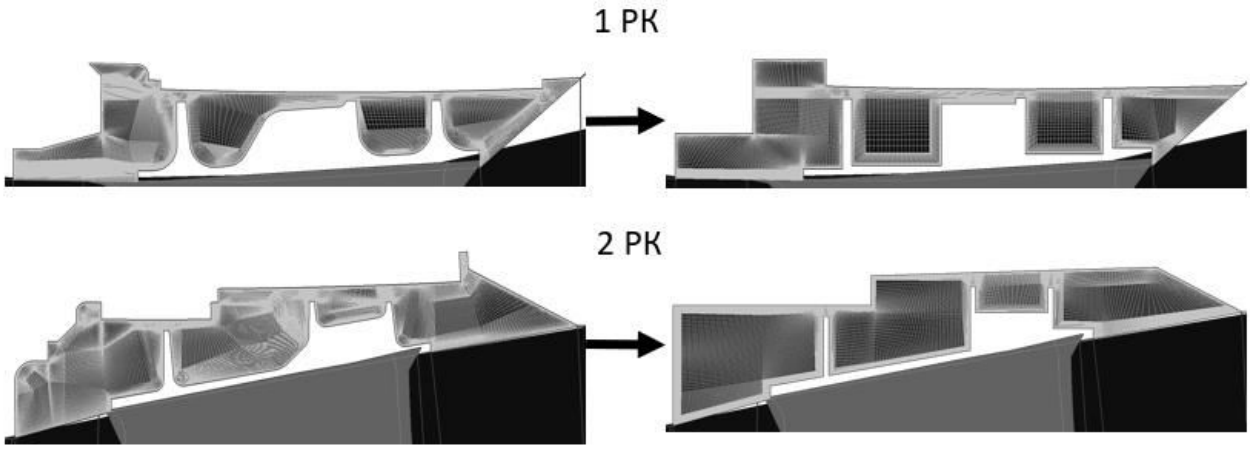


Рисунок 4. Упрощение сеточной модели бандажных полок

Затем выполнено построение сеточной модели в ПО NUMECA AutoGrid в соответствии с рекомендациями из [3]. Суммарное количество элементов сеточной модели турбины составило 6,16 млн.

Задача газодинамической оптимизации решалась в 4 этапа:

– оптимизация геометрии 1 СА (минимальная параметризация);

– оптимизация геометрии 1 СА (максимальная параметризация);

– совместная оптимизация 1 и 2 СА. (максимальная параметризация для 1 СА и минимальная для 2 СА);

– совместная оптимизация 1 и 2 СА. (максимальная параметризация для 1 СА и 2 СА).

В качестве целевых функций при оптимизации рассматривались рост КПД ($\eta_т^* \uparrow$) и снижение пропускной способности турбины ($A_т \downarrow, м^2$).

В качестве ограничений были заданы:

– максимальную толщину профиля не менее чем на 0,5 % от исходного значения;

– координату входной кромки не ниже исходной более чем на 1 мм;

– степень понижения давления в пределах ±0,5 % от базового значения.

Набор варьируемых параметров соответствовал описанным ранее постановкам параметризации (ограниченной и расширенной).

Результаты представлены на рис. 5 в виде фронтов Парето для каждой из постановок:

1 – оптимизация 1-го СА (минимальная параметризация);

2 – 1-й СА (максимальная параметризация);

3 (промежуточный) – 1-й СА (расшир.) + 2-й СА (огранич.);

3 (итоговый) – 1-й СА (расшир.) + 2-й СА (огранич.);

4 – 1-й и 2-й СА (расшир. параметризация).

На том же рисунке показаны характеристики базовой турбины, целевые параметры и углы потока на выходе.

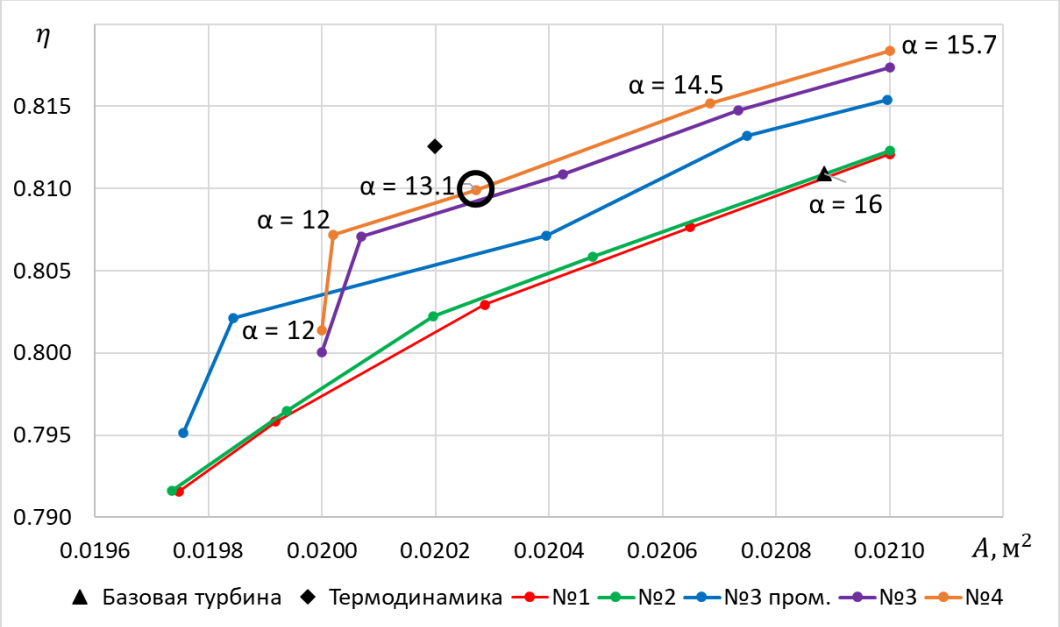


Рисунок 5. График фронтов Паретто

На рисунке чёрным кругом обозначен наиболее оптимальный вариант, полученный в ходе оптимизации: его пропускная способность снижена на 2,93 %, а КПД уменьшен всего на 0,1 % относительно базового двигателя. Для этой конфигурации выполнено сравнение распределения числа Маха в относительном движении с расчётной точкой базового варианта (рисунок 6).

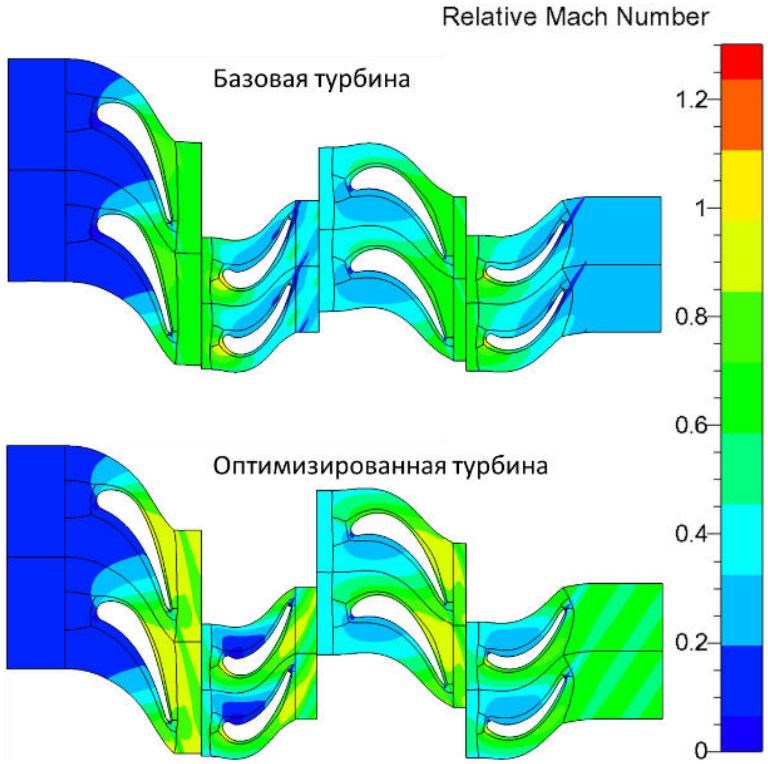


Рисунок 6. Поля числа Маха в относительном движении на среднем сечении

Анализ результатов показал, что:

– достижение требуемой пропускной способности турбины без снижения КПД невозможно только за счёт изменения геометрии СА;

– уменьшение пропускной способности турбины обеспечивается за счёт сужения горла СА, что приводит к росту скорости потока и отклонению угла входа в РК, что подтверждает необходимость изменения его геометрии;

– наибольший эффект от оптимизации достигается при совместной оптимизации 1-го и 2-го СА;

– различие между схемами параметризации не превышает 0,13 % по КПД, при этом схема с большим числом параметров требует больше времени для достижения сходимости;

– итоговый вариант турбины характеризуется снижением пропускной способности на 2,93 % и уменьшением КПД всего на 0,1 % по сравнению с базовым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Egorov I.N., Kretinin G.V., Leshchenko I.A., Kuptzov S.V.* 2004. The main features of IOSO technology usage for multi-objective design optimization. In Proc. of 10th AIAA / ISSMOMultidisciplinary Analysis and Optimization Conference, Vol. 6, pp. 3437-3447.

2. Программа параметрического профилирования лопаток турбин Blade airfoil designing: пат. RU 2025617331/Попов Г.М., Горячкин Е.С., Зубанов В.М., Мельников С.А., Щербань А.И., Гатауллина Е.Д., Нгуен Т.Б., Якимов А.Е.; правообладатель: Федер. государств. автономное образоват. учреждение высш. образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

3. *Попов Г.М., Горячкин Е.С., Зубанов В.М. и др.* Оптимизация рабочего процесса двухступенчатой ТВД современного ГТД для гражданской авиации / Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. — 2022. — Т. 26. № 3 (97). — С. 113-125.

GAS-DYNAMIC OPTIMIZATION OF A TWO-STAGE TURBINE UNDER FIXED FLOW PATH CONDITIONS

Yakimov A.E., Nguyen Thanh Binh, Gataullina E.D.
Supervisor: Goryachkin E.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara)

Abstract. The paper presents a gas-dynamic optimization of a two-stage turbine in order to reduce the throughput while maintaining the efficiency and the flow path unchanged. The optimization was performed in stages: first, 1 nozzle guide vane (NGV), then 1 and 2 NGV, using two parameterization schemes. It was found that the joint optimization of two NGV provides the greatest increase in efficiency, and the difference between the parameterization schemes does not exceed 0.13% in efficiency, while the scheme with a smaller number of variable parameters has a higher computational efficiency. The best option provided a decrease in throughput by 2.93% with a decrease in efficiency of only 0.1% relative to the baseline.

УДК 620.93

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ КИСЛОРОДНО-ТОПЛИВНОГО ГОРЕНИЯ МЕТАНА ПО ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ

Яковлев В.С., Осипов С.К.
Научный руководитель: Злывко О.В., доцент, к. э. н.
(Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», г. Москва)

Аннотация. В настоящем докладе произведена верификация кинетических механизмов горения GRI 3.0, UoS sCO2 2.0, OXY-NG и Skeletal на экспериментальных данных по кислородно-топливному сжиганию метана, представленных в литературе. Установлено, что UoS sCO2 2.0 является наиболее точным механизмом для моделирования времени задержки воспламенения метана при давлениях до 286 атм., молярных долях CO_2 в горючей смеси до 85% и коэффициентах избытка окислителя (α) от 0,5 до 2 при сжигании в среде чистого кислорода, разбавленного диоксидом углерода. Однако, в литературных экспериментальных данных имеются значительные пробелы при давлениях выше 1 атм.

ВВЕДЕНИЕ

Рост концентрации CO_2 в атмосфере Земли ведёт к глобальному потеплению климата, угрожающему устойчивому развитию человечества, при этом около 30% всех выбросов парниковых газов приходится на энергетику [1]. Кислородно-топливные энергетические комплексы (КТЭК), сжигающие топливо при сверхкритических давлениях в среде, разбавленной диоксидом углерода, и использующие его в качестве рабочего тела полузамкнутого цикла, позволяют обеспечить эффективное производство электроэнергии при околонулевых выбросах CO_2 и поэтому рассматриваются в качестве перспективного способа уменьшения углеродного следа в энергетике. Одним из важнейших элементов КТЭК является камера сгорания, где происходит сжигание топлива и нагрев рабочего тела. Сверхкритические давления и высокие концентрации CO_2 в горючей смеси существенно отличают условия работы камер сгорания КТЭК от камер сгорания традиционных ГТУ, под которые разработаны большинство кинетических механизмов горения. Выбор кинетического механизма определяет точность моделирования химической кинетики, а разработка камеры сгорания включает этап численного моделирования процессов горения в ней, поэтому важно определить механизм, обеспечивающий хорошую точность моделирования кислородно-топливного горения при приемлемых затратах временных и вычислительных ресурсов.

Кинетические механизмы горения описывают совокупность химических реакций, протекающих в ходе процесса горения некоторого вещества. В упрощённой постановке горение, например, метана с использованием кислорода в качестве окислителя можно описать одной простой реакцией $CH_4 + 2O_2 \leftrightarrow CO_2 + 2H_2O$, но в действительности процесс горения включает огромное количество промежуточных реакций разных типов. Кинетические механизмы используются для моделирования горения различных видов топлива в определённых диапазонах температур, давлений и составов смеси. Однако, в литературе недостаёт сравнительных исследований кинетических механизмов в условиях кислородного сжигания топлива. В настоящем докладе произведена сравнительная верификация представленных в литературе кислородно-топливных кинетических механизмов на литературных экспериментальных данных по времени задержки воспламенения, как одной из наиболее важных характеристик горения, сильно зависящей от химической кинетики.

Проведённый обзор литературы позволил обнаружить несколько кинетических механизмов, разработанных специально для моделирования кислородно-топливного горения метана – основной составляющей природного газа. Первый механизм – UoS sCO2 2.0 – был разработан на основе воздушно-топливного механизма USC II, включает 798 реакций и 113 компонентов горения, был верифицирован по времени задержки воспламенения (ignition delay time, IDT) метана в чрезвычайно широком диапазоне давлений 0,7–266,3 атм., мольных долей CO_2 в горючей смеси до 85% и коэффициентов избытка окислителя α от 0,5 до 2 [2-5]. Главное достоинство UoS sCO2 2.0 – чрезвычайно широкий диапазон верифицированных параметров горючих смесей, а главный недостаток – верификация проводилась только по времени задержки воспламенения, другие характеристики горения – прежде всего, ламинарная скорость пламени – не рассматривались.

Второй механизм – OXY-NG. Он был разработан на основе воздушно-топливного механизма Aramco 1.3, включает 2824 реакции и 495 компонентов горения, был верифицирован для сжигания углеводородов C1-C3 на давлениях до 10 атм. и некоторых высоких давлениях до 260 атм., молярных долях CO_2 в горючей смеси до 80% и при коэффициентах избытка окислителя 0,5–2,0, а также по ламинарной скорости пламени при атмосферном давлении [6-10]. Достоинствами OXY-NG по сравнению с UoS sCO2 2.0 являются верифицированность для сжигания этана и пропана, входящих в состав природного газа вместе с метаном, и наличие верификации по ламинарной скорости пламени, а недостатком – отрывочность верификации при давлениях более 10 атм.

Кроме подробных механизмов UoS sCO2 2.0 и OXY-NG, в литературе также удалось обнаружить 2 редуцированных механизма для кислородно-топливного горения: R-A (Reduced-Atmospheric) и Skeletal, названия присвоены в рамках настоящей работы. Оба механизма представляют собой сокращение воздушно-топливного механизма USC II, включающего 784 реакции и 111 компонентов горения. Механизм Skeletal был получен с помощью скелетной редукции и включает 155 реакций и 34 компонента горения, механизм R-A является дальнейшим сокращением USC II и включает 19 реакций и 22 компонента горения, был получен временно́й редукцией. Оба механизма были экспериментально верифицированы по времени задержки воспламенения, ламинарной скорости пламени и концентрациям CO при давлениях не более 10 атм. [11]. Главным недостатком обоих механизмов является отсутствие верификации при сверхкритических параметрах, а достоинством – широкий набор характеристик горения, по которым производилась верификация.

Таким образом, в литературе было обнаружено 4 кинетических механизма, подходящих для моделирования кислородно-топливного горения метана, из которых 2: UoS sCO2 2.0 и OXY-NG – являются подробными и 2: Skeletal и R-A – редуцированными. Кроме этих 4 механизмов, в исследование также был включён воздушно-топливный механизм GRI 3.0, поскольку этот механизм, состоящий из 325 реакций и 53 компонентов горения и предназначенный для сжигания природного газа и аммиака [12], широко используется в

инженерной и научной практике, поэтому изучение его применимости для моделирования кислородно-топливного горения метана представляет практический интерес. В таблице 1 представлены краткие характеристики всех известных кинетических механизмов, подходящих для моделирования кислородно-топливного горения метана.

Таблица 1

Кинетические механизмы, подходящие для моделирования кислородно-топливного горения метана

Механизм	Источник	Кол-во реакций	Кол-во компонентов	Сжигаемое топливо
Подробные механизмы				
GRI 3.0	[12]	325	53	Природный газ и аммиак
UoS sCO2 2.0	[2-5]	798	113	C1-C4, CO, H_2
OXY-NG	[6-10]	2824	495	C1-C4
Редуцированные механизмы				
Skeletal	[11]	155	34	C1-C4, CO, H_2
R-A	[11]	19	22	C1-C4, CO, H_2

МЕТОДОЛОГИЯ

Исследование проводилось с помощью программы Chemkin 18.2, позволяющей моделировать химическую кинетику горения без учёта или – в зависимости от модели реактора – с минимально необходимым учётом влияния аэродинамики на процесс горения. Перед исследованием было принято решение отказаться от использования механизма R-A, поскольку в том виде, в котором он представлен в оригинальной статье, его не удалось запустить для расчёта в Chemkin 18.2. Таким образом, в настоящей работе были исследованы кинетические механизмы GRI 3.0, UoS sCO2 2.0, OXY-NG и Skeletal.

В литературе наибольшее количество экспериментальных данных, полученных в условиях сжигания метана в чистом кислороде, разбавленном диоксидом углерода, представлено для времени задержки воспламенения, поэтому именно эта характеристика горения была использована для верификации. Использованные в настоящей работе экспериментальные данные были представлены в статьях [6, 13-17] и включают 132 экспериментальные точки, объединённые в 25 наборов данных по близким параметрам смеси; совокупно они покрывают диапазон давлений 0,528-285,5 атм., молярных долей CO_2 в смеси от 30 до 86,17% и коэффициенты избытка окислителя α от 0,5 до 2,0. Экспериментальные данные во всех наборах были получены с помощью ударной трубы, условия проведения экспериментов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Условия получения экспериментальных по времени задержки воспламенения метана при разбавлении горючей смеси диоксидом углерода

Набор данных	Источник	Кол-во точек	*P*, атм.	*T*, К	α	[CO_2], %	Метод измерения	Погрешность
1	[13]	6	0,8	1876	1	30	макс. [CH*]	12–18%
2	[13]	6	3,8	1782	1	30	макс. [CH*]	
3	[13]	6	0,8	1846	2	30	макс. [CH*]	
4	[13]	6	3,9	1735	2	30	макс. [CH*]	
5	[13]	7	0,7	1859	0,5	30	макс. [CH*]	
6	[13]	8	3,6	1749	0,5	30	макс. [CH*]	
7	[13]	5	0,6	1963	1	60	макс. [CH*]	
8	[14]	3	0,9	1822	1	60	макс. [CH*]	20%
9	[14]	6	7,2	1658	1	60	макс. [CH*]	
10	[14]	4	8,9	1613	1	30	макс. [CH*]	
11	[14]	3	29,6	1444	1	85	макс. [CH*]	

12	[15]	3	0,9	1822	1	60	6 методов	20%
13	[15]	1	0,6	2038	1	89,5	6 методов	
14	[15]	5	1	1823	1	85	6 методов	
15	[6]	10	1,9	1636	2	75	макс. [OH*]	16–20%
16	[6]	11	0,9	1671	2	75	макс. [OH*]	
17	[16]	4	32,4	1394	1	77,5	макс. [OH*]	25%
18	[16]	4	106,3	1329	1	77,5	макс. [OH*]	
19	[16]	4	260	1072	1	77,5	макс. [OH*]	
20	[16]	4	31,4	1503	0,79	86,17	макс. [OH*]	
21	[16]	5	74,7	1394	0,79	86,17	макс. [OH*]	
22	[16]	3	266,3	1104	0,79	86,17	макс. [OH*]	
23	[17]	11	99	1357	1	85	макс. [OH*]	15–18%
24	[17]	3	97	1341	0,5	80	макс. [OH*]	
25	[17]	4	201,9	1194	1	85	макс. [OH*]	

Для моделирования времени задержки воспламенения в Chemkin 18.2 была использована модель закрытого гомогенного реактора периодического действия (Closed Homogeneous Batch Reactor) с ограниченным объёмом, решающая уравнение энергии (“Constraint Volume And Solve Energy Equation” Problem Type), что позволило максимально приблизиться к условиям работы реальных ударных труб; метод измерения IDT выбирался исходя из экспериментальных условий (для наборов данных 12-14 измерено по максимальному градиенту температур).

При сравнении результатов моделирования времени задержки воспламенения различных механизмов друг с другом считалось, что они показывают в целом одинаковые результаты моделирования, если расхождение составляет не более 20%. Расхождение 20% было принято в качестве порога сходимости, как среднее значение погрешности для экспериментальных данных (таблица 2). Использование среднего значения оправданно из-за большого объёма экспериментальных данных. Для определения расхождения δ использовалась формула (1):

$$\delta = \left| \frac{I_{\text{этал}} - I_{\text{мод}}}{I_{\text{этал}}} \right| \cdot 100\%, \qquad (1)$$

где $I_{\text{этал}}$ – результаты моделирования для эталонного механизма, с которым производилось сравнение рассматриваемого механизма; $I_{\text{мод}}$ – результаты моделирования исследуемого механизма.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ВЕРИФИКАЦИИ КИНЕТИЧЕСКИМХ МЕХАНИЗМОВ ПО ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ

В таблице 3 представлены средние ошибки моделирования, усреднённые для каждого набора данных. Также приведены усреднённые ошибки моделирования по всей совокупности наборов данных и по всей совокупности точек без объединения их в наборы данных. Обобщение данных непосредственно по точкам является более корректным, поскольку каждый набор данных включает разное количество экспериментальных точек (см. таблицу 2). Ошибки моделирования для каждой отдельной точки не приводятся из-за большого объёма данных.

В таблице 3 «Кол-во хороших сходимостей» – количество наборов данных либо точек, для которых механизм показал расхождение с экспериментальными данными не более 20%, то есть не вышел за порог сходимости, а «Кол-во лучших соответствий» – количество наборов данных либо точек, для которых механизм показал наименьшее расхождение с экспериментальными данными по сравнению с другими механизмами.

Таблица 3

Результаты сравнительной верификации кинетических механизмов на экспериментальных данных по времени задержки воспламенения метана

Набор данных					Средняя ошибка моделирования *E*, %			
№	*P*, атм.	*T*, К	α	[CO_2], %	GRI 3.0	UoS sCO2 2.0	OXY-NG	Skeletal
1	0,8	1876	1	30	6,6	8,6	12,2	22,9
2	3,8	1782	1	30	16,1	17	19,9	21
3	0,8	1846	2	30	17,9	20,4	20,8	36,6
4	3,9	1735	2	30	13,5	16,7	27,4	27,7
5	0,7	1859	0,5	30	8,7	10	12,8	12,8
6	3,6	1749	0,5	30	14	13,6	31,7	22
7	0,6	1963	1	60	9,1	11	5,2	44,3
8	0,9	1822	1	60	13	12,9	24,6	42,1
9	7,2	1658	1	60	19,6	14,6	22,7	19,5
10	8,9	1613	1	30	20,5	15,9	13,1	7,5
11	29,6	1444	1	85	35,3	13,7	18,3	30,3
12	0,9	1822	1	60	9,2	8,8	14,3	31,9
13	0,6	2038	1	89,5	3,3	7,9	3,3	59,7
14	1	1823	1	85	21,1	21,5	17	6,8
15	1,9	1636	2	75	11,2	12,4	28	14,9
16	0,9	1671	2	75	26,7	21,8	47,2	38,3
17	32,4	1394	1	77,5	23,4	23,6	50,6	50
18	106,3	1329	1	77,5	41,6	22,6	21,7	26,4
19	260	1072	1	77,5	208	22,1	13,9	326,5
20	31,4	1503	0,79	86,17	33,4	73,9	90,9	82,8
21	74,7	1394	0,79	86,17	51,3	12,8	23,9	12
22	266,3	1104	0,79	86,17	31,4	28,2	26,4	153
23	99	1357	1	85	51,9	15,9	23,2	21,2
24	97	1341	0,5	80	56,3	10,9	5,8	21,9
25	201,9	1194	1	85	31,3	11,6	22,4	56,4
Средняя ошибка (по наборам), %					31	17,9	23,9	47,5
Кол-во хороших сходимостей (по наборам)					12	17	11	6
Кол-во лучших соответствий (по наборам)					9	8	5	3
Всего наборов данных					25			
Средняя ошибка (по точкам), %					29,3	17,6	25,5	39,7
Кол-во хороших сходимостей (по точкам)					68	91	73	64
Кол-во лучших соответствий (по точкам)					34	45	28	25
Всего экспериментальных точек					132			

Как можно увидеть по данным таблицы 3, более корректное обобщение результатов непосредственно по экспериментальным точкам по сравнению с обобщением по наборам данных показывает более высокую точность моделирования: средняя ошибка уменьшается для всех механизмов, кроме OXY-NG.

Что касается сравнения различных механизмов друг с другом, то по результатам верификации очевидно, что лучшим механизмом для моделирования времени задержки воспламенения метана при кислородном сжигании топлива является UoS sCO2 2.0: он показывает наименьшую среднюю ошибку моделирования и наибольшее количество хороших сходимостей и лучших соответствий как при осреднении по наборам, так и при осреднении по отдельным точкам (выделено **полужирным** в таблице 3). Также UoS sCO2 2.0 – единственный механизм, средняя ошибка моделирования для которого по

всем данным составила меньше 20%, принятых в настоящей работе как порог сходимости экспериментальных данных и результатов моделирования.

Механизм OXY-NG в целом оказался менее точным по сравнению с UoS sCO2 2.0, показав значительно бóльшую ошибку моделирования (25,5% против 17,6% при осреднении по точкам) и меньшее количество хороших сходимостей и лучших соответствий. Учитывая, что OXY-NG содержит значительно больше реакций и компонентов горения, чем UoS sCO2 2.0 (см. таблицу 1), и поэтому требует намного больше вычислительных мощностей для расчёта, его использование для моделирования времени задержки воспламенения при кислородно-топливном горении метана выглядит неоправданным по сравнению с более точным механизмом UoS sCO2 2.0.

Skeletal и GRI 3.0 ожидаемо оказались худшими механизмами: Skeletal показал наибольшую ошибку моделирования и наименьшее количество хороших сходимостей и лучших соответствий; GRI 3.0 в среднем точнее чем Skeletal, но по средней ошибке моделирования уступает как UoS sCO2 2.0, так и OXY-NG. Таким образом, по результатам экспериментальной верификации использование механизмов Skeletal и GRI 3.0 для моделирования времени задержки воспламенения при кислородно-топливном горении нельзя считать оправданным, даже несмотря на то, что из всех механизмов они имеют наименьшее количество реакций и компонентов горения и потому не требуют для расчёта значительных временных и вычислительных ресурсов.

Итак, было установлено, что наиболее точным кинетическим механизмом для моделирования времени задержки воспламенения в условиях кислородного сжигания метана является UoS sCO2 2.0 – механизмы OXY-NG, GRI 3.0 и Skeletal значительно уступают ему по точности. Но необходимо отметить, что хоть использованные экспериментальные данные и охватывают номинально широкий диапазон параметров горючей смеси, они на самом деле весьма обрывочны. Так, при давлении смеси около 1 атм. имеется 9 наборов данных, охватывающих 47 экспериментальных точек в диапазоне молярных концентраций CO_2 от 30 до 89,5% (наборы данных 1, 3, 5, 7, 8, 12-14; см. таблицу 2); в то же время при давлении смеси более 200 атм. имеется всего 3 набора данных, совокупно включающих 11 точек и полученных при молярной доле CO_2 в смеси только около 85% (наборы 19, 22 и 25; см. таблицу 2). Таким образом, в литературных данных имеются значительные пробелы, особенно при давлениях более 200 атм. Для уточнения верификации требуются дополнительные измерения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам экспериментальной верификации установлено, что в широком диапазоне параметров смеси, охватывающем давления 0,528-285,5 атм., молярные доли CO_2 в смеси от 30 до 86,17% и коэффициенты избытка окислителя α от 0,5 до 2,0, наиболее точно моделирует время задержки воспламенения метана кинетический механизм UoS sCO2 2.0. Механизмы GRI 3.0, OXY-NG и Skeletal значительно уступают UoS sCO2 2.0 по точности, механизм OXY-NG к тому же более требователен к вычислительным ресурсам. Таким образом, механизм UoS sCO2 2.0 можно рекомендовать для практического моделирования времени задержки воспламенения метана в условиях кислородного сжигания топлива.

Однако, в использованных экспериментальных данных имеются значительные пробелы, особенно при давлениях более 1 атм., поэтому результаты верификации нельзя считать абсолютно достоверными. Для получения точных результатов верификации и разработки новых, более точных механизмов для моделирования времени задержки воспламенения метана в условиях кислородного-топливного горения требуется больше экспериментальных измерений, особенно при сверхкритических давлениях выше 200 атм.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование поддержано грантом Российского Научного Фонда №23-79-10291, https://rscf.ru/project/23-79-10291/.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. US EPA OAR, Global Emissions Removals. – URL: https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-overview. (дата обращения: 12.05.2025).

2. *Harman-Thomas J. M., Hughes K. J., Pourkashanian M.* The development of a chemical kinetic mechanism for combustion in supercritical carbon dioxide // Energy. 2022. Volume 255.

3. *Harman-Thomas J. M., Kashif T. A., Hughes K. J., Pourkashanian M., Farooq A.* Experimental and modelling study of hydrogen ignition in CO2 bath gas. // Fuel. 2023.

4. *Harman-Thomas J. M., Kashif T. A., Hughes K. J., Pourkashanian M., Farooq A.* Experimental and modelling study of syngas combustion in CO2 bath gas. // Fuel. 2023.

5. *Harman-Thomas J. M, Ingham D. B., Hughes K. J., Pourkashanian M.* Role of methyldioxy radical chemistry in high-pressure methane combustion in CO2. // Int J Chem Kinet. 2023. P. 1-13.

6. *Liu Y., Zou Ch., Cheng J., Jia H., Zheng Ch.* Experimental and numerical study of the effect of CO2 on the ignition delay times of methane under different pressures and temperatures // Energy & Fuels. 2018. Volume 32. Issue 10.

7. *Liu Y., Cheng J., Zou Ch., Lu L., Jing. H.* Ignition delay times of ethane under O2/CO2 atmosphere at different pressures by shock tube and simulation methods // Combustion and Flame. 2019. Volume 204. P. 380-390.

8. *Xia W., Peng Ch., Zou Ch., Liu Y. et al.* Shock tube and modeling study of ignition delay times of propane under O2/CO2/Ar atmosphere // Combustion and Flame. 2020. Volume 220. P. 34-48.

9. *Xia W., Zou Ch., Yuan Y., Fu R., Liu J., Peng Ch.* Experimental and numerical study on the ignition delay times of methane/propane mixtures diluted in carbon dioxide // Fuel. 2023. Volume 343. Issue 4.

10. *Xia W., Huang Ch., Yang J., Zou Ch., Song Y.* Experimental and modeling study of ignition delay times of natural gas with CO2 dilution // Fuel. 2024. Volume 358. Part A.

11. *Hu F., Li P., Guo J., Wang K., Liu Zh., Zheng Ch.* Evaluation, development, and validation of a new reduced mechanism for methane oxy-fuel combustion // Int J of Greenhouse Gas Control. 2018. Volume 78. P. 327-340.

12. *G. P. Smith, D. M. Golden, M. Frenklach, N. W. Moriarty, B. Eiteneer, M. Goldenberg, C. T. Bowman, R. K. Hanson, S. Song, W. C. Gardiner Jr, V. V. Lissianski, Z. Qin.* – GRI mechanism 3.0. – 1999. – URL: http://combustion.berkeley.edu/gri-mech/version30/text30.html (дата обращения: 12.05.2025).

13. *Koroglu B., Pryor O. M., Lopez J., Nash L., Vasu S. S.* Shock tube ignition delay times and methane time-histories measurements during excess CO2 diluted oxy-methane combustion // Combustion and Flame. 2016. Volume 164. P. 152–163.

14. *Pryor O. M., Koroglu B., Barak S., Lopez J., Ninnemann E. et al.* Ignition delay times of high pressure oxy-methane combustion with high levels of CO2 dilution // Proceedings of ASME Turbo Expo 2017: Turbomachinery Technical Conference and Exposition. American Society of Mechanical Engineers. Charlotte. 2017.

15. *Pryor O. M., Barak S., Koroglu B., Ninnemann E., Vasu S. S.* Measurements and interpretation of shock tube ignition delay times in highly CO2 diluted mixtures using multiple diagnostics // Combustion and Flame. 2017. Volume 180. P. 63-76.

16. *Shao J., Choudhary R., Davidson D. F., Hanson R. K., Barak S., Vasu S. S.* Ignition delay times of methane and hydrogen highly diluted in carbon dioxide at high pressures up to 300 atm // Proceedings of Combustion Institute. 2019. Volume 37. Issue 4. P. 4555-4562.

17. *Karimi M., Ochs B., Ranjana D., Sun W.* Measurement of methane autoignition delays in carbon dioxide and argon diluents at high pressure conditions // Proceedings of Combustion Institute. 2021. Volume 38. Issue 1. P. 251-260.

COMPARATIVE VERIFICATION OF KINETIC MECHANISMS OF OXY-FUEL COMBUSTION OF METHANE BY IGNITION DELAY TIME

Yakovlev V.S., Osipov S.K.
Supervisor: Zlyvko O.V., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences
(National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow)

Abstract. In this paper, the kinetic combustion mechanisms GRI 3.0, UoS sCO2 2.0, OXY-NG and Skeletal are verified using experimental data on oxy-fuel combustion of methane presented in the literature. It is found that UoS sCO2 2.0 is the most accurate mechanism to model the ignition delay time of methane at pressures up to 286 atm, molar fractions of CO2 in a mixture up to 85% and oxidizer excess ratios (α) from 0.5 to 2 during combustion in pure oxygen diluted with carbon dioxide. However, there are significant gaps in experimental data at pressures above 1 atm.

СЕКЦИЯ 4
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.791

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ СВАРКЕ

Алиев А.Г. оглы, Гилязов Р.И.

Научный руководитель: Беляев А.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассматриваются расчетные методы определения температур и температурных полей при сварке плавлением. Представлены основные средства измерения температуры, применяемые при анализе сварочных процессов.

Введение. В настоящее время сварка является одним из ведущих технологических процессов соединения деталей из различных материалов. До 70% выпускаемого проката используется для изготовления сварных конструкций и сооружений (резервуары, сосуды, трубопроводы, доменные комплексы и др.). При сварке плавлением вводимая теплота определяет протекание разных процессов в металле, её производительность и качество соединений. При температурах до 3000°С происходит плавление основного и присадочного металлов, реакции металлургического характера, кристаллизация ванны, структурные изменения в наплавленном и основном металлах [1, 2]. К основным процессам, которые происходят при сварке, можно отнести протекание электрического тока, перенос электродного металла, физико-химические, а также тепловые процессы.

Основная часть. В процессе сварки различные зоны сварного соединения (шов, зона термического влияния и основной металл) могут нагреваться до высоких температур, которые оказывают существенное влияние на его структуру и, следовательно, свойства. Протекающие тепловые процессы описываются общим уравнением теплопроводности, например, для случая трехмерного тела при отсутствии теплообмена с окружающим пространством:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\rho}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) = a\nabla^2 T,$$

где $\nabla^2 T$ – оператор Лапласа; $a = \lambda / c\rho$ – коэффициент температуропроводности.

Теория сварочных процессов изучает тепловые явления, протекающих при сварке плавлением, и позволяет дать их количественную оценку, например, при определении термических циклов сварки, определении мгновенных скоростей охлаждения и размеров зон термического влияния. Часто схематизируют нагреваемые тела и источники нагрева [3].

Для аналитических расчетов действительной температуры, её приращений и построении температурных полей весьма эффективно использование ЭВМ с применением отечественного программного обеспечения. Одной из основных задач является оптимизация параметров режима сварки (силы тока, скорости сварки и др.) по скорости охлаждения металла в заданном интервале температур. Применение программного обеспечения позволяет вести учет зависимости теплофизических характеристик металла от реальной температуры процесса, а не от её усредненного значения. Моделирование [4] в современных расчетных комплексах проводится с применением метода конечных элементов, разностей и др. Исследование температурных полей при сварке позволяет прогнозировать изменение структуры металла соединения и служебные свойства. Анализ мгновенных скоростей охлаждения при сварке позволяет назначить при необходимости термическую обработку и др.

Характер распределения температуры по сечению сварного соединения определяет структурное состояние металла, полученное при охлаждении после сварки (рис. 1). Обычно расчет теплового поля проводится по известным методикам и формулам. Так, например, приращение температуры в пластине в стадии теплонасыщения определяется уравнением:

$$\Delta T_{пр} = \frac{q}{2\pi\lambda\delta} e^{-vx/(2a)} K_0\left(\frac{vr}{2a}\sqrt{1+\frac{4ba}{v^2}}\right),$$

где K_0 – функция Бесселя 1-го рода нулевого порядка, q – тепловая мощность, δ – толщина пластины, r – расстояние до рассматриваемой точки от начала координат, a – температуропроводность, λ – коэффициент теплопроводности, t – время, b – коэффициент температуроотдачи, v – скорость сварки.

В этом случае графически могут быть получены кривые распределения температуры в сварном соединении и построены температурные поля. На практике это имеет важное значение.

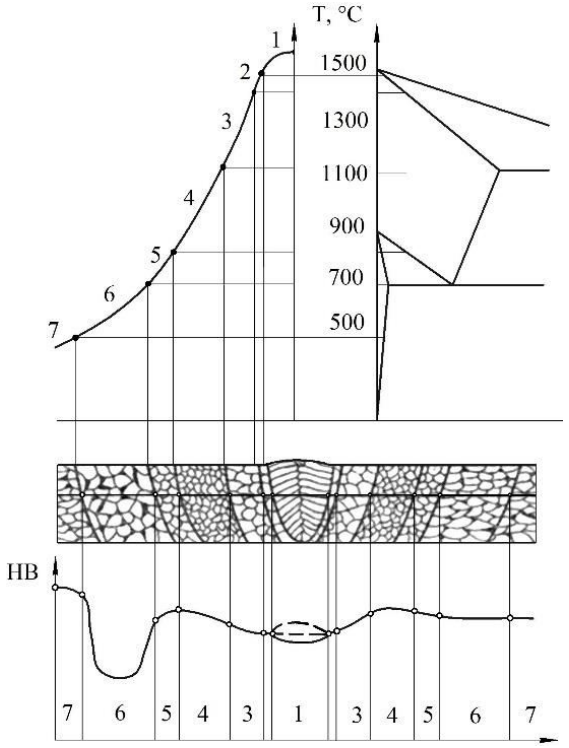


Рисунок 1. Изменение структуры и твердости HB сварного соединения

Отметим, что наряду с расчетными методами определения действительной температуры используются экспериментальные, которые находят широкое применение в различных отраслях промышленного производства при литье, обработке металлов давлением, термической обработке, наплавке и напылении покрытий, пайке и т.п.

Экспериментальные методы могут быть успешно применены для измерения температуры в зоне термического влияния при определении её ширины, скоростей охлаждения различных зон сварного соединения и др. На практике применяются следующие методы и средства определения температуры при сварке и в родственных процессах:

- экспресс-методы (термокраски, термокарандаши);
- контактные методы измерения (термопары, термощупы);
- бесконтактные методы (инфракрасные термометры, пирометры);
- методы преобразователей и др.

Указанные средства измерения температуры при сварке имеют определенные преимущества перед расчетными. Однако, правильным следует считать подход, при котором используются оба метода, а решение об их использовании принимается в зависимости от постановки конкретной задачи.

Регистрация измеренных температур при использовании термопар (табл. 1) обычно осуществляется путем преобразования сигнала с последующей обработкой на показывающих или записывающих устройствах. Термо-ЭДС термопар могут быть преобразованы аналого-

цифровыми преобразователями (АЦП) и успешно обработаны на ЭВМ. Отметим, что современные термопары и АЦП высокого разрешения обеспечивают прецизионное измерение температуры, т.е. достигается высокая точность ± 0,1°С в широком диапазоне температур –270 до +1750 °С.

Применение пирометров и промышленных инфракрасных термометров актуально в отсутствии механического контакта с поверхностью. Также они удобны как датчики обратной связи при слежении за зоной сварки и ванной расплавленного металла.

Таблица 1

Свойства некоторых материалов, применяемых для изготовления термопар

Материал	Термо-ЭДС относительно платины, мкВ/К	Предельная температура металла при измерениях, К	Температура плавления материала, К
Алюмель	− (10,1…13,8)	1300 / 1550	1723
Копель	− 40,0	900 / 1100	1523
Платинородий	+ 6,4	1600 / 1900	–
Хромель	+ (27,1…31,3)	1300 / 1550	1723

Для измерения температуры окружающей среды применяются аналоговые линейные датчики, стационарные инфракрасные датчики, калибруемые измерительные преобразователи температуры с различной степенью защиты. В промышленном производстве могут быть использованы цифровые, высокоточные и компактные измерители температуры, в том числе и взрывозащищенные.

Выводы. Анализ распространения теплоты при сварке позволяет прогнозировать изменение структуры металла сварного соединения, выбрать оптимальные параметры режима, вид и режимы термической обработки для улучшения служебных свойств и др. Предварительный расчет максимальной температуры металла перед сваркой позволяет избежать нежелательных дефектов, таких как перегрев металла, горячие трещины и др. При решении тепловых задач различной сложности широко используются уравнения и формулы. Для верификации полученных данных используют экспериментальные методы. В их ряду как простые и быстрые, так и сложные системы, построенные на основе многоразрядных АЦП и специализированных компьютеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Рыкалин Н.Н.* Расчеты тепловых процессов при сварке. – М.: Изд-во Машиностроительной литературы, 1951. – 297 с.

2. *Волченко В.Н., Ямпольский В.М., Винокуров В.А., Фролов В.В. и др.* Теория сварочных процессов: Учебник для вузов по специальности «Оборудование и технология сварочного производства». – М.: Высшая школа, 1988. – 559 с.

3. *Федяев В.Л., Галимов Э.Р., Беляев А.В., Сироткина Л.В.* Физико-химия сварки плавлением: Учеб. пособие. – Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2020. – 254 с.

4. *Федяев В.Л., Галимов Э.Р., Беляев А.В., Сироткина Л.В.* Математическое моделирование нагрева, плавления электродов и присадочных металлов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та (КНИТУ-КАИ), 2019. №2. – С.78-82.

CALCULATION AND EXPERIMENTAL METHODS OF DETERMINING TEMPERATURE DURING WELDING

Aliev A.G. oglu, Gilyazov R.I.

Supervisor: Belyaev A.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper examines calculation methods for determining temperatures and temperature fields during fusion welding. The main temperature measurement tools used in the analysis of welding processes are presented.

УДК 620.198

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ ТЕПЛОВОЙ НАРАБОТКИ

Багаутдинова Л.М.

Научный руководитель: Ильинкова Т.А., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Объектом исследования являются теплозащитные покрытия на основе системы ZrO_2-7%Y_2O_3, а предметом их микромеханические свойства, такие как модуль Юнга и микротвердость. Исследовались микромеханические характеристики после нанесения этих покрытий методом плазменного напыления и после термических испытаний в условиях температурного градиента. Результатом является разработка критериев оценки надежности покрытий, посредством математической обработки экспериментальных данных, полученных методом микроиндентирования.

Теплозащитные покрытия (ТЗП) играют ключевую роль в увеличении долговечности компонентов газовых турбин, работающих в экстремальных условиях [1]. Эти системы состоят из нескольких слоев, каждый из которых выполняет свою уникальную функцию [2]:

1. Подложка. Высокопрочный сплав на основе никеля ВХ-4А, толщиной 2 мм, который используется для изготовления кожуха камеры сгорания ГТД НК-38СТ.
2. Связующий слой. Обеспечивает необходимое сцепление керамического слоя с основой и защищает ее от высокотемпературной коррозии и окисления, а также устраняет несоответствие коэффициента теплового расширения. Материал на основе никеля толщиной 100-135 мкм ПВ-НХ16Ю6Ит и ПНХ20К20Ю13.
3. Термически выращенный оксид. Формируется в процессе эксплуатации ТЗП в результате окислительных процессов, происходящих между связующим покрытием и керамическим слоем [3].
4. Керамический слой, на основе стабилизированного иттрием диоксида циркония ЦИО 7-10-50 толщиной 260-670 мкм [4].

Напыление плазменных теплозащитных покрытий на образцы производилось на роботизированной плазменной установке УПУ-8М. После напыления образцы с покрытиями подвергали двойной термической обработке:

1. Диффузионный отжиг в вакууме при температуре 1323К в течение 4-х часов для восстановления объемных свойств материала основы;
2. Окислительный отжиг на воздухе при температуре 1123К в течение 20-ти часов для восстановления стехиометрического состава диоксида циркония в покрытии.

Термоциклирование в условиях близких к эксплуатационным проводилось на испытательном стенде. Термический цикл состоял из нагрева образца со стороны покрытия до температуры 1500 – 1540К и охлаждения до температуры 373 – 443К с частотой 30 секунд. При этом осуществляется непрерывное охлаждение со стороны материала основы (рис. 1).

Рисунок 1. Общий вид испытательного стенда

Образцы, прошедшие назначенную наработку, снимались с испытания после визуального осмотра на наличие трещин, отслоений. Большинство образцов снятые без разрушения имели толщины 260-450 мкм (рис. 2).

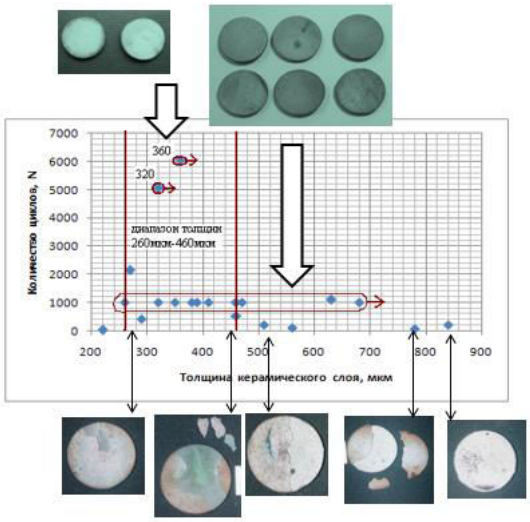


Рисунок 2. Образцы после тепловой наработки и их параметры

Образцы, которые в дальнейшем подвергались микроиндентированию, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Количество циклов для образцов, толщина керамического слоя

Образец №	Наработка, N	Толщина керамического слоя, мкм
3	1002	680
6	998	390
9	1000	320
10	1000	410
18	1000	470
21	1000	260
16	5050	320
24	6040	360

Далее была исследована микроструктура образцов. В процессе происходили изменения в покрытии: трещины в процессе напыления и термоциклирования. Все исследуемые образцы выдержали назначенную тепловую наработку без видимых

разрушений и отслоений. Присутствуют трещины в керамике, окисление подслоя, в образце №6 присутствуют металлические включения (рис.3).

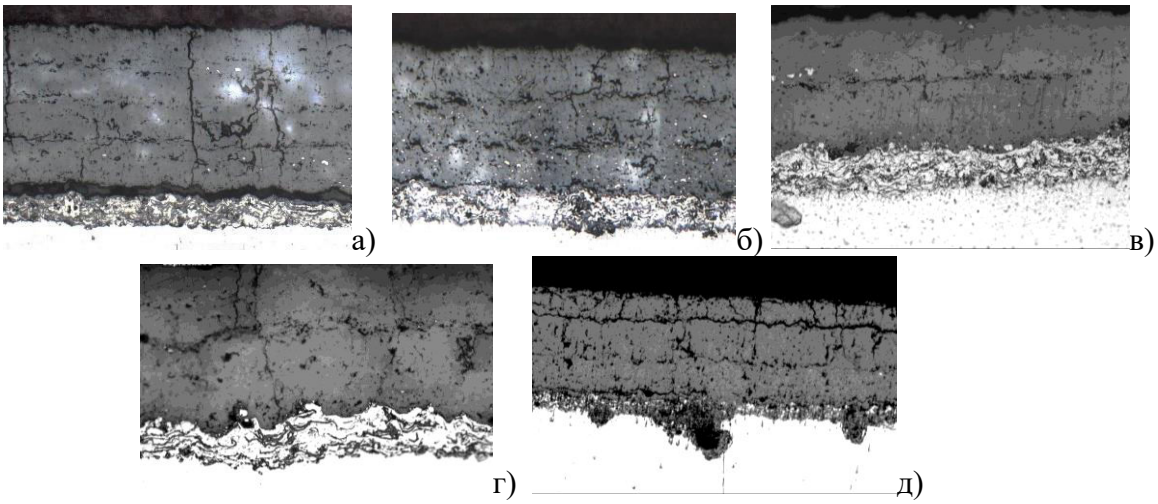


Рисунок 3. Микроструктура теплозащитных покрытий: а) образец № 3 1000циклов 100х; б) образец № 6 1000 циклов 100х; в) образец № 21 1000 циклов 200х г) образец № 16 5050 циклов 200х; д) образец № 24 6040 циклов х100

Постановкой моей работы послужила информация о проведенных исследованиях в американском университете Стонибрук под руководством Берндта, который в свою очередь ссылается на методику Маршалла [5]. Он основан на измерении размера упруго-восстановленного отпечатка индентора Кнупа, а именно длин главной и малой диагоналей отпечатка индентора, измеренные после снятия нагрузки [6] (рис. 4).

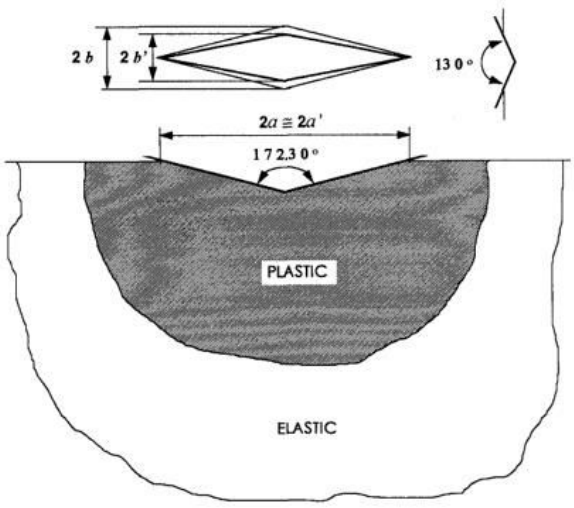


Рисунок 4. Упругое восстановление отпечатка Кнупа [5]

Спустя время после снятия нагрузки происходит упругое восстановление отпечатка, что позволяет определить модуль упругости. Преимущество этого метода заключается в том, что значения E и H могут быть получены одновременно [7].

H/E характеризует вязкоупругие свойства, мы можем оценить состояние материала, он отражает степень упругого отклика упругопластичных материалов. Все значения H/E можно рассматривать как упругопластичный диапазон, в котором различные материалы находятся между идеальной пластичностью (b'/a' = 0,14, H/E = 0) и идеальной упругостью (b'/a' =0; H/E = 0,31) (рис. 5).

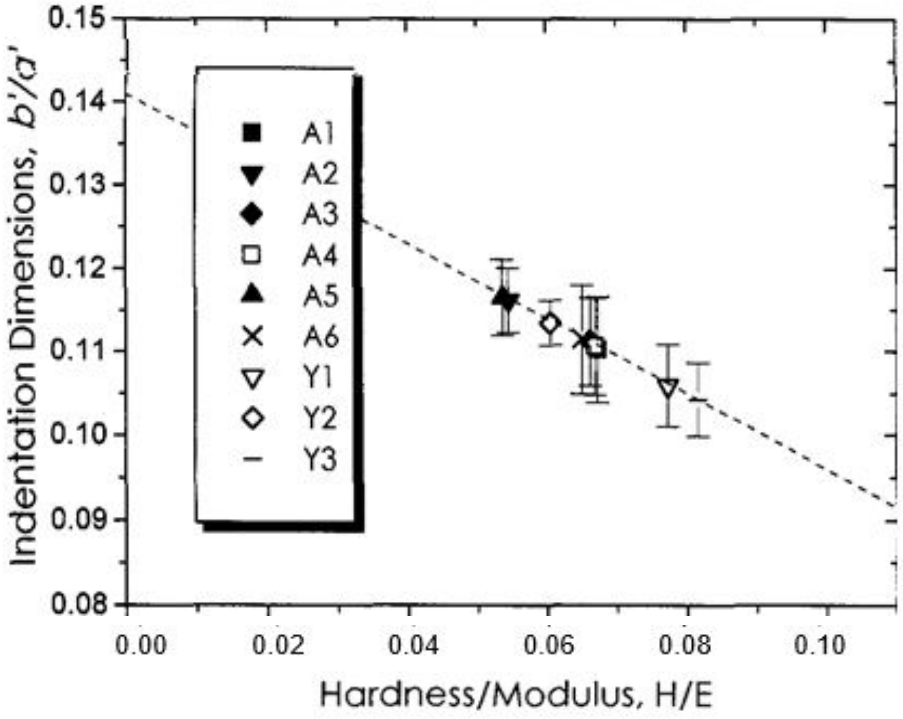


Рисунок 5. График зависимости H/E и *b'/a'* [5]

Для оценки вязкоупругих свойств покрытий представлена зависимость показателей после разной термообработки, в виде инвариантной кривой, которая демонстрирует состояние материала.

Микроиндентирование с помощью твердомера – микроскопа с индентером Кнупа при нагрузке 9,8 Н и выдержке 30 секунд. Было необходимо сделать отпечатки на наиболее плотных и далеких от трещин участках керамического покрытия. Исследуемое покрытие представляет собой пористую, нестабильную, но вязкую систему.

После снятия нагрузки при внимательном подходе к измерениям, необходимо определить изменение малой диагонали отпечатка. Через 15 секунд делались повторные измерения, так измерен модуль Юнга. С этой целью была выбрана нагрузка и время, чтобы было возможно зафиксировать изменение малой диагонали отпечатка. После измерения большой диагональ отпечатка, была определена твердость покрытия по ГОСТ Р ИСО 4545-1-2015 [8]. Для оценки состояния покрытий после тепловой наработки результаты (табл. 2) были нанесены на диаграмму (рис. 6).

Таблица 2

Значения H/E-b'/a' для различной тепловой наработки

№ образца	H/E	b'/a'
3	0,04348	0,11588
6	0,048131	0,12030
9	0,041927	0,10945
10	0,052958	0,10631
18	0,074155	0,11858
21	0,050637	0,10153
16	0,047392	0,10329
24	0,032654	0,11130

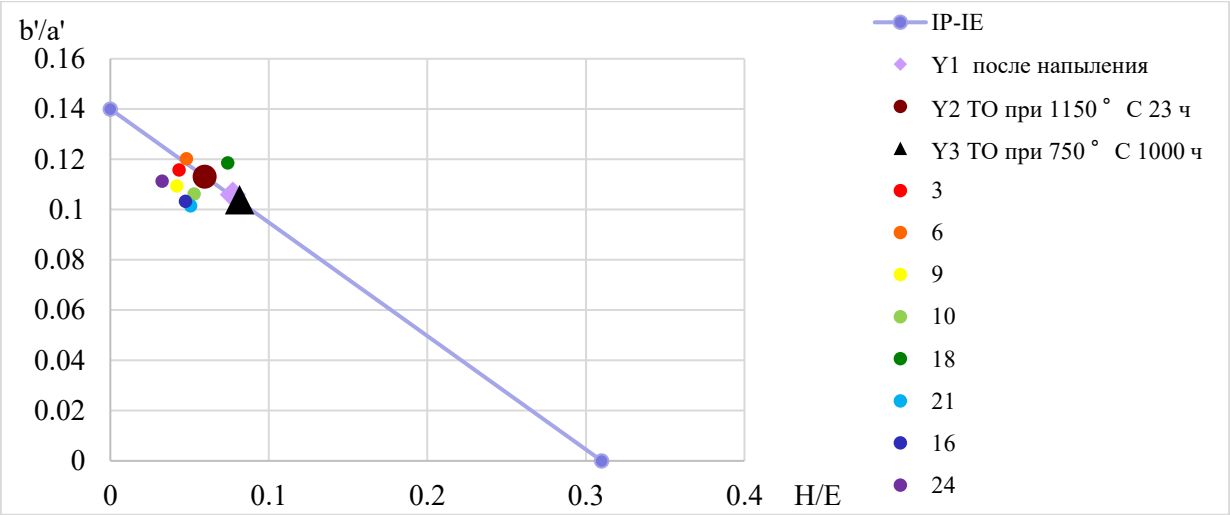


Рисунок 6. График зависимости *b'/a* от H/E

После тепловой наработки тело становится более пластичным, покрытие №24 (6040 циклов) имеет наименьший показатель H/E, следовательно, является наиболее пластичным. Повышенная пластичность может снизить риск разрушения при термоциклировании. Полученные результаты сравнимы с иностранными аналогами [5] (рис. 7).

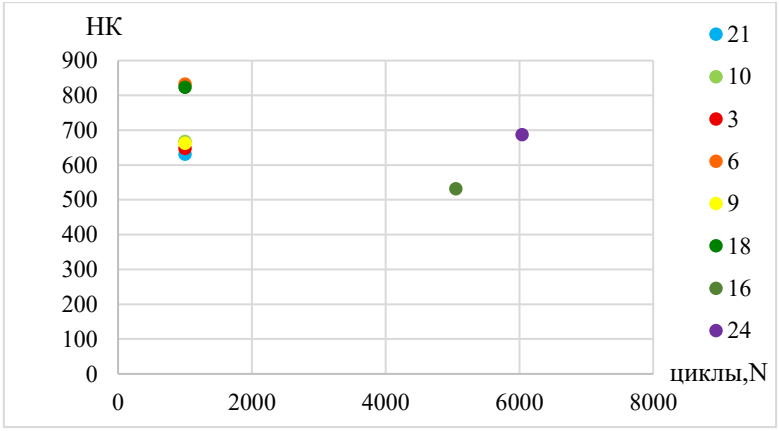


Рисунок 7. Зависимость модуля Юнга от количества циклов тепловой наработки

С увеличением количества циклов нагрев-охлаждения микротвердость керамического слоя теплозащитного покрытия не растет. Это может быть связано с образованием и распространению микротрещин, образованные в результате термоциклирования, что снижает твердость (рис. 8).

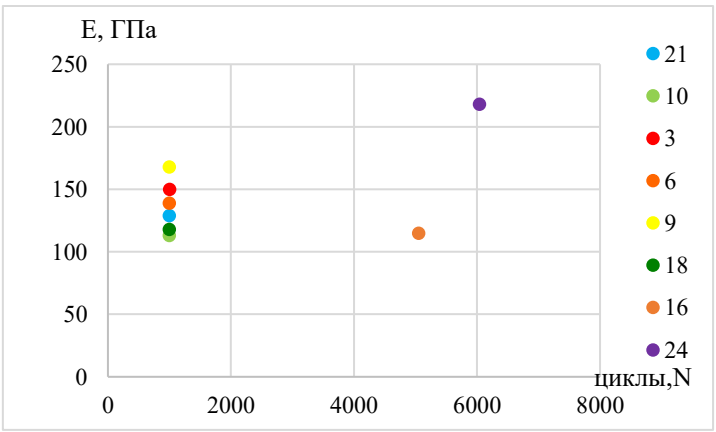


Рисунок 8. Зависимость микротвердости от количества циклов тепловой наработки

Значения Модуля Юнга для образцов выдержавших 1000 циклов лежат в диапазоне от 113 ГПа до 168 ГПа, образец № 16 после 5050 циклов имеет модуль Юнга 115 ГПа, образец №24 после 6040 циклов имеет повышенное значение модуля, что может быть связано с уменьшением пористости, образованием микротрещин, релаксацией внутренних напряжений, что позволяет покрытию деформироваться без разрушения.

На рисунке (рис. 9) представлены результаты микротвердости и модуля Юнга (рис. 10) в виде кривых Гаусса, по нему можно оценить однородность и стабильность микромеханических характеристик, следовательно качество нанесенного покрытия.

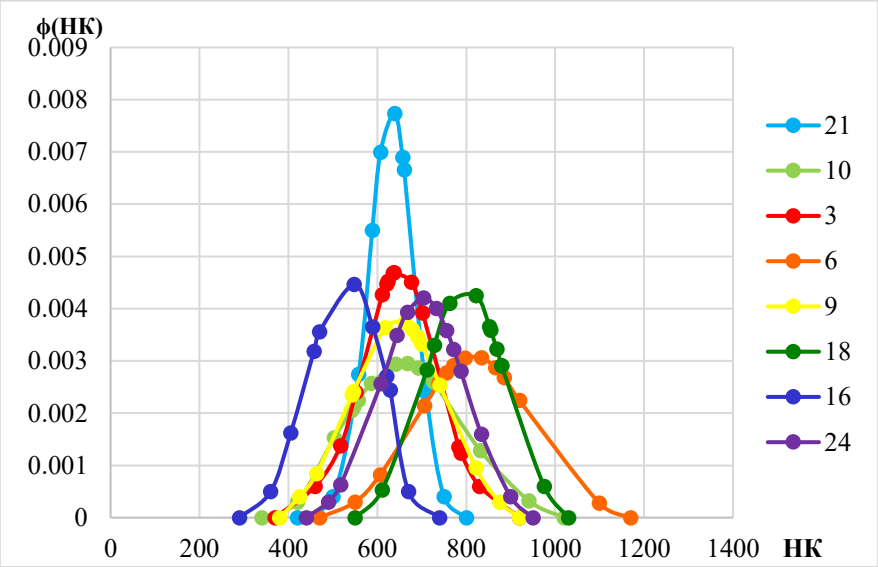


Рисунок 9. Результаты измерения микротвердости, представленные в виде кривых Гаусса

Высота и ширина кривых для всех покрытий схожи, выделяется покрытие образца №21, он отличается более плотной микроструктурой и наименьшей толщиной керамического слоя (260 мкм).

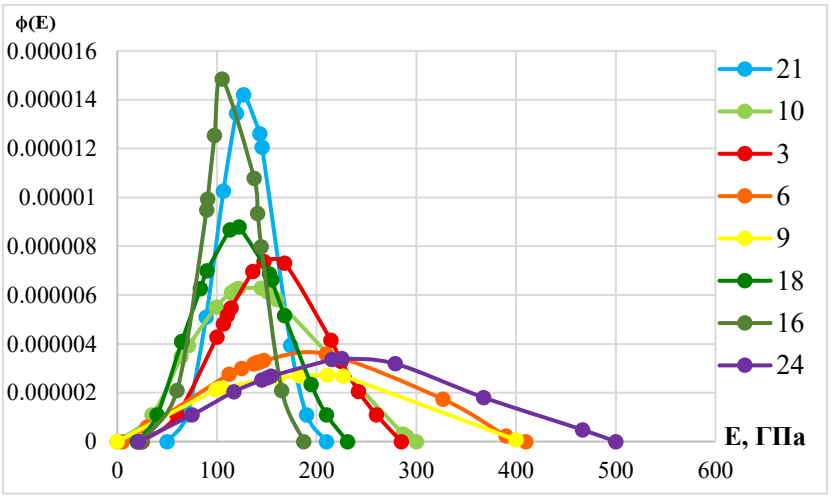


Рисунок 10. Результаты измерения модуля Юнга, представленные в виде кривых Гаусса

По рисунку 10 можно заметить высоту и ширину кривых № 16 и № 21. Они имеют малый разброс значений модуля упругости, все значения приближены к средним и мала вариация. Это свидетельствует о равномерной структуре и однородных механических свойствах слоя. Однородное покрытие с минимальными разбросами свойств более устойчиво к нагрузкам и износу.

Кривые № 6, № 9 и № 24 напротив имеют большой разброс значений модуля упругости по площади покрытия. Это может указывать на наличие неоднородных участков,

дефектов в структуре керамического слоя, такое покрытие может быть более склонным к деформациям при механических нагрузках. Образец № 6 имеет металлические включения, они имеют более высокий модуль упругости по сравнению с керамическим материалом. Образец № 24 после тепловой наработки 6040 циклов, это оказало влияние на разброс модуля упругости в керамическом слое. Многократное термоциклирование вызывает накопление микротрещин, дефектов и изменений в структуре металла, они приводят к увеличению вариации механических свойств по всему покрытию. Покрытие может находиться перед состоянием разрушения покрытия, после термоциклирования.

Можно сказать, что при помощи модуля Юнга, возможно получить больше информации о состоянии покрытия.

Заключение

Отношение H/E является важным показателем оценки и прогнозирования состояния теплозащитного покрытия и результаты сравнимы с иностранными аналогами.

При данной технологии напыления самой оптимальной толщиной покрытия являются от 260 до 450 мкм.

Установлено, что в процессе эксплуатации происходит снижение упругих свойств. Данные покрытия выдержали наработку до 6040 циклов, можно подтвердить, что покрытия более надежны до 5050 циклов, свыше неоднородность структуры покрытия увеличивается и оно находится в предразрушенном состоянии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ильинкова Т. А.* Защитные покрытия в авиадвигателестроении: учебное пособие / Т. А. Ильинкова, С. Л. Балдаев, А. В. Ильинков - Казань: КНИТУ-КАИ, 2020. - 160 с.

2. *Samadov A., Usubaliyev T., Abdullayev P.* Thermal Barrier Coating Materials Review: Termal Bariyer Kaplama Malzemeleri İncelemesi, JAST, vol. 17, no. 2, 89–106, Jul. 2024.

3. *Soechting, F.O.* A design perspective on thermal barrier coatings. // Therm Spray Tech 8, 505–511, 1999. https://doi.org/10.1361/105996399770350179.

4. *Zhiyuan W., Guo-Hui M., Lin C.* Progress in ceramic materials and structure design towards advanced thermal barrier coatings. // Journal of Advanced Ceramics. 11. 985–1068, 2022.

5. *Leigh S., Lin C., Berndt C.* Elastic Response of Thermal Spray Deposits Under Indentation Tests. //Journal of the American Ceramic Society. 80. 2093 - 2099. 10.1111., 2005.

6. *Singh, J.P. Sutaria, M., Ferber.* Use of indentation technique to measure elastic modulus of plasma-sprayed zirconia thermal barrier coating, 1997. Illinois. https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc677028/.

7. *Riester, L., Bell, T.J. Fischer-Cripps, A.C.* Analysis of depth-sensing indentation tests with a Knoop indenter. //Journal of Materials Research, 16, 1660–1667. https://doi.org/10.1557/JMR.2001.0230, 2001.

8. ГОСТ Р ИСО 4545-4-2015 Материалы металлические. Определение твердости по Кнупу. Часть 4. Таблица значений твердости. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 апреля 2015 г. № 211-ст: Дата введения — 2016—01 — 01.

STUDY OF TRANSFORMATION OF MICROMECHANICAL CHARACTERISTICS OF HEAT-PROTECTIVE COATINGS AFTER HEAT WORKING UP

Bagautdinova L.M.

Supervisor: Ilyinkova T.A., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The object of the study is heat-protective coatings based on the ZrO_2-7%Y_2O_3 system, and the subject of their micromechanical properties, such as Young's modulus and microhardness. Micromechanical characteristics were studied after applying these coatings by plasma spraying and after thermal testing under temperature gradient conditions. The result is the

development of criteria for assessing the reliability of coatings, through mathematical processing of experimental data obtained by microindentation.

УДК 669.715

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ВАС1, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Бенариеб И., Савичев И.Д., Хасиков Д.В.

(НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ, г. Москва)

Аннотация. В работе представлены результаты исследований влияния режимов термической обработки на качество заготовок деталей из алюминиевого сплава ВАС1, изготовленных методом селективного лазерного сплавления. Показано, что закалка заготовки вместе с платформой построения, выполняющей функцию оснастки, фиксирующей деталь с помощью технологических поддержек, значительно снижает величину максимального отклонения (коробления) после закалочного охлаждения в холодную воду. Установлено, что снижение температуры или сокращение продолжительности выдержки при обработке на твердый раствор (ОТР) позволяет значительно уменьшить величину пористости относительно стандартного режима ОТР, при этом выбранный режим ОТР позволил обеспечить требуемые прочностные свойства материала в состоянии Т6 (закалка + искусственное старение).

Введение

Высокотехнологичный термически упрочняемый алюминиевый сплав ВАС1 системы Al-Si-Mg-Cu относится к числу перспективных материалов на основе алюминия для аддитивного производства деталей сложной конфигурации методом селективного лазерного сплавления (СЛС) [1,2]. Заготовки деталей из сплава ВАС1, полученные методом СЛС, для ответственного применения необходимо подвергать стабилизирующей термической обработке для достижения следующих целей: 1) снятие высокого уровня остаточных внутренних напряжений, возникающих в результате синтеза; 2) повышение пластичности материала; 3) снижение анизотропии свойств. Однако высокотемпературное термическое воздействие приводит к значительному разупрочнению синтезированного материала. Тем не менее, для термически упрочняемого сплава ВАС1 возможно использовать эффект дисперсионного твердения, реализуемый с помощью применения закалки и искусственного старения на максимальную прочность (состояние Т6).

Совершенствование технологии термической обработки изделий из сплава ВАС1, полученных методом СЛС, представляет собой актуальную задачу. Ее решение требует учета не только особенностей структурно-фазового состояния материала, сформированного в результате высокоскоростной кристаллизации при СЛС, но и различных технологических и конструктивных факторов, обусловленных спецификой аддитивного метода.

Технологический цикл изготовления деталей из данного сплава включает три основных этапа:

1) изготовление заготовки детали методом селективного лазерного сплавления (СЛС) с образцами-свидетелями на платформе построения (рис. 1а);

2) упрочняющая термическая обработка заготовки, состоящая из обработки на твердый раствор (ОТР), закалочного охлаждения в холодную воду и искусственного старения;

3) финишная (механическая) обработка заготовки, включающая удаление технологических поддержек и поверхностную обработку.

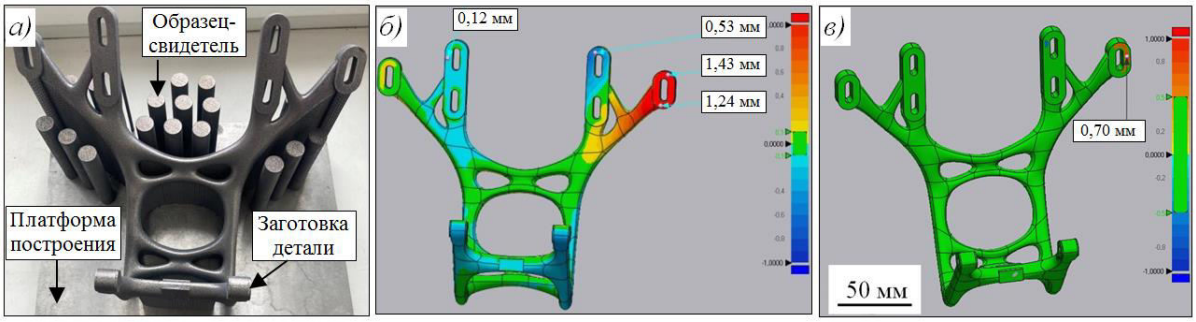


Рисунок 1. Внешний вид заготовки детали из сплава ВАС1 на платформе построения (а) и графические карты отклонений заготовки: (б) после стандартной закалки; (в) после закалки вместе с платформой построения

Известно, что закалка в холодную воду изделий сложной конфигурации из алюминиевых сплавов может приводить к значительным геометрическим отклонениям (поводкам), что нередко становится причиной брака продукции [3]. В связи с этим в настоящей работе рассмотрена возможность уменьшения коробления с помощью закалочного охлаждения заготовок вместе с платформой построения, выполняющей функцию оснастки, жестко фиксирующей деталь с помощью системы технологических поддержек. Так, результаты исследования отклонений геометрической формы готовой детали от геометрической формы CAD-модели, определенных с использованием бесконтактного сканирования поверхностей, показали, что такой способ закалки позволяет в 2 раза уменьшить максимальное отклонение (коробление) по сравнению с закалкой без фиксации (рис. 1б, в).

Вместе с тем такое технологическое решение неизбежно вызывает необходимость увеличения продолжительности нагрева до температуры ОТР вследствие большей массивности садки. В свою очередь, это приводит к тому, что при высокотемпературном нагреве от температуры ~ 500 °С до температуры ОТР, а затем при последующей выдержке в условиях ОТР, в синтезированном материале происходит значительное увеличение пористости, особенно вблизи поверхности заготовки (рис. 2б). Основной причиной образования вторичной пористости следует считать интенсивное выделение газообразного водорода из твердого раствора в результате интенсивной диффузии при высокотемпературном нагреве [4,5]. Так, было установлено, что содержание водорода в шихтовых заготовках (слитках) из сплава ВАС1 составляет 0,25 $см^3$/100 г, в то время как в синтезированном материале наблюдается повышенное содержание водорода – 0,62 $см^3$/100 г.

В результате стандартный режим ОТР (535 °С, 2-6 ч) [6], рекомендованный для традиционного сплава AlSi10Mg (АК9ч), оказался неэффективным ввиду значительного увеличения пористости и появлению на поверхности пузырей («вспучиваний») и отслоению контуринга, что снизило качество поверхности детали (рис. 2в). Кроме того, было установлено, что стандартный режим ОТР после медленного нагрева приводит к снижению на 8-11 % уровня прочности сплава в состоянии Т6 по сравнению с быстрым нагревом. В связи с этим была проведена корректировка режима ОТР с учетом медленного нагрева заготовок, которая заключалась в снижении температуры ОТР и сокращении продолжительности выдержки. Установлено, что выбранный режим ОТР позволяет не только значительно уменьшить величину вторичной (газовой) пористости (в 3 раза) (рис. 2г), но и обеспечить требуемый уровень механических свойств синтезированного сплава ВАС1 в состоянии Т6 (закалка + искусственное старение): $\sigma \geq 380$ МПа; $\sigma \geq 300$ МПа; $\delta \geq 5$ %.

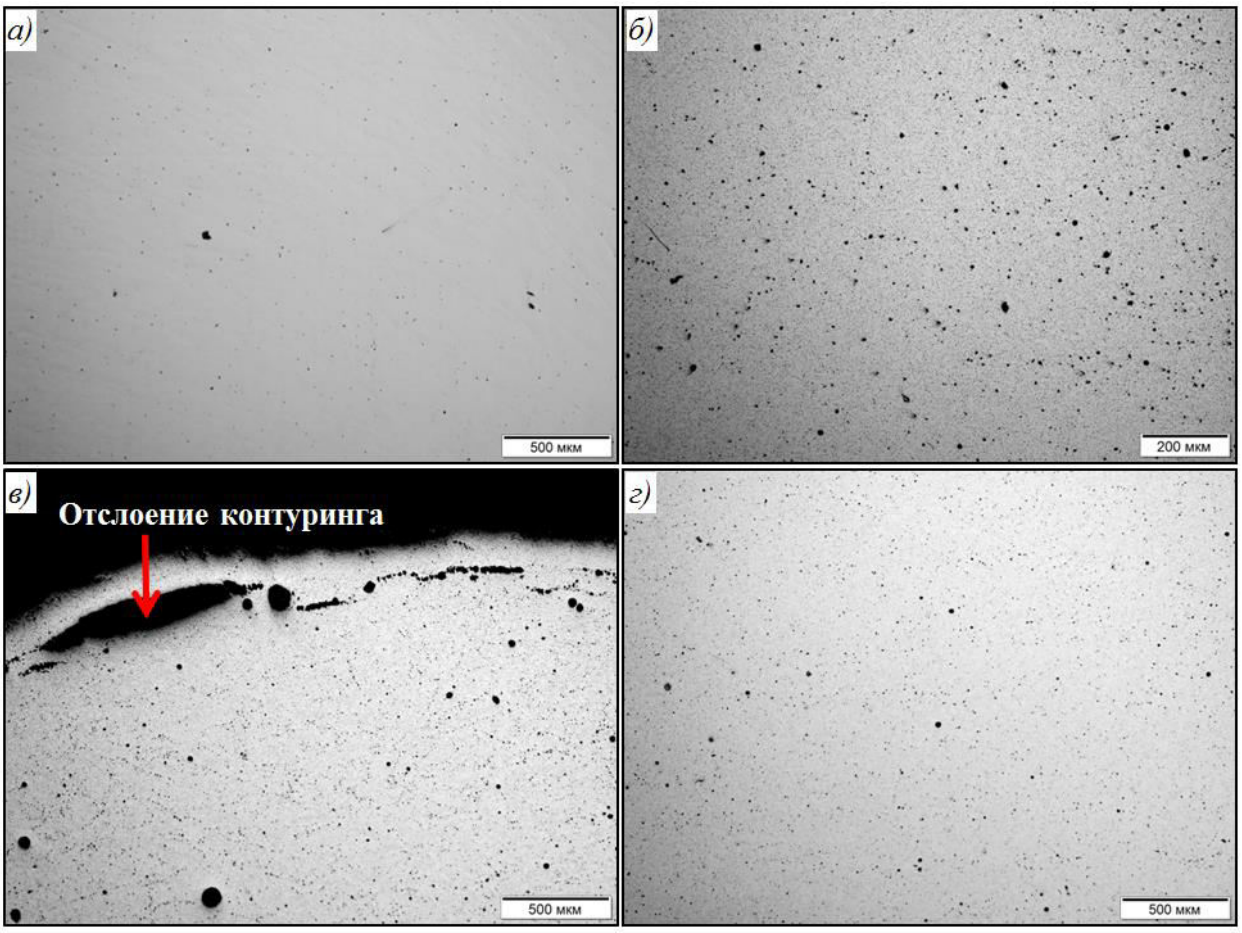


Рисунок 2. Изображения микроструктуры, иллюстрирующие пористость синтезированного сплава ВАС1 в разных состояниях обработки: а) исходное состояние; б) стандартный режим ОТР после быстрого нагрева; в) стандартный режим ОТР после медленного нагрева; г) скорректированный режим ОТР после медленного нагрева

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Каблов Е.Н., Евгенов А.Г., Петрушин Н.В. и др.* Материалы нового поколения и цифровые аддитивные технологии производства ресурсных деталей ФГУП «ВИАМ». Часть 3. Адаптация и создание материалов // Электрометаллургия. 2022. № 4. С. 15–25.

2. *Бенариеб И., Савичев И.Д., Хасиков Д.В., Оглодков М.С.* Опыт изготовления деталей вертолетной техники методом селективного лазерного сплавления из алюминиевого сплава ВАС1 // Мат. IX Всерос. науч.-технич. конф. «Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики (АНТЭ-2024)». Казань, 2024. С. 61–62.

3. *Сенаторова О.Г., Михайлова И.Ф., Иванов А.Л. и др.* Малодеформационная закалка алюминиевых сплавов в полимерных средах // Металловедение и термическая обработка металлов. 2015. №. 11. С. 33-36.

4. *Weingarten C., Buchbinder D., Pirch N. and al.* Formation and reduction of hydrogen porosity during selective laser melting of AlSi10Mg // Journal of Materials Processing Technology. 221. 2015. С. 112–120.

5. *Улановский Я.Б.* Взаимодействие водорода с твердым алюминием и развитие пористости: моногр. // Изд. Дом МИСиС: М., 2014. 116 с.

6. ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. 53 с.

SPECIFIC FEATURES OF HEAT TREATMENT OF PARTS FROM ALUMINUM ALLOY VAS1, PRODUCED BY ADDITIVE TECHNOLOGY

Benarieb I., Savichev I.D., Khasikov D.V.

(NRC ««Kurchatov Institute» - VIAM, Moscow)

Abstract. The paper presents the results of a study on the effect of heat treatment regimes on the quality of semi-finished parts made of VAS1 aluminum alloy fabricated by selective laser melting (SLM). It was shown that quenching the part together with the build platform, which acts as a rigid fixture through technological supports, significantly reduces the maximum distortion after water quenching. It was also found that lowering the temperature or reducing the holding time during solution heat treatment (SHT) decreases porosity by up to three times compared to the standard SHT regime, while maintaining the required strength properties in the T6 temper (quenching + artificial aging).

УДК 672.1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ В ХОЛОДНО ТВЕРДЕЮЩИЕ СМЕСИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛИ КОМПРЕССОРА

Бикмуллин Р.Р.

Научный руководитель: Галимов Э.Р., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. Работа посвящена разработке технологического процесса литья в холодно твердеющие смеси для обеспечения высокого литейного качества заготовки детали «Крышка» компрессора. Компрессорное оборудование является неотъемлемой частью многих отраслей промышленности. Часто их производство является мелкосерийным или и вовсе изготавливается единично с учетом индивидуальных требований заказчика. Поэтому разработка технологического процесса производства их составных частей является важнейшей задачей технолога.

Деталь «Крышка» (рис. 1) изготавливается из стали 20ГЛ по технологии литья в холодно твердеющие смеси и применяется в компрессорной установке с горизонтальным разъемом корпуса, работающей в условиях отрицательных температур, для защиты подвижных частей от внешнего воздействия [1, 2].

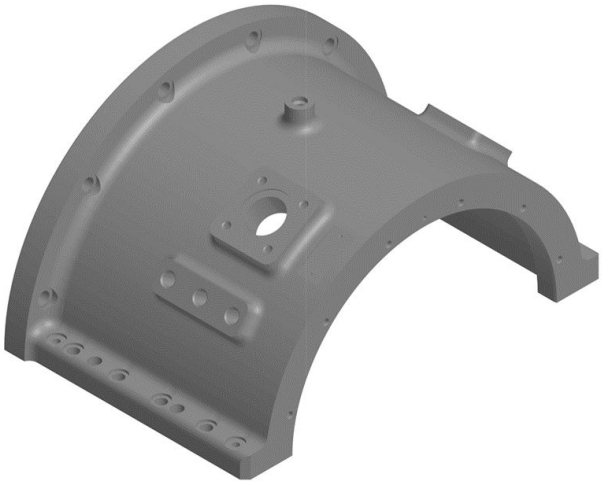


Рисунок 1. Крышка

При изучении произведенных отливок по типовому технологическому процессу было установлено, что текущая технология приводит к образованию повышенного количества газовой пористости и газовых раковин (рис. 2-3) на поверхности около 80 % отливок, что требует для исправления операцию наплавки.

Рисунок 2. Газовая пористость

Рисунок 3. Газовые раковины

Проанализировав конструкцию литейной формы, было сделано предположение, что изменение положения отливки в форме будет эффективной мерой для уменьшения объема дефектов.

Для введения новой технологии потребовалось разработать измененную модель отливки. Для этого была спроектирована новая литниково-питающая система из керамических изделий, использование которых обусловлено тем, что высокая температура жидкого металла может повредить форму при заливке. Эскиз литниковой системы представлен на рисунках 4 и 5.

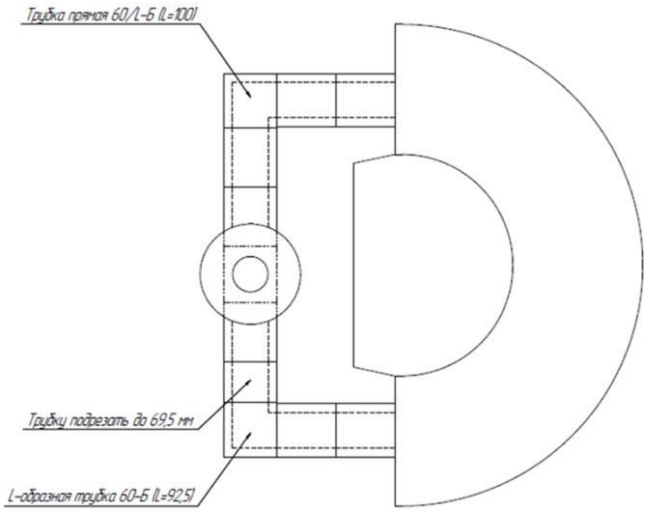


Рисунок 4. Эскиз ЛПС (вид сверху)

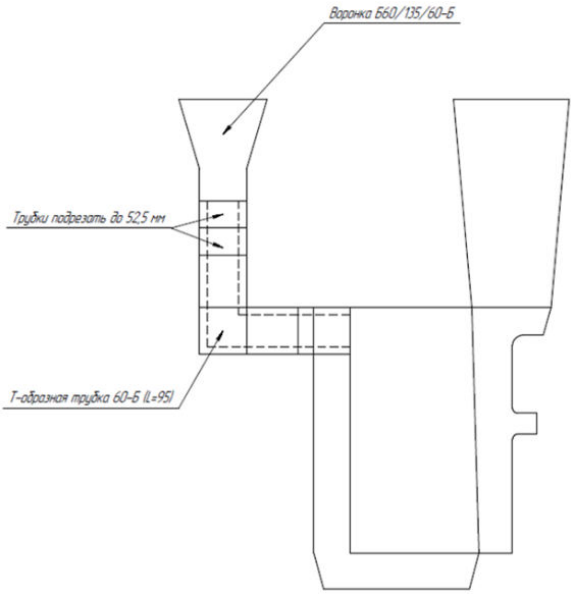


Рисунок 5. Эскиз ЛПС (вид сбоку)

Далее в программе Компас-3D была спроектирована новая модель отливки с учетом изменившихся конфигураций литниковой системы и прибыли (рис. 6).

Использование большой прибыли, как видно на изображении, является традиционным для АО «Казанькомпрессормаш».

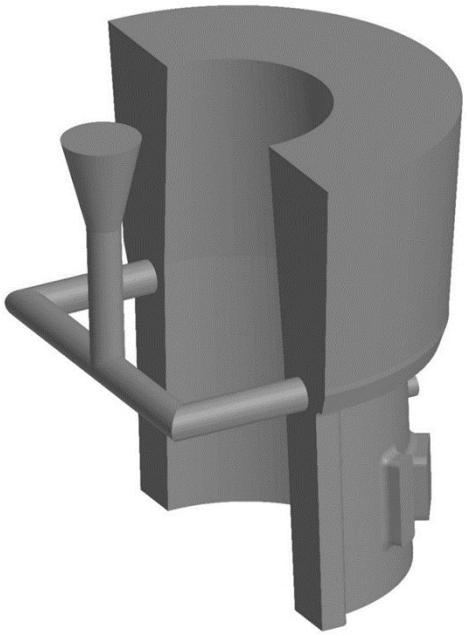


Рисунок 6. 3D-модель отливки с элементами ЛПС

В программе NovaFlow&Solid была смоделирована заливка металла. На рисунке 7 видно, что прибыль была рассчитана верно, поскольку усадочные дефекты не попали в тело отливки.

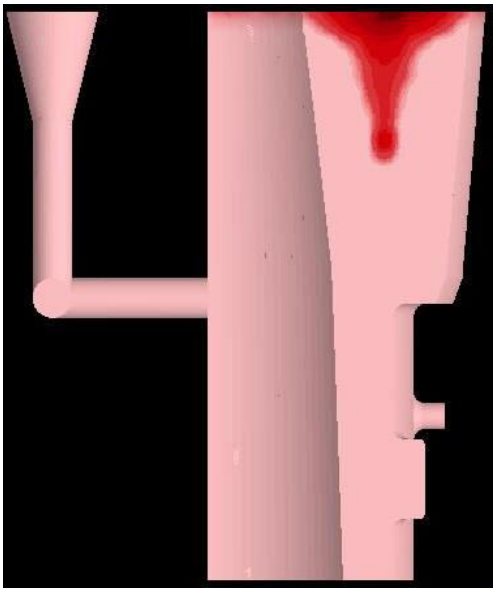


Рисунок 7. Моделирование заливки

По балансу металла на производстве был произведен расчет шихтового материала, компонентами которого являются лом стали, возврат собственного производства и различные модификаторы.

После был разработан технологический процесс изготовления отливки методом литья в ХТС, блок-схема которого представлена на рис. 8. В ходе анализа вспомогательных материалов, используемых в типовом процессе, было предложено внести изменения в марку антипригарной краски для покраски стержня и полуформ, а также дроби для дробеструйной обработки.

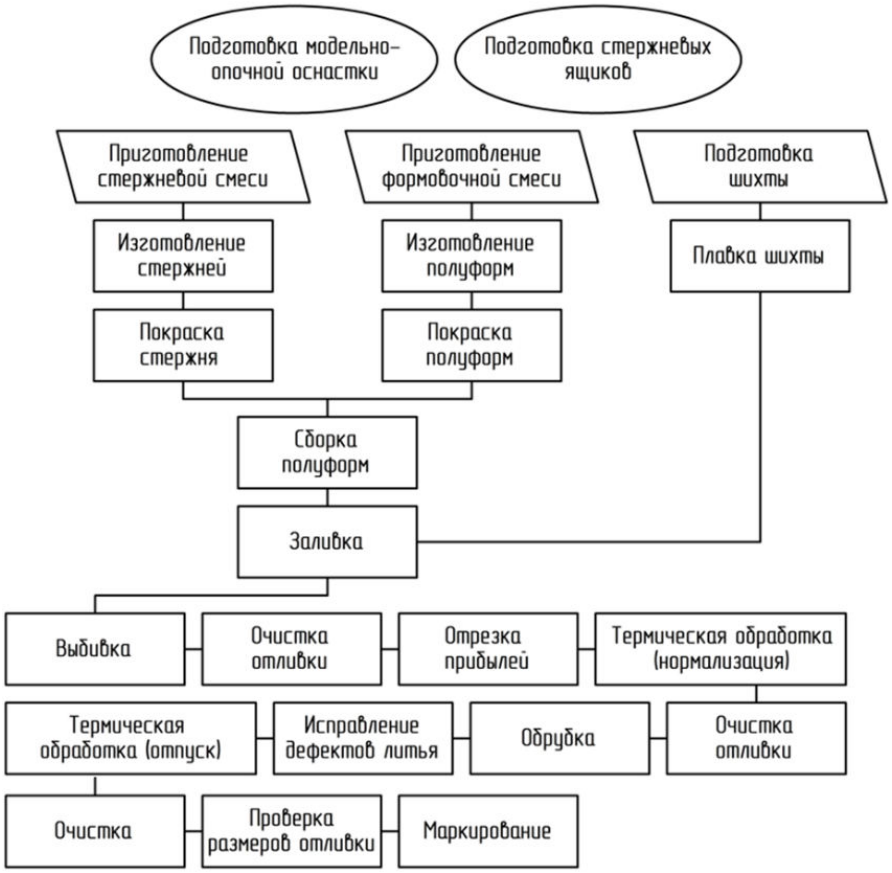


Рисунок 8. Блок-схема технологического процесса

Штатная по тех. процессу краска марки Zirkofluid 1219B производства «Уралхимпласт» работает неэффективно, из-за чего на поверхности отливки остается значительное количество пригара (рис. 9) [3].

Рисунок 9. Пригар при использовании Zirkofluid 1219B

В ходе изучения других отливок схожей конфигурации была предложена замена в виде краски марки ПК-50А производства «ИНТЕМА Групп», которая показала на отливках схожей конфигурации, производимых на АО «Казанькомпрессормаш» свою эффективность (рис. 10) [4]. Уменьшенное количество пригара уменьшит объем работ по очистке отливки.

Рисунок 10. Пригар при использовании ПК-50А

Используемая в текущем технологическом процессе дробь марки ДСЛУ 1,8, изготавливаемая по ГОСТ 11964-81, не позволяет должным образом очистить отливку (рис. 11), поскольку имеет большой разбег по твердости, частицы с твердостью ниже 45 HRC тратят большую часть своей кинетической энергии при ударе о поверхность на изменение формы, из-за чего снижается скорость и качество очистки, а при твердости 52 HRC и выше, дробь имеет высокую хрупкость и разрушается при ударе, образуя большое количество пыли, что ведет к износу дробеметного оборудования, так как система сепарации не успевает удалить всю пыль.

Рисунок 11. Очистка дробью ДСЛУ 1,8

Рисунок 12. Очистка дробью S780

В качестве решения предложна альтернативная дробь марки S780, изготавливаемая по ТУ 4196-001-14457335, эффективно показавшая себя на других отливках схожей конфигурации (рис. 12). Поскольку в ходе одной операции дробь S780 очищает лучше, то её использование способствует уменьшению повторных операций дробеструйной очистки, что уменьшает время производства изделия.

Результаты работы могут иметь практическую значимость при изготовлении литых заготовок в компрессоростроении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ 977-88. Отливки стальные. Общие технические условия: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 22.12.1988 № 4458: введен взамен ГОСТ 977-75, ГОСТ 2176-77: дата введения 1990-01-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 35 с.

2. Проектирование и эксплуатация промышленных центробежных компрессоров / И. Г. Хисамеев [и др.]. – Казань: изд-во «ФЭН», 2010. – 671 с.

3. ПАО «Уралхимпласт – Хюттенес Альбертус» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ucp-ha.ru/pokrytiya-spirtovye/ (дата обращения 22.06.2025).

4. ООО Интема групп» [Электронный ресурс]. – URL: https://intema.ru/content/materialy-dlya-liteynogo-proizvodstva (дата обращения 22.06.2025).

DESIGNING OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF CASTING IN COLD-HARDENING MIXTURES OF WORKPIECE OF COMPRESSOR DETAIL

Bikmullin R.R.
Supervisor: Galimov E.R., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev –KAI, Kazan)

Abstract. The work is dedicated to the development of a technological process for casting in cold-hardening mixtures to achieve high casting quality of the workpiece of the detail “Lid” of the centrifugal gas compressor. Compressor equipment is an essential part of many industries. Often, they are produced in small batches or even individually, taking into account the specific requirements of the customer. Therefore, the development of a technological process for the production of their components is a crucial task for the technologist.

УДК 546.01

ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА КАЛЬЦИЙ-МАГНИЕВЫХ СИЛИКАТОВ НА СВОЙСТВА НАПОЛНЕННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Гайнуллина Р.И., Долгова А.В.
Научный руководитель: Валеева А.Р., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Для увеличения физико-механических и эксплуатационных свойств полимерных материалов применяют дисперсные наполнители разного химического и фазового составов, такие как, силикаты кальция, силикаты кальция и магния: акерманит, диопсид, тальк, тремолит, карбонат магния: доломит и алюмосиликаты: каолин, цеолиты, шпинель. В связи, с чем в работе рассматривается влияние фазового состава кальций-магниевого наполнителя на физико-механические и эксплуатационные свойства эпоксидных полимерных материалов.

Введение. Изучение кальций-магниевых силикатов как наполнителей интересно тем, что он обладаем различными физико-механическими и химическими свойствами такими как: прочностные свойства (прочность на изгиб, адгезия, твердость), кислотостойкость, огнестойкость [1,2]. Высокие значения этих свойств достигается благодаря оксиду магния, содержащимся в его составе [2-3].

На данный момент остро стоит задача в получении кальций-магниевых силикатов в лабораторных условиях методом синтеза, поскольку существует широкий спектр его применения, но не хватает мест для его добычи, в том числе и в России, а также затруднена сего переработки [4]. Существуют разные способы получения кальций-магниевых силикатов, в то числе сырьем для его получения может служить зола рисовой шелухи (ЗРШ) – отход сельскохозяйственного производства, поскольку в ее состав входит оксид кальция, необходимый для синтеза кальций-магниевого силиката [5,6].

Экспериментальная часть. В данной работе изучались свойства как самого наполнителя: природного (ПКМС) и синтетического кальций-магниевого силикатов, так и их влияние на свойства эпоксидных полимерных материалов.

В таблице 1 представлены результаты рентгенофлуоресцентного анализа (РКФА) образцов, полученных твердофазным синтезом при температуре 1100 °С в течение 3 часов, на основе спекания смеси компонентов в разном соотношении: золы рисовой шелухи (ЗРШ), полученной прокаливанием при температуре 500 °С, доломита, плавня (борной кислоты),

которые показали, что в ПКМС по сравнению с СКМС, больше кремния, железа и особенно магния. Несколько ниже содержание алюминия (табл. 1).

Таблица 1

Элементный состав синтетического и природного диопсида

Силикат	Содержание элементов, %										
	Ca	Si	O	Mg	Al	Fe	K	S	Mn	Na	Cl
ПКМС	55,03	36,70	21,35	25,21	5,30	2,80	0,02	0,61	-	0,17	0,07
СКМС	55,96	23,98	22,02	9,67	7,61	1,14	1,12	0,92	0,92	0,62	0,05

В таблице 2 представлены результаты рентгенографического количественного анализа (РКФА) образцов, из которых установлено, что в природном минерале содержание диопсида на порядок ниже, чем в синтезированном на основе ЗРШ. В составе ПКДС преобладают доломит и кальцит, которые также могут представлять самостоятельный интерес как наполнители полимеров.

Полученные образцы синтетического кальций-магниевого силиката в качестве полезной фазы содержат диопсид, а в качестве примесей – тридимит и кристобалит (табл. 2). Максимальное количество целевого компонента (диопсида) содержит образец, который получен при избытке доломита.

Таблица 2

Фазовый состав природного и синтетического кальций- магниевого силикатов

№ п/п	Тип наполнителя	Фазовый состав	Содержание, % мас.
1	ПКМС	Доломит Кальцит Диопсид Глинистые материалы Кварц	47 36 8 8 1
2	$СКМС_{82}$	Диопсид Тридимит	82 18
3	$СКМС_{97}$	Диопсид Тридимит Кристобалит	97 2 1

Так в работе [7] показано, что использование доломита, в сочетании с углеродными нанотрубками, в качестве наполнителя эпоксидных смол, может улучшить свойства (прочность при растяжении и модуль упругости) композиционного материала на их основе.

Кальцит - минерал химического состава $CaCO_3$; который кристаллизуется в тригональной системе, так же является перспективным наполнителем эпоксидных композитов, повышающим их прочность при различных видах деформации [8].

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа показали, что в ПКМС по сравнению с СКМС, больше кремния, железа и особенно магния. Несколько ниже содержание алюминия (табл. 3).

Таблица 3

Элементный состав синтетического и природного диопсида

Силикат	Содержание элементов, %										
	Ca	Si	O	Mg	Al	Fe	K	S	Mn	Na	Cl
ПКМС	55,03	36,70	21,35	25,21	5,30	2,80	0,02	0,61	-	0,17	0,07
СКМС	55,96	23,98	22,02	9,67	7,61	1,14	1,12	0,92	0,92	0,62	0,05

Общий объем пор как природного, так и синтетического кальций-магниевого силиката значительно меньше, чем у рисовой шелухи и на порядок ниже, чем у ее золы (табл. 4), на основе которой СКМС получен [9]. Средний диаметр пор СКМС примерно равен значению ЗРШ, а вот удельная поверхность намного меньше. Микропоры у СКМС вообще не обнаруживаются.

Таблица 4

Пористость природного и синтетического наполнителей

Тип наполнителя	Удельная поверхность по БЭТ, $м^2/г$	Внешняя удельная поверх-ность, $м^2/г$	Общий объем мезопор по BJH, $см^3/г$	Средний диаметр мезопор по BJH, нм	Объем микропор по t-методу, $см^3/г$	Площадь микропор по t-методу, $м^2/г$
ПКМС	1,860	1,390	0,003	3,89	н/о*	0,47
СКМС	0,614	0,613	0,001	4,11	н/о*	н/о
$ЗРШ_{500}$	27,90	н/о	0,080	4,10	0,002	3,40

Примечание: н/о* – не обнаружено

Экспериментальные данные показали, что ПКМС содержащий наполнитель имеет в три раза больший общий объем пор и примерно в два раза большую их удельную поверхность, чем СКМС (табл. 3). В то же время средний диаметр пор несколько больше у синтетического наполнителя на основе золы рисовой шелухи.

По данным результатов измерения pH водных дисперсий установлено, что СКМС обладает значением близким к нейтральному, в отличие от ЗРШ (табл. 4). Можно предположить, что на pH СКМС влияет с использованием при его синтезе борной кислота, применяемая при синтезе в качестве плавня. ПКМС имеет щелочную природу поверхности в отличие от других наполнителей.

Маслоемкость кальций-магниевых силикатов, как природного, так и синтетического, существенно ниже (табл. 5), чем у ЗРШ, полученной при различных температурах сжигания шелухи [7]. Это можно связать с его более низкой пористостью и отсутствием в составе органических компонентов.

Таблица 5

Свойства наполнителей

Наполнитель	Маслоемкость, г\.г	pH поверхности
ПКМС	82,3	10
СКМС	66,9	8
$ЗРШ_{500}$	126	8,92

На механические и эксплуатационные свойства полимера влияет не только размер частиц наполнителя, но и его концентрация. В ходе исследований установлено, что твердость наполненной эпоксидной композиции СКМС возрастает с увеличением степени наполнения более 15 мас. ч. на 100 мас. ч. связующего, по сравнению с ненаполненным полимером и 13,6 % (рис. 1). Для исследования влияния количества кальций-магниевого силиката в составе наполнителя, изучались так же свойства эпоксидных композиций, наполненных $СКМС_{97}$.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что твердость у наполненной $СКМС_{97}$ эпоксидной композиции возрастает с увеличением содержания этого наполнителя 15-25 мас. ч на 100 мас. ч ЭД-20 по сравнению с ненаполненным полимером (рис. 1).

Причинами возрастания твердости может повышение сопротивляемости деформированию композиции. Сопротивление деформированию можно объяснить несколькими факторами:

1) образование слоя полимера с пониженной подвижностью на поверхности частиц наполнителя, так как часть макромолекул адсорбируется на твёрдой поверхности, что

уменьшает их подвижность. Наличие «заторможенных» макромолекул затрудняет деформацию композиции.

2) формирование пространственной непрерывной сетки из дисперсных частиц, которая оказывает дополнительное сопротивление деформированию. Образование такой сетки возможно лишь при достижении определённой концентрации наполнителя.

3) замещение части полимера твёрдыми частицами, то есть наполнители не способны к значительным деформациям по сравнению с полимерами, что снижает способность композиции к деформации [10].

Для объяснения увеличения твердости в данном случаи подходит больше 3 фактор поскольку из рисунка 1, видно, что при увеличении наполнителя твердость растет.

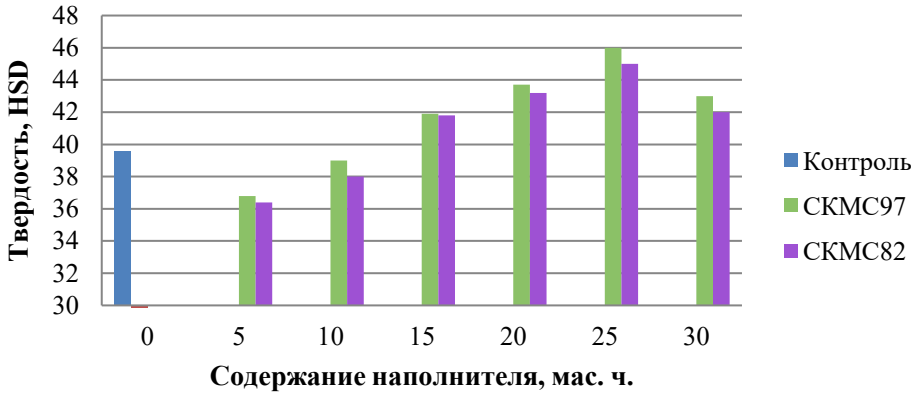


Рисунок 1. Зависимость твердости эпоксидных композиций
от содержания кальций-магниевого силиката

Установлено, что наполненные эпоксидные материалы обладают более высокой прочностью на отрыв и прочностью на изгиб. Прочность на отрыв наполненных эпоксидных материалов увеличивается с повышением содержания $СКМС_{82}$ до 25 мас. ч. на 100 мас. ч. ЭД-20, по сравнению с контролем (рис. 2). Произошло эффективное взаимодействие полимерной эпоксидной матрицы с дисперсным наполнителем, поскольку частицы наполнителя останавливают движение микротрещин, что увеличивает среднее разрушающее напряжение [11].

Прочность на отрыв наполненных $СКМС_{97}$ эпоксидных материалов увеличивается при концентрации 20-25 мас. ч. на 100 мас. эпоксидной смолы (рис. 2).

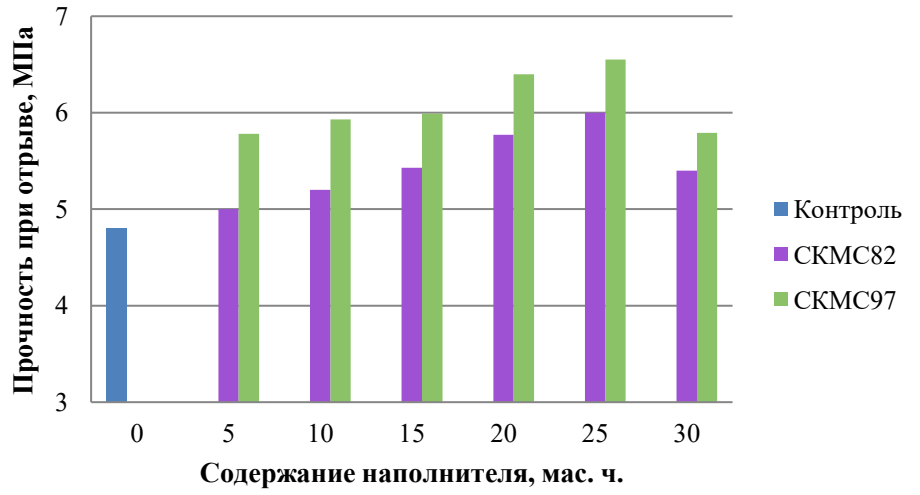


Рисунок 2. Зависимость прочности при отрыве эпоксидных композиций
от содержания кальций-магниевого силиката

При этом прочность при изгибе (рис. 3) выше при 5-20 мас. ч. на 100 мас. ч. связующего, чем у ненаполненного полимера. Прочность на изгиб в наполненных эпоксидных полимерах растёт до определённой степени наполнения, а потом уменьшается, так как на прочность влияет размер и распределение частиц наполнителя. Так как мелкий наполнитель заполняет зазор между крупным наполнителем, что делает композит более жёстким, а сама матрица не проникает между частицами наполнителя [10].

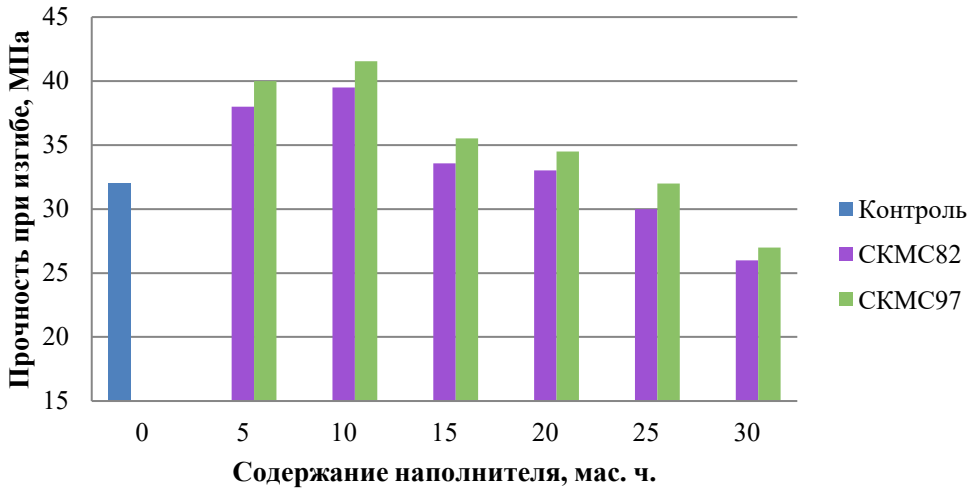


Рисунок 3. Зависимость прочности при изгибе эпоксидных композиций от содержания кальций-магниевого силиката

Результаты экспериментов показывают, что $СКМС_{82}$ эффективно снижает коэффициент трения независимо от степени наполнения (рис. 4). Наибольший эффект наблюдается при повышенной концентрации диопсидсодержащего наполнителя, достигая 60 % по сравнению с контрольным образцом. Аналогично, $СКМС_{97}$ также демонстрирует снижение коэффициента трения при любом уровне наполнения, однако наиболее значительное уменьшение (до 92 %) отмечается при содержании наполнителя в пределах 20–30 мас. ч.

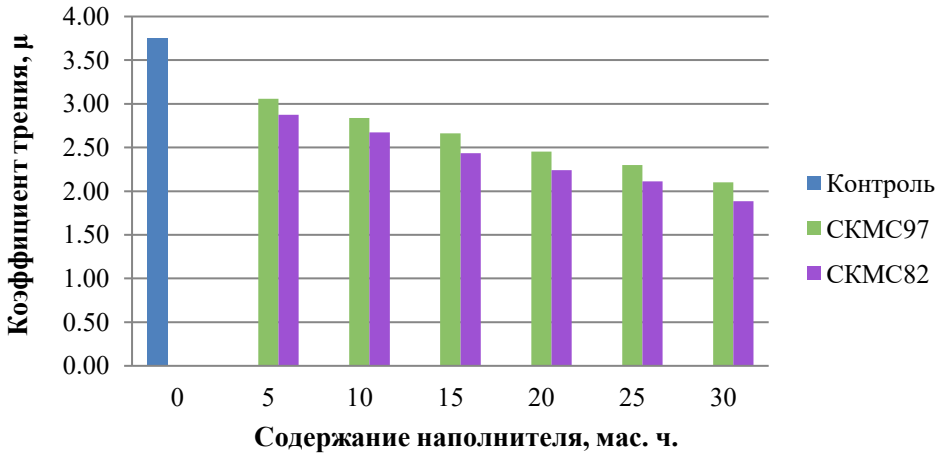


Рисунок 4. Зависимость коэффициента трения эпоксидных композиций от содержания кальций-магниевого силиката

Износостойкость несколько выше (степень износа ниже) при наполнении более 10 мас. ч. на 100 мас. ч. связующего (рис. 5).

При применении наполненных эпоксидных композиций в качестве антифрикционных износостойких композиций оптимальным можно считать содержание СКМС$_{82}$ 15-20 мас. ч на 100 мас. ч связующего.

Износостойкость заметно выше при наполнении 15-25 мас. ч. СКМС$_{97}$ на 100 мас. ч. связующего (рис. 5).

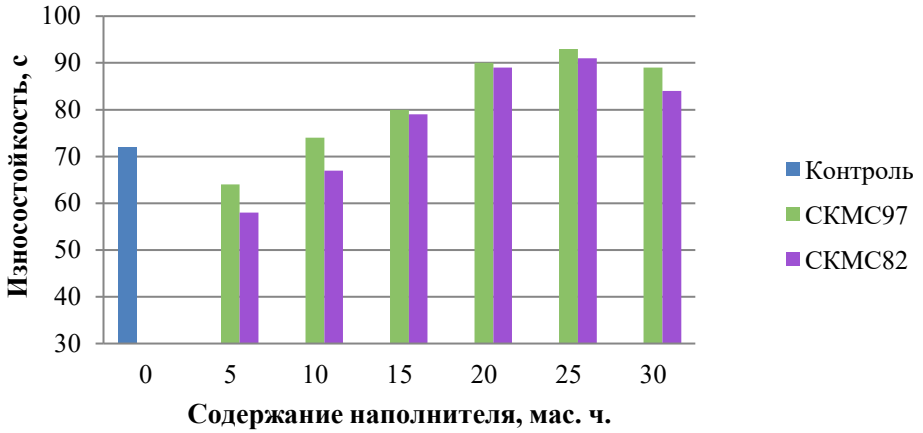


Рисунок 5. Зависимость износостойкости эпоксидных композиций от содержания СКМС$_{82}$

Одновременно, прочность при изгибе ниже у композиций с наполнителем (рис. 3), содержащим большее количество силиката. Вероятно, в этом случае большие прочностные показатели обеспечивают кристаллические диоксиды кремния – тридимит и кристаболит. Тридимит имеет ромбическую структуру, а кристобалит – кубическую.

Коэффициент трения ниже у эпоксидных материалов с наполнителем, содержащим большее количество силиката. То есть лучшие антифрикционные свойства обеспечивает кальций-магниевый силикат, за счет его большей теплопроводности по сравнению с кремнеземами, что обуславливает лучший отвод тепла из зоны трения [12,13].

Заключение. Таким образом, изучены эксплуатационные свойства эпоксидных композиций, наполненных кальций-магниевым силикатом различного фазового состава.

Из результатов физико-механических исследований следует, что введение в композицию на основе эпоксидной смолы синтетического кальций-магниевого силиката заметно увеличивает износостойкость, повышает твердость, а также улучшает антифрикционные свойства. При этом, больший модифицирующий эффект обеспечивает СКМС$_{97}$.

Коэффициент трения и износ наполненных эпоксидных композиций меньше по сравнению с базовым составом. Это объясняется тем, что частицы наполнителей, являются барьером для развития деформаций в матрице полимера. Такой эффект можно сравнить с «шипами», которые скрепляют структурные элементы сетчатого полимера. Это затрудняет скольжение вдоль плоскостей сдвига [14].

При изучении эпоксидных композиций, которые наполнены СКМС$_{82}$ и СКМС$_{97}$, установлено, что более высокие механические и эксплуатационные свойства обеспечивают применение в качестве наполнителя СКМС$_{97}$ с 15 мас. ч. на 100 мас. ч. связующего. Износостойкость эпоксидных композиций выше при применении наполнителя, содержащего 97 % силиката.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Бородина, И.А.* Физико--химические свойства композиционных материалов на основе природных силикатов / Заболотская А.В., Мухин А.С., Бородина И.А. Тезисы V Всероссийской конф. «Керамика и композиционные материалы». - Сыктывкар: КомиНЦ УрО РАН, 2004. - С. 172.

2. *Логинова, Е.В.* Оценка свойств диопсидовой породы для применения в составах керамических масс // Вестник Хакасского техн. ин-та. 2010 №29. С. 183–185.

3. *Shivani Punj, Neha Srivastava, Manoj Baranwal, Kulvir Singh.* Biological Evaluation of Diopside Bio-ceramic Synthesized From Sustainable Agro-food Waste Ashes Silicon (2021)10, 2021.

4. *Нгиа, Х. Н.* Способ получения аморфного наноразмерного диоксида кремния из отходов рисового производства / Х. Н. Нгиа, Л. А. Зенитова, Л. К. Зиен, and Д. Н. Чуен // Экология и Промышленость Россия. – Том 23. –, № 4. – С. 30–35.

5. *Готлиб, Е.М.* Влияние природного и синтетического волластонита на основе золы рисовой шелухи на процесс отверждения эпоксидных клеевых композиций / Е.М. Готлиб, Ха Тхи Нья Фыонг, Е.Н. Черезова, А.Г. Соколова // Экономика строительства, №6,2022 С. 77-86.

6. *Готлиб, Е.М.* Получение синтетического волластонита на основе рисовой шелухи / Е.М. Готлиб, Т.Н.Ф. Ха Вестник технологического университета, 2019. -Т. 22. - №7. - С. 42-46.

7. Adesakin, A.O.; Ajayi, O.O.; Imosili, P.E.; Attahdaniel, B.E.; Olusunle, S.O.O. Characterization and Evaluation of Mechanical Properties of Dolomite as Filler in Polymers. Chem. Mater. Res. 2013. - No 3. - Pp. 36–40.

8. *Nizina, T.A.* Filled epoxy composites based on polyfraction microcalcite / T.A. Nizina, J.A. Sokolova, A.N. Chernov, D.R. Nizin, A.I. Popova, N.S. Kanaeva // Magazine of Civil Engineering. - 2018. - 83(7). - Pp. 83–91. doi: 10.18720/MCE.83.2

9. Модификация эпоксидных материалов золой рисовой шелухи, волластонит- и диопсидсодержащими наполнителями: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 2.6.17.; 2.6.11. / Валеева Алина Равилевна; [Место защиты: ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» ; Диссовет КФУ.023.1]. - Казань, 2023. - 18 с.

10. Полимерные композиционные материалы: учебное пособие. Часть 2 / сост. Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. – Томск. [Электронный ресурс]. URL: https://portal.tpu.ru/SHARED/b/BONDLI/stud_work/p_k_m_m/Tab1/%D0%9F%D0%9A%D0%9C_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C%202.pdf/.(Дата обращения: 22.04.2025 г.)

11. *Мусаева, А.Ю.* Влияние наполнителя на свойства композиций на основе эпоксидного олигомера// А.Ю. Мусаева // Журнал пластические массы. – 2019. - №9-10. – С. 39-40.

12. *Готлиб, Е.М.* Модифицированные золой рисовой шелухи износостойкие эпоксидные покрытия / Е.М. Готлиб, А.Р. Валеева, Р.Ш. Нцуму, А.Р. Гимранова, Э.Р. Галимов // Шестой междисциплинарный научный форум с международным участием «Новые материалы и перспективные технологии». Москва. 23-27 ноября 2020 г. / сборник материалов. Т. I. – М: центр научно-технических решений, 2020 г. – С. 64-68.

13. *Готлиб, Е.М.* Трение, износ и антифрикционные свойства эпоксиполимерных материалов: учеб. пособие / Е.М. Готлиб, Э.Р. Галимов, А.Р. Хасанова. – Казань: Изд-во Казанского национального исследовательского технологического университета, 2016. – 91 с.

14. *Готлиб, Е.М.* Влияние способа получения диоксида кремния из рисовой лузги на состав и модифицирующий эффект в эпоксидных композициях / Е.М. Готлиб, Л.А. Зенитова, А.Р. Валеева, Р.Ш. Нцуму // Бутлеровские сообщения. – 2021. – Т. 66. – №6. – С. 43-47.

INFLUENCE OF THE PHASE COMPOSITION OF CALCIUM-MAGNESIUM SILICATES ON THE PROPERTIES OF FILLED EPOXY COMPOSITES

Gainullina R.I., Dolgova A.V.

Supervisor: Valeeva A.R., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Abstract. To increase the physical, mechanical and operational properties of polymeric materials, dispersed fillers of different chemical and phase compositions are used, such as calcium silicates, calcium and magnesium silicates: akermanite, diopside, talc, tremolite, magnesium

carbonate: dolomite and aluminosilicates: kaolin, zeolites, spinel. In this regard, the work examines the effect of the phase composition of the calcium-magnesium filler on the physical, mechanical and operational properties of epoxy polymeric materials.

УДК 620.22

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНОЙ ПЕНЫ НА ОСНОВЕ ВСПЕНЕННОГО ПОЛИУРЕТАНА

Галимов Р.И.

Научный руководитель: Галимова Н.Я., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Разработана технология получения углеродной пены путем высокотемпературной обработки с использованием ячеистого полиуретана, пропитанного раствором фенолоформальдегидной смолы. Рассмотрены стадии и режимные параметры формирования пены. Методом сканирующей электронной микроскопии исследована структуру пен.

Из большого разнообразия углеродных материалов, используемых для изготовления изделий и конструкций во многих отраслях современной промышленности, важное место занимают углеродные пены (УП). В зависимости от используемых исходных компонентов, их соотношения и сочетания, а также режимных параметров многостадийного процесса можно получать пены различной структуры с широким комплексом теплофизических, физико-механических и других эксплуатационных свойств [1, 2]. Основными направлениями использования пен являются авиационная и ракетно-космическая техника, эксплуатируемая в сложных, в том числе экстремальных условиях.

Технологическая схема получения УП включает следующие операции: подготовка раствора фенолоформальдегидной смолы (ФФС), пропитка ячеистого полиуретана и формование полуфабриката в виде «зеленой» пены, отверждение образца, карбонизация пены, пиролитическое уплотнение и механическая обработка. На рисунке 1 показана схема получения пен.

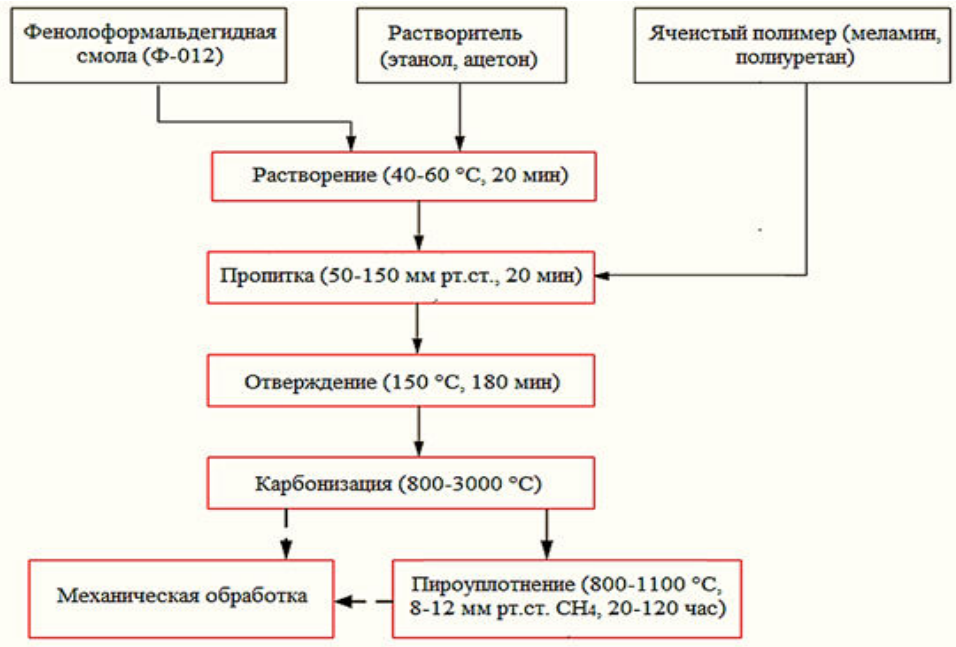
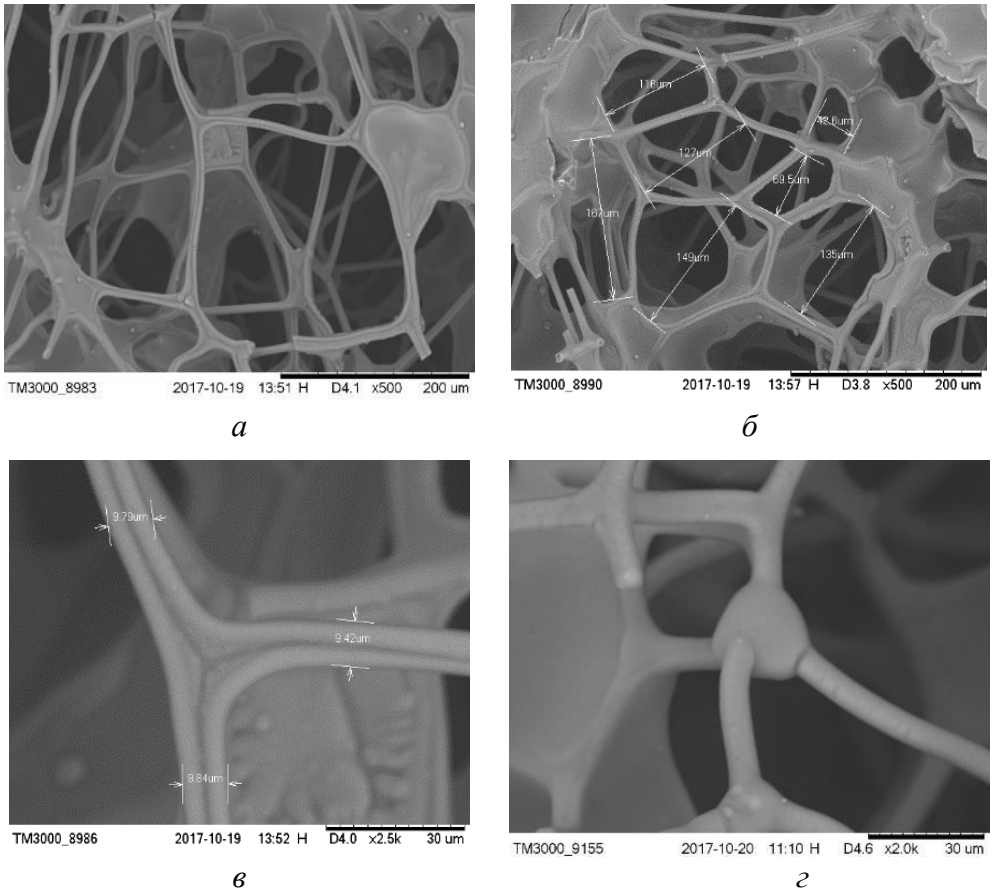


Рисунок 1. Технологическая схема получения пены

Подготовку раствора заданной концентрации проводят путем растворения смолы в этиловом спирте. Затем раствор наливают в емкость из химически стойкого полимерного материала, которую устанавливают в эксикатор, присоединенный к вакуумному насосу и осуществляют вакуумирование при давлении 40-50 мм рт.ст. После этого сбрасывают вакуум, извлекают образец пены, который высушивают при комнатной температуре до полного испарения спирта. Полученный образец помещают в сушильный шкаф, выдерживают при 150 °С в течение 3 часов и затем извлекают. При проведении стадии карбонизации образец помещают в стальной контейнер, сверху образца насыпают слои графитированного боя и пека высотой 10-15 см. Контейнер закрывают крышкой и помещают в печь, нагретую до температуры 1000 °С и выдерживают в течение 2 часов. После этого проводят охлаждение печи до нормальной температуры и извлечение образца «зеленой» пены. Затем заготовку пены загружают в печь пиролитического уплотнения и выдерживают при температуре 1100-1200 °С в течение 80-120 часов [3-5].

Исследования структуры пены проводили по следующей методике: путем механической обработки готовили образцы пены с размерами 10х10х10 мм; вырезали полоску проводящего углеродного скотча в виде прямоугольника с размерами 10х50 мм, которую наклеивали на предметный столик; закрепляли испытуемый образец на углеродный скотч и проводили исследование спила образца пены при следующих режимных параметрах съемки: ускоряющее напряжение 15 кВ, вакуум 10^{-6} мм рт.ст., рабочий ток 150 нА, увеличение 60-3000 крат. На полученных снимках описывали морфологию поверхности образца углеродной пены с указанием распределения ячеек по геометрическим размерам и толщины стенок.

На рисунке 2 приведена микроструктура образцов углеродной пены. Видно, что полученный пенистый материал в общем наследует структуру ячеистого полиуретана и представляет собой сетчатую структуру с размером ячеек 100-150 мкм.



а *б*

в *г*

Рисунок 2. Снимки образцов углеродных пен при различных увеличениях

Из представленных снимков видно, что наблюдается заполнение ячеек углеродной пены коксом фенолоформальдегидной смолы (рис. 2, *а, б*), утолщение межпоровых стенок и междоузлий (рис. 2, *в, г*), пенистый материал имеет изотропную структуру, пористость составляет порядка 80 %.

Известно [6, 7], что углеродные пены, кроме заданной пористости, должны обладать также определенным уровнем физико-механических свойств, так как в процессе эксплуатации изделий на их основе они могут испытывать значительные механические нагрузки. Для повышения упруго-прочностных характеристик полимерные пены подвергают пропитке соединениями с повышенным выходом углеродистого остатка, например, каменноугольными или нефтяными пеками, их смесями с меламиноформальдегидной и другими термореактивными смолами. Получаемые при этом материалы характеризуются повышенной пористостью и более широким распределением пор как по размерам, так и по форме.

Результаты исследований физико-механических свойств пен [6] позволили установить, что пропитка растворами ФФС в этаноле или ацетоне позволяет достигать прироста массы исходного образца в виде ячеистого полиуретана после сушки на 500-2000 масс. %. С точки зрения прироста массы наиболее предпочтительным является пропитка образца 40 масс. % раствором фенолоформальдегидной смолы в ацетоне при температуре 40-42 °С. Кажущаяся плотность пен после пропитки не коррелирует с конечной плотностью УП, что может быть связано со сложностью удаления растворителя из «зеленых» пен с высокой степенью насыщения ФФС (так как «зеленые» пены с высокой плотностью при термообработке не дают усадки), а также со сложной зависимостью баланса усадочных явлений и удаления парогазовых продуктов термической деструкции от плотности исходной пены для данного класса углеродных пен. С точки зрения физико-механических свойств образцы, подвергшиеся в процессе карбонизации заметной усадке, характеризуются более низкими значениями предела прочности и модуля упругости [7].

Таким образом, разработана технология получения углеродной пены путем высокотемпературной обработки пропитанного фенолоформальдегидной смолой полиуретана при оптимальных режимных параметрах. Для получения пен темплатной карбонизацией в качестве исходных материалов, кроме вспененного полиуретана, можно использовать также полимерные пены сотовой или ячеистой структуры, например, пенополистирол, вспененный меламин и др., при ступенчатой высокотемпературной обработке которых в инертной среде или в условиях ограниченного доступа кислорода формируется открытая каркасная губчатая структура.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Колокольцев С.Н.* Углеродные материалы. Свойства, технологии, применения. Долгопрудный: ИД Интеллект, 2012. 296 с.

2. *Тихомиров В.К.* Пены. Теория и практика их получения и разрушения. М.: Изд-во Химия, 1975. С. 11-15.

3. *Galimov E.R.* Technologies for producing heat-conducting carbon foams by method of pitches carbonization under pressure. / E.R. Galimov, E.E. Sharafutdinova, N.Ya. Galimova et al. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 570 (2019) 012022 doi:10.1088/1757-899X/570/1/012022.

4. *Галимов Э.Р., Федяев В.Л., Абдуллин А.Л., Галимова Н.Я., Шарафутдинова Э.Э., Самойлов В.М., Данилов Е.А.* Синтактические углеродные пены: получение, структура, свойства, применение. Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2022. 324 с.

5. *Galimov E.R., Sharafutdinova E.E., Galimova N.Ya*. Development of technologies for producing heat-conducting syntactic carbon foams with specified operational properties. / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 570 (2019) 012023 doi:10.1088/1757-899X/570/1/012023.

6. *Берлин А.А.* Упрочненные газонаполненные пластмассы / А.А. Берлин, Ф.А. Шутов. М.: Изд-во Химия. 1980. 224 с.

7. *Галимов Э.Р., Федяев В.Л., Самойлов В.М., Данилов Е.А., Орлов М.А., Тимощук Е.И.* / Получение и исследование физико-механических свойств синтактических углеродных пен. Материалы международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы-2017». Казань: 2017. С. 206-212.

TECHNOLOGY FOR PRODUCING CARBON FOAM BASED ON FOAMED POLYURETHANE

Galimov R.I.

Supervisor: Galimova N.Ya., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. A technology for producing carbon foam by high-temperature processing using cellular polyurethane impregnated with a solution of phenol-formaldehyde resin has been developed. The stages and operating parameters of foam formation have been considered. The foam structure has been studied using scanning electron microscopy.

УДК 620.22

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ ПЕН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНОГО ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ

Галимов Р.И.

Научный руководитель: Шарафутдинова Э.Э., доцент, к. п. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Рассмотрены перспективные технологии получения углеродных пен с использованием в качестве исходных компонентов органического сырья. Показана возможность получения пен с различной структурой и эксплуатационными свойствами.

Анализ научно-технической отечественной и зарубежной литературы в области получения и использования углеродных материалов, в том числе углеродных пен (УП), показывает, что в последние десятилетия во многих странах, в том числе и Российской Федерации, широко применяются так называемые «зеленые» технологии, основанные на применении в качестве исходных компонентов неиспользуемых сырьевых источников.

Одним из перспективных направлений получения углеродных пен с различными эксплуатационными, в том числе теплофизическими свойствами, являются способы, основанные на термической обработке (карбонизации) природного сырья. Например, в работах [1-4] описан ряд технологических процессов получения пен путем:

- нагревания водного раствора сахарозы до сравнительно невысоких температур (110 °С) и последующей карбонизации полученной смеси в атмосфере аргона при температуре 300-950 °С [1];
- смешивания активированного угля с водным раствором сахарозы с последующей термической обработкой смеси при температуре 120 °С [2];
- термической обработки оливковых косточек при температуре 500 °С и давлении 1,0 МПа [3];
- карбонизации кожуры помело, кокосового сырья, кожуры банана, арбуза и других веществ при температуре 900 °С [4].

В работе [5] описан эффективный технологический процесс получения углеродной пены с использованием сахарного тростника (рис. 1).

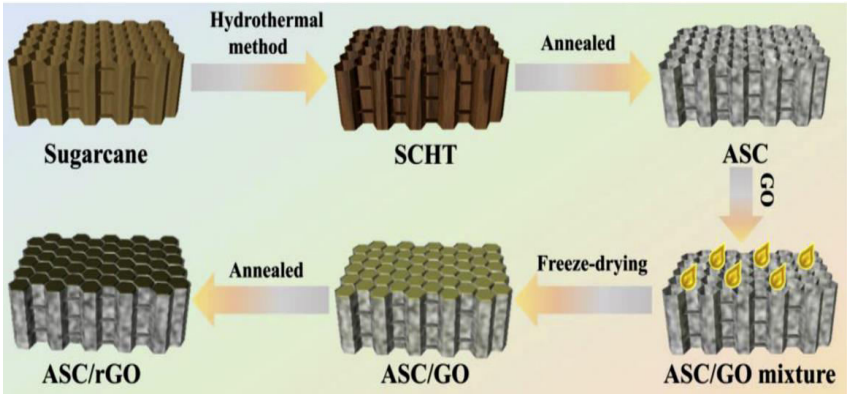


Рисунок 1. Стадии получения пены из сахарного тростника

На начальной стадии из тростника удаляли лигнинсодержащие соединения. Затем отожженный тростник погружали в оксид графена и осуществляли процесс пропитки в вакууме. Полученную смесь подвергали термической обработке для получения углеродной пены с различным содержанием (5, 11, 17 масс. %) восстановленного оксида графена. В качестве примера в таблице представлены основные эксплуатационные характеристики образцов углеродных пен с различным содержанием оксида графена.

Таблица 1

Свойства углеродных пен на основе тростника

Содержание оксида графена, масс. %	Плотность, г/см^3	Теплопроводность, мВт/м·К	Электро-проводность, См/см	Прочность при сжатии, МПа
5	0,041	103,73	4,3	1,23
11	0,044	111,10	5,4	1,28
17	0,047	115,19	6,0	1,33

В работе [6] предложена перспективная технология получения УП из отходов деревообрабатывающей промышленности в виде древесных опилок. Технологический процесс получения пен состоял из нескольких стадий. Опилки смешивали с раствором сахарозы различной концентрации для получения суспензии, которую замораживали в морозильной камере при температуре минус 70-80 °С и затем подвергали карбонизации в печи с инертной атмосферой при температуре 900 °С в течение 2 часов. Плотность пен регулировали изменением концентрации раствора сахарозы. В таблице 2 представлены базовые эксплуатационные свойства полученных углеродных пен.

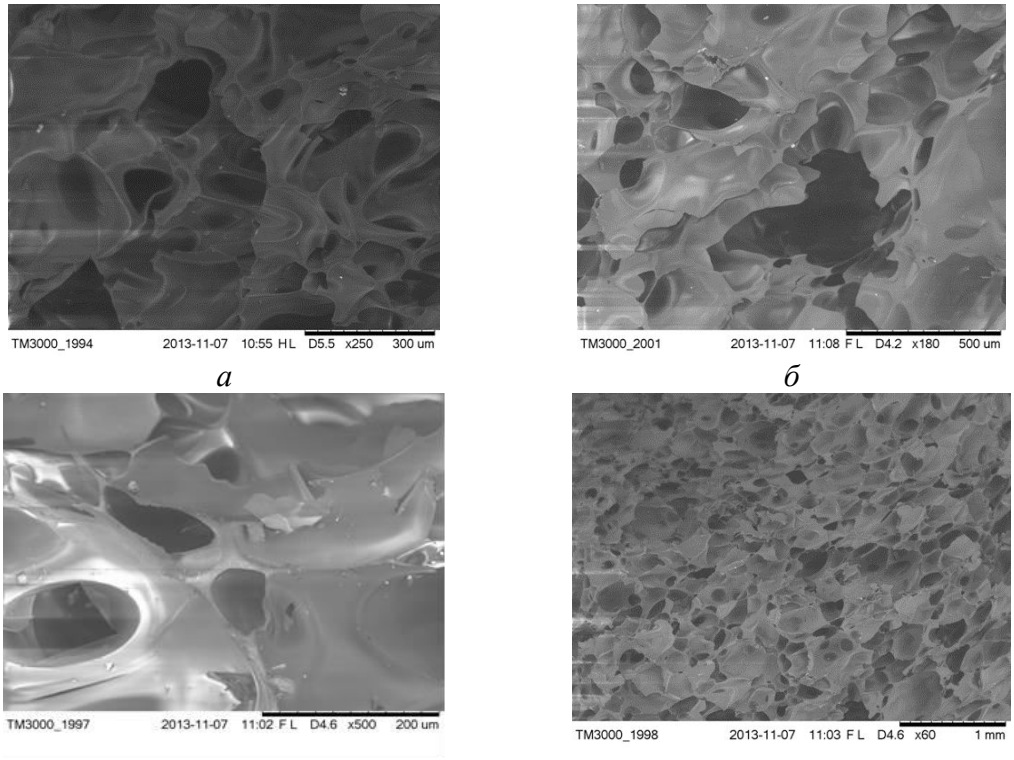
Таблица 2

Характеристики углеродных пен на основе древесных опилок

Концентрация раствора сахарозы, г/л	Плотность, г/см^3	Предел прочности при сжатии, МПа	Теплопро-водность, Вт/м·К	Электро-проводность, См/см
200	0,174	0,22	0,12	18,2
300	0,216	0,47	0,125	20,5
400	0,26	0,82	0,16	24,6
500	0,304	1,3	0,17	26,9
600	0,318	1,58	0,185	31,2
700	0,353	1,76	0,20	33,8

Видно, что повышенными физико-механическими и теплофизическими свойствами обладают углеродные пены, полученные из растворов с повышенной концентрацией сахарозы (600, 700 г/л).

На рисунке 2 в качестве примера представлены снимки структуры УП на основе древесных опилок, полученных с использованием сканирующей электронной микроскопии. Видно, что образец углеродной пены отличается нерегулярной структурой пор (рис. 2, *а*, *б*) с довольно крупными ячейками (рис. 2, *б*) и толстыми стенками между порами в виде витой ленты (рис. 2, *в*, *г*).



а *б*

в *г*

а, *б* – нерегулярная структура пор; *в*, *г* – витая лента

Рисунок 2. Снимки СЭМ углеродной пены, полученной из опилок

Таким образом, можно сделать заключение, что рассмотренные технологии получения углеродных пен, основанные на использовании названных выше исходных сырьевых материалов, представляют научный и практический интерес. Направления этих исследований являются несомненно актуальными, так как позволяют получать материалы с регулируемой пенистой структурой и заданным комплексом технических свойств, а также одновременно решать экологические проблемы, связанные с утилизацией, как правило, неиспользуемых отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Younger E.M.* Morbidity at bone graft donor sites / E.M. Younger, M.W. Chapman // J Orthop Trauma. – 1989. – 3(3). – pp. 192–195.

2. *Banwart J.C.* Iliac crest bone graft harvest donor site morbidity. A statistical evaluation / J.C. Banwart, M.A. Asher, R.S. Hassanein // Spine (Phila Pa 1976). – 1995. – 20(9). – pp. 1055–1060.

3. *Ebraheim N.A.* Bone-graft harvesting from iliac and fibular donor sites: techniques and complications / N.A. Ebraheim, H. Elgafy, R. Xu // J Am Acad Orthop Surg. – 2001. – 9(3). – pp. 210-218.

4. *St John T.A.* Physical and monetary costs associated with autogenous bone graft harvesting / T.A. St John et al. // AmJOrthop (BelleMeadNJ). – 2003. – 32(1). – pp. 18-23.

5. *Pec M.K.* Reticulated vitreous carbon: a useful material for cell adhesion and tissue invasion / M.K. Pec et al. // Eur Cells Mater. – 2010. – 20. – pp. 282-294.

6. *Chen Z.P.* Threedimensionalflexible and conductive interconnectedgraphene networks grown by chemical vapour deposition / Z.P. Chen, W.C. Ren, L.B. Gao, B.L. Liu, S.F. Pei, H.M. Cheng // Nat. Mater. – 2011. – 10. – pp. 424-428.

PROMISING TECHNOLOGIES FOR PRODUCING CARBON FOAM USING SECONDARY NATURAL RAW MATERIALS

Galimov R.I.

Supervisor: Sharafutdinova E.E., Associate Professor, Candidate of Psychological Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. A technology for producing carbon foam by high-temperature processing using cellular polyurethane impregnated with a solution of phenol-formaldehyde resin has been developed. The stages and operating parameters of foam formation have been considered. The foam structure has been studied using scanning electron microscopy.

УДК 621.762

ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКА БРОНЗЫ БРОФ10 ПЛАЗМЕННО-ДУГОВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

Гимазетдинова Ч.А.

Научный руководитель: Габдрахманов А.Т., доцент, к. т. н.

(Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Набережные Челны)

Аннотация. В данной работе предлагается способ порошка бронзы для аддитивных технологий плазменно-дуговым распылением. В качестве сырья для получения металлического порошка использовалась проволока бронзы марки БрОФ10-1 диаметром 1 мм. В работе проведены электронно-микроскопические исследования полученных порошков.

Плазменно-дуговое распыление превосходит другие методы атомизации (газовую, водную, центробежную) благодаря способности производить высокосферичные частицы с минимальным содержанием оксидов (<0.1%) и точным контролем гранулометрии (10-100 мкм). Этот метод обеспечивает более высокую чистоту материала за счет работы в инертной среде, позволяет эффективно перерабатывать дорогостоящие сплавы (бронзы, суперсплавы) и создавать композитные порошки с уникальными свойствами, недостижимыми при других способах распыления [1-2]. Ключевое преимущество - возможность обработки тугоплавких материалов (W, Mo, карбиды) с сохранением их химического состава, что критично для ответственных применений в аэрокосмической и медицинской промышленности.

Преимущество плазменно-дугового распыления обусловлена возможностью создания высококачественных сферических частиц с контролируемым размером (15–45 мкм), оптимальным для селективного лазерного плавления. Этот метод обеспечивает высокую чистоту и однородность состава (CuSn), улучшая текучесть порошка и снижая пористость готовых изделий, что критично для деталей с высокой теплопроводностью (теплообменники) и износостойкостью (подшипники). Плазменное распыление также позволяет перерабатывать отходы металлов, снижая себестоимость, и легировать порошки (Ni, P) для специализированных применений в аэрокосмической, электронной и медицинской отраслях.

В работе предлагается способ получения порошка бронзы для аддитивных технологий плазменно-дуговым распылением на разработанной установке [3-4]. В качестве сырья для получения металлического порошка использовалась проволока бронзы марки БрОФ10-1 диаметром 1 мм. Процесс распыления представлен на рисунке 1.

Рисунок 1. Газ аргон, p=6,5 атм, I=100А, U=110В, v=20м/мин (скорость подачи проволоки)

Исследование порошков проводилось на сканирующем электронном микроскопе «VEGA 3 LMH» производства компании TESCAN. Исследование порошков проводилось с поверхности и в сечении частиц.

При электронно-микроскопическом исследовании порошков выявлено (рисунок 2):

- частицы порошка преимущественно сферической формы;
- размеры частиц порошков составляют – ~ от 27 до 47 мкм.

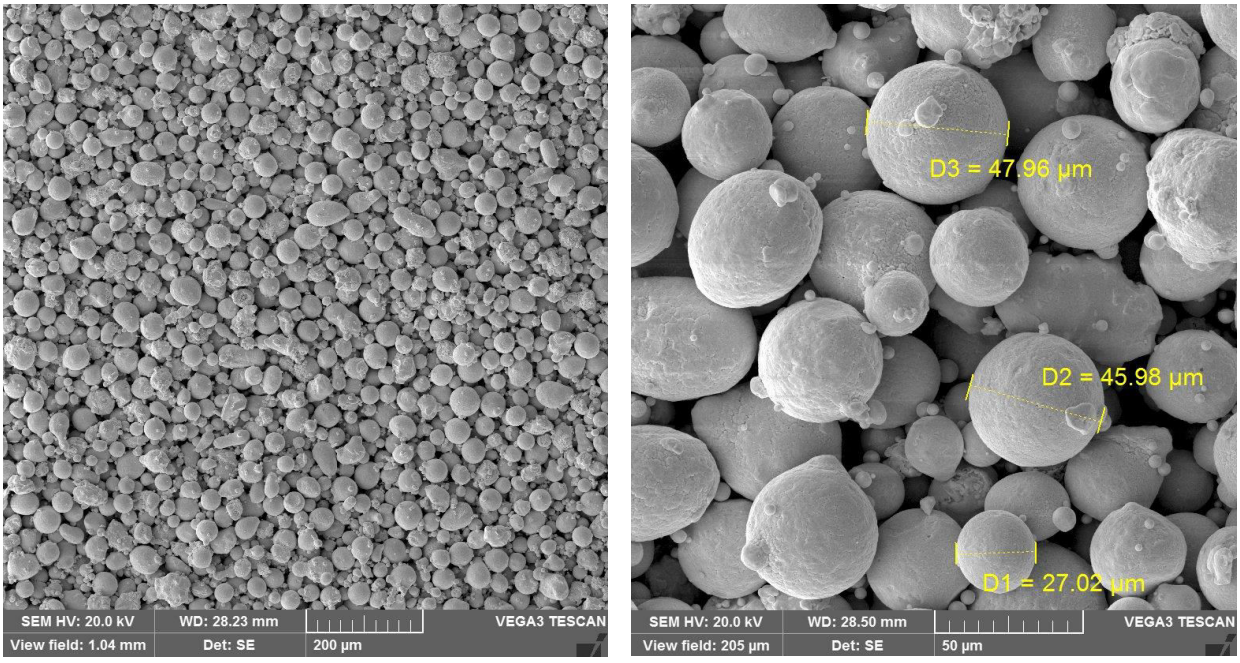


Рисунок 2. Внешний вид порошка

Результаты полуколичественного микроанализа порошков, полученные в сечении частиц, в пределах обнаружения данного метода представлены на рисунке 3 и в таблице 1.

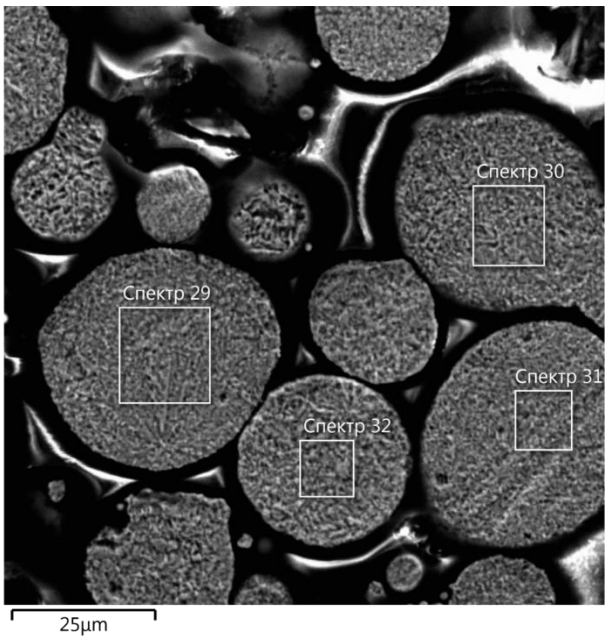


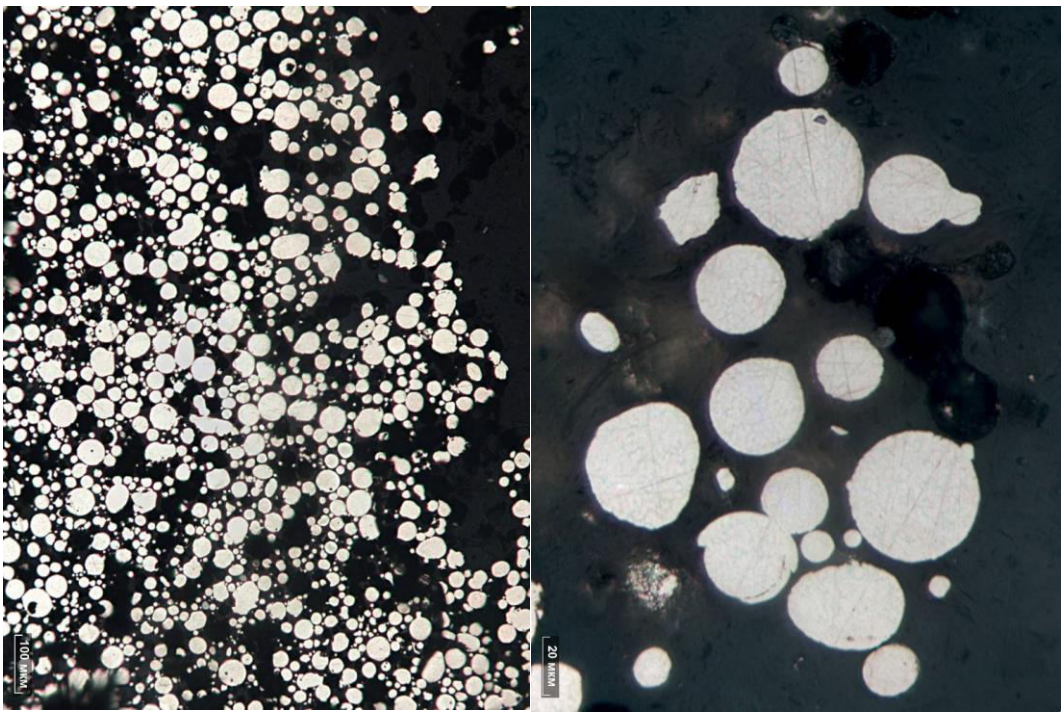
Рисунок 3. Электронное изображение частиц порошков

Таблица 1

Химический состав полученного порошка

Cu	Sn	Fe	Si	P	Al	Pb	Zn	Sb
89.3	9.1	0.1	0.01	0.6	0.02	0.2	0.3	0.3

Внешний вид частиц порошков в сечении микрошлифов представлен на рисунке 4.



x 100 x 500

Рисунок 4. Внешний вид частиц порошка в сечении микрошлифа (шлиф не травлен)

Микроструктура частиц порошков представлена на рисунке 5:

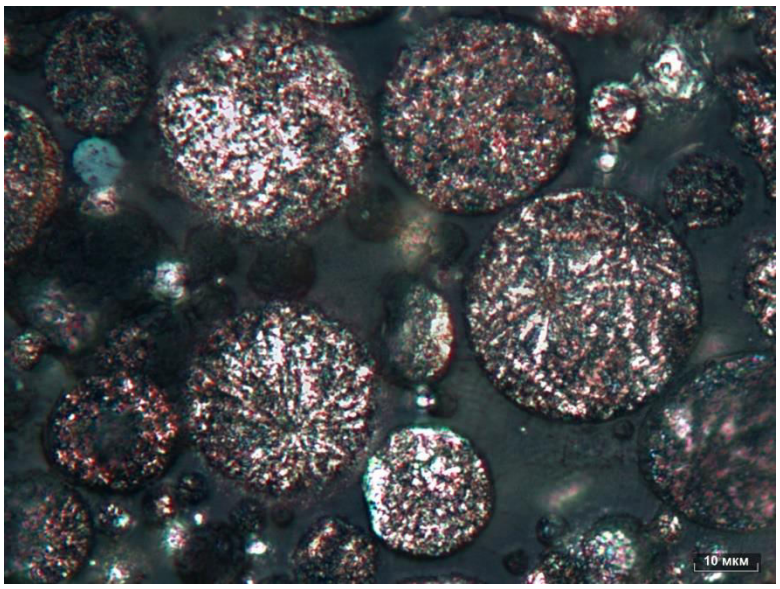


Рисунок 5. Микроструктура частиц порошка, х 1000 (шлиф травлен)

Плазменное распыление даёт высокосферичный бронзовый порошок с контролируемым составом и минимальным окислением. Метод обеспечивает однородность частиц, хорошую сыпучесть для SLM. Это позволяет производить качественные детали с улучшенными механическими и антифрикционными свойствами при экономически эффективном производстве.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан» (соглашение № 06/2024-ПД от 16.12.2024 г.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Сацкая, З.М.* О развитии аддитивных технологий в России / З.М. Сацкая// Аддитивные технологии. – 2021. – № 3. – С. 16–20.
2. Максимов, Н.М. Стратегия развития аддитивных технологий / Н.М. Максимов// Аддитивные технологии. – 2021. – № 4. – С. 10.
3. *Gabdrakhmanov, A T.* Study of the properties of metal powder received by plasma / A. T. Gabdrakhmanov, L. N. Shafigullin, T. F. Gabdrakhmanova //MATEC Web of Conferences. – 2019. –Article number 00050.
4. *Gabdrakhmanov, A.T.* Powder production of from low-alloy steel by flame atomization / A. T. Gabdrakhmanov, T. F. Gabdrakhmanova I.H. Israphilov, A.T. Galiakbarov// В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. 12. Сер. "Scientific Technical Conference on Low Temperature Plasma During the Deposition of Functional Coatings", LTP Coatings 2020".– 2021. – Article number 012019.

PRODUCTION OF BROF10 BRONZE POWDER BY PLASMA-ARC SPUTTERING

Gimazetdinova Ch.A.
Supervisor: Gabdrakhmanov A.T., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(*Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University, Naberezhnye Chelny*)

Abstract. This paper proposes a method for producing bronze powder for additive technologies using plasma-arc spraying. The raw material used to produce the metal powder was a 1 mm diameter bronze wire of the BrOF10-1 brand. The paper presents electron microscopic studies of the resulting powders.

УДК 543.42

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И МЕЖФАЗНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ТЕРМОПАР ХРОМЕЛЬ–АЛЮМЕЛЬ ПРИ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКЕ

Губайдуллин А.Н., Эксузьян Р.Б.

Научный руководитель: Курынцев С.В., доцент, к. э. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе выполнено исследование химического состава И межфазных взаимодействий в сварном соединении термоэлектродных сплавов хромель-алюмель, полученном методом контактной стыковой сварки проволок диаметром 1,2 мм. С помощью энергодисперсионного рентгеноспектрального анализа (EDS) определено распределение основных легирующих элементов (Ni, Cr, Al, Mn, Si, Co) по зонам сварного соединения.

Термопары типа K с термоэлектродами из сплавов хромель и алюмель широко применяются для измерения температур до 1000 °C благодаря высоким термоэлектрическим характеристикам этих сплавов. Надёжность и долговременная стабильность таких термопар во многом зависят от качества сварного соединения разнородных проводников. При контактной сварке сплавов на основе никеля с разным легированием в зоне спая возникает градиент химического состава, который влияет на структуру и свойства полученного соединения. Неоднородное распределение элементов может приводить к появлению вторичных фаз или хрупких интерметаллидов на границе раздела, что ухудшает механическую прочность спая и стабильность термоЭДС. В случае сплавов хромель–алюмель это особенно важно, так как они содержат различные легирующие компоненты (Cr в хромеле, Al, Mn, Si в алюмеле). Актуальность работы обусловлена необходимостью исследования процессов взаимной диффузии в таких соединениях и их влияния на формирование структуры. Полученные данные позволят обосновать оптимальные параметры сварки для обеспечения прочного соединения без вредных фазовых включений и сохранения требуемой точности термопары типа K. Следует отметить, что проволоки хромель и алюмель применяются, в частности, для авиационных термопар, что предъявляет повышенные требования к качеству сварного соединения [1].

Материалы и методика

В работе использованы термоэлектродные проволоки диаметром 1,2 мм из сплавов хромель и алюмель (марки НХ 9,5 и НМцАК 2-2-1 соответственно). Хромель представляет собой никелевый сплав с содержанием 89–91% Ni и 8,5–10% Cr (а также до 1% Co и суммарно ≤1,4% примесей Si, Mn, Fe и др.). Алюмель – это сплав на основе Ni (93–96% Ni), содержащий добавки 2% Al, 2% Mn, 1% Si и 0,6–1,2% Co. Данные сплавы соответствуют требованиям ГОСТ 1790–2016 и технических условий ТУ 48-21-172-72 для термоэлектродной проволоки [2, 3].

Соединение проволок хромель–алюмель выполнено методом контактной стыковой сварки (рисунок 1). Концы проволок плотно прижимались друг к другу и нагревались электрическим током до пластического состояния контактных поверхностей, после чего осуществлялась осадка (осевое сжатие), образуя прочный сварной стык. Данный способ обеспечивает интенсивный нагрев и быструю сварку без присадочных материалов за счёт сопротивления контакта, что важно для чистоты спая и минимизации окисления.

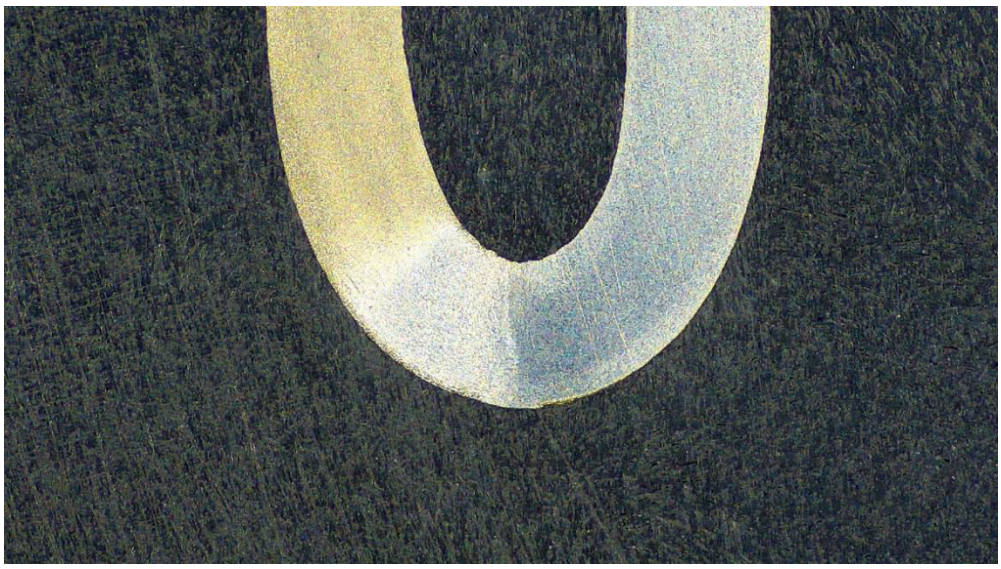


Рисунок 1. Макроструктура сварного соединения термопары Х-А

Химический состав сварного соединения был исследован методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS). Поперечный шлиф через центр соединения проанализирован в растровом электронном микроскопе. Были сняты 9 точечных EDS-спектров в характерных зонах: в центре сварного шва, в зонах термического влияния (ЗТВ) со стороны каждого из сплавов, а также в областях основного металла хромелевой и алюмелевой проволоки (рисунок 2) [4].

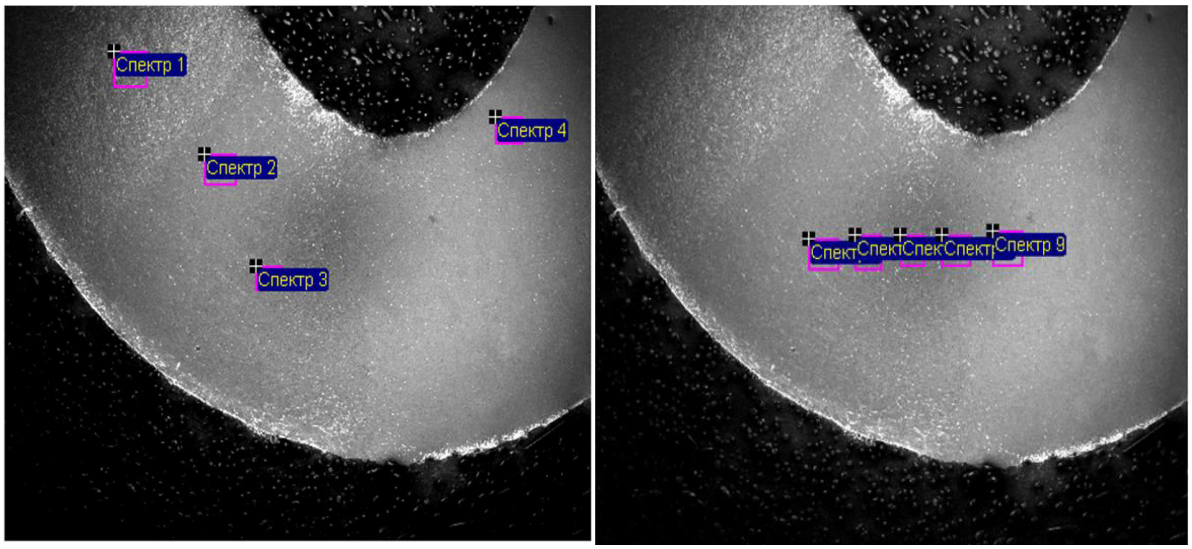


Рисунок 2. Зоны съема спектров EDS на сварном соединении хромель-алюмель

Определялись массовые концентрации элементов Ni, Cr, Al, Mn, Si, Co (все результаты нормированы до 100%). Полученные средние значения содержания элементов по основным зонам соединения представлены в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав по зонам сварного соединения хромель–алюмель (масс. %)

Зона соединения	Ni	Cr	Al	Mn	Si	Co
Хромель, основной металл	88,8	10,4	-	-	0,2	0,6
Хромель, ЗТВ	88,8	10,1	0,4	0,6	-	-
Сварной шов (центр)	91,2	4,5	1,2	1,3	0,9	1,0
Алюмель, ЗТВ	93,4	-	1,9	2,6	1,3	0,8
Алюмель, основной металл	93,4	-	2,1	2,3	1,5	0,7

Из таблицы видно, что основные отличия в составе между сплавами проявляются в содержании хрома (Cr) и алюминия с сопутствующими элементами (Al, Mn, Si). В хромеле основного металла около 10% Cr и практически отсутствуют Al, Mn, Si, тогда как алюмель содержит 2% Al, 2% Mn, 1–1,5% Si и не содержит Cr. После сварки в центре шва наблюдается взаимное распределение этих элементов: концентрация Cr в шве снижается примерно до 4,5%, зато появляются Al (1,2%), Mn (1,3%) и Si (0,9%) – результат разбавления хромеля алюмелем и диффузии элементов из алюмеля. Одновременно, содержание Ni в зоне шва остаётся высоким (91%) за счёт того, что оба сплава имеют никелевую основу. Можно отметить, что в ЗТВ хромелевой стороны фиксируются следы диффузии элементов из алюмеля (до 0,4% Al и 0,6% Mn), хотя в целом состав там близок к основному хромелю. Аналогично, со стороны алюмеля в ЗТВ наблюдается небольшое обогащение кобальтом (до 0,8%) и марганцем (2,6%, несколько больше, чем в основном алюмеле) – вероятно вследствие диффузионного притока из зоны шва, – при небольшом снижении Al и Si по сравнению с исходным составом (с 2,07% до 1,9% Al и с 1,48% до 1,3% Si, см. табл.). В целом распределение имеет непрерывный характер: резкой границы между сплавами после сварки не наблюдается, состав меняется постепенно от хромелевой к алюмелевой стороне (рисунок 3).

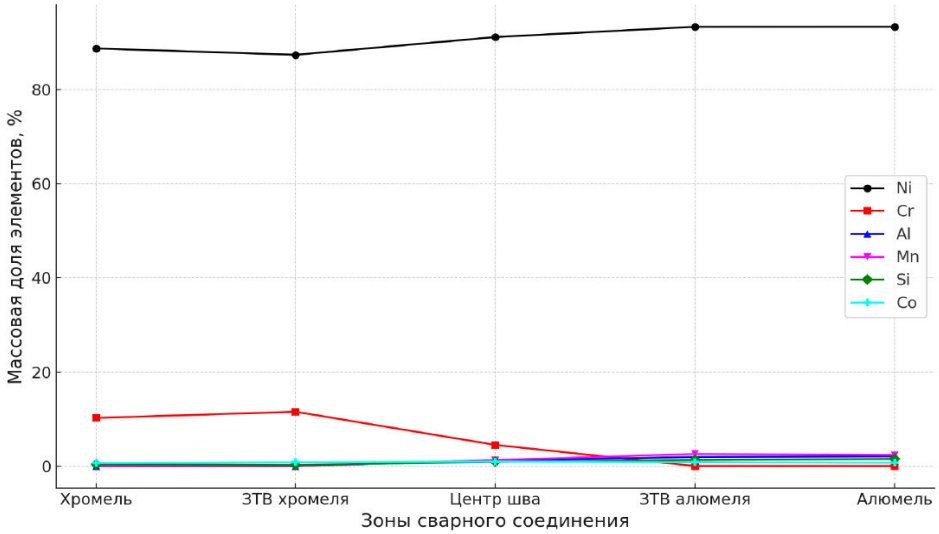


Рисунок 3. Распределение содержания элементов (мас.%) в соединении (по горизонтали от левого края: хромель, ЗТВ хромеля, центр шва, ЗТВ алюмеля, алюмель)

Как показано на приведённом графике, при переходе от хромеля (слева) к алюмелю (справа) концентрация хрома монотонно уменьшается с 10% до нуля, а содержание алюминия, марганца и кремния, напротив, возрастает от следовых количеств до уровней основного сплава алюмель. Никель (Ni) во всех зонах остаётся основным компонентом (90% и выше) и лишь слегка увеличивается в доле на алюмелевой стороне, что отражает более высокое исходное содержание Ni в алюмели. Кобальт (Co) присутствует в небольших количествах с обеих сторон (<1%) и распределён относительно равномерно (0,6–0,8%), не образуя заметного градиента. Такое перераспределение элементов свидетельствует о взаимной диффузии между сплавами в процессе сварки. При нагреве и контакте расплавленных (или сильно разогретых) концов проволок происходит взаимное растворение компонентов хромеля и алюмеля, формируя переходную зону со смешанным химическим составом. Градиент концентраций сосредоточен в узкой области вокруг плоскости спая – это типично для контактной стыковой сварки, характеризующейся коротким временем высокотемпературного воздействия и быстрым охлаждением, что ограничивает глубину диффузионного проникновения элементов.

Обсуждение результатов: межфазные взаимодействия

Результаты показывают, что в сварном соединении хромель–алюмель формируется металлически непрерывная структура без резкой границы раздела между сплавами. Диффузионное перемешивание на атомном уровне привело к тому, что бывшая граница превратилась в зону постепенного перехода состава. Это благоприятно с точки зрения прочности: отсутствует тонкий слой хрупких интерметаллидных соединений, который мог бы быть очагом трещинообразования. Напротив, материал шва представляет собой твёрдый раствор на основе Ni, легированный умеренным количеством Cr, Al, Mn, Si и Co – по сути, смесь исходных сплавов. Оба исходных сплава (хромель и алюмель) имеют сходную кристаллическую решётку (гранецентрованную кубическую структуру Ni) и близкие коэффициенты термического расширения, поэтому их смесь сохраняет ту же фазовую основу. В полученном градиентном сплаве не обнаружено новых фаз: все легирующие элементы остаются в твёрдом растворе. Это объясняется тем, что концентрации диффундировавших элементов относительно невелики. Например, алюминий в зоне шва достигает 1–2%, тогда как для образования отдельной интерметаллидной фазы Ni_3Al требовалось бы порядка 6–8% Al при соответствующей термообработке. Хром, несмотря на локальное снижение концентрации возле шва, остаётся в пределах растворимости в Ni (даже максимальные 10% Cr в хромеле далеки от концентраций, при которых выделяется σ-фаза или другие хрупкие соединения). Марганец и кремний также распределены в небольших долях, образуя твёрдый раствор в Ni. Таким образом, межфазное взаимодействие реализуется через диффузию без химической реакции образования новых фаз. Происходит взаимное обогащение прилегающих областей: хромелевая сторона ЗТВ слегка обогащается Al и Mn из алюмеля, а алюмелевая сторона – незначительно Co. В центре спая образуется состав, близкий к среднемассивному (примерно половина хромеля + половина алюмеля по основным легирующим элементам), что указывает на интенсивное перемешивание материалов в процессе сварки [5].

Стоит отметить, что полученный плавный химический градиент благоприятно сказывается на свойствах термопары. Во-первых, с точки зрения механики прочности отсутствуют хрупкие интерметаллиды на границе: соединение представляет собой единый материал без внутренних прослоек, способных снижать прочность. Во-вторых, с точки зрения работы термопары, плавное сопряжение компонентов минимизирует появление дополнительных термоЭДС на внутренних границах спая. Известно, что термоЭДС термопары определяется разницей составов термоэлектродов по разные стороны спая. В нашем случае разница сохраняется (хромель по-прежнему содержит Cr, а алюмель – Al, Mn и др.), однако переход этих элементов через шов непрерывен, что предотвращает образование новых «паразитных» термопар внутри самого спая. Диффузионный слой действует как мягкий переход, а не как отдельная третья фаза, поэтому основная термоЭДС типа K (ХА) не искажается существенно. Более того, отсутствие каких-либо фазовых превращений в зоне шва при рабочих температурах гарантирует стабильность показаний термопары со временем [5].

Заключение

В результате проведённого исследования установлено, что контактная стыковая сварка проволок хромель–алюмель обеспечивает образование монолитного соединения с плавным градиентом химического состава. Распределение элементов в спае показало постепенное снижение содержания хрома от хромелевой стороны к алюмелевой и, соответственно, встречное увеличение содержания алюминия, марганца и кремния – без разрывов и межметаллических прослоек. Межфазные диффузионные процессы привели к взаимному растворению компонентов сплавов, образовав единый твёрдый раствор никеля, легированный этими элементами. Такой химический градиент способствует формированию прочного и пластичного сварного соединения: не образуются вредные хрупкие фазы, способные снизить механическую прочность или стабильность термоэлектрических свойств. Полученное сварное соединение по составу соответствует требованиям к термоэлектродам

типа K и обеспечивает надёжную работу термопары. Таким образом, установлено, что при контактной стыковой сварке проволок хромель–алюмель формируется высококачественное соединение, удовлетворяющее требованиям нормативных документов и обладающее необходимыми эксплуатационными характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Рогельберг И. Л., Бейлин В. М.* Сплавы для термопар: Справочное издание. – М.: Металлургия, 1983. – 360 с.

2. ТУ 48-21-172-72. Проволока из сплавов хромель Т и алюмель вакуумной плавки для термоэлектродов авиатермопар. Технические условия. – М.: МАП, 1972. – 12 с.

3. ГОСТ 1790-2016. Проволока из сплавов хромель Т, алюмель, копель и константан для термоэлектродов термоэлектрических преобразователей. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2017. – 14 с.

4. *Бургонова О.Ю., Жавнеров А.Н.* Методы исследования, контроля и испытания материалов: учебное пособие. — Омск: ОмГТУ, 2016. — 124 с.

5. Термопара хромель-алюмель. Характеристики термопары, ее применение, описание сплавов. Электронный ресурс: копель.рф. URL: https://копель.рф/термопара-хромель-алюмель/?ysclid=mcdw6ucnm8808033102 (дата обращения: 23.06.2025).

CHEMICAL COMPOSITION AND INTERPHASE INTERACTIONS IN CHROMEL-ALUMEL THERMOCOUPLE WELDED JOINTS PRODUCED BY CONTACT BUTT WELDING

Gubaidullin A.N., Exuzyan R.B.

Supervisor: Kuryntsev S.V., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This study investigates the chemical composition and interphase interactions in a welded joint of thermoelectrode alloys Chromel–Alumel, produced by contact butt welding of wires with a diameter of 1.2 mm. Using energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS), the distribution of major alloying elements (Ni, Cr, Al, Mn, Si, Co) across the weld zones was determined.

УДК 678.026:621.793

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ УЗЛОВ

Гусев Д.В., Гавричев И.В., Ремшева А.Е.

Научный руководитель: Ремшев Е.Ю., доцент, к. т. н.

(Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт – Петербург)

Аннотация. В работе рассматривается разработка технологического процесса изготовления полимерных композиционных узлов сложной топологии с заданными свойствами поверхностей и физико-механическими свойствами ориентированного на оптимизацию свойств и характеристик деталей и узлов, применяемых в силовых агрегатах и комплексах различного назначения. Целью исследования является создание технологического процесса и оборудования для апробации, а так же разработка алгоритма (математической модели) формирования заданных свойств. Исследуемый процесс позволит получать поверхности с заданными физико-механическими и эксплуатационными свойствами, способные обеспечить повышенную износостойкость, коррозионную защиту, снизить коэффициент трения и увеличить срок службы оборудования.

Введение

Современное машиностроение предъявляет все более высокие требования к характеристикам узлов и деталей, работающих в условиях интенсивных нагрузок и трения. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) с их уникальным сочетанием прочности, легкости, коррозионной стойкости и трибологических свойств - представляют собой перспективную альтернативу традиционным материалам. В связи с этим, разработка эффективных технологических процессов формирования полимерных композиционных покрытий является актуальной задачей, направленной на повышение надежности, долговечности и производительности силовых и трибологических узлов. Работа посвящена исследованию и разработке нового технологического процесса формирования ПКМ покрытий с целью применения новых технологических решений при проектировании и изготовлении узлов и деталей различного назначения [1, 2].

Материалы и методы исследования

В работе описан новый способ формирования полимерных композиционных узлов сложной топологии с заданными свойствами поверхностей и проведена его опытно технологическая апробация с использованием спроектированного испытательного стенда для тяжелых грузовых автомобилей.

Методы нанесения композиционных покрытий разнообразны и зависят от многих факторов, включая тип материала покрытия, требуемые свойства покрытия, форму и размер детали, а также экономические соображения. Композиционные покрытия, в отличие от однокомпонентных, состоят из двух или более материалов, что позволяет комбинировать желаемые свойства каждого из компонентов [1].

В исследовании была рассмотрена смола ЭД20 - это эпоксидная смола, которая является одним из распространенных представителей этого класса полимерных материалов. Она обладает хорошими эксплуатационными характеристиками и широко используется в различных областях промышленности [4].

Эксперименты и химические опыты были выполнены в лаборатории «Материя» в городе Санкт-Петербург. Было разработано более 200 полимерных образцов, которые были испытаны на кафедре Е4 БГТУ «ВОЕНМЕХ» на испытательной машине SHIMADZU (рисунок 1).

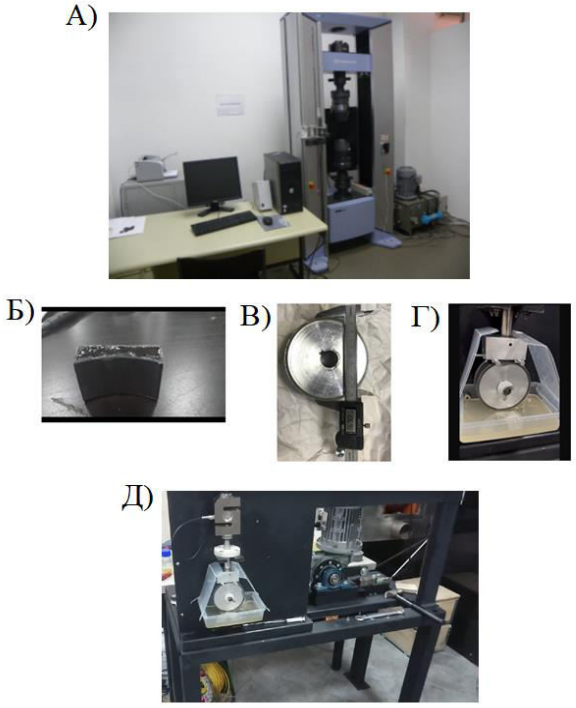


Рисунок 1. Используемое оборудование для апробации технологического процесса, где, А – испытательная машина SHIMADZU, Б – Композитный материал №1, В – Композитный материал №2, Г – Исследуемая пара трения, Д – Машина трения

Метод испытания полимеров трением позволил оценить: износостойкость, коэффициент трения и другие характеристики, связанные с другой поверхностью при движении. С помощью расчетов и проведенного эксперимента были определены:

1. Износостойкость – было измерено количество материала, удаленного с поверхности полимера при долговременном трении.

2. Определение коэффициента трение – измерена сила трения, возникающая между полимерной поверхностью и второй поверхностью (алюминий).

3. Оценка усталостной прочности – определена стойкость полимера к многократным циклам трения.

Разработанный композитный материал характеризуется оптимизированным составом, требующим прецизионного смешивания компонентов. Процесс подготовки материала включает контроль времени смешивания и строгую последовательность введения связующих элементов для обеспечения гомогенности и необходимых реологических свойств.

Нанесение композита на металлический вал осуществляется в два слоя с использованием специализированного оборудования - разработанной формообразуюшей машины - рисунок 2 (А, Б). Последующее нанесение парафинового разделительного слоя обеспечивает минимизацию адгезии к формообразующим элементам. Завершающим этапом является формование вращающегося элемента посредством заполнения силиконовых форм (12 шт.), содержащих графитовые смазочные вставки вместе со вторым композитным составом. Многоступенчатый процесс обеспечивает достижение оптимальных физико-механических характеристик материала, снижение коэффициента трения и повышение эксплуатационной эффективности вала.

Принципиальная схема формирования слоёв показана на рисунке 3 (А).

Процесс нанесения и принципиальная схема показаны на рисунке 6 (А), (Б).

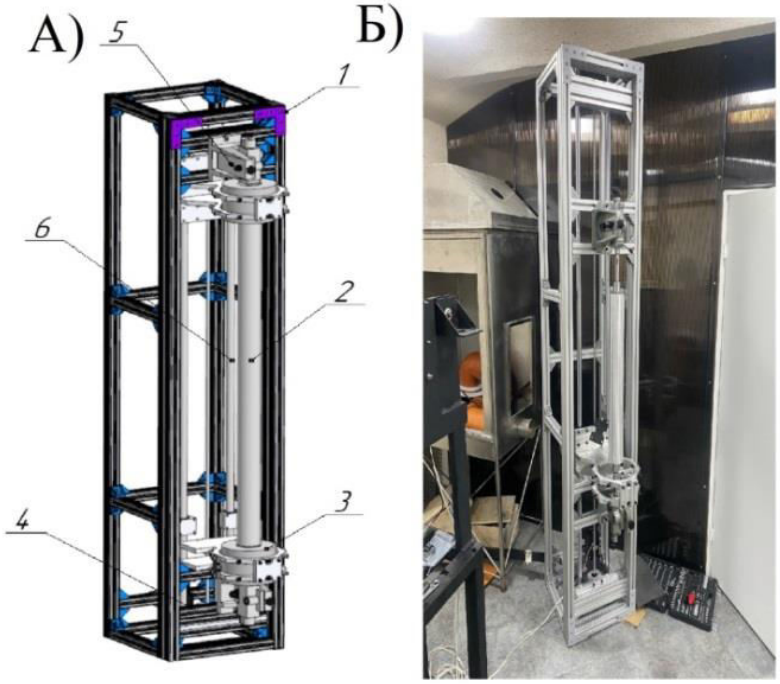


Рисунок 2. Разработанная машина нанесения композита, где, А –3D модель машины (1 – рама, 2 – вал, 3 – формующая воронка, 4 – привод, 5 – бабка центрующая, 6 – прецизионная направляющая), Б – Фото машины в сборе

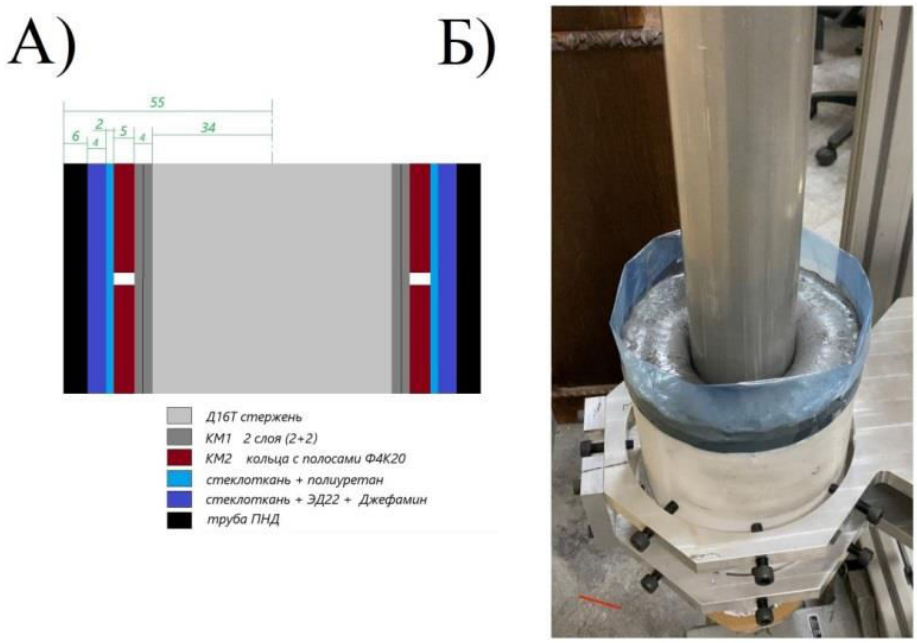


Рисунок 3. Представление принципа работы машины, где, А – Принципиальная схема формирования слоев, Б – Процесс формирования первого слоя вид сверху

Для проверки прочностных характеристик и подтверждения соответствия эксплуатационным требованиям изготовленных роликов был разработан и собран специализированный испытательный стенд на базе шасси автомобиля Урал. Конструкция стенда позволяет проводить комплексные испытания роликовых узлов в условиях, максимально приближенных к реальным эксплуатационным нагрузкам. Фотография рабочего прототипа испытательного стенда представлена на рисунке 4.

Рисунок 4. Фото стенда испытания полимерных роликов

Применение полимерных валов скольжения в испытательном стенде обеспечивает ряд ключевых преимуществ. Композиционные полимеры, разработанные для данных условий, демонстрируют низкий коэффициент трения, что снижает энергопотребление и износ вращающихся элементов. Демпфирующие свойства полимеров позволяют минимизировать шум и вибрацию, что повышает точность измерений. Также, полимеры отличаются высокой коррозионной стойкостью и меньшей массой по сравнению с металлическими аналогами, обеспечивая надежность и легкость конструкции [3]. Отличительной особенностью полимерных роликов подшипниковых является то, что полимерные ролики могут работать в суровых условиях эксплуатации (грязь, солёная вода, высокие или низкие температуры). Это особенность и легла в основу проектирования композиционных роликов, так как испытания

автомобилей и сам стенд будет работать в суровых условиях эксплуатации, где обычные подшипники быстро выходили бы из строя.

Результаты

В рамках проведенного исследования по разработке технологического процесса нанесения полимерных композиционных покрытий для использования в испытательном оборудовании с тяжелыми условиями эксплуатации были получены следующие результаты.

1. Проведен анализ существующих методов нанесения полимерных композиционных покрытий, применяемых в различных отраслях промышленности, включая напыление, окунание, центрифугирование, валковое нанесение и другие. Определены оптимальные составы полимерных композиций для различных типов оборудования, обеспечивающие наилучшие эксплуатационные характеристики.

2. Разработан технологический процесс нанесения полимерных композиционных покрытий, включающий следующие основные этапы: разработана формула композита на основе смолы ЭД20, и вычислены основные связующие элементы, обеспечивающие максимальную эффективность полимера при затвердевании для использования его при апробациях.

3. Определены оптимальные параметры для каждого этапа процесса (температура, время, скорость, давление), обеспечивающие получение качественного покрытия с заданными характеристиками. Спроектировано и изготовлено специализированное оборудование для реализации разработанного технологического процесса.

Заключение

Проведенное исследование, посвященное разработке технологического процесса нанесения полимерных композиционных покрытий, было направлено на оптимизацию свойств и характеристик деталей и узлов, используемых в различных агрегатах и комплексах. Результаты проведенного исследования имеют как теоретическое, так и практическое значение.

Разработанный подход позволяет лучше понять взаимосвязь между составом полимерных композиций, технологическими параметрами процесса нанесения и характеристиками получаемых покрытий. Это способствует развитию научных знаний в области материаловедения и технологии полимерных покрытий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Федоренко В.А.* Справочник по машиностроительным материалам. – М.: Машиностроение, 2009. – 320 с.

2. *Клюев В.В., Сенин В.С.* Методы контроля качества покрытий. – М.: Спектр, 2008. – 256 с.

3. *Бобров А.А.* Применение полимерных композиционных материалов в машиностроении. – М.: Академия, 2016. – 208 с.

4. *Исаев В.А., Шадрин А.А.* Полимерные композиционные материалы в машиностроении. – М.: Академия, 2021. – 192 с.

TECHNOLOGY FOR FORMING POLYMER COMPOSITE COATINGS FOR DESIGNING POWER AND TRIBOLOGICAL UNITS

Gusev D.V., Gavrichev I.V., Remsheva A.E.

Supervisor: Remshev E.Yu., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Baltic State Technical University "VOENMEH" named after D.F. Ustinov, St. Petersburg)

Abstract. This paper discusses the development of a technological process for manufacturing polymer composite units with complex topology, having specified surface properties and physico-mechanical characteristics. The process is aimed at optimizing the properties and performance of parts and assemblies used in power units and systems of various purposes. The research focuses on creating a technological process and equipment for testing, as well as developing an algorithm (mathematical model) for forming the desired properties. The studied

process will enable the production of surfaces with predetermined physico-mechanical and operational properties, capable of providing enhanced wear resistance, corrosion protection, reduced friction coefficient, and extended equipment service life.

УДК 667.6

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЫБОРА СМОЛА И ТИПА НАПОЛНИТЕЛЯ В ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ

Долгова А.В.
Научный руководитель: Валеева А.Р., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Эпоксидные композиции на основе смолы ЭДП демонстрируют снижение механических характеристик по сравнению с импортной смолой. Оптимальные механические свойства композиций на основе импортной смолы получены при модификации 20 мас. ч. активированного цеолита и 15 мас. ч. вулканического цеолита на 100 мас. ч. связующего. Результаты испытаний показали увеличение следующих показателей: прочности при изгибе на 89,8 % и 59,9 %; прочности при отрыве на 35,2 % и 15,5 %; твердости на 43,0 % и 13,0 %.

Методика эксперимента: в качестве полимерной матрицы для композитов использовались жидкие реакционноспособные олигомерные продукты:

- ЭДП, произведенная ООО Полипласт-УралСиб (ТУ 20.16.40–175-58042865-2024).
- CYD 128, поставленная китайской фирмой Sinopec.

В роли дисперсных наполнителей эпоксидных композиций применялись:

- вулканический цеолит (далее – ЦВ);
- активированный цеолит (далее – ЦА).

Наполнители получены компанией ООО «ЦЕО ГРУПП», являющейся проверенным производителем высококачественных и экологически чистых природных цеолитов, добываемых из российских месторождений.

Получение «активированного» цеолита несколько отличается от других активированных модификаторов. Он прокаливается в печи при 150-300 °С с целью удаления влаги.

Для создания композиционного материала олигомерные продукты (ЭДП, CYD 128) смешивали с отвердителем АФ-2 в пропорции 100 мас. ч.: 15 мас. ч. Отверждение полимерных матриц совместно АФ-2 осуществлялось при комнатной температуре 23-25 °С в течение недели.

Для получения модифицированного композита, в полимерную матрицу вводили наполнители – активированный и вулканический цеолиты – в диапазоне 5-25 мас. ч. на 100 мас. ч. эпоксидного олигомера. Смесь эпоксидной смолы и наполнителя перемешивали на протяжении 1,5 минут, далее добавляли 15 мас. ч. отвердителя и продолжали смешивать в течение 3 минут. Перемешивание выполнялось стеклянной палочкой по часовой стрелке.

Измельчение порошка проводилось при помощи планетарной мельницы «Активатор 2SL» ГОСТ 10141-91.

Размер частиц наполнителей определялся методом лазерной дифракции при помощи прибора Analysette 22 Micro Tec Plus, в соответствии с ГОСТ Р 8.777-2011. Пределы допускаемой относительной погрешности измерений размера частиц ± 10 %.

Твердость определялась на переносном твердомере NOVOTEST ТШ-Ц по методу Шора по шкале D в диапазоне от 0 до 100 HSD, при внедрении твердосплавного стержня с углом 26° при вершине и минимальным диаметром 0,157 мм,, в пределах 20-90 единиц по

шкале «D» Шора, с погрешностью измерений ± 1 HD до второго знака после запятой. Суть метода определения твердости материалов по Шору заключается в вдавливания в материал определённого индентора под действием силы в заданных условиях по ГОСТ 24621-91.

Определение адгезии методом отрыва к стальным тавровым и алюминиевым соединениям производилось, в соответствии с ГОСТ 32299-2013 (ISO 4624:2002, MOD) на приборе Shimadzu AG-50 kNX, при использовании программного обеспечения Shimadzu Trapiziumx. На заготовки для испытаний одинаковой толщины и текстуры поверхности наносят испытуемое эпоксидное покрытие и склеивают их при помощи клея ВК-27. Результатом испытания принимается усилие отрыва, необходимое для нарушения адгезии в исследуемом покрытии Точность скорости траверсы 0,1 %. Пределы допускаемой относительной погрешности измерений ± 0,1 %.

Определение прочности при изгибе проводилось в соответствии с ГОСТ 4648-2014 (ISO 178:2010) на приборе Shimadzu AG-50 kNX при использовании программного обеспечения Shimadzu Trapiziumx. Точность скорости траверсы 0,1 %. Пределы допускаемой относительной погрешности измерений ± 0,1 %. Для определения средних значений, толщину и длину образца измеряют в центре каждого испытуемого образца с погрешностью ± 1 %. Скорость испытания 1 мм/мин, допускаемые отклонения ± 20 %, радиус нагружающего наконечника и радиус краев опор имели следующие размеры: R1 = (5,0 ± 0,2) мм; R2 = (2,0 ± 0,2) мм, при толщине образца до 3 мм (5,0 ± 0,2) мм. Система измерения нагрузки - в соответствии с требованиями для группы машин 0-У по ГОСТ 28840 (предел допускаемой погрешности ± 0,5 % измеряемой нагрузки).

Обсуждение результатов: из литературных источников известно, что повышение прочностных характеристик эпоксидных композиций достигается при наполнении их цеолитом природного происхождения, для усиления адгезионного взаимодействия на границе полимер-наполнитель используют активацию поверхности алюмосиликатов [1-2].

В частности, описана [3-4] высокая структурирующая способность органомодифицированных природных цеолитов. В связи с этим, актуально изучение наполнения эпоксидных композиций природным цеолитом, в том числе с активированной поверхностью.

Экспериментальные данные показали, что с ростом содержания в эпоксидных композициях как вулканического, так активированного цеолитов растет прочность при изгибе наполненных композиций (рис. 1-2).

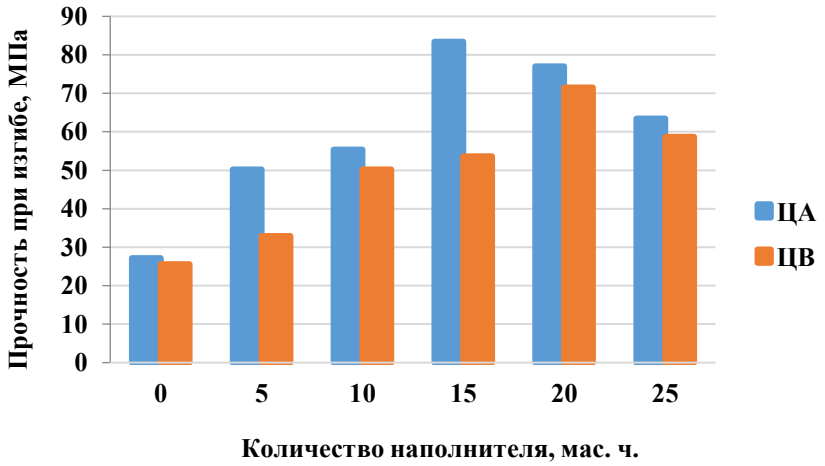


Рисунок 1. Зависимость прочности при изгибе эпоксидных композиций с матрицей ЭДП от концентрации и типа наполнителя

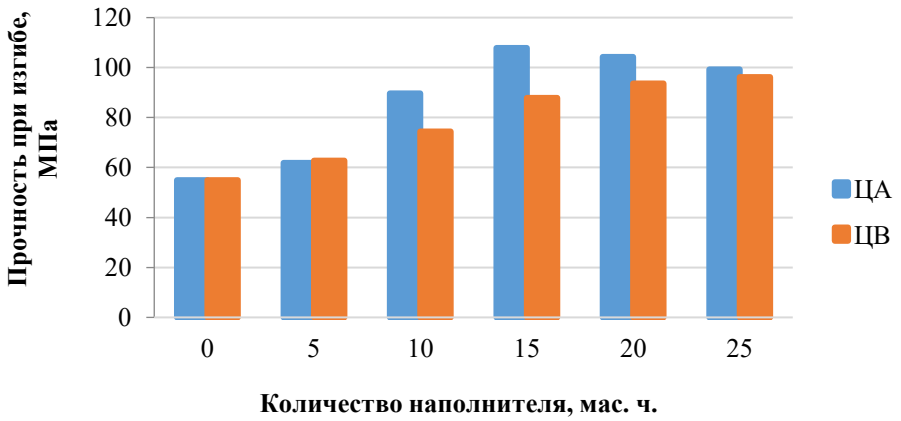


Рисунок 2. Зависимость прочности при изгибе эпоксидных композиций с матрицей CYD 128 от концентрации и типа наполнителя

Экспериментальным путем зафиксировано, что максимальные значения прочности при изгибе со смолами ЭДП и CYD 128 достигаются при содержании 15 мас. ч. наполнителя. Это характерно как для активированного, так и вулканического цеолитов.

При наполнении растут также адгезионная прочность к стали (рис. 3-4), твердость (рис. 5-6).

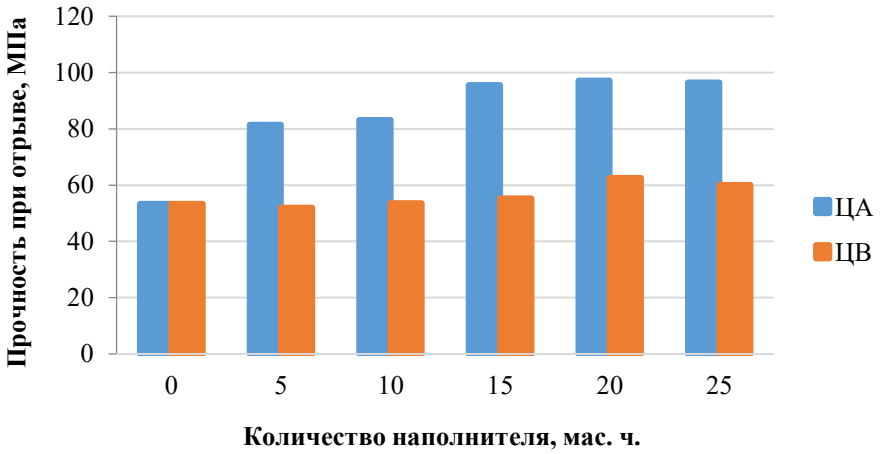


Рисунок 3. Зависимость прочности при отрыве эпоксидных композиций с матрицей ЭДП от концентрации и типа наполнителя

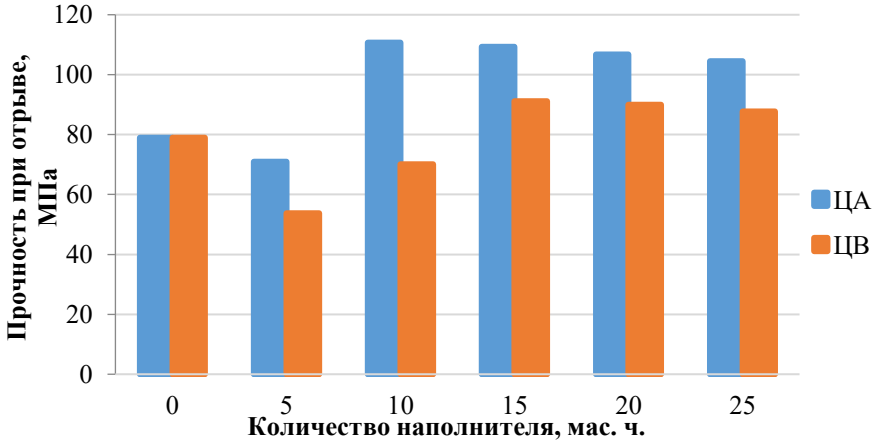


Рисунок 4. Зависимость прочности при отрыве эпоксидных композиций с матрицей CYD 128 от концентрации и типа наполнителя

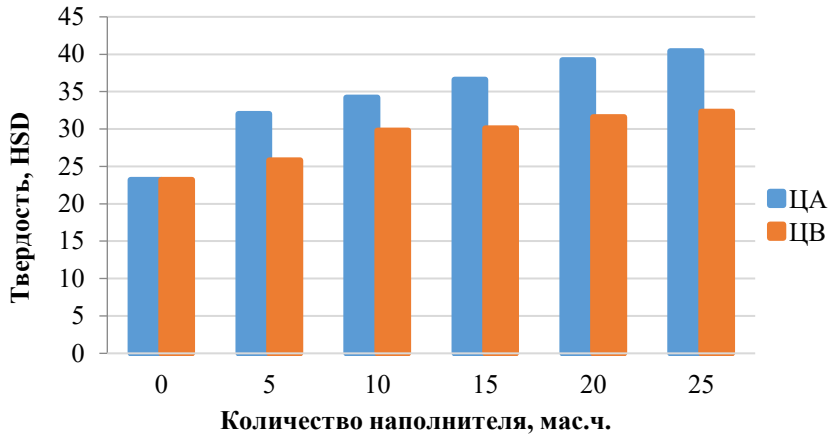


Рисунок 5. Зависимость твердости эпоксидных композиций с матрицей ЭДП от концентрации и типа наполнителя

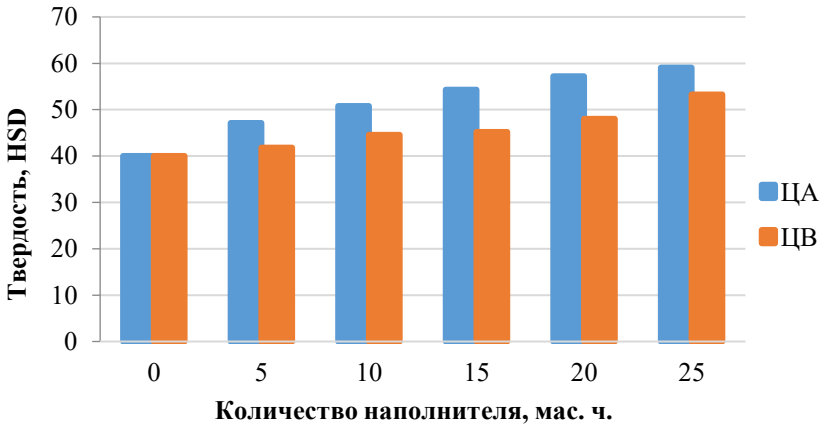


Рисунок 6. Зависимость твердости эпоксидных композиций с матрицей CYD 128 от концентрации и типа наполнителя

Причем, эти параметры выше (примерно, на 66 %, 15 % и 21 %, соответственно) для материалов с активированным цеолитом, по сравнению с вулканическим алюмосиликатом.

Это можно связать с более высокой эффективностью межфазных взаимодействий в его случае, и существенным различием фазового и химического состава данных алюмосиликатов, согласно таблицам 1-2.

Таблица 1

Фазовый состав цеолитсодержащих модификаторов

№ п/п	Тип наполнителя	Фазовый состав	Содержание, % масс
1	ЦА	Клиноптилолит Монтмориллонит Кварц Опал-кристобалит Кальцит	20-30 20-30 4,6-11,3 20-30 10,6-20,1
2	ЦВ	Клиноптилолит Рентгеноаморфная фаза Кварц Плагиоклаз Доломит Гидрослюда	75 8 9 3 1 4

Таблица 2

Химический состав цеолитсодержащих модификаторов

Химические соединения	Содержание, %	
	ЦА	ЦВ
SiO_2	57,12-66,34	71,4
Al_2O_3	5,74-6,51	11,9
CaO	14,6-18,75	1,26
K_2O	1,06-1,8	3,02
Fe_2O_3	1,32-2,7	1,14
MgO	1,33-1,8	0,45
Na_2O	0,04-0,25	2,086
TiO_2	0,25-0,36	0,16
MnO	0,0-0,01	0,034
P_2O_5	0,08-0,49	0,02

Высокая эффективность модифицирующего действия цеолитов, которая отражается в росте до 70 % прочности на изгиб, до 88 % адгезии к стали, до 42 % твердости связана с относительно высокой пористостью [5] обоих алюмосиликатов (удельная поверхность макропор 18-21 $м^2/г$).

При наполнении вулканическим цеолитом твердость эпоксидных полимеров практически остается на уровне базового состава, что обусловлено, возможно, относительно невысокой твёрдостью цеолитов по Моосу – 3-4.

Наибольший интерес вызывает рост прочности при изгибе эпоксидных материалов в результате введения цеолитов, так как данным работ, [6-7], кристаллические природные и синтетические волластонит- и диопсидсодержащие наполнители снижают этот важный показатель эпоксидных композиций.

Можно предположить, что это обусловлено значительно меньшим средним размером частиц цеолитов (рис. 7), по сравнению с кальций магниевыми силикатами [8].

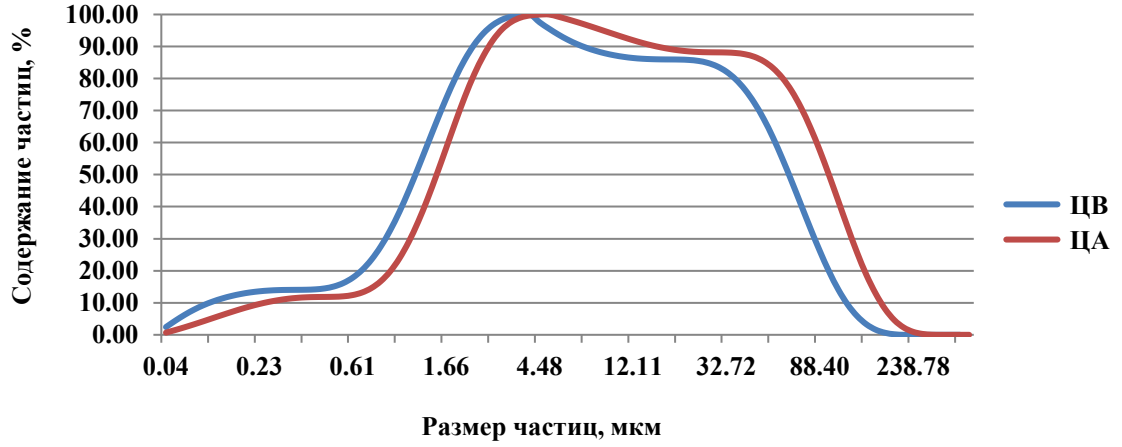


Рисунок 7. Кривые распределения по размерам частиц вулканического и активированного цеолитов

Высокая степень дисперсности исследуемых добавок обеспечивает рост площади контакта эпоксидной матрицы с наполнителем, следовательно, способствует более равномерному распределению цеолита и повышению эффективности межфазных взаимодействий [9].

Следует учитывать, что у цеолитов нет традиционных функциональных групп, но их уникальная кристаллическая структура с полостями и каналами способствует эффективности взаимодействия с полимером.

При этом, активированный алюмосиликат более перспективен как наполнитель, с точки зрения улучшения прочностных характеристик эпоксидных композиций, что можно объяснить, в частности, содержанием у него монмориллонита, который известен как достаточно эффективный наполнитель эпоксидных композиций [9].

Выводы:

1. Активированный цеолит обладает большей дисперсностью (4,5 мкм) по сравнению с вулканическим цеолитом (6 мкм).
2. Установлено, что композиции на основе смолы ЭДП демонстрируют снижение таких основных механических характеристик, как прочность на изгиб на 4,7 %; прочность на отрыв на 25,5 %; износостойкость на 26 %; твердость 16,8 %; по сравнению с импортной смолой.
3. Оптимальные механические свойства композиций на основе импортной смолы получены при модификации 20 мас. ч. активированного цеолита и 15 мас. ч. вулканического цеолита на 100 мас. ч. связующего. Результаты испытаний показали увеличение следующих показателей: прочности при изгибе на 89,8 % и 59,9 %; прочности при отрыве на 35,2 % и 15,5 %; твердости на 43,0 % и 13,0 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Корнилов, А.В.* Нетрадиционные виды нерудного сырья для производства строительной керамики // Строительные материалы. – 2005. - № 2. - С.50-51.
2. *Панина, А.А., Лыгина Т. З., Губайдуллина А. М., Николаев К. Г., Халитова А. Н.* Исследование портландцемента с модифицированной цеолитсодержащей добавкой. 2012.
3. *Колосова, А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С.* Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов // Фундаментальные исследования. - 2017. - № 10. - С. 464-465.
4. *Терешкин, И.П.* Применение цеолитсодержащих пород для изготовления растворов на минеральных вяжущих / Альманах современной науки и образования. – 2013. - № 11 (78). – С. 102-105.
5. *Thamzil L, Zamroni H.* Penggunaan Zeolit dalam Bidang Industri dan Lingkungan. Jurnal Zeolit Indonesia. - 2010. - 1 No 1. – P. 34-38.
6. *Васильянова Л.С., Лазарева Е.А.* Цеолиты в экологии // Новости науки Казахстана. – 2016. - № 1 (127). - С.61-85.
7. *Панова, Л.Г.* Наполнители для полимерных композиционных материалов: учебное пособие / Л.Г. Панова, Н.Л. Левкина, Л.Н. Потехина // Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., Энгельсский технологический институт (ЭТИ СГТУ имени Гагарина Ю. А.). - Энгельс: ЭТИ (фил.) СГТУ им. Гагарина Ю. А., 2020. - 67 с.
8. *Корнев, А.Е.* Технология эластомерных материалов: Учеб.для вузов по направлению подготовки дипломир.специалистов по спец. Технология переработки пласт.масс и эластомеров / А. Е. Корнев, А. М. Буканов, О. Н. Шевердяев. - М.: [б. и.], 2000. - 288 с.
9. *Yahiro H, Konda Y, Yamaura H, Okada G*. Study on Zeolite/Poly(tetrafluoroethylene) Composite Membrane for Application to Fuel Cell. Departemen of Applied Chemisry 2003, 790-8577:60-65.

COMPARATIVE CHARACTERISTIC OF MECHANICAL PROPERTIES DEPENDING ON THE RESIN AND FILLER TYPE IN EPOXY COMPOSITIONS

Dolgova A.V.

Supervisor: Valeeva A.R., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. Epoxy compositions based on EDP resin demonstrate a decrease in mechanical characteristics compared to imported resin. Optimal mechanical properties of compositions based on imported resin were obtained by modifying 20 wt. parts of activated zeolite and 15 wt. parts of volcanic zeolite per 100 wt. parts of binder. The test results showed an increase in the following indicators: bending strength by 89.8% and 59.9%; tear strength by 35.2% and 15.5%; and hardness by 43.0% and 13.0%.

УДК 621.793

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ СИНТЕЗА ОКСИДОВ ВАНАДИЯ

Долгушин Я.В.

Научный руководитель: Крит Б.Л., профессор, д. т. н.

(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва)

Аннотация. В рамках данной работы предложена технология плазменно-электролитной обработки (ПЭО) для синтеза оксидов ванадия. Изучение свойств оксида ванадия и возможностей метода плазменно-электролитной обработки показывает необходимость разработки новых, эффективных технологических процессов формирования тонких плёнок оксида ванадия методом ПЭО.

Ванадий представляет собой металл серебристо-серого оттенка, который при воздействии окружающей среды покрывается пленкой из оксидов ванадия. Различные оттенки этой пленки обусловлены разной толщиной оксидного слоя [1].

Ванадий образует многочисленные соединения с кислородом, из которых наиболее важными являются оксиды: монооксид ванадия VO (или V_2O_2), полуторный оксид V_2O_3, диоксид ванадия VO_2 (или диоксид диванадия V_2O_4) и пятиокись V_2O_5 [2]. Количество публикаций, которые посвящены различным оксидам ванадия, стремительно растёт. Это обусловлено возможностями практического применения этих материалов.

Целью данной работы является изучение особенностей оксида ванадия, препятствующие направленному синтезу определённого оксида ванадия и делающие его перспективным материалом для использования в различных устройствах, а также предложена технология плазменно-электролитной обработки (ПЭО) для синтезирования оксида ванадия.

Основная проблема, которая препятствует синтезу определённого оксида ванадия, заключается в высокой чувствительности системы V-O к содержанию кислорода. Это обусловлено тем, что ванадий имеет степени окисления +2, +3, +4, +5, и образует ряд фаз, в которых ванадий присутствует одновременно в различных степенях окисления [3].

Фазовая диаграмма системы ванадий – кислород (V-O) впервые была построена в 1964 году, после чего дополнялась и уточнялась. На рисунке 1 представлен участок фазовой диаграммы системы V-O при атмосферном давлении [4-6].

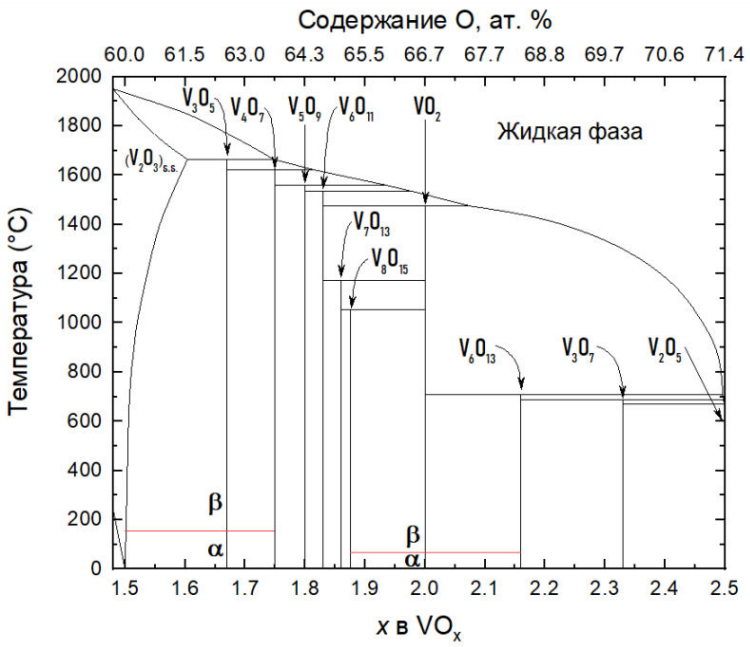


Рисунок 1. Участок фазовой диаграммы системы V-O при атмосферном давлении [4, 6]

Большинство имеющихся оксидов ванадия демонстрируют фазовый переход полупроводник-металл (ППМ). При данном переходе происходит резкое, но обратимое изменение сопротивления материала. Температуры, при которых происходит этот переход, лежат в диапазоне от -150 до 400 °C, а амплитуды этого перехода варьируются от 10 до 10^{10} раз. Этот фазовый переход обратим и сопровождается изменением кристаллографических, магнитных, оптических и электрических свойств [7].

В таблице 1 представлены параметры решетки, а также основные характеристики VO_2 для разных фаз [8].

Таблица 1

Характеристики VO_2 при разных фазах ППМ [8]

Характеристики	Полупроводниковая фаза	Металлическая фаза
Температура	Ниже 340К	Выше 340К
Тип решетки	Моноклинная	Тетрагональная
Расстояние V-V вдоль оси *c*	0,265 нм и 0,312 нм	0,288 нм
Коэффициент линейного расширения	$6{,}4\times10^{-6}$ $К^{-1}$	$17{,}1\times10^{-6}$ $К^{-1}$
Подвижность электронов	~0,5 см/(Вс)	1-10 см/(Вс)
Эффективная концентрация носителей	$\sim10^{23}$ $см^{-3}$	10^{18} - 10^{19} $см^{-3}$
Показатель преломления	2,5	2,0

Впервые способность диоксида ванадия VO_2 подвергаться фазовому переходу полупроводник-металл была продемонстрирована в 1959 году. При температуре около 340 К диоксид ванадия VO_2 демонстрирует переход из высокотемпературного проводящего рутила VO_2 (R) в низкотемпературный изолирующий моноклинный VO_2 (M). Существует два механизма, которые использовались для описания этого сверхбыстрого явления фазового перехода в диоксиде ванадия VO_2, а именно модель Пайерлса и модель Мотта-Хаббарда.

Модель Пайерлса описывает природу фазового перехода полупроводник-металл как изменение от общей d-орбитали между всеми атомами ванадия к локализованной d-орбитали в димере V−V, что является результатом изменения расстояния V−V с 2,88 Å в VO_2 (R) до 2,65 и 3,12 Å в VO_2 (M) [9]. Таким образом, согласно модели Пайерлса, структурное искажение является причиной перехода полупроводник-металл.

С другой стороны, модель Мотта-Хаббарда утверждает, что фазовый переход полупроводник-металл будет иметь место, когда электронная плотность (n_e) и радиус Бора

(a_H) удовлетворяют соотношению $n_e^{1/3}a_H \approx 0{,}2$ [10]. По сравнению с моделью Пайерлса, модель Мотта-Хаббарда имеет преимущество в объяснении такого явления, как аномально низкая проводимость в металлической фазе [11]. В работе [12] обобщили многочисленные экспериментальные случаи и указали, что металлическая фаза VO_2 может быть введена без структурного фазового превращения, если возбуждение носителей достигает пороговой плотности. Их наблюдение дает ключевые доказательства в раскрытии природы перехода полупроводник-металл. Хотя остаются споры о том, какой механизм лучше всего описывает данный фазовый переход, использование обеих моделей настоятельно рекомендуется из-за кинетики перехода [13]. В работе [14] указали о недавнем прогрессе в понимании механизма и кинетики фазового перехода полупроводник-металл, включая искажение решетки и электронные корреляции (фазовый переход Пайерлса, фазовый переход Мотта) и методы модуляции (элементное легирование, внешнее электрическое поле, световое облучение и деформационная инженерия).

При применении внешних воздействий (т. е. фотонов, магнитного поля, электрического поля и напряжения) для инициирования перехода полупроводник-металл физические свойства диоксида ванадия VO_2, такие как электрическое сопротивление, оптическое пропускание и теплопроводность, обратимо и радикально изменяются. В работе [15] подробно обобщили связи между внешними воздействиями и соответствующими ответами устройств на основе диоксида ванадия VO_2. Эта гибкость во внешних воздействиях и соответствующих ответах является основной причиной, по которой диоксид ванадия VO_2 является материалом, представляющим интерес для множества новых устройств.

Для направленного синтеза VO_2 с максимальной амплитудой перехода полупроводник-металл необходимо точное соблюдение концентрации кислорода ($\%O_2$). Даже минимальное отклонение концентрации кислорода от требуемого приведет к неконтролируемому изменению свойств материала (в частности – его сопротивления) (рисунок 2) [16].

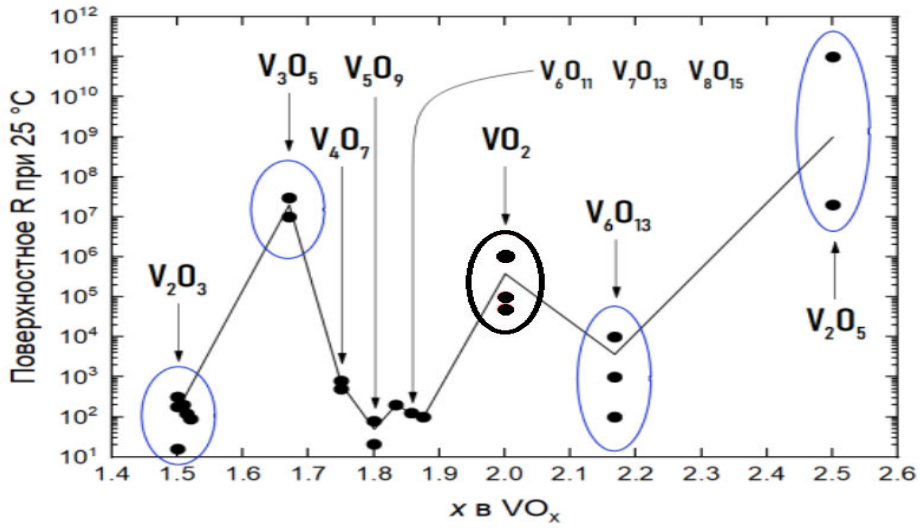


Рисунок 2. Поверхностное сопротивление оксидов ванадия при комнатной температуре [16]

При фазовом переходе полупроводник-металл в диоксиде ванадия изменяются как электрофизические, так и оптические свойства. Например, при пропускании через образец VO_2 тока можно наблюдать изменение его электропроводности при некотором критическом напряжении. Типичная вольт-амперная характеристика (ВАХ) (рисунок 3, а) поликристаллической пленки VO_2 в схеме с последовательной нагрузкой и источником напряжения имеет S-образную характеристику [17]. Оптические свойства пленок VO_2 изучались, например, в работе [18]. При разогреве пленки выше температуры фазового перехода пленка переходит в металлическое состояние, ее оптические константы изменяются, и пленка способна отражать ИК-излучение (рисунок 3, б).

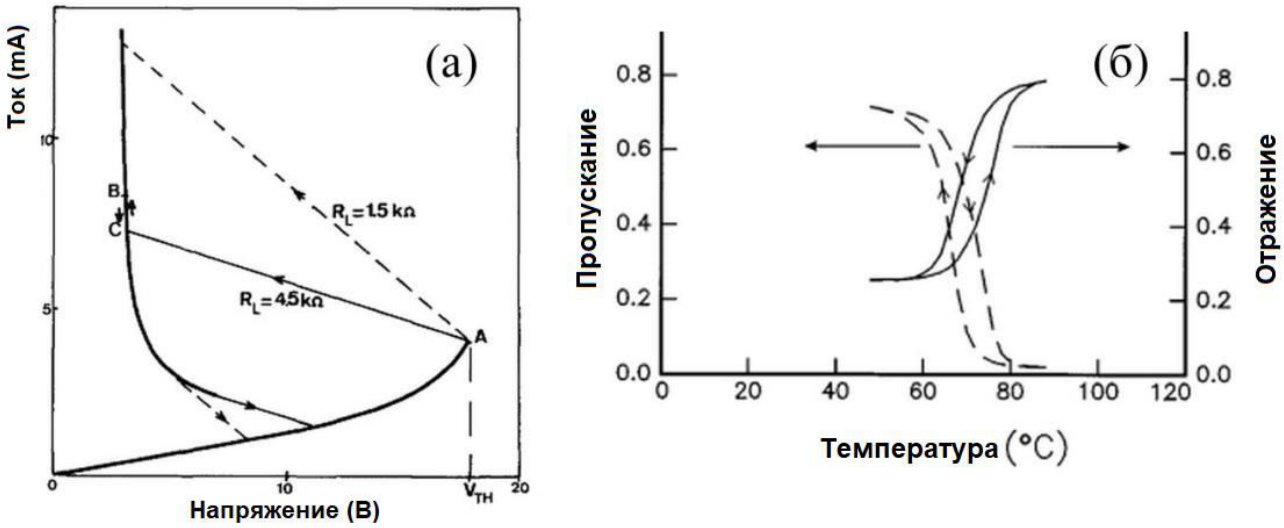


Рисунок 3. ВАХ поликристаллической пленки VO_2 [17], (б) – зависимость коэффициентов пропускания и отражения пленки VO_2 вблизи ППМ [18]

В настоящее время разработано значительно количество вариантов применения тонких плёнок диоксида ванадия VO_2: датчики, актюаторы, мемристоры и переключатели. Основная проблема при создании устройств на основе диоксида ванадия VO_2 – сложность синтеза плёнки с заданными параметрами фазового перехода ППМ.

Оксиды ванадия (в частности VO_2) применяются в качестве катодного материала в перезаряжаемых магниевых батареях и перезаряжаемых цинк-ионных батареях [19, 20]. Перезаряжаемые магниевые аккумуляторы являются одним из наиболее перспективных устройств хранения энергии нового поколения. В последние годы перезаряжаемые цинк-ионные батареи выделяются среди многочисленных металл-ионных батарей. Благодаря своим преимуществам (низкой стоимости, экологичности и безопасности) перезаряжаемые цинк-ионные батареи можно рассматривать как альтернативу литий-ионным батареям.

Нанесение тонких пленок представляет собой важный процесс в современной науке и технике, который используется для создания слоев материала с небольшой толщиной на поверхности подложки. Нанесение тонких пленок играет ключевую роль в создании и улучшении различных устройств и систем.

Существует несколько различных технологий и методов нанесения тонкопленочных покрытий, а также целый ряд инструментов и оборудования, которые можно использовать для оптимизации или улучшения процесса осаждения тонких пленок. В настоящее время наиболее распространены методы осаждения с использованием полимеров, золь-гель, химического осаждения из паровой фазы (CVD, Chemical Vapor Deposition) и физического осаждения из паровой фазы (PVD, Physical Vapor Deposition).

В работах [21, 22] нанесение VO_2 осуществлялось методом реактивного магнетронного распыления. Данный метод широко применяется для нанесения электропроводящих покрытий или для получения сложных, многослойных оптических конструкций с толщинами слоев в несколько десятков нанометров.

Наряду с выше приведенным методом нанесения покрытий всё большую популярность набирают технологии плазменно-электролитной обработки (ПЭО). ПЭО позволяет значительно улучшить эксплуатационные характеристики деталей, такие как износостойкость, коррозионная стойкость, диэлектрические и термозащитные свойства. Среди методов ПЭО наиболее известно микродуговое оксидирование (микроплазменное окисление, анодное искровое осаждение) [23].

ПЭО представляет собой электрохимический процесс, при котором на поверхности обрабатываемого материала образуется оксидный слой за счет последовательной локальной

обработки микроплазменными (микродуговыми) разрядами. Метод ПЭО получил свое название за счет основных особенностей процесса – образование оксидного слоя на поверхности материала основывается на использовании микроплазменных (микродуговых) разрядов, происходящих при электрохимическом окислении металла основы. Этот метод обработки происходит от традиционного анодирования и относится к электрохимическим технологиям, поскольку осуществляется в электролитических ваннах, где обрабатываемая деталь служит одним из электродов [24]. Хотя установка и процедура кажутся номинально похожими на анодирование, окисление при плазменно-электролитной обработке происходит не посредством непрерывного переноса ионов через электролит и в тонком оксидном слое, а посредством комбинации атомов или ионов металла и кислорода в плазме разряда по мере ее охлаждения. Этот механизм облегчает получение оксидных слоев и часто приводит к более твердой и кристаллической структуре. На самом деле, ПЭО-покрытия содержат относительно высокие уровни пористости со сложной структурой, но они, как правило, более износостойкие, чем анодированные покрытия.

Применение технологии ПЭО на поверхностях деталей позволяет формировать многофункциональные покрытия, улучшающие их коррозионную стойкость, износостойкость и другие характеристики [25, 26].

Общим основным показателем в исследованиях процессов ПЭО является наблюдение свечения и электрического разряда во время электрохимических процессов на поверхности электродов, погруженных в электролит.

Плазменно-электролитная обработка в основном сосредоточена на алюминиевых и магниевых сплавах, для которых она хорошо работает. Однако данный метод можно применять и к другим металлам (в частности, было много работ с титаном и его сплавами). Но существуют и другие металлы, (известные как вентильные металлы), для которых возможна ПЭО-обработка. Все вентильные металлы имеют высокостабильные оксиды. Однако, это не единственная важная характеристика, и в литературе мало ясности относительно конкретного набора свойств, которые делают металл более или менее подходящим для ПЭО-обработки.

Таким образом, изучение свойств оксида ванадия и возможностей метода плазменно-электролитной обработки показывает необходимость разработки новых, эффективных технологических процессов формирования тонких плёнок оксида ванадия методом ПЭО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Борисенко Л.Ф.* Ванадий (минералогия, геохимия и типы эндогенных месторождений) // М.: Недра, 1973. – 192 с.

2. *Амелина Г.Н.* Частные реакции ванадия // Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013 – 22 с.

3. *Bahlawane N., Lenoble D.* Vanadium oxide compounds: Structure, properties, and growth from the gas phase // Chem. Vap. Depos. 2014. Vol. 20, № 7–9. P. 299–311.

4. *Kang Y.-B.* Critical evaluation and thermodynamic optimization of the VO–VO2.5 system // J. Eur. Ceram. Soc. 2012. Vol. 32, № 12. P. 3187–3198.

5. *Stringer J.* The vanadium-oxygen system-a review // J. Less-Common Met. 1965. Vol. 8, № 1. P. 1–14.

6. *Cao Z. et al.* Critical evaluation and thermodynamic optimization of the V-O system //Calphad Comput. Coupling Phase Diagrams Thermochem. Elsevier, 2015. Vol. 51. P. 241–251.

7. *Pergament A., Stefanovich G., Velichko A.* Oxide Electronics and Vanadium Dioxide Perspective: A Review // J. Sel. Top. Nano Electron. Comput. 2013. Vol. 1, № 1. P. 24–43.

8. *Stefanovich G., Pergament A., Stefanovich D.* Electrical switching and Mott transition in VO_2 //Journal of Physics: Condensed Matter. – 2000. – Т. 12. – №. 41. – С. 8837.

9. *Wu, C., Feng, F., Xie, Y.* Design of Vanadium Oxide Structures with Controllable Electrical Properties for Energy Applications. Chem. Soc. Rev. 2013, 42, 5157−5183.

10. *Mott, N.* Metal-Insulator Transition. Rev. Mod. Phys. 1968, 40, 677.

11. *Wei, J., Wang, Z., Chen, W.; Cobden, D. H.* New Aspects of the Metal-Insulator Transition in Single-Domain Vanadium Dioxide Nanobeams. Nat. Nanotechnol. 2009, 4, 420−424.

12. *Whittaker, L.; Patridge, C. J.; Banerjee, S.* Microscopic and Nanoscale Perspective of the Metal-Insulator Phase Transitions of VO_2: Some New Twists to an Old Tale. J. Phys. Chem. Lett. 2011, 2, 745−758.

13. *Yao, T.; Zhang, X., Sun, Z., Liu, S., Huang, Y., Xie, Y., Wu, C., Yuan, X., Zhang, W., Wu, Z., Pan, G., Hu, F., Wu, L., Liu, Q., Wei, S.* Understanding the Nature of the Kinetic Process in a VO_2 MetalInsulator Transition. Phys. Rev. Lett. 2010, 105, 226405.

14. *Shao, Z.; Cao, X.; Luo, H.; Jin, P.* Recent Progress in the PhaseTransition Mechanism and Modulation of Vanadium Dioxide Materials. NPG Asia Mater. 2018, 10, 581−605.

15. *Ke, Y., Wang, S., Liu, G., Li, M., White, T. J., Long, Y.* Vanadium Dioxide: The Multistimuli Responsive Material and Its Applications. Small 2018, 14, 1802025.

16. *Stringer J.* The vanadium-oxygen system-a review // J. Less-Common Met. 1965. Vol. 8, № 1. P. 1–14.

17. *Duchene J. et al.* Filamentary Conduction in VO_2 Coplanar Thin-Film Devices //Applied Physics Letters. – 1971. – Т. 19. – №. 4. – С. 115-117.

18. *Choi H. S. et al.* Mid-infrared properties of a VO_2 film near the metalinsulator transition //Physical Review B. – 1996. – Т. 54. – №. 7. – С. 4621.

19. *Xiu-Fen Ma, Hong-Yi Li, Weiwei Ren, Daibo Gao, Fuyu Chen, Jiang Diao, Bing Xie, Guangsheng Huang, Jingfeng Wang, Fusheng Pan.* A critical review of vanadium-based electrode materials for rechargeable magnesium batteries. // Journal of Materials Science & Technology. – 2023. – V. 153. – P. 56-74.

20. *Ying Liu, Xiang Wu.* Review of vanadium-based electrode materials for rechargeable aqueous zinc ion batteries. Journal of Energy Chemistry. – 2021. – V. 56. – P. 223-237.

21. *Sergey S. Maklakov, Viktor I. Polozov, Sergey A. Maklakov, Alexey D. Mishin, Ilya A. Ryzhikov, Alexander L. Trigub, Vadim A. Amelichev, Konstantin I. Maslakov, Vladimir N. Kisel.* Post-deposition annealing of thin RF-magnetron sputter-deposited VO_2 films above melting point. // Journal of Alloys and Compounds. - 2018. - V. 763. - P. 558-569.

22. *V.I. Polozov, S.S. Maklakov, S.A. Maklakov, A.D. Mishin, D.A. Petrov, K.M. Baskov, A.A. Politiko, V.A. Chistyaev, V.N. Semenenko, V.N. Kisel,* Thermally Tunable Frequency-Selective Surface Based on VO_2 Thin Film // Phys. Status Solidi A. - 2020. – V. 217. – P. 2000452.

23. *Ракоч А.Г., Бардин И.В.* Микродуговое оксидирование лёгких сплавов // Металлург. – 2010, 6. – С. 58-61.

24. *Козлов И.А., Виноградов С.С., Тарасова К.Г., Кулюшина Н.В., Манченко В.А.* Плазменное электролитическое оксидирование магниевых сплавов (обзор)// Авиационные материалы. – 2019, 1. – С. 23-36.

25. *E. V. Parfenov, A. Yerokhin, R. R. Nevyantseva, M. V. Gorbatkov,* Towards smart electrolytic plasma technologies: An overview of methodological approaches to process modelling // Surface and Coatings Technology. – 2015. - Vol. 269. – P. 2-22.

26. *Song, X., Lu, J., Yin, X., Jiang, J., Wang, J.* The effect of pulse frequency on the electrochemical properties of micro arc oxidation coatings formed on magnesium alloy // Journal of Magnesium and Alloys. – 2013, 1. – P. 318- 322.

APPLICATION OF PLASMA-ELECTROLYTE TREATMENT FOR THE SYNTHESIS OF VANADIUM OXIDES

Dolgushin Ya.V.

Supervisor: Krit B.l., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow)

Abstract. In this work, a plasma-electrolytic oxidation (PEO) technology for the synthesis of vanadium oxides is proposed. The study of the properties of vanadium oxide and the capabilities

of the plasma-electrolytic treatment method shows the need to develop new, effective technological processes for the formation of thin films of vanadium oxide by the PEO method.

УДК 621.791.72

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ СВАРКИ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Евлампьев А.В.
Научный руководитель: Курынцев С.В., доцент, к. э. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В обзоре рассматриваются результаты трех последних исследований по лазерной сварке разнородных материалов. Сравниваются методы осциллирующего сканирования луча, модуляции кольцевым пучком и применение медно-никелевых покрытия. Каждая работа направлена на снижение образования хрупких интерметаллидов и повышение прочности соединений.

Авторы [1] изучали влияние траектории лазерного сканирования на характеристики сварного-паяного соединения алюминия с титаном. Цель – равномерное распределение интерметаллических соединений (ИМС) и повышение прочности сварного соединения. Исследование проводилось на стыковых соединениях «алюминий–титан» методом лазерной сварки-пайки с тремя режимами движения луча: прямой (straight), ∞-образной (infinite) и круговой (circular). В качестве легирующего припоя использована алюминиеволоконная проволока с содержанием кремния (что подтверждается образованием фазы $Ti(Al,Si)_3$ в ИМС). На рис. 1 представлена схема процесса и движений робота.

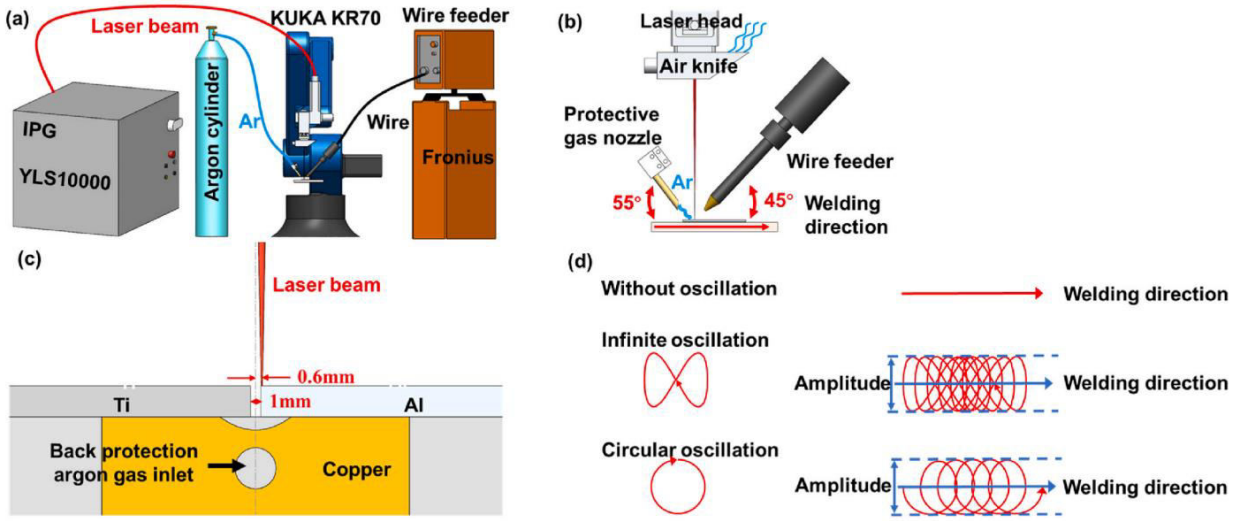


Рисунок 1. Принципиальная схема процесса лазерной сварки-пайки: (a) Система лазерной сварки-пайки, (b, c) Вид сбоку на процесс лазерной сварки-пайки, (d) принципиальная схема путей лазерного сканирования [1]

Основные параметры процесса (мощность лазера, скорость сварки) подробно не указаны в аннотации, но отмечено, что при переходе от движений без колебаний к движению в форме бесконечности и затем к круговому траекториям толщина слоя ИМС значимо уменьшается. Минимальная толщина ИМС (≈1.1–3.0 мкм) достигалась при круговых колебаниях. Численный расчет тепловых циклов показал, что круговое движение обеспечивает наименьшую пиковую температуру зоны сварки, что ведет к образованию

тонкого и однородного ИМС. Микроструктурный анализ подтвердил, что независимо от траектории в зоне сварного соединения формируется фаза $Ti(Al,Si)_3$.

Ключевые результаты испытаний на растяжение: наименьшая прочность (≈177.9 МПа) наблюдалась при прямолинейной траектории движения. При этом разрушение происходило по границе $Ti/Ti(Al,Si)_3$ или внутри ИМС. Для колебаний в форме бесконечности и круговых разрушение сдвинулось в зону термического влияния алюминиевого сплава. Прочность в 212,21 МПа и 197,63 МПа, аналогичная прочности основного металла 6061-Al в исходном состоянии, была получена при колебаниях в форме бесконечности и круговом колебательном лазерном сканировании соответственно. Таким образом, соединение с тонким (1.1–3.6 мкм) ИМС оказалось прочнее основного металла алюминия, тогда как при утолщении ИМС до ≈4.6 мкм прочность соединения снижалась. Обобщая, авторы делают вывод, что осциллирующее сканирование улучшает равномерность слоя ИМС и позволяет повысить прочность сварного соединения за счет снижения температуры плавления и уменьшения хрупкости сварного соединения.

В данной работе [2] рассматривается лазерная сварка двух разнородных металлов – алюминия и меди – с помощью схемы двухлучевой модуляции. Цели исследования – уменьшение тепловложения, минимизация хрупких ИМС и дефектов при сварке трудносвариваемых материалов (в частности, для элементов электромобилей). Предложен Ринг-Бим Модулированный Лазер (RBML), где пучок формируется из центрального (core) и кольцевого (ring) лазеров. Авторы сравнили три режима: (1) фиксированный центральный луч и изменяемая мощность кольца; (2) изменяемая мощность центрального при фиксированном кольце; (3) режим «wobble» (качание луча).

Использовалась экспериментальная установка на основе многомодового волоконного лазера FL8000-ARM мощностью до 8 кВт ($\lambda \approx 1070$ нм). Диаметр выходного пучка – 800 мкм, коллиматорные показатели луча (BPP) – <4 мм·мрад для центрального и <14 мм·мрад для кольцевого лучей. В качестве материалов использовались алюминиевый сплав серии 6000 (с основным легирующим Mg и Si) и бескислородная медь. Были проведены как опыты по сварке (соответствующие профили тепловложений), так и компьютерное моделирование тепловых полей в среде COMSOL.

Основные результаты: продемонстрирована ненормальная зависимость прочности шва от тепловложений для разных схем. Для случая 1 (фикс. центральный, изменч. кольцевой) обнаружено, что увеличение энергии кольца повышает прочность, но при слишком большом колебании кольца возникает риск дефектов. Случай 2 (изменяемый центр, фикс. кольцо) показал высокую надежность при относительно меньшем тепловложении. Режим 3 с качающимся лучом дал наилучшее качество шва – более узкий, равномерный шов при стабильной прочности. Вывод: модуляция лазерного луча на центр и кольцо позволяет точно управлять теплоподачей и повышать энергоэффективность процесса. На иллюстрации показан пример поперечных сечений швов и зависимости силы на разрыв от тепловложений для двух случаев RBML (рис.2).

Авторы [3] исследуют технологию лазерной сварки внахлест алюминия и стали с нанесением предварительного покрытия из меди и никеля. Проблема: надежная сварка алюминий/сталь критична для легких конструкций, но из-за разных свойств металлов при сварке образуются трещины и пористость, а зона шва насыщена хрупкими Fe–Al ИМС. Для ее решения предложено электролитическое осаждение тонких слоев Cu и Ni на кромки материалов до сварки.

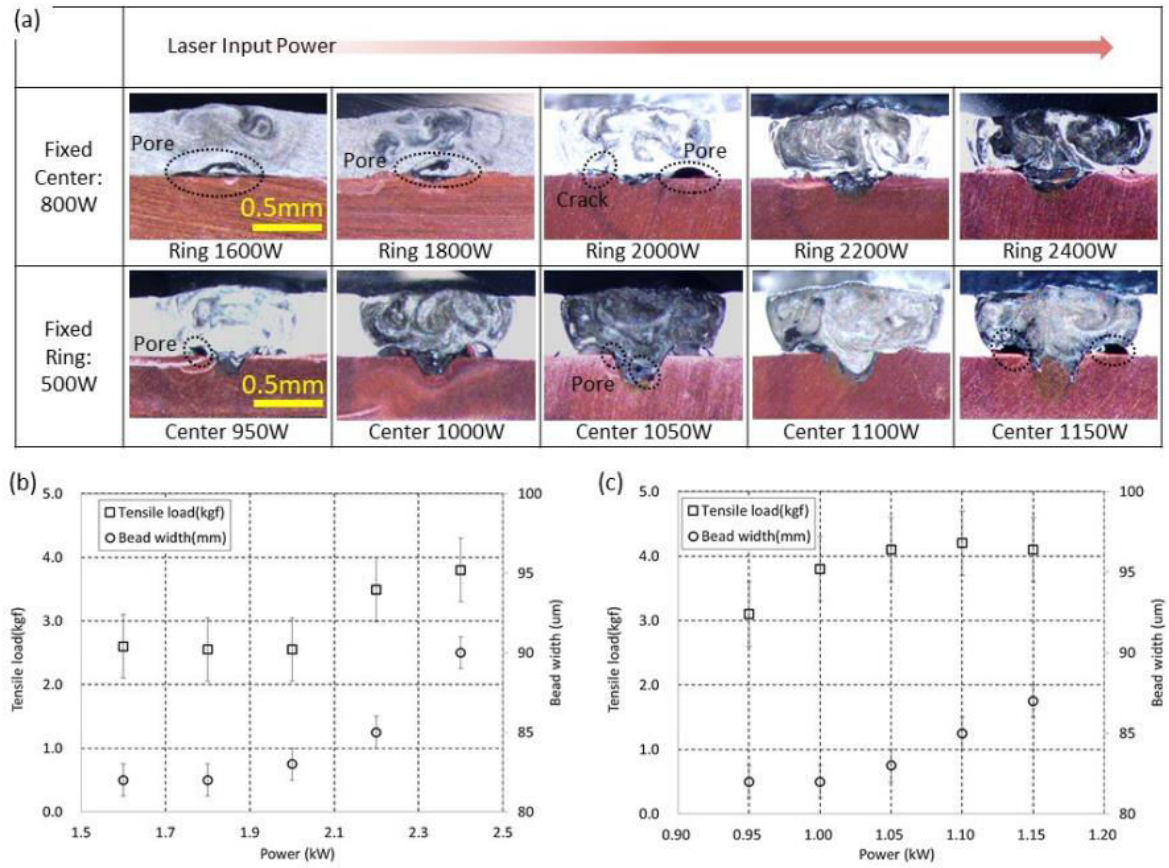


Рисунок 2. (a) Поперечные сечения лазерной сварки с модуляцией кольцевого луча; (b) Растягивающая нагрузка и ширина валика в зависимости от подводимого тепла для случая 1; (c) Растягивающая нагрузка и ширина валика в зависимости от подводимого тепла для случая 2 [2]

В экспериментах использовались образцы 100×100×0.5 мм – сталь DP590 и алюминий 6061. На алюминий напыляли покрытия Cu/Ni разной толщины (контролируемые током и временем электроосаждения). Сварка проводилась Nd:YAG лазером (одноимпульсный режим, пульс. ширина 6 мс, энергия 9 Дж, частота 15 Гц, скорость 100 мм/мин, пересечение пульсов 80%). Конфигурация шва – сталь сверху, алюминий снизу, боковая газовая защита (угол 30°). Для оценки прочности изготовлены образцы по ASTM E8 и проводились статические испытания на растяжение при скорости 5 мм/мин.

Основные результаты: измеренная предельная сила на сдвиг у сварных соединений с покрытием оказалась существенно выше, чем без него. При оптимальных толщинах покрытия Cu=110 мкм и Ni=155 мкм сварная пара выдерживала максимальную нагрузку ≈208 Н (≈205 МПа) против ≈133 Н (149 МПа) в образцах без покрытия. Графики нагрузка – деформация (рис.3) показывают, что в пластической области образцы с покрытием достигали большей силы разрыва, хотя имели меньшее относительное удлинение. Авторы объясняют это тем, что в расплаве образуется больше медно-никелевых легированных фаз, более пластичных чем чистые Fe–Al соединения, но чрезмерная толщина интерслоя может привести к накоплению напряжений из-за новых ИМС и снижению пластичности.

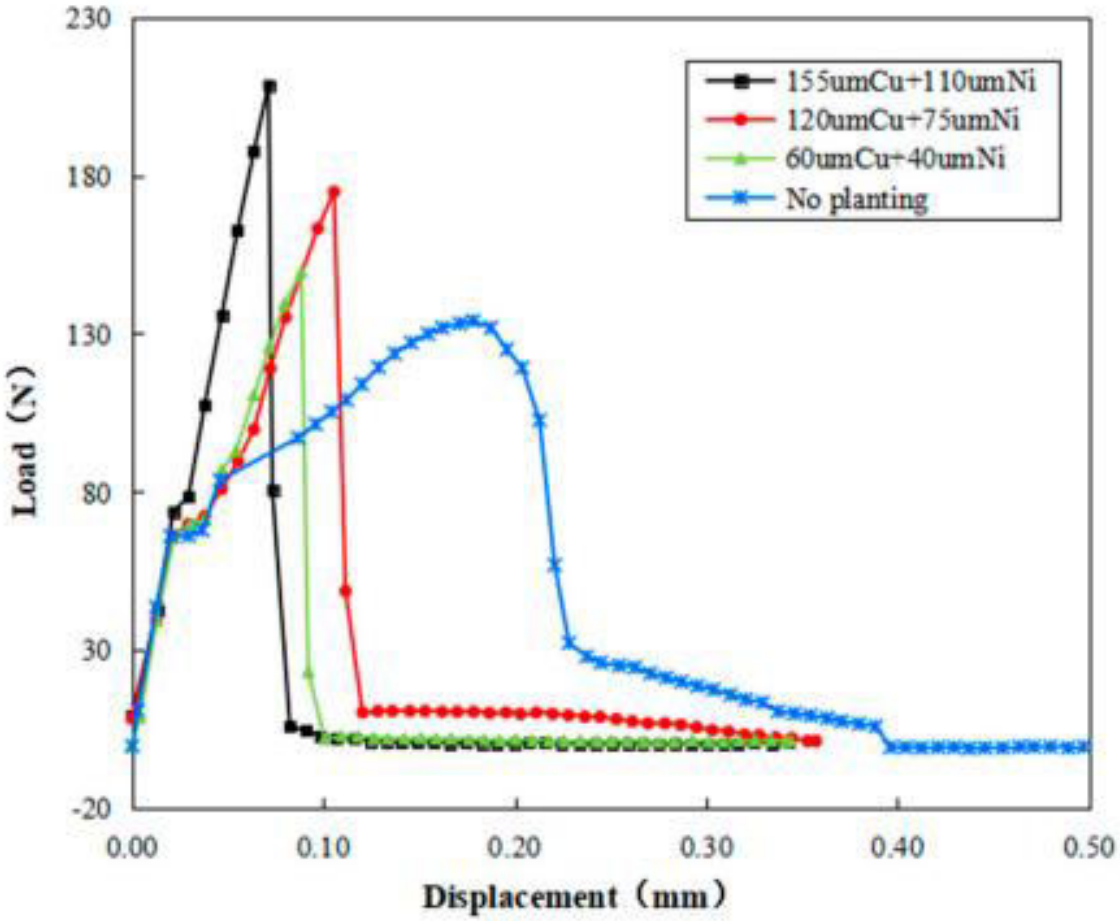


Рисунок 3. Кривые зависимости нагрузки от смещения при растяжении и сдвиге для соединений без покрытия и с покрытием различной толщины [3]

Авторы [3] сравнили свои результаты с литературными данными и отметили, что величина предельной силы 205 МПа согласуется с ранее опубликованными (186–203 Н) для аналогичных систем. Таким образом, предварительное медно-никелевое покрытие надежно подавляет образование хрупких Fe–Al фаз и повышает прочность сварного соединения.

Вывод

Современные разработки показывают, что сочетание инновационных схем лазерного воздействия и оптимальных промежуточных материалов может обеспечить высокую надежность соединений разнородных материалов. Однако требуется дальнейшая оптимизация параметров (режимы сварки, состав и способ нанесения промежуточных материалов, оптимизация колебаний при сварке и тд.), а также изучение долговременной надежности полученных швов в эксплуатационных условиях. Состояние исследований характеризуется активным поиском баланса между минимальным тепловложением и требуемой глубиной проплавления для обеспечения прочности и надежности соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Xia H., Zhang S., Wu J. et al.* Homogenizing interfacial IMC distribution and enhancing strength of laser welded-brazed Al/Ti butt joint by oscillated scanning // Journal of Materials Research and Technology. – 2025. – Vol. 35. – P. 6226–6236 (https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.02.174).

2. *Choi S.-H., Kim J.-H., Choi H.-W.* Ring beam modulation-assisted laser welding on dissimilar materials for automotive battery // J. Manuf. Mater. Process. – 2025. – Vol. 9, No. 2, Art. 28 (https://doi.org/10.3390/jmmp9020028).

3. *Zhang, H.; Gu, H.; Ma, D.* Experimental Study on Laser Lap Welding of Aluminum–Steel with Pre-Fabricated Copper–Nickel Binary Coating.// Crystals. – 2025. – Vol. 15, No. 4, Art. 300. (https://doi.org/10.3390/cryst15040300).

REVIEW OF MODERN METHODS FOR WELDING DISSIMILAR MATERIALS

Evlampiev A.V.
Supervisor: Kuryntsev S.V., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The review examines the results of the three most recent studies on laser welding of dissimilar materials. It compares methods of oscillating beam scanning, ring beam modulation, and the use of copper-nickel coatings. Each study aims to reduce the formation of brittle intermetallics and increase the strength of joints.

УДК 621.78

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ АНТИФРИКЦИОННОГО СПЛАВА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Ишкенина К.В., Алешина А.В.
Научный руководитель: Куртаева Ф.Н., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе рассматриваются две технологии нанесения антифрикционного сплава – центробежное литье и газопламенное напыление. Также показывается зависимость эксплуатационных свойств подшипников скольжения от выбранного метода

Центробежное литье – один из наиболее распространенных методов нанесения баббитовых покрытий, обеспечивающий высокую плотность и минимальную пористость слоя. В основе процесса лежит использование центробежной силы, возникающей при вращении формы, благодаря которой расплавленный сплав распределяется по внутренней поверхности изделия. Процесс требует точного контроля всех технологических операций. Несоблюдение режимов литья может привести к дефектам структуры [1].

Газопламенное напыление представляет собой эффективный метод нанесения антифрикционных покрытий, при котором частицы расплавленного металла переносятся газовым потоком на подготовленную поверхность детали. Процесс основан на плавлении металлического порошка или проволоки в пламени газовой горелки с последующим распылением и осаждением частиц на подготовленную нагретую заготовку, где они формируют плотный антифрикционный слой. Повышение адгезии покрытия с поверхностью заготовки достигается за счет нанесения баббитового сплава на предварительно подогретую основу [2].

Каждая из методик предполагает использование определенных материалов для подслоя и основного антифрикционного слоя, что обусловлено особенностями процессов нанесения и эксплуатационным свойствам.

В качестве основного антифрикционного слоя в обеих технология используется оловянный баббит Б83. Для центробежной заливки баббит используется в виде готовой чушки, который в ходе процесса работы расплавляют до температуры плавления. А для газопламенного напыления баббит выглядит в виде проволоки. Проволока должна быть чистой, без заусенцев, вмятин, резких перегибов и расслоений.

При центробежной заливке в качестве подслоя используется оловянная основа марки О2 по ГОСТ 860-75. Химический состав представлен в таблице 1. Температура плавления – 230°С [3].

Таблица 1

Химический состав олова О2, %. ГОСТ 860-75

Марка	Химический состав, %									
	Основные компоненты	Примеси, не более								
	Sn, не менее	As	Fe	Cu	Pb	Bi	Sb	S	Zn	Al
О2	99,565	0,015	0,02	0,03	0,25	0,05	0,05	0,016	0,002	0,002

При газопламенном напыление в качестве подслоя используется порошок композиционной марки ПГ-Ю5-Н по ТУ 14-22-76-95. Химический состав порошка: 95% никеля и 5% алюминия [4].

Технологический процесс нанесения баббита с использованием метода центробежного литья включает в себя следующие основные этапы изготовления:

- разработка технологической документации;
- разработка и проектирование оснастки;
- подготовка изделия к заливке:
- заливка расплава в форму и кристаллизация;
- проверка качества нанесения.

Для проектирования и разработки оснастки на центробежное литье необходимо учитывать размеры подшипника и толщину слоя баббита согласно конструкторской документации, которая согласовывается с заказчиком.

Для каждого изделия изготавливается собственная оснастка, так как важным размером является посадочный диаметр заготовки. Это необходимо для того, чтобы заготовка в момент кручения была крепко и неподвижно закреплена для избежание дефектов.

Подготовка поверхности заготовки под лужение и заливку. Подготовка заготовок изготавливаемых подшипников под заливку включает следующие операции: дробеструйная обработка, обезжиривание, промывка в холодной и горячей воде, травление, промывку в холодной воде, флюсование, нагрев. Данные операции позволяют подготовить поверхности для обеспечения адгезии основы с баббитовым слоем.

Многоэтапная химическая подготовка включает химическое обезжиривание в ванне с щелочным раствором в течение 25-60 минут и последующее травление в растворе технической соляной кислоты. Завершающими этапами подготовки является тщательная промывка в холодной проточной воде для удаления остатков кислоты, флюсование поверхности в ванне с водным раствором хлористых солей и сушка с нагревом зафлюсованного вкладыша в электропечи при температуре 100-180°С в течение 40 минут. Данная температура обеспечивает оптимальные условия для нанесения флюса и последующего лужения.

Одновременно с нагревом заготовки проводится подготовка баббита Б-83, которое расплавляется в специальном тигле при температуре 350-400°С с обязательным рафинированием расплава хлористым аммонием для удаления шлаков и окисной пленки.

Перед лужением выполняется повторное флюсование поверхности с использованием водного раствора хлористых солей. Для лужения применяется чистое олово марки О2, которое расплавляется в отдельном тигле при температуре 300-320°С. Расплавленное олово наносится на подготовленную поверхность методом окунания при температуре 280-300°С и выдерживанием в течение 10 минут. Качество лужения проверяется визуально – поверхность должна быть покрыта равномерным блестящим слоем без пропусков и наплывов.

Заливка баббита осуществляется на специальной центробежной установке, где вылуженная заготовка устанавливается в заранее подогретое (до температуры 120-150°С) заливочное приспособление, центрируется и надежно зажимается.

Заливка расплавленного баббита производится мерным ковшом через заливочную воронку короткой непрерывной струей. Баббит заливается во вращающуюся форму при скорости вращения 500-1500 об/мин. Центробежные силы обеспечивают равномерное распределение расплава по поверхности и эффективное удаление газовых включений. Температура заливка строго контролируется в пределах 420±20ºС, так как перегрев приводит к окислению баббита, а недостаточная температура – к неполному заполнению формы.

После заливки начинается этап контролируемого охлаждения. Перекрывается отверстие в шпинделе станка и включается интенсивное воздушно-водяное охлаждение наружной поверхности подшипника продолжительностью 2-3 минут. Далее скорость вращения снижается в течение 3-5 минут до полной остановки. Затем заготовка медленно охлаждается на воздухе до комнатной температуры в течение суток, что позволяет снизить внутренние напряжения.

Технологический процесс газопламенного напыления баббита Б83 представляет собой последовательность взаимосвязанных операций:

- подготовка поверхности;
- нанесение подслоя;
- напыление баббита;
- механическая обработка.

Поверхность детали, подлежащих напылению, необходимо обезжирить обезжиривателем «Химик», очистить от окислов и продуктов коррозии, а после подвергнуть дробеструйной обработке. После этого необходимо произвести нагрев напыляемой поверхности в муфельной печи до температуры 180-250ºС с выдержкой не менее 1 часа.

Непосредственно процесс газопламенного напыления подслоя с баббитом представляет собой сложную технологическую операцию, требующую точного соблюдения множества параметров. Формирование покрытия производится в два этапа.

Первый этап, нанесение подслоя ПГ-Ю5-Н. Данная операция производится сразу после предварительно нагрева поверхности. Контролируется толщина нанесенного покрытия.

Второй этап, нанесение баббита Б83. Нанесение производится сразу, если температура детали не опустилась ниже 150ºС. Контроль температуры осуществляется пирометром.

Для нанесения подслоя и баббита необходимо настроить параметры режимов, которые представлены в таблице 2, 3.

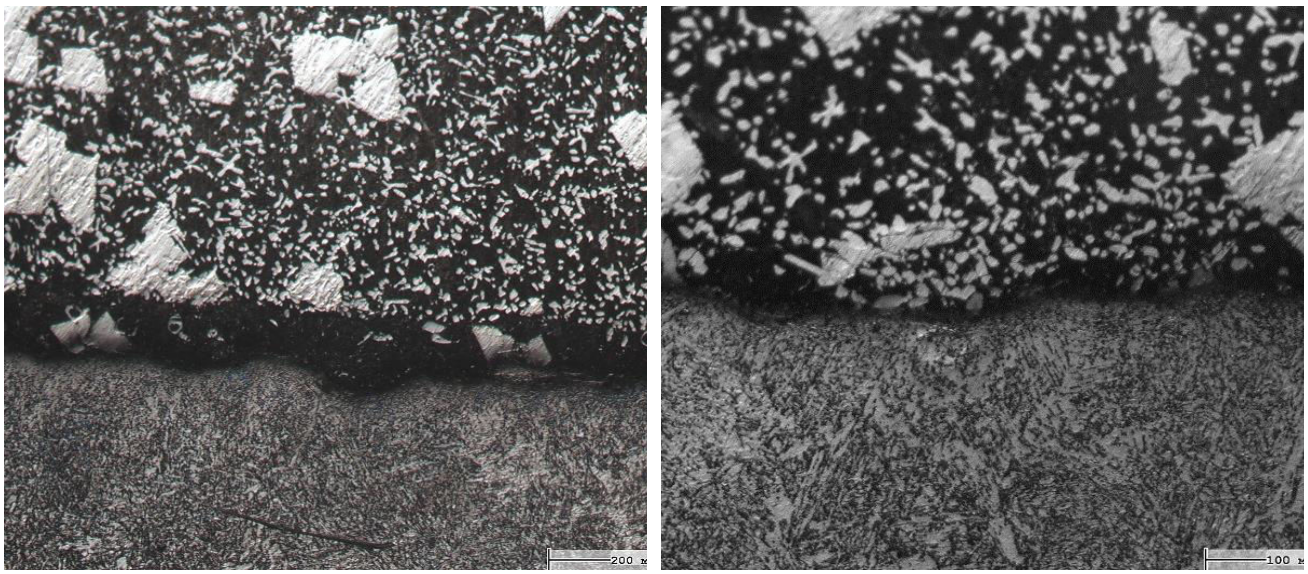
Таблица 2

Основные режимы напыления

Параметры режима	Слой	
	ПГ-5Ю-Н	Б83
Давление газов (ацетилен, кислород, воздух)	0,15-0,4	0,24-0,8
Дистанция напыления	70-120мм	100-150мм
Скорость вращения детали	10-20 об/мин	10-20 об/мин

После нанесения покрытия проводится механическая обработка, которая включает черновое резание, чистое шлифование и полировку. Параметры обработки подбираются таким образом, чтобы обеспечить требуемую шероховатость поверхности. Механическую обработку поверхностей с границей сталь-баббит производить со стороны баббита.

Для оценки качества нанесения баббитового слоя были проведены испытания по методу отрыва и макроанализ. В анализе структуры подслоя, полученного центробежным способом, наблюдается отслоение (рис. 1), что обусловлено плохой подготовки поверхности перед лужением. В местах, где отслоение отсутствует, толщина подслоя достигает 69,6…75,2 мкм. Такая структура является неблагоприятной с точки зрения эксплуатационных свойств баббита.



а б

Рисунок 1. Структура баббита с подслоем, полученная центробежной заливкой: а – без дефекта; б – с дефектом

В структуре подслоя при газопламенном напыление отклонений не наблюдается (рис. 2). Подслой ПГ-Ю5-Н более или менее равномерно распределен по поверхности стальной подложки. Толщина слоя составляет 9,9…15,5 мкм.

Рисунок 2. Структура баббита с подслоем, полученное центробежной заливкой

Такое равномерное нанесение подслоя обусловлено технологией нанесения, за счет потока распыляемых частиц, происходит заполнение поверхности, что обеспечивает сцепление и равномерное распределение покрытия.

Проведенные испытания на адгезию методом отрыва баббитового слоя, нанесенного двумя различными технологиями, выявили значимые различия как в количественных показателях, так и в характере разрушении образцов. Итоговые данные, сведены в таблицу 3 и рисунок 3,4.

Таблица 3

Результаты испытаний на отрыв образцов с баббитовым слоем

Технология	Сила на отрыв, МПа	Среднее значение отрыва, МПа
Центробежная заливка	21,82	19,1
	18,55	
	16,66	
Газопламенное напыление	30,25	25,7
	24,26	
	22,64	

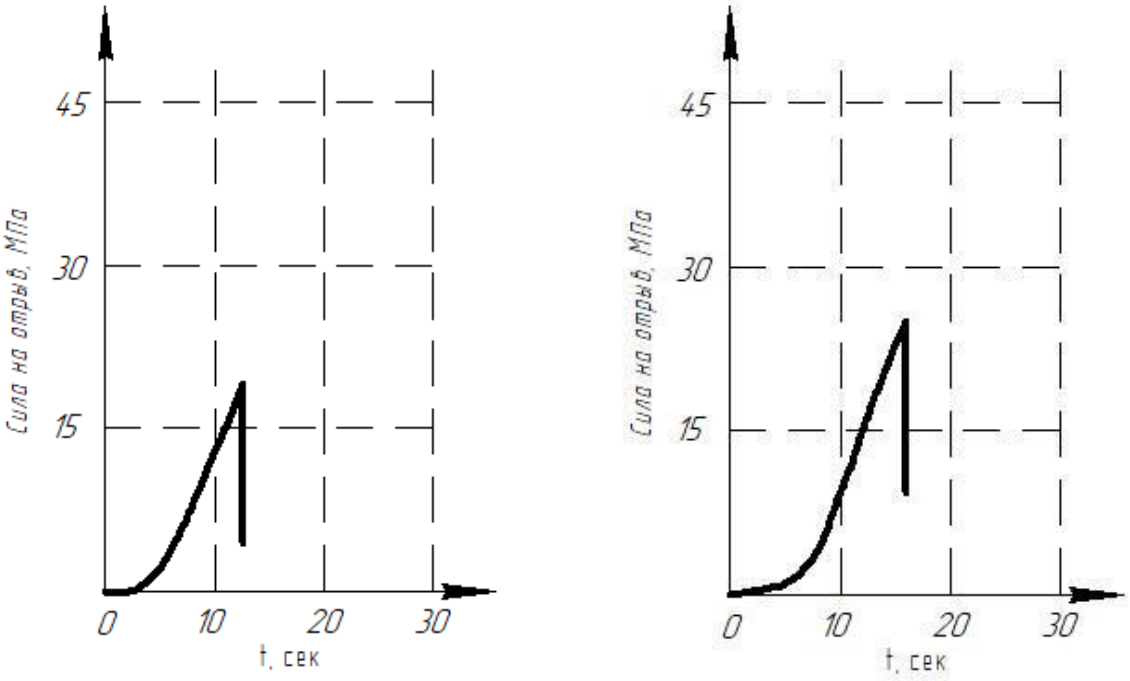
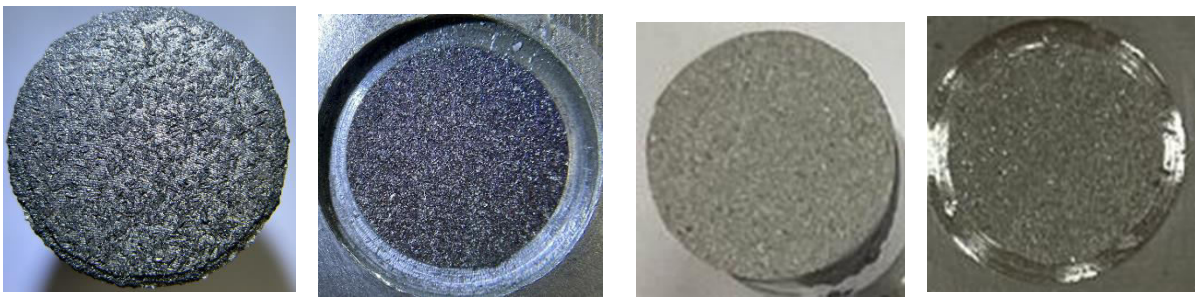


Рисунок 3. График нарастания усилия отрыва



а) (б)

Рисунок 4. Результаты испытаний на отрыв образцов: а – образцы, полученные центробежной заливкой; б – образцы, полученные газопламенным напылением

При центробежной заливке средняя адгезионная прочность составила 19,1 МПа. Критическим аспектом результата стал характер разрушения: смешанный (когезионно-адгезионный) тип с локализацией в области подслоя. Это указывает на то, что граница раздела между баббитом и основой, а именно сам подслой, является зоной сниженной прочности.

В случае газопламенного напыления среднее значение адгезионной прочности достигает 25,7 Мпа, что на 35% выше результата образца при центробежной заливке. Более значимым является характер разрушения: когезионное разрушение в объеме подслоя.

Адгезия, достигнутая при газопламенном напылении, свидетельствует о более плотной и однородной структуре покрытия, а также качества сцепления баббитового слоя с

основным материалом. Это означает, что такой метод нанесения обеспечивает повышенную износостойкость и долговечность подшипников узлов, особенно в тяжелонагруженных механизмах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Патент 846079. СССР, МПК B22D13/00. Способ центробежного литья биметаллических изделий под слоем флюса: №2829426 заявл. 19.10.1979: опубл. 15.07.1981 / Н.Я. Лепилов, А.Ф. Столбов, В.Л. Перельман – 3 с.

2. Газотермическое напыление // Промышленное сварочное оборудование. [2019]. Дата обновления: 02.09.2024. URL https://www.rudetrans.ru/o-svarke/gazotermicheskoe-napylenie/ (дата обращения: 15.05.2025).

3. ГОСТ 860-75. Олово. Технические условия: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 26.12.75 N 4040: дата введения 1977-01-01.

4. Композиционные ПОРОШКИ ПГ-Ю10-Н, ПГ-Ю5-Н // Комплексные поставки цветных металлов. [2024]. Дата обновления: 01.10.2024. URL: https://mbipc.com/products/poroshki/poroshki-pgu10n/ (дата обращения: 03.04.2025).

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ANTIFRICTION ALLOY APPLICATION TECHNOLOGY ON THE OPERATIONAL PROPERTIES OF SLIDING BEARINGS

Ishkenina K.V., Aleshina A.V.

Supervisor: Kurtaeva F.N., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In this paper, two technologies for applying an antifriction alloy are considered – centrifugal casting and flame spraying. The dependence of the operational properties of sliding bearings on the chosen method is also shown.

УДК 621.78

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ВКЛАДЫШЕЙ ПОДШИПНИКОВ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ

Ишкенина К.В., Алешина А.В.

Научный руководитель: Куртаева Ф.Н., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Традиционно применяемая технология центробежной заливки баббитового слоя в подшипниках скольжения обладает рядом недостатков. В данной работе было проведено исследование микроструктуры баббитового слоя, полученного методом центробежной заливки и газопламенным напылением.

Современные требования к надежности и долговечности подшипников скольжения в ответственных узлах компрессорных установок показывают на необходимость совершенствования технологий нанесения антифрикционных покрытий. Традиционно применяемая центробежная заливка антифрикционных покрытий, а именно баббита Б83, не смотря на кажущуюся простоту и отработанность технологического процесса, демонстрирует ряд недостатков. Одним наиболее часто отмечаемых недостатком является неоднородность структуры и образование крупных интерметаллидных фаз в структуре Б83, которая значительно снижает сопротивление механическим нагрузкам в условиях эксплуатации подшипника, а также обуславливает невысокую износостойкость.

В качестве альтернативного метода предлагается газопламенное напыление – метод при котором частицы расплавленного металла переносятся газовым потоком на подготовленную поверхность детали.

Баббит Б-83 (табл. 1) применяется для заливки подшипников в машинах значительной мощности, где требуется высокое значение вязкости и наименьший коэффициент трения. Подобные подшипники позволяют достигать высоких показателей окружной скорости (до 50 м\с), оптимальная эксплуатационная температура (75ºС), коэффициент трения со смазкой между баббитом и сталью (0,005 единиц) позволяют подшипнику выдерживать нагрузку свыше 100 кг/см2 [1].

Таблица 1

Химический состав баббита Б83, %. ГОСТ 1320-74

Марка	Химический состав, %								
	Основные компоненты			Примеси, не более					
	Sn	Sb	Cu	Fe	As	Zn	Pb	Bi	Al
Б83	80,0-83,0	10,0-12,0	5,5-6,5	0,10	0,05	0,004	0,35	0,05	0,005

Микроструктура Б83 (рис. 1) характеризуется твердым раствором сурьмы и меди в олове (α-фаза), в котором более или менее равномерно распределены кубовидные кристаллы химического соединения олова с сурьмой SnSb (β – фаза) и игольчатые и звездчатые кристаллы соединения меди с оловом Cu3Sn (γ – фаза). За счет добавления сурьмы происходит упрочнение мягкой основы с последующим образованием твердых кубовидных включений SnSb. Но при этом возможно образование ликвации по плотности, поэтому для ее предотвращения вводят медь, которая с оловом образует звездчатые и игольчатые интерметаллиды Cu3Sn. Такие кристаллы создают как бы каркас, препятствующий всплытию более легких кристаллов. Таким образом, структура баббита состоит из трех фаз.

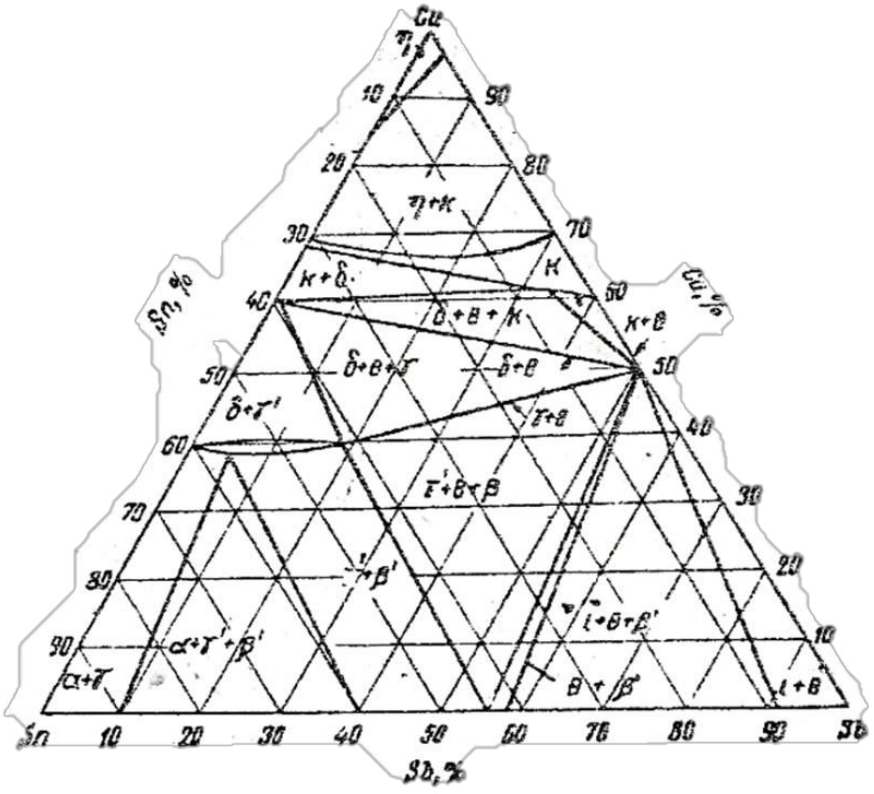


Рисунок 1. Тройная диаграмма состояния Sn-Sb-Cu

В структуре баббитового слоя (рис.2), залитого центробежным способом, наблюдается твердый раствор сурьмы и меди в олове (альфа-фазе), в котором распределены неравномерно

кубовидные кристаллы соединения олова с сурьмой SnSb (бета-фаза) и игольчатые и звездчатые кристаллы соединения меди с оловом Cu3Sn (гамма-фаза).

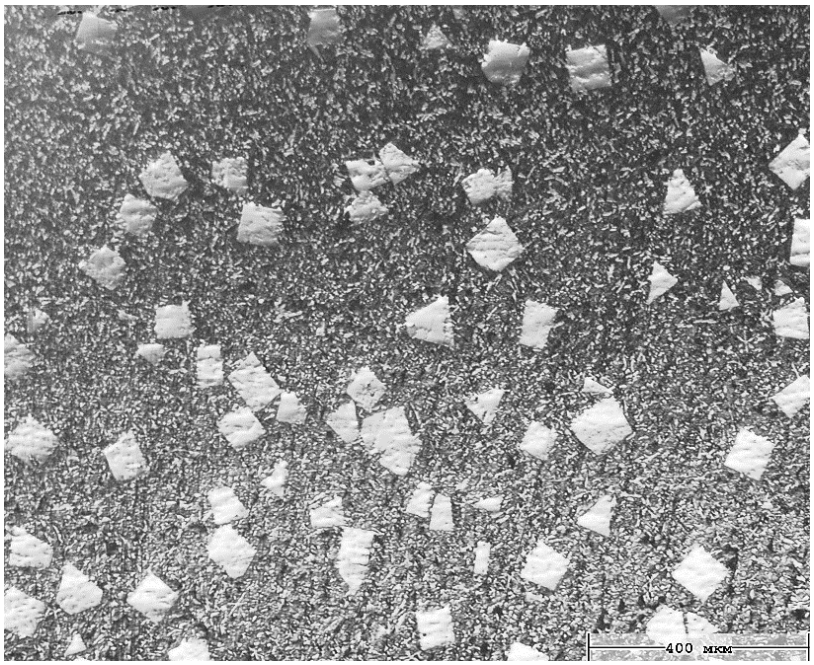


Рисунок 2. Структура баббита Б83, полученная центробежной заливкой

При газопламенном напылении структура баббита Б83 имеет отличие от структуры при центробежной заливке. В данном образце (рис. 3) наблюдается более или менее равномерное распределение частиц SnSb и Cu3Sn. По форме и размерам кристаллов такая структура является отличительной.

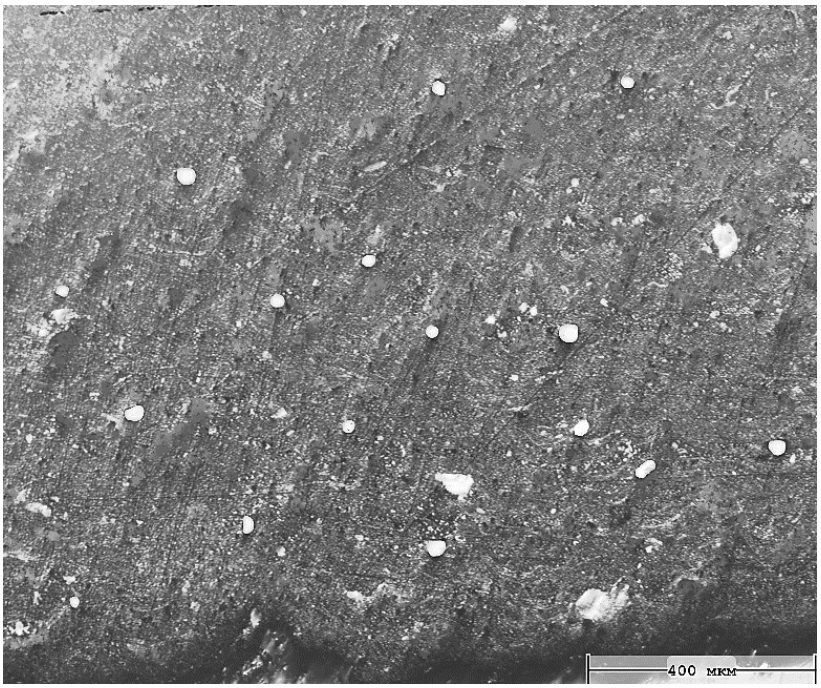
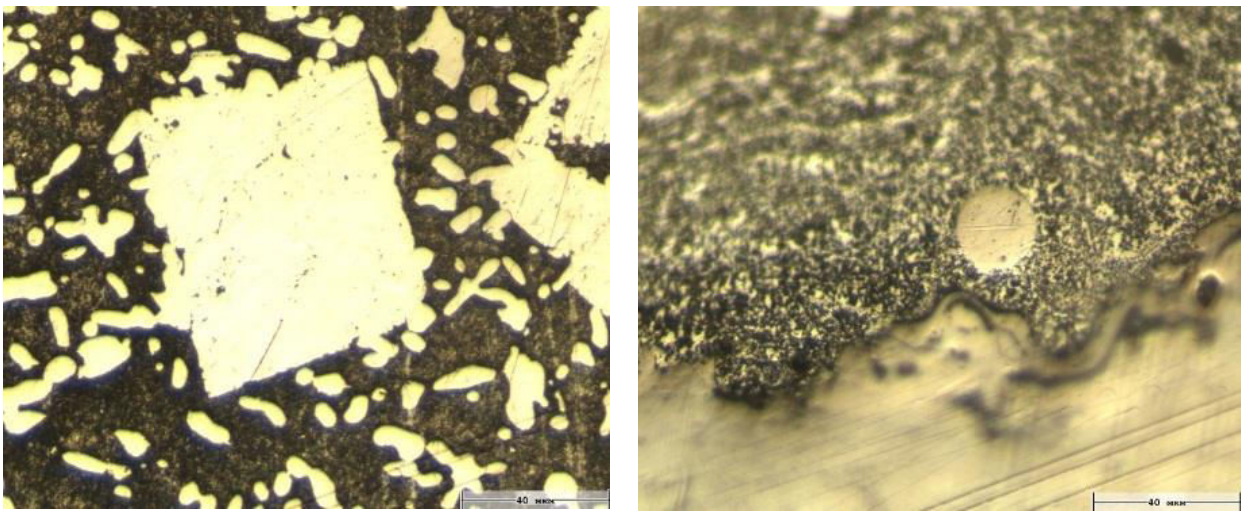


Рисунок 3. Структура баббита Б83, полученная газопламенным напылением

Отдельно была проанализирована форма интерметаллидов SnSb.



(а) (б)

Рисунок 4. Характерная форма интерметаллидов SnSb в баббите марки Б83, залитом разными способами: а – центробежной заливкой, б – газопламенное напыление

При центробежной заливке (рис. 4а) форма интерметаллидов SnSb имеет кубическую (остроугольную) форму, тогда как при газопламенном напылении образуются частицы более или менее округлой формы (рис. 4б). В среднем площадь интерметаллидов при центробежной заливке составляет 2929,8 мкм^2, а при газопламенном напыление – 413,9 мкм^2. Тем самым разница между площадями достигается в 5-7 раз.

Различия в морфологии объясняется условиями кристаллизации: при газопламенном напылении высокая скорость охлаждения и динамическое воздействие газового потока приводит к образованию мелкодисперсных сферических частиц, в то время как при центробежной заливке более медленное охлаждение способствует росту крупных кубических кристаллов.

Округлая форма интерметаллидов является более благоприятной в отношение эксплуатационных свойств. Поскольку данные кристаллы минимизируют концентрацию напряжения за счет отсутствия острых углов, что снижает риск возникновения микротрещин и повышает усталостную прочность материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Баббит оловянный, свинцовый: свойства, где применяется // ПромЦветМет. [2024]. Дата обновления: 02.09.2024. URL: https://pcm.sale/about_us/news/babbit-b-16-b-83-v-nalichii/?ysclid=maz2jfhskx134335975) (дата обращения: 15.05.2025).

2. ГОСТ 1320-74. Баббиты оловянные и свинцовые. Марки: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 12.04.79 N 1555 дата введения 1980-01-01.

INVESTIGATION OF THE MICROSTRUCTURE OF BEARING LINERS USING VARIOUS FORMING TECHNOLOGIES

Ishkenina K.V., Aleshina A.V.

Supervisor: Kurtaeva F.N., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The traditionally used technology of centrifugal filling of the babbit layer in sliding bearings has a number of disadvantages. In this work, the microstructure of the babbit layer obtained by centrifugal casting and flame spraying was studied.

УДК 621.78

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АУСТЕНИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ НА СТРУКТУРУ СПЛАВА

Кадочникова М.Г., Красюкова Р.Р.

Научный руководитель: Куртаева Ф.Н., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе исследовано влияние различных режимов термической обработки на структуру аустенитно-мартенситной стали 07Х16Н6, применяемой при производстве рабочих колёс центробежных компрессоров. Установлено, что альтернативный режим с принудительным охлаждением в аргоне позволяет улучшить микроструктуру материала и получить минимальную карбидную сетку.

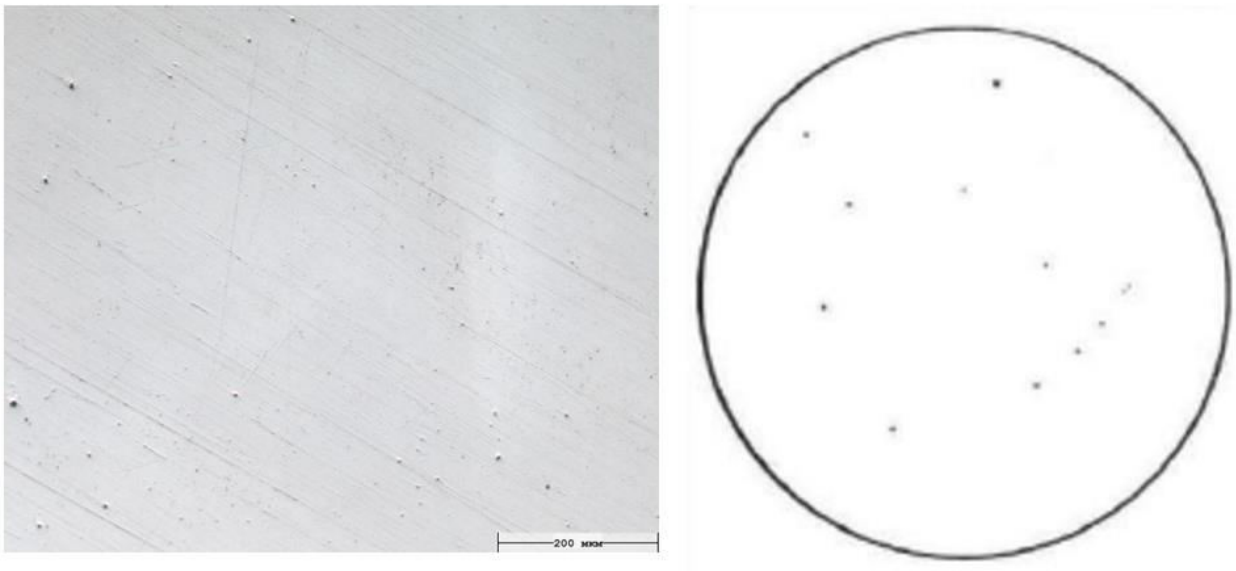
Структура стали 07Х16Н6 после закалки представляет собой метастабильный аустенит, который может претерпевать мартенситное γ→αм превращения в результате обработки холодом или пластической деформации ниже Мд (мартен ситное превращение при деформации). Кроме аустенита в структуре может присутствовать мартенсит в небольшом количестве (5¸ 10%) и δ-феррит не более 5%. Содержание δ-феррита ограничивают из-за возможного охрупчивания и снижения уровня прочности. Аустенитно-мартенситные стали для повышения механических свойств подвергают обработке холодом для перевода остаточного аустенита (до 40%) в мартенсит. Содержание стабильного аустенита после окончательной термообработки позволяют получать высокие показатели ударной вязкости при низких температурах. В научно-исследовательской литературе [1] приведено исследование, где сравнивались два режима термообработки и их влияние на микроструктуру металла.

Типовой режим термической обработки рабочего колеса направлен на стабилизацию структуры и снижение внутренних напряжений. Он включает пайку при 1250 °С (совмещённую с аустенизацией), отжиг при 770 °С, отпуск при 670 °С, закалку при 1000 °С, двойной отпуск при 625 °С, повторную закалку, охлаждение до -70 °С и старение при 360 °С. Такая комплексная схема обеспечивает высокую прочность, пластичность, структурную стабильность и коррозионную стойкость, но требует до 110 часов обработки.

Были разработаны два альтернативных изотермических режима. Первый — с длительным охлаждением в печи: пайка при 1070 °С, холодная обработка (-70 °С, 3 ч), старение (360 °С, 2 ч). Второй — с принудительным охлаждением в аргоне, обеспечивает более полное мартенситное превращение и минимизацию остаточного аустенита. Он включает пайку при 1070 °С, быстрое охлаждение, обработку холодом и старение. Преимуществами являются сокращённое время (до 24 часов), высокая ударная вязкость и отсутствие окисления поверхности.

Для обоснования выбора альтернативной программы термообработки были проведены исследования структуры опытных образцов по стандартным методикам. Образцы для исследований были одной плавки, отобраны из единой поковочной заготовки с соблюдением тангенциального направления вырезки. Исследование степени загрязнённости металла проводилось методом оптической микроскопии при стандартном увеличении 100х в соответствии с требованиями ГОСТ 1778-70. Загрязнённость неметаллическими включениями определялась методом Ш – сравнением полей зрения шлифов с эталонными шкалами.

Согласно проведённым металлографическим исследованиям, в структуре материала обнаружены точечные оксидные включения, соответствующие 1а баллу по шкале ГОСТ 1778-70. Характеристика выявленных включений: изолированные точечные оксиды, не превышающие 0,5 мкм, равномерно распределённые по объёму металла (рис. 1). Полученные результаты свидетельствуют о высокой степени чистоты исследуемого металла.



x100 x100

а) б)

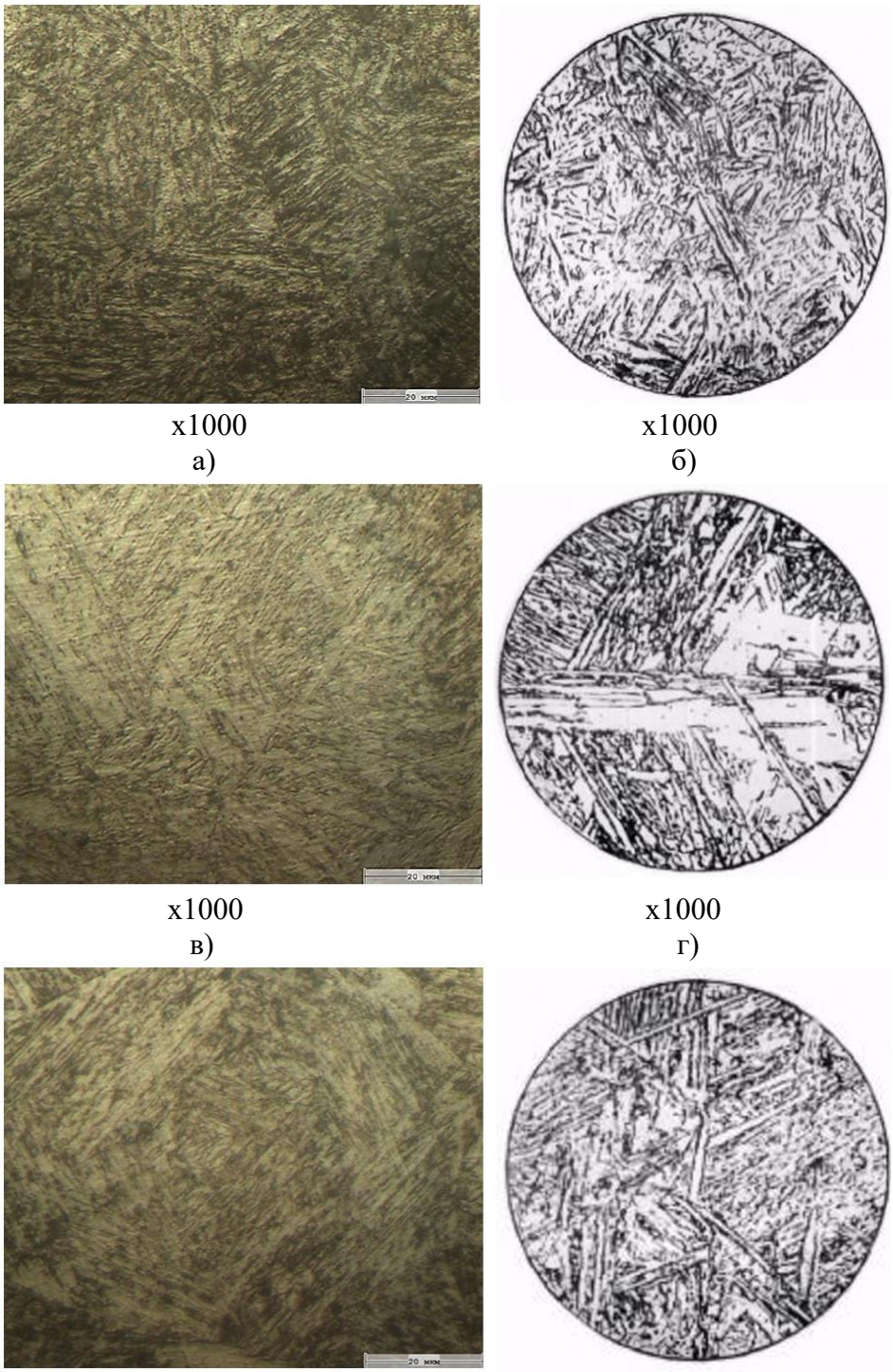
Рисунок 1. Загрязнённость металла неметаллическими включениями: а) – шлиф, б) – эталон

Проведён комплексный микроструктурный анализ металла после трёх различных режимов термообработки. Подготовка образцов включала в себя механическую шлифовку и полировку до зеркального состояния, а также травление раствором Марблэ (4% $CuSO_4$ + 20% HCl + 76% H_2O) в течении 15-30 секунд. Проведён сравнительный анализ микроструктуры с эталонными образцами мартенситных структур в соответствии с требованиями ГОСТ 8233-56 (рис. 2).

Структура после короткого режима: мартенсит с дисперсными карбидами при минимальном содержании остаточного аустенита. Структура близка к той, что формируется при типовом режиме ТО. Общее время термообработки составляет 24 ч. Преимуществами данного режима термообработки является получение более высокой прочности по сравнению с охлаждением в печи, а также сокращение времени обработки в 2-3 раза по сравнению с длительным режимом.

Микроструктура образца основного металла 07Х16Н6 после типового режима термообработки (рис. 2а) согласно ГОСТ 8233-56 соответствует 8 баллу шкалы 3. На микроструктуре отчётливо видна аустенитно-мартенситная структура. Иголки мартенсита равномерно расположены по всей площади шлифа. Структура однородная.

Микроструктура образца основного металла 07Х16Н6 после короткого ре жима термообработки с охлаждением в печи (рис. 2в) согласно ГОСТ 8233-56 соответствует 10 баллу шкалы 3. Прослеживается неравномерная структура мартенсита с изолированными участками остаточного аустенита.



х1000 а) х1000 б)

х1000 в) х1000 г)

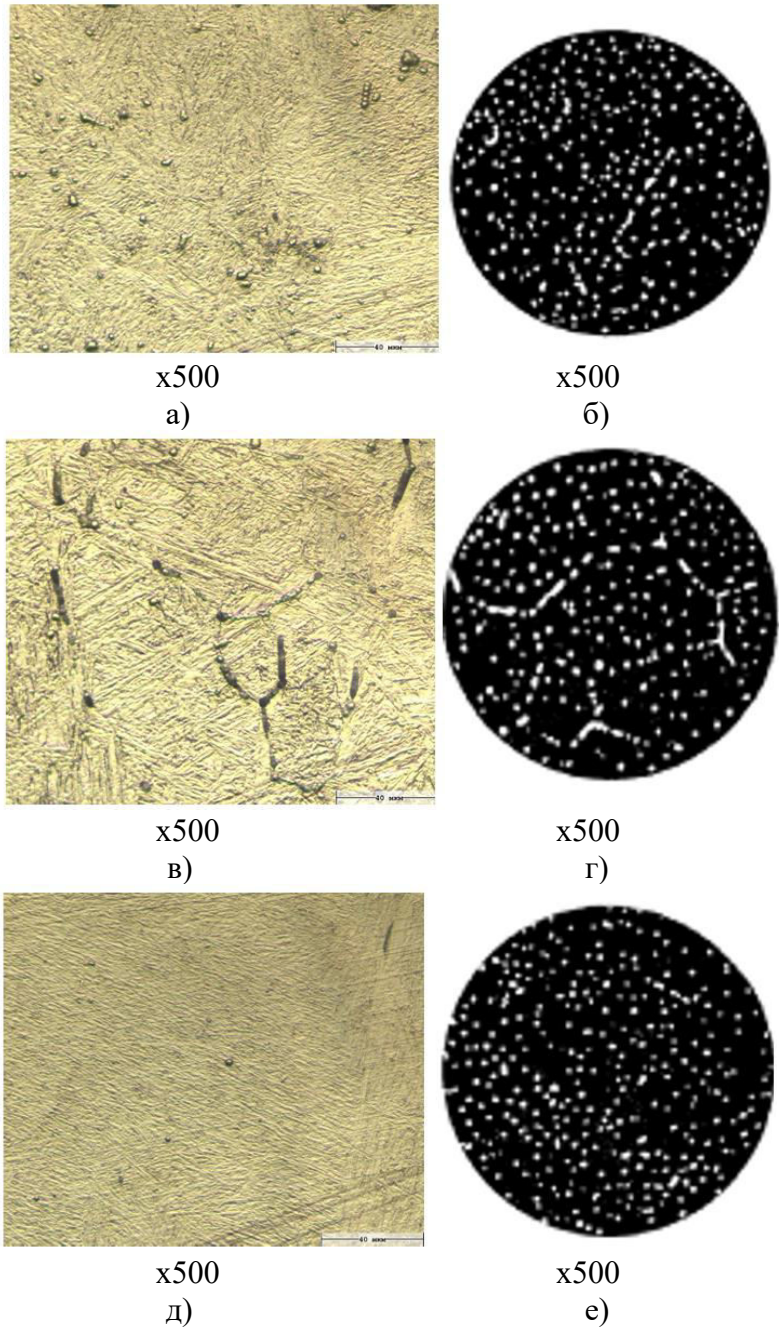
х1000 д) х1000 е)

Рисунок 2. Микроструктура образца после термообработки: а, в, д – структуры металла при различных видах термообработки; б, г, е – эталоны микроструктур

Микроструктура образца основного металла 07Х16Н6 после короткого режима термообработки с охлаждением в печи (рис. 2д) согласно ГОСТ 8233-56 соответствует 9 баллу шкалы 3. Структура более однородная и мелкоигольчатая, по сравнению с закалкой в печь.

Для исследования карбидной сетки была выполнена дополнительная подготовка образцов. Микрошлифы повторно полировались до зеркального состояния и подключались к установке электролитического травления. В качестве электролита использовали раствор щавелевой кислоты ($H_2C_2O_4$). Продолжительность травления составляла 60 секунд для

каждого образца. Далее микрошлифы промывались под проточной водой. Исследование проводилось на оптическом микроскопе. Структура представлена на рисунке 3.



х500 а) х500 б)

х500 в) х500 г)

х500 д) х500 е)

Рисунок 3. Выявление карбидной сетки: а, в, д – микрошлифы металла различной термообработки, б, г, е – эталоны

Проведённый сравнительный анализ микроструктурных характеристик с использованием эталонных шкал ГОСТ 8233-56 позволил установить следующие особенности: образец после типового режима термообработки демонстрирует карбидную сетку 2 балла. Преобладающая форма карбидов – изолированные точечные образования. Наблюдается неоднородное пространственное распределение карбидных фаз. В отдельных зонах микрошлифа отмечены начальные стадии формирования непрерывной сетки. Выявлены локальные скопления карбидных частиц с тенденцией к выстраиванию вдоль границ зёрен.

Микроструктурный анализ образца, подвергнутого термообработке по короткому режиму с охлаждением в печи, выявил следующие особенности: установлен 4-й балл

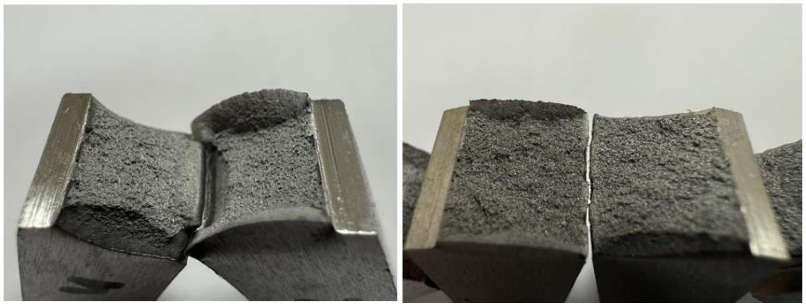
карбидной сетки, что не соответствует техническим требованиям (допустимый уровень – не более 3 балла). Наблюдается непрерывная сетка карбидов по границам зёрен. Медленная скорость охлаждения в печи способствовала диффузии углерода и хрома к границам зёрен, что привело к интенсив ному образованию карбидов $Cr_{23}C_6$. Недостаточная скорость охлаждения не позволила зафиксировать аустенит в метастабильном состоянии.

Результаты микроструктурного анализа образца после короткого режима термообработки с принудительным газовым охлаждением: установлен 1 балл карбидной сетки, что соответствует требованиям к качеству материала. Наблюдаются отдельные точечные карбиды без образования непрерывной сетки и отсутствие выраженной сегрегации по границам зёрен.

Таким образом, высокая скорость охлаждения предотвратила коагуляцию карбидов, а контролируемая газовая среда исключила окисление и обезуглероживание.

Короткий режим с принудительным охлаждением демонстрирует получение мелкодисперсной равномерной структуры с минимальным баллом карбидной сетки.

Поверхность излома на рисунке 4а демонстрирует следы внутризеренной пластической деформации, однородную структуру, что подтверждается значением ударной вязкости образца (табл. 4). В образце б излом ближе к хрупкому, отчетливо наблюдаются границы межзеренного отрыва, что свидетельствует о невысоком значении ударной вязкости.



а) б)

Рисунок 4. Виды изломов образцов после разрушения: а) – образец с принудительным охлаждением; б) – образец, с охлаждением в печи

Поскольку компрессоры могут работать и при сверхнизких температурах, для дальнейшего практических рекомендаций альтернативного режима ТО, были проведены исследования ударной вязкости при температурах до -196 ℃. Виды изломов образцов, обработанных по программе короткого режима термообработки с принудительным охлаждением представлена на рисунке 5.

а) б)

Рисунок 5. Поверхность изломов основного металла 07Х16Н6 после короткого режима термообработки с принудительным охлаждением: а) – KCV при -101℃, б) – KCV при -196℃

Проведённые исследования подтвердили, что режим термической обработки с принудительным охлаждением в аргоне [2] обеспечивает формирование равномерной мелкодисперсной структуры и минимизирует образование карбидной сетки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Повышение износостойкости инструментальных сталей методом криогенной обработки / П. В. Крот, С. В. Бобырь, И. П. Жарков [и др.] // Металлургические процессы и оборудование. – 2013. – № 4(34). – С. 88-98.

2. Патент № 2837205 C1 Российская Федерация, МПК B21K 1/36, F04D 29/22, B23K 1/19. Способ изготовления рабочего колеса центробежного компрессора из аустенитно-мартенситной стали: заявл. 08.08.2024: опубл. 26.03.2025 / Д. Е. Якимов, Е. Н. Поморцев, З. Р. Габдрахманова, М. Г. Кадочникова; заявитель Акционерное общество "Научно-исследовательский и конструкторский институт центробежных и роторных компрессоров им. В.Б. Шнеппа".

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HEAT TREATMENT OF AUSTENITIC-MARTENSITIC STEEL ON THE ALLOY STRUCTURE

Kadochnikova M.G., Krasyukova R.R.

Supervisor: Kurtaeva F.N., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The effect of various heat treatment modes on the structure of austenitic-martensitic steel 07H16N6 used in the production of impellers of centrifugal compressors is investigated. It has been found that an alternative mode with forced cooling in argon makes it possible to improve the microstructure of the material and obtain a minimal carbide mesh.

УДК 621.78

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АУСТЕНИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАБОЧЕГО КОЛЕСА ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

Кадочникова М.Г., Красюкова Р.Р.

Научный руководитель: Куртаева Ф.Н., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе исследовано влияние различных режимов термической обработки на свойства аустенитно-мартенситной стали 07Х16Н6, применяемой для изготовления рабочих колёс центробежных компрессоров. Разработан и испытан усовершенствованный режим с принудительным охлаждением в аргоне, обеспечивающий повышение ударной вязкости и сокращение длительности обработки более чем в четыре раза. Полученные результаты подтверждают перспективность внедрения предложенной технологии в промышленное производство.

Рабочее колесо центробежного компрессора представляет собой ключевой элемент конструкции, преобразующий кинетическую энергию вращения в энергию сжатого газа. Состоит из основного и покрывного дисков. Основной диск зачастую фрезеруется сразу с лопатками (рис. 1). Для соединения деталей применяется сварка или пайка.

а) б) в)

Рисунок 1. Рабочее колесо центробежного компрессора: а) основной диск с лопатками, б) покрывной диск, в) рабочее колесо

Материал, используемый для изготовления рабочих колес, оказывает большое влияние на выбор технологии производства. К числу требований, предъявляемых к материалам элементов рабочих колес, относятся высокие прочностные свойства при заданных надежности и ресурсе, хорошая технологичность и химическая стойкость в рабочих средах [1].

Сталь марки 07Х16Н6 отвечает требованиям, предъявляемым к материалу. Благодаря комплексу свойств данная сталь хорошо зарекомендовала себя в производстве колес центробежных компрессоров. Для проведения исследований были отобраны образцы, изготовленные из поковки. Химический состав металла определялся методом оптико-эмиссионной спектрометрии с использованием спектрометра Metavision 1008i3. Полученные результаты количественного химического анализа представлены таблице 1.

Таблица 1

Химический состав стали 07Х16Н6

Нормативный документ	C	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	S	P
ГОСТ 5632-2015	0,05-0,09	≤0,80	≤0,80	15,50-17,50	5,00-8,00	Осн.	≤0,020	≤0,035
Протокол №1610 от 02.06.2025	0,0773	0,5594	0,5162	16,5856	6,2198	Осн.	0,0009	0,0239

Механические свойства материала колёс определяются после окончательной термообработки. Механические свойства материала дисков, определяемые на продольных, тангенцальных или поперечных образцах должны соответствовать таблице 2.

Таблица 2

Требования к механическим свойствам стали 07Х16Н6

Нормативный документ	Предел текучести, σ0,2, МПа	Временное сопротивление, σв, МПа	Относительное удлинение, δ, %	Относительное сужение, ψ, %	Ударная вязкость KCU, Дж/см2	Твёрдость НВ
Технологическая инструкция завода изготовителя	>835	>1019	>9	>36	>49	341-415

Технологический процесс изготовления рабочего колеса центробежного компрессора из стали 07Х16Н6 представляет собой сложный многоступенчатый цикл, направленный на достижение оптимальных эксплуатационных характеристик изделия. Процесс начинается с операции высокотемпературной пайки, которая проводится при 1250°С в течение 20 часов. Этот этап обеспечивает надежное соединение составных частей рабочего колеса, но одновременно приводит к росту зерна и образованию внутренних напряжений в материале.

Для устранения негативных последствий пайки сразу после нее выполняется специальная предварительная термообработка по методике ФГУП "ВИАМ". Данная

операция позволяет измельчить зерно и подготовить структуру стали к последующим технологическим операциям. Затем следует первый этап термической обработки, включающий отпуск при 670±20°C в течение 8 часов, что способствует снятию внутренних напряжений и стабилизации структуры материала.

После первичного отпуска на поверхность детали наносится защитная эмаль, предотвращающая окисление в ходе последующих операций. Этот процесс занимает 10 часов. Далее проводится ключевая операция - аустенизация (закалка) при 1000±20°C с выдержкой 10 часов, которая обеспечивает формирование требуемой структуры стали. Для завершения фазовых превращений выполняется обработка холодом при -70°C в течение 8 часов, после чего следует двойной отпуск при 625±20°C (по 8 часов каждый) для стабилизации механических свойств.

Завершающая стадия технологического процесса включает финишные операции: дробеструйную обработку поверхности (1 час), повторное нанесение защитной эмали (10 часов), вторую аустенизацию при 1000±20°C (10 часов), повторную обработку холодом (-70°C, 8 часов) и старение при 360°C в течение 8 часов. Финальная дробеструйная обработка (1 час) завершает производственный цикл, общая продолжительность которого составляет 110 часов.

Типовой режим термической обработки рабочего колеса применяется для обеспечения максимальной стабильности структуры и снижения внутренних напряжений. Он включает следующие этапы:

1. Пайка при температуре 1250℃ 10 мин. Высокотемпературный нагрев для соединения деталей. Происходит растворение карбидов и гомогенизация аустенита, поэтому данный этап совмещается с аустенизацией. При этом происходит устранение неоднородности структуры, однако возможен рост зерна.

2. Отжиг при температуре 770℃ 1,5 часа. Нагрев ниже критической точки. Происходит частичный распад мартенсита и выделение карбидов. Прослеживается снижение напряжений и улучшение обрабатываемости.

3. Высокотемпературный отпуск при 670℃ 1,5 часа. Происходит распад остаточного аустенита и коагуляция карбидов, что повышает пластичность и снижает твёрдость стали.

4. Закалка при температуре 1000℃. Нагрев до аустенитного состояния и быстрое охлаждение. Образуется мартенсит с остаточным аустенитом. Повышается прочность стали и её твёрдость.

5. Двойной отпуск при температуре 625℃. Двухкратная стабилизация структуры провоцирует дополнительное выделение карбидов и стабилизацию мартенсита.

6. Повторная закалка при температуре 1000℃ корректирует структуру после отпуска и тем самым обеспечивает стабильность свойств.

7. Глубокое охлаждение на температуру -70℃ и выдержка 2 часа способствует превращению остаточного аустенита в мартенсит, повышая твёрдость и стабилизируя размеры детали.

8. Низкотемпературная выдержка при температуре 360℃ 3 часа оптимизирует прочностные характеристики. Происходит дисперсионное твердение металла и выделение мелких карбидов.

Комплексная термообработка обеспечивает:

• Высокую прочность (за счёт мартенсита и дисперсионного твердения);

• Хорошую пластичность (благодаря отпускам);

• Стабильность структуры (минимизация остаточного аустенита);

• Коррозионную стойкость (контроль карбидообразования).

Типовая программа термической обработки рабочих колёс сочетает в себе 8 режимов после пайки. Это применяется потому, что во время пайки основной металл подвергается значительному перегреву, что приводит к интенсивному росту зерна аустенита и образованию дельта феррита.

Изотермическая (короткая) программа ТО с длительным охлаждением в печи включает в себя:

1. Пайку при температуре 1070°С 1 час. В основном металле происходит процесс растворения карбидов хрома и никеля в аустените, а также частичная гомогенизация структуры. Это приводит к уменьшению неоднородности состава и подготавливает структуру к последующему мартенситному превращению. Охлаждение в печи снижает внутренние напряжения.

2. Обработка холодом при температуре -70°С 3 часа повышает долю мартенситной фазы.

3. Старение при температуре 360°С в течении 2 часов.

Изотермический режим ТО с принудительным охлаждением. Поскольку для стали 07Х16Н6 температура конца мартенситных превращений близка к -80°С, для уменьшения остаточного аустенита и более полного мартенситного превращения рекомендуется программа ТО с принудительным быстрым охлаждением в среде аргона.

1. Пайка при температуре 1070°С 1 час. В основном металле происходит процесс растворения карбидов хрома и никеля в аустените, а также образование пересыщенного твёрдого раствора. Это приводит к уменьшению неоднородности состава и подготавливает структуру к последующему фазовому превращению. Ускоренное охлаждение в аргоне (50-100°С/с) приводит к интенсивному мартенситному превращению с образованием мелкодисперсного мартенсита. Благодаря защитной среде поверхность детали не окисляется.

2. Обработка холодом при температуре -70°С 3 часа. Разрыв между закалкой и обработкой холодом не должен превышать 12 часов.

3. Старение при температуре 360°С в течении 2 часов снижает внутренние напряжения.

Механические испытания образцов стали 07Х16Н6 проводились в соответствии с ГОСТ 1497-84 (методы испытаний на растяжение) и ГОСТ 9012-59 (измерение твердости по Бринеллю). Результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4

Механические свойства при различных режимах термообработки

Режим термообработки	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	ψ, %	$KCV^{+20°C}$, Дж/см^2	$KCV^{-100°C}$, Дж/см^2	НВ
Режим №1 (типовой)	1269	1060	19,8	63	114	83	388
Режим №2 (охлаждение с печью)	1226	998	19,5	59	37,5	14	363
Режим №3 (принудительное охлаждение газом)	1224	1005	20	65	151,9	119	380

Проведённые исследования выявили существенное влияние режимов термообработки на механические характеристики материала. Установлено, что охлаждение в печи приводит к значительному ухудшению эксплуатационных свойств. Зафиксировано снижение ударной вязкости на 60% относительно типового режима. Наблюдается повышенная хрупкость материала при отрицательных температурах. Ухудшение свойств связано с формированием карбидной сетки.

Короткий режим с принудительным охлаждением демонстрирует высокие показатели ударной вязкости как при комнатной температуре, так и при -100°С.

Полученные данные убедительно доказывают преимущество режима с принудительным охлаждением для ответственных деталей, работающих в широком температурном диапазоне.

В ходе исследования установлено, что свойства аустенитно-мартенситной стали 07Х16Н6 существенно зависят от режима термической обработки. Разработанный режим с принудительным охлаждением в аргоне [2] позволил повысить ударную вязкость, особенно при низких температурах. При этом длительность термообработки удалось сократить с 110

до 24 часов без потери качества. Предложенная технология является энергоэффективной, технологичной и готова к промышленному внедрению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Исследование низкоуглеродистой мартенситной стали 1.4313 для изготовления рабочих колёс центробежных компрессорных установок / Е. Н. Поморцев, З. Р. Габдрахманова, Ю. А. Басаркин, А. Н. Липатов // Исследование, конструирование и технология изготовления компрессорных машин: Труды XI Международной научно-технической конференции молодых специалистов, Казань, 21–22 апреля 2022 года. – Казань: ООО "Визард", 2022. – С. 250-255.

2. Патент № 2837205 C1 Российская Федерация, МПК B21K 1/36, F04D 29/22, B23K 1/19. Способ изготовления рабочего колеса центробежного компрессора из аустенитно-мартенситной стали: заявл. 08.08.2024: опубл. 26.03.2025 / Д. Е. Якимов, Е. Н. Поморцев, З. Р. Габдрахманова, М. Г. Кадочникова; заявитель Акционерное общество "Научно-исследовательский и конструкторский институт центробежных и роторных компрессоров им. В.Б. Шнеппа".

THE EFFECT OF HEAT TREATMENT MODES ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF AUSTENITIC-MARTENSITIC STEEL FOR THE MANUF ACTURE OF A CENTRIFUGAL COMPRESSOR IMPELLER

Kadochnikova M.G., Krasyukova R.R.

Supervisor: Kurtaeva F.N., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper examines the effect of various heat treatment modes on the structure and properties of austenitic-martensitic steel 07H16N6, used for the manufacture of impellers of centrifugal compressors. An improved mode with forced cooling in argon has been developed and tested, providing an increase in impact strength and a reduction in processing time by more than four times. The results obtained confirm the prospects of introducing the proposed technology into industrial production.

УДК 67.02

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА НА ГАЗОВУЮ ПОРИСТОСТЬ И МИКРОСТРУКТУРУ

Калаганов А.Н.

Научный руководитель: Ильинкова Т.А., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Аннотация. Пористость оказывает негативное влияние на свойства отливок из алюминиевых литейных сплавов типа силуминов. В работе было изучено влияние технологических режимов приготовления сплава АК7ч на пористость и микроструктуру в образцах-отливках. Выявлено, что кратковременный перегрев снижает пористость, повышая механические свойства по сравнению с рафинированно-модифицированным вариантом, эффективнее измельчает зерно.

Введение

Алюминиевые литейные сплавы системы Al-Si-Mg широко применяются в авиа- и машиностроении за счет высокой текучести, герметичности, хорошей свариваемости, отсутствие склонности к образованию трещин. Однако такие сплавы имеют высокую склонность к газонасыщению [1]. Основным газом, вызывающее пористость, является

водород [2]. В результате чего при приготовлении таких сплавов мероприятия по рафинированию являются необходимыми для снижения газовой пористости. Рафинирующие флюсы являются одним из популярных способов адсорбционного рафинирования, по эффективности превосходящие иные адсорбционные способы. Исследование показало, что кратковременный перегрев на 830 ºС с последующим охлаждением до температуры заливки (720±20 ºС) снижает содержание водорода, то есть уменьшается газовая пористость, а также измельчает зерно в 2-3 раза [3]. Также было выявлено, что водород оказывает демофицирующее воздействие на процесс кристаллизации в силуминах. Водород, адсорбируясь на нанокристаллах алюминия, препятствует дальнейшему их объединению, снижая концентрацию центров кристаллизации алюминия, что приводит к увеличению размеров зерен в структуре отливок [4].

Экспериментальная часть

В данной работе исследовалось влияние технологических режимов приготовления алюминиевого сплава на механические свойства и пористость, а также микроструктуру. Материалом исследования является алюминиевый литейный сплав АК7ч (ГОСТ 1583-93).

Плавка проводилась в печи сопротивления СП 490/10-ALSRC. Плавка металла проводилась при температуре 800 ºС. Масса затраченной шихты на исследование составила 3,2 кг. Образцы отливались в кокильную форму. Перед заливкой шлак счищался с поверхности вплоть до зеркального блеска.

Для получения образца «Перегретый 830 ºС» перед заливкой в кокиль температура плавления поднимали до 830 ºС, время выдержки 30 минут, затем охлаждали до 730 ºС и заливали в кокиль. Для получения образца «Необработанный» проводилась заливка металла в кокиль при температуре 720+20 ºС без проведения каких-либо мероприятий. «Рафинированный» образец получен путем проведения рафинирования рафинирующим флюсом УФ №2 (40 % NaF, 45 % NaCl, 15 % Na_3AlF_6) при температуре 730-750 ºС путем засыпки поверхности расплава, выдерживая в течение 1-2 мин с последующим замешиванием флюса на глубину 100-150 мм на 1-2 минуты соответственно; отработанный флюс счищается с поверхности расплава и полученный расплав заливается в кокиль. «Рафинированный+Модифицированный» образец получен путем проведения рафинирования флюсом УФ №2 и модифицирования сплава при температуре 730-750 ºС. Модифицирование проводилось с использованием модификатора «Дегазер» в виде таблетки массой 200-250 грамм, состоящий из гексахлорэтана (C_2Cl_6) и хлорид натрия (NaCl), вводится в расплав на глубину 500□750 мм.

Все отливки были подвергнуты термической обработке по режиму Т-5, которая заключается в следующем: закалка при температуре 535±5 ºС с выдержкой 2-6 ч с охлаждением в воде при температуре 80-100 ºС; искусственное старение при температуре 150±5 ºС с выдержкой 1-3 ч.

Временное сопротивление при статическом растяжении ($\sigma_в$) и относительное удлинение (δ) измеряли с помощью испытательной машины LFM-100 (Швейцария) с датчиком силы 1220 EAW 125 (США) при нагрузке в 10 Н/(мм^2·с). Измерение твердости по Бринеллю (НВ) проводилось на прессе Бринелля ТШ-2М со следующим режимом испытания: шарик 6 мм с временем нагружения не более 15 секунд.

Металлографическое исследование проводилось путем приготовления макрошлифов с использованием шлифовального и полировочного оборудования ШУ-193 и ПЛ-348 соответственно; образец шлифовался вертикально расположенными кругами 100□□□□Р, 220-240Р, 280-320Р, 400-600Р со скоростью вращения до 1426 об/мин; полировка проходила на вертикально расположенном круге, смоченной эмульсией из окиси хрома (4-5 г/100см^3) и дистиллированной воды, обтянутым сукном (скорость вращения 400 об/мин). Подготовленный шлиф промывают в спирте, высушивают в струе сухого воздуха или фильтрованной бумагой.

Балл газовой пористости определяется на приготовленном макрошлифе путем измерения его площади, среднего диаметра пор, количество пор. Оценка проводится

невооруженным глазом или с помощью лупы с увеличением до 10х. Измерение площади проводят с помощью программного обеспечения. Измерение размера пор проводят как среднее арифметическое на всю поверхность макрошлифа. Для оценки балла пористости используются эталоны ГОСТ 1583-93.

Микроструктура рассматривалась на нетравленой поверхности при увеличениях х100-500 с помощью оптического микроскопа Olympus GX51 и программного обеспечения Thixomet PRO. Измерение зерен α-твердого раствора на шлифе проводилось с использованием программного обеспечения.

Результаты исследований

Результаты показали, что изменение технологии приготовлении сплава АК7ч существенно влияет на механические свойства и пористость в отливке. Данные, отражающие влияние технологических режимов на механические свойства отливок из силумина АК7ч, представлены в таблице 1.

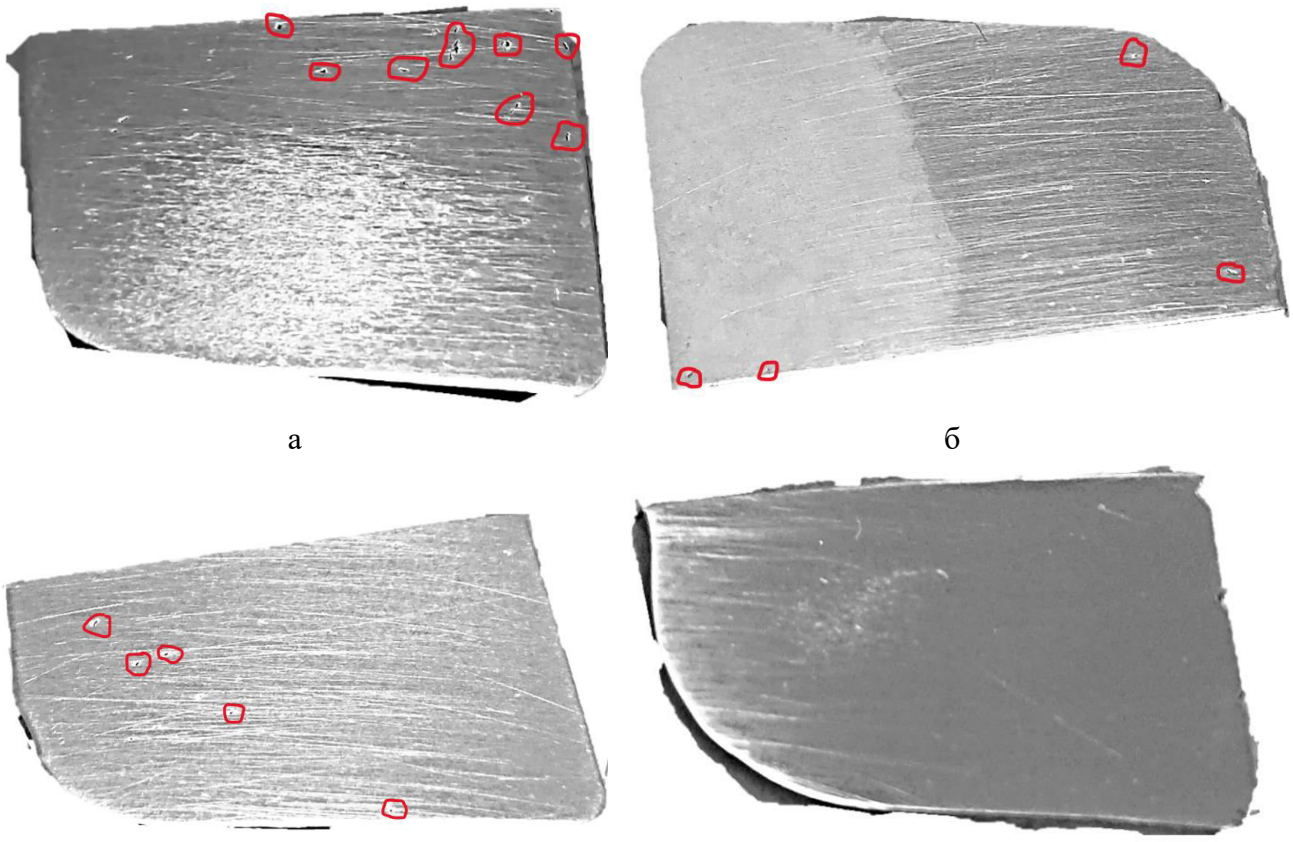
Таблица 1

Механические свойства АК7ч по вариантам технологических режимов литья

№ образца	Наименование образца	$\sigma_в$, МПа	δ, %	НВ
1	Перегретый	279	6,5	115
2	Необработанный	252	5,7	102
3	Рафинированный	264	5,9	108
4	Рафинированный+Модифицированный	270	6,2	110

Заливка в кокиль сплава без обработки (образец 2) показывает наименьшие свойства по сравнению с остальными образцами. Подобные малые значения объясняются отсутствием проведения мероприятий по выведению водорода из сплава до заливки в форму, тем самым газовая пористость растет и сильнее оказывает негативное влияние на механические свойства. При проведении рафинирования (образец 3) механические свойства заметно увеличились, однако уступают значениям, полученным после модифицирования. Это объясняется тем, что рафинирование флюсом частично очищает расплав от неметаллических включений и водорода. Модифицирование (образец 4) дополнительно очищает расплав, а также вводит дополнительные центры кристаллизации, уменьшая зерна сплава. Перегретый показывает наилучшие механические свойства, так как при температуре 830 ºС происходит разрушение комплексного соединения окисной плены Al_2O_3 с водородом, способствуя выведению большего числа газа из расплава.

Пористость влияет на механические свойства отливок. Отсутствие обработки повышает пористость (рис. 1а), когда применение рафинирования и модифицирования снижает пористость в отливке (рис. 1б; 1в). Перегрев металла значительно снижает пористость, по сравнению с рафинированием и модифицированием (рис. 1г).

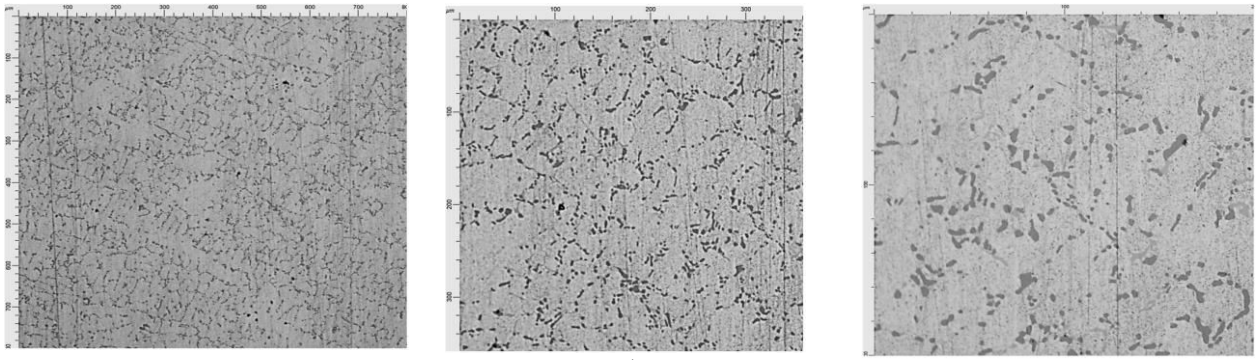


а б в г

Рисунок 1. Поверхность отливок из сплава АК7ч при определении пористости на поверхности шлифа: а – 4 балл; б – 3 балл; в – 2 балл; г – 1 балл.

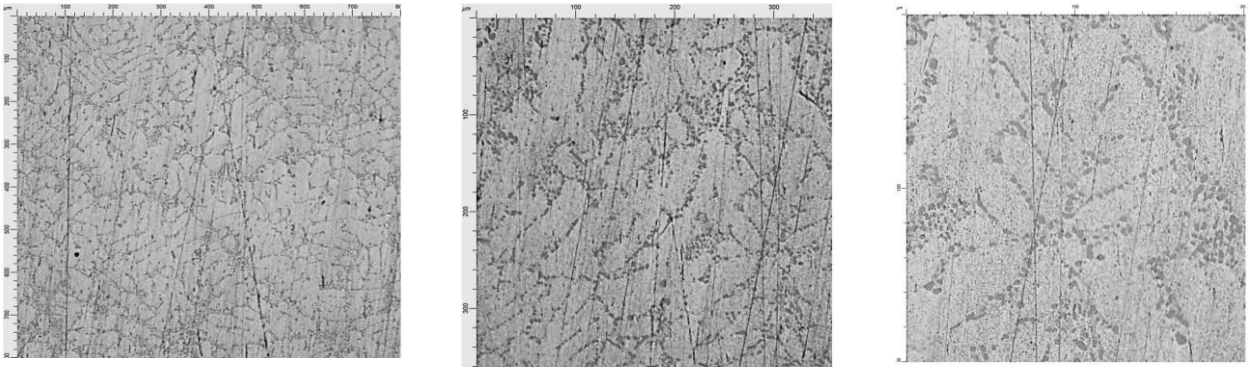
На образце 1 (рис. 1г) пор не выявлено. При не обработке у образца 2 (рис. 1а) средний размер пор составляет 0,5 мм. У образцов 3 и 4 (рис. 1б; 1в) 0,3 и 0,2 мм соответственно.

Микроструктура образцов демонстрирует влияние содержание водорода на размер зерна. Рисунки 2-4 демонстрируют микроструктуры отливок из сплава АК7ч по вариантам технологических режимов литья в кокиль, прошедшие термическую обработку по режиму Т5.



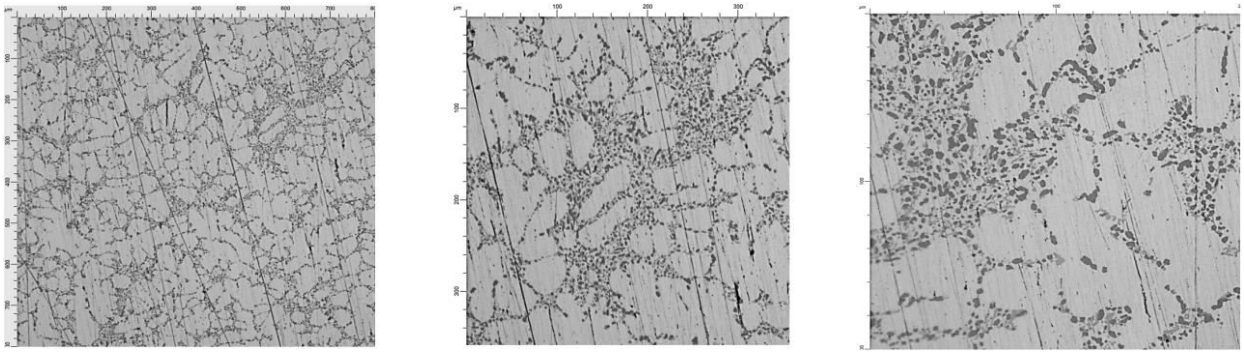
а б в

Рисунок 2. Микроструктура образца 1: а – х100; б – х200; в – х500



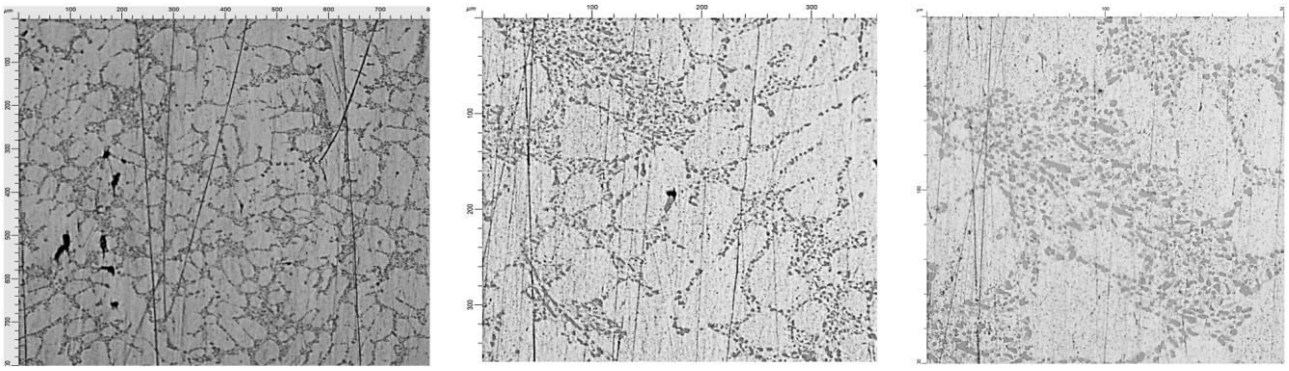
а б в

Рисунок 3. Микроструктура образца 2: а – х100; б – х200; в – х500



а б в

Рисунок 4. Микроструктура образца 3: а – х100; б – х200; в – х500



а б в

Рисунок 5. Микроструктура образца 4: а – х100; б – х200; в – х500

На рисунке 2 видно, что размер зерен и количество включений в виде α+Si эвтектики (темно-серые) меньше, чем у образцов 2-4 (рис. 3-5). Это показывает, что перегрев способствует значительному удалению водорода из сплава. На микроструктурах образцов, подвергнутые рафинированию и модифицированию (рис 4; 5), эвтектика в виде α+Si более измельченная, что объясняет высокие механические свойства, по сравнению с образцом 2. На таблице 2 приведены результаты измерений размеров зерен по вариантам технологических режимов литья.

Таблица 2

Размеры зерен α-твердого раствора по вариантам технологических режимов литья

№ образца	1	2	3	4
Средний размер зерна, мкм	33	61	55	52

Уменьшение содержания водорода позволяет уменьшить размер зерна в сплаве, что демонстрируют образцы 1, 3 и 4. Образец 2 имеет наибольший размер зерна, ввиду высокого содержания водорода. Образец 1 имеет наименьший размер зерна ввиду низкого содержания водорода. Образец 4 имеет чуть меньший размер зерна ввиду дополнительного рафинирования, по сравнению с образцом 3.

Заключение

Кратковременный перегрев оказывает положительное влияние на структуру и пористость сплава, повышая его механические свойства. Микроструктура перегретого варианта по размеру зерна наименьший, по сравнению с остальными вариантами заливки. Рафинированный вариант имеет чуть больший размер зерна по сравнению с вариантом, прошедшим модифицированием. Необработанный вариант имеет наибольший балл пористости, перегретый – наименьший. Перегретый вариант по результатам механических испытаний показывает наилучшие значения по временному сопротивлению, относительному удлинению и твердости по Бринеллю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Галдин Н.М*. Цветное литье: Справочник / Н. М. Галдин, Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук [и др.]. ред. Н. М. Галдина. – М.: Машиностроение. - 1989. – 528 с.

2. *Чернега Д.Ф.* Газы в цветных металлах и сплавах / Д. Ф. Чернега, О. М. Бялик, Д. Ф. Иванчук, Г. А. Ремизов. - М.: Металлургия, 1982. - 176 с.

3. *Стеценко В.Ю*. Влияние водорода на формирование структуры сплавов при затвердевании отливок / В.Ю. Стеценко // Литье и металлургия. – Минск: БНТУ, 2010. - №1 С. 128-130.

4. *Марукович Е.И*. Влияние водорода на кристаллизацию первичных фаз литейных сплавов / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко // Литейное производство. - 2023. - №4. С. 3-6.

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL MODES OF ALUMINUM ALLOY PRODUCTION ON GAS POROSITY AND MICROSTRUCTURE

Kalaganov A.N.

Supervisor: Ilinkova T.A., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. Porosity has a negative effect on the properties of castings made of aluminum casting alloys such as silumins. The influence of the technological modes of preparation of the AK7ch alloy on the porosity and microstructure in the casting samples was studied. It has been revealed that short-term overheating reduces porosity, increasing mechanical properties compared to the refined-modified version, and grinds grain more efficiently.

УДК 546.01

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТВЕРЖДЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Камалетдинова Р.Л., Дутова В.С.

Научный руководитель: Валеева А.Р., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. В настоящей работе рассматривается исследовании влияния состава и свойств эпоксидных смол отечественного и китайского производства на эксплуатационные характеристики отвержденных полимеров на их основе. В рамках данной работы рассмотрены смолы китайская CYD-128 и отечественная ЭДП 14 производитель ООО

Полипласт-УралСиб. Сравнение проводится за счет измерения прочности при изгибе и отрыве, износостойкости и твердости.

Введение. Эпоксидные полимеры занимают особое место среди других полимерных материалов благодаря своим уникальным свойствам и широко применяются в аэрокосмической, автомобильной, судостроительной и других отраслях. Их популярность объясняется, с одной стороны, высокой технологичностью эпоксидных смол, а с другой — превосходными эксплуатационными характеристиками отверждённых продуктов [1].

С целью изготовления качественных и надежных изделий из полимерных эпоксидных материалов в первую очередь стоит учитывать химические и физические показатели исходных компонентов – смолы, такие как: вязкость, эпоксидное число, молекулярная масса (эпоксидный эквивалентный вес), цвет, содержание хлора и примесей [2-4].

Экспериментальная часть. Во внимание были приняты литературные данные о том, что вязкость определяет технологичность применения эпоксидных олигомеров [5]. Наличие омыляемого хлора и летучих примесей у эпоксидной смолы отрицательно влияет на эксплуатационные свойства отвержденных материалов [6,7]. С возрастанием эпоксидного эквивалентного веса реакционная способность эпоксидных смол снижается [8].

Из таблицы 1 видно, что смола ЭДП 14 обладает меньшим эпоксидным числом по сравнению с CYD 128, что влияет на густоту пространственной сетки эпоксидных полимеров [8].

Таблица 1

Характеристики эпоксидных олигомеров

Тип олигомера	Эпоксидный эквивалент, вес.г /экв	Массовая доля эпокси групп, %	Массовая доля омыляемого хлора, %	Массовая доля летучих веществ, %
ЭДП 14	231	18,2	0,28	0,1
CYD 128	185	23,2	0,045	0,04

Установлено, что эпоксидные композиции на основе ЭДП 14 демонстрируют более низкие значения всех исследуемых прочностных и адгезионных характеристик (рис. 1-4) по сравнению с композициями, изготовленными с использованием CYD 128.

При этом различия в характеристиках композиций варьируются в зависимости от типа испытаний. Например, прочность на изгиб исследуемых материалов сильно зависит от свойств эпоксидной смолы и отличается при использовании ЭДП 14 и CYD 128 примерно на 33 %.

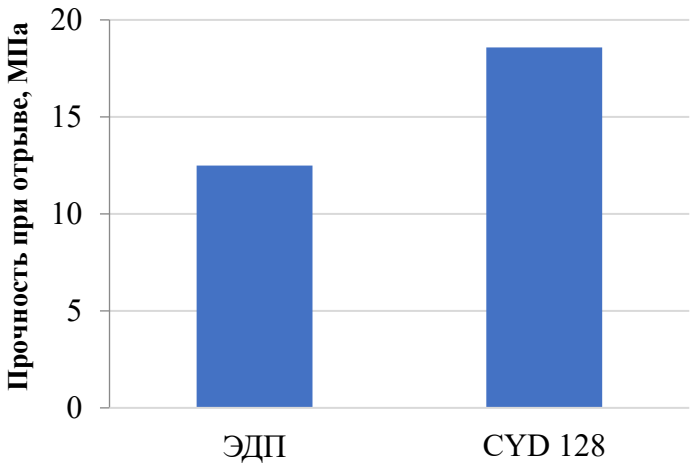


Рисунок 1. Зависимость прочности при изгибе эпоксидных композиций от типа диановой смолы

Прочность на отрыв также существенно варьируется при использовании ЭДП 14 и CYD 128, достигая разницы примерно в 32 % (рис. 2).

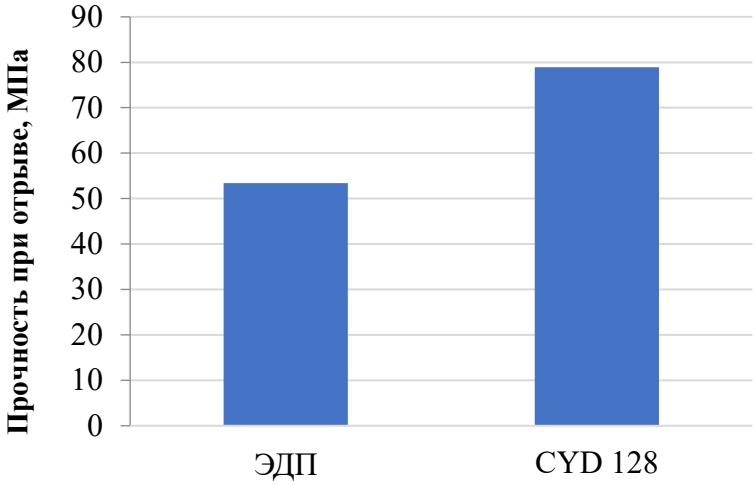


Рисунок 2. Зависимость прочности при отрыве эпоксидных композиций от типа диановой смолы

В то же время, износостойкость композиций на основе ЭДП 14 на 10 % ниже, чем у смол китайского производства (рис. 3).

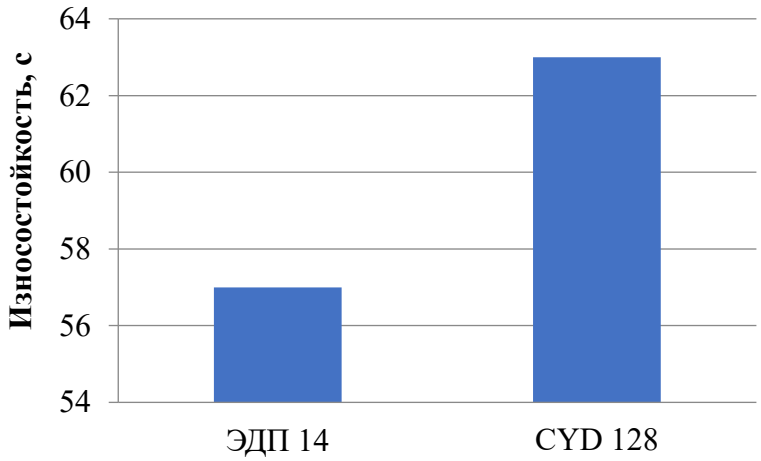


Рисунок 3. Зависимость износостойкости эпоксидных композиций от типа диановой смолы

Обнаружено, что такие параметры, как эпоксидное число, массовая доля омыляемого хлора и летучих компонентов в составе олигомера, значительно воздействуют на твердость материала. Аналогично, эти параметры оказывают влияние и на адгезионные свойства. Зафиксированы различия в твердости (рис. 4) в 2 раза и в адгезии до 33 %. Можно сделать вывод, что различные виды деформации по-разному воздействуют на структуру отвержденного полимера и его эксплуатационные характеристики.

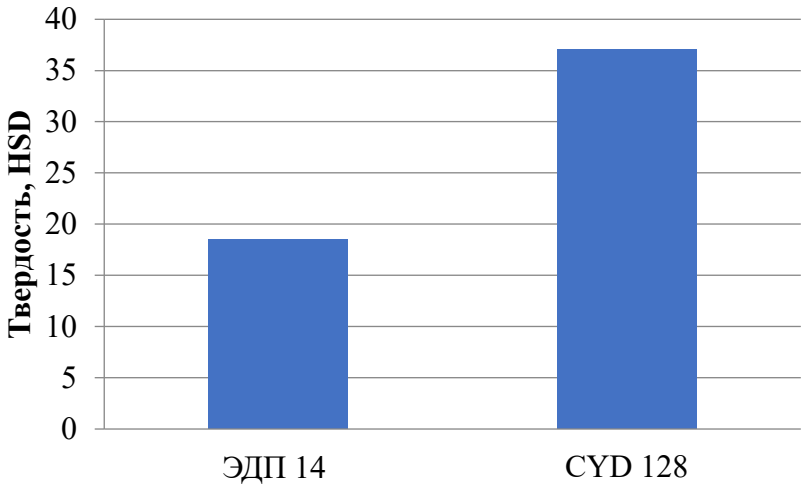


Рисунок 4. Зависимость твердости эпоксидных композиций от типа диановой смолы

Смола ЭДП 14 имеет очень большую вязкость, при сравнении со смолой CYD 128. Высокий показатель вязкости может негативно сказаться на процессе, так как это может вызывать неравномерное нанесение и отверждение внутри реакционной массы. Это, в свою очередь, способствует возникновению внутренних напряжений и снижают характеристики прочности материала.

Заключение. Таким образом, установлено, что композиции на основе смолы отечественного производства уступают по всем показателям. Прочность на изгиб на 33 %; прочность на отрыв на 32 %; износостойкости на 10 %; твердости 102 %; по сравнению со смолой из Китая. В смоле отечественного производства большее содержание хлора по молекулярной массе, который ухудшает свойства композита и вязкость при комнатной температуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Смола эпоксидная марки CYD-128. – Текст: электронный. – URL: https://ucgrus.com/catalog/smola-epoksidnaya-marki-cyd-128-sinopec-chemicalcompany/ (дата обращения: 15.03.25).

2. *Иржак В.И.* Эпоксидные полимеры и композиты с эпоксидной матрицей. - М.: РАН, 2020. - 288 с.

3. *Симоник Е.И.* Технология получения и применение эпоксиднодиановой смолы марки «ЭД-20» / Е.И. Симоник // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. - 2019. - С. 34-41.

4. *Готлиб Е.М.,* Сравнение эксплуатационных свойств эпоксидных композиций, модифицированных продуктами переработки риса, выращенного в различных климатических условиях / Нцуму Р.Ш., Валеева А.Р., Галимов Э.Р. // Материалы XI-й Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2022» (МНТК-ИМТОМ – 2022).Сборник докладов. Казань, 2022. С. 32-37.

5. *Кузнецова В.А*. Исследование влияния молекулярной массы эпоксидной смолы на адгезионные, физико-механические свойства и эрозионную стойкость покрытий / В.А. Кузнецова, Г.В. Кузнецов, Г.Г. Шаповалов, С.А. Марченко // Авиационные мат. и технологии. - 2021. - №62. - С. 71-79.

6. *Дутова В.С.* Влияние свойств эпоксидных смол на эксплуатационные характеристики отвержденных полимеров на их основе / В.С. Дутова, А.В. Сафронов, Е.М. Готлиб // Сборник тезисов Всероссийской конференции «Полимеры и композиты на их основе: прикладные и экологические решения». - Казань: 2025. - С. 231.

7. *Валеева А.Р.* Модификация эпоксидных материалов золой рисовой шелухи, волластонит- и диопсидсодержащими наполнителями: автореферат дис. кандидата технических наук; [Место защиты: ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»; Диссовет КФУ.023.1]. - Казань, 2023. - 18 с.
8. *Щеглов П.А.*, Содержание хлора в эпоксидных смолах и оценка его влияния на качество продукции на их основе / П.А. Щеглов, А.С. Шестаков, А.И. Вялов // Журнал Информационно-технологический вестник. – 2017. - № 3 (13). - С. 137-145.

INFLUENCE OF THE PROPERTIES OF EPOXY OLIGOMERS ON THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF CURED POLYMERIC MATERIALS

Kamaletdinova R.L., Dutova V.S.
Supervisor: Valeeva A.R., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Abstract. This paper examines the influence of the composition and properties of domestic and Chinese epoxy resins on the performance characteristics of cured polymers based on them. Within the framework of this paper, the resins Chinese CYD-128 and domestic EDP 14 manufactured by OOO Polyplast-UralSib are considered. The comparison is carried out by measuring the strength at bending and tearing, wear resistance and hardness.

УДК 621.791.37; 620.183

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ПАЯНОГО ШВА ТИТАНОВОГО СПЛАВА

Корнилов В.В., Иванов В.Д.
Научный руководитель: Абдуллина В.Х., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. Представлены результаты микроструктурного анализа паяного шва титанового сплава, выявлены структуры на различных его участках.

Титановые сплавы занимают особое положение благодаря своим уникальным характеристикам, таким как легкость, высокая прочность, устойчивость к коррозии. Данные свойства обеспечивают широкие возможности для применения в разных отраслях, таких как авиация, космическая индустрия, медицинские технологии и другие высокотехнологичные области. Одним из востребованных титановых сплавов является ВТ6с, представляющий собой α-β сплав, содержащий алюминий и ванадий в качестве легирующих элементов, которые улучшают механические свойства сплава. Данный сплав благодаря своему составу может обеспечивать надежность и долговечность конструкций в условиях высоких температур и механических нагрузок [1].

Для получения неразъёмных соединений из титановых сплавов можно применить сварку и пайку. Обычные методы сварки не всегда позволяют обеспечить необходимое качество соединений, что может привести к образованию дефектов, снижению прочности и ухудшению эксплуатационных характеристик изделий. Пайка по сравнению со сваркой обладает рядом преимуществ: сниженным термическим воздействием на материал, возможностью соединять детали различной толщины и сложной геометрии, а также более высокой точностью сборки [2].

На сегодняшний день получение паяных соединений из титанового сплава применяется достаточно часто и представляет интерес изучение получаемых структур, что позволит улучшить технологические процессы обработки данного материала и расширить сферу его применения.

В качестве объектов исследования выбраны паяные соединения на основе сплава ВТ6с, полученные за счет вакуумной пайки. В качестве вспомогательных материалов применялись ленточный припой СТЕМЕТ 1216, порошковый припой ВПр16 и сополимер марки ТБМ-60В для приготовления паяльных паст на основе порошковых припоев.

Лента припоя СТЕМЕТ 1216 должна иметь ровную поверхность, кромки ленты не должны иметь сколов. Этот припой относится к твердым припоям на основе титана, в качестве легирующих элементов входит медь, цирконий и никель. Применяется для пайки ответственных соединений, требующих высокой прочности и термостойкости. Номинальная температура плавления припоя 930 °С.

Порошковый припой ВПр16 ТУ 1-595-4-1242-2011, изготовленный измельчением аморфных полуфабрикатов (из восстановленных порошков металлов никеля, циркония, меди и самого титана) и предназначен для пайки деталей из титановых сплавов.

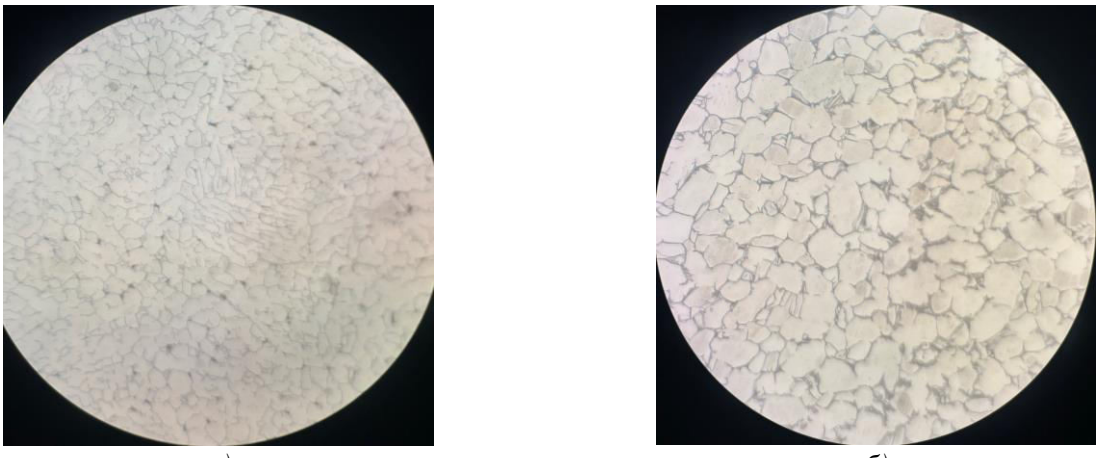
Припой ВПр16 удерживает припой СТЕМЕТ 1216 в нужной зоне, так же используется в целях подпитки и качественного формирования галтели паяного шва.

В качестве связующего для приготовления паяльных паст на основе порошковых припоев применяется сополимер марки ТБМ-60 (тетрафторэтилен, бутадиен, метилметакрилат) блочный ТУ 2216-452-00208947-2005 представляет собой акриловый сополимер, полученный полимеризацией в массе. При использовании сополимера ТБМ-60 обеспечивается образование минимального количества газообразных продуктов в изолированном объеме пайки, быстрое высыхание пасты и хорошая адгезия припоя и осуществляется бесфлюсовая пайка изделий в вакуумных установках. Сополимер растворяется в бутилацетате, толуоле, этилацетате и изоамилацетате [3].

Для проведения исследования были подготовлены два образца из титанового сплава ВТ6с: первый – после выполнения пайки с применением припоя. Второй – исходный, без термического воздействия (до пайки).

Как видно из рисунка 1 а, структура сплава ВТ6с характерна для структуры, полученной литьем и последующей механической обработки [4]. В структуре преобладает α-фаза, которая проявляется в виде светлых зерен различной формы и размера. Зерна α-фазы сравнительно крупные, с неравномерной формой и нечеткими границами, что схоже для литых структур. Между зернами α-фазы встречаются темные прослойки или небольшие включения β-фазы, распределенные по границам зерен или внутри них. После механической обработки структура может содержать дефекты или остаточные напряжения, однако существенного измельчения зерна не происходит.

На микроструктуре сплава после пайки (рисунок 1 б) наблюдается структура, подвергнутая термическому воздействию. Заметно увеличение среднего диаметра зерен (по сравнению с состоянием до пайки). Также наблюдается увеличение доли β-фазы из-за перераспределения β-стабилизаторов, таких как ванадий и молибден, под влиянием нагрева.



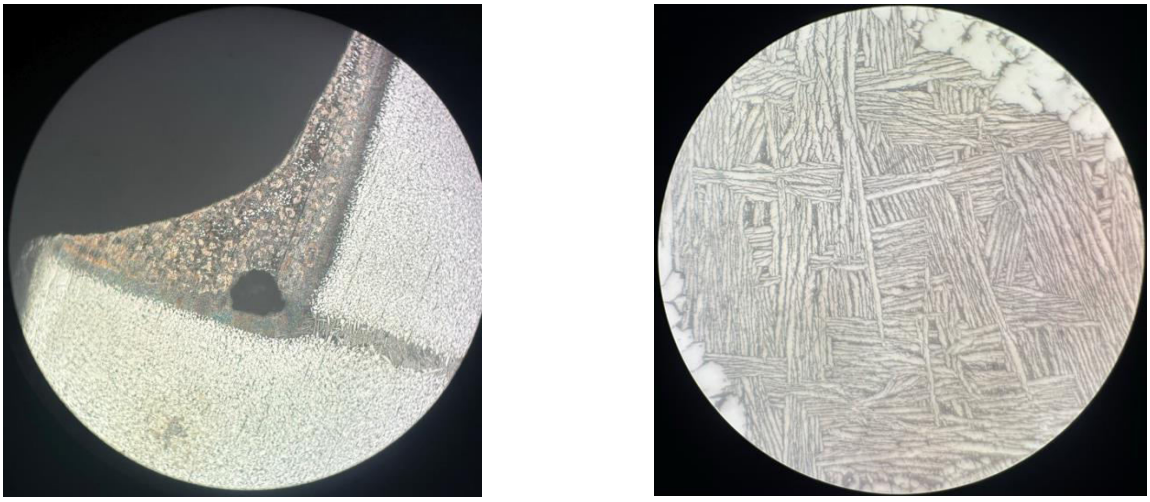
а) *б)*

Рисунок 1. Микроструктура сплава ВТ6с 500х: *а)* до пайки, *б)* после пайки

На рисунке 2, представлен общий вид паяного соединения и участок паяного шва. В зоне галтели, которая сформирована из порошкового припоя ВПр 16 можно увидеть разнородность структуры: кристаллы интерметаллидных фаз, образованных в результате взаимодействия припоя с основным материалом (титаном). Эти фазы содержат соединения на основе титана, меди и других компонентов припоя ВПр16. Форма данных областей имеет как округленные, так и четко выраженные границы. Темные участки – это более мелкозернистая структура матрицы, в которой светлые включения окружены равномерно распределенными микрофазами или зернами. Это области твердых растворов. Зона мелкозернистой структуры вокруг крупных светлых включений свидетельствует о фазовом переходе и постепенном охлаждении. Также здесь была обнаружена пора, которая возникла из-за плохой смачиваемости припоя ВПр16, так как угол между паяемыми заготовками около 90°.

Пора – это газовая или усадочная полость внутри шва или спая. В большинстве случаев поры в зоне пайки считаются браком, потому что пора снижает механическую прочность соединения и может быть очагом коррозии, нарушая герметичность соединения.

Согласно ГОСТ 19249-73 "Пайка. Соединения из титановых и титановых сплавов. Общие технические требования" объем пор не должен превышать 2% объема шва при пайке титановых сплавов.



а) *б)*

Рисунок 2. Микроструктура паяного соединения ВТ6с: *а)* общий вид шва 50х, *б)* участок паяного шва 500х

На участке паяного шва (рисунок 2 б) наблюдается структура в виде «плетение корзины». Такая структура формируется вследствие кристаллизации и взаимодействия между основным металлом (титановой основой) и добавочным материалом (СТЕМЕТ 1216). Наличие данной структуры указывает на качество паяного шва, что в результате обеспечит хорошую механическую прочность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Донецкий, В.А.* Титановые сплавы и их применение / В.А. Донецкий, В.И. Кузнецов. – М.: Металлургия, 1985. – 256 с.

2. *Горячев, В.П.* Технология сварки и пайки титана и его сплавов / В.П. Горячев, В.В. Смирнов. – М.: Машиностроение ,2015. – 320 с.

3. *Лапшин, А.В.* Пайка в машиностроении: выбор припоя и подготовка поверхностей / А.В. Лапшин, С.П. Григорьев // Технологии сварки и пайки металлов. – 2020. – №6. – С12–19.

4. *Leyens, C.* Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications / C. Leyens, M. Peters. – Weinheim: Wiley-VCH, 2003. – P. 404–432.

STUDY OF THE MICROSTRUCTURE OF A TITANIUM ALLOY BRAZED WELD

Kornilov V.V., Ivanov V.D.
Supervisor: Abdullina V.Kh., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan*)

Abstract. Presented the results of a microstructural analysis of a titanium alloy brazed seam and structures in its various sections are identified.

УДК 621

ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Кузьменко А.А., Билялова Р.И.
Научный руководитель: Куртаева Ф.Н. доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Изучены сварочные технологические свойства новых сварочных материалов от разных производителей. Сделаны рекомендации для предприятий, производящих сварочные работы по возможности использования новых сварочных материалов.

В настоящее время производители часто экономят на материалах для изготовления электродов, состав шихты покрытий не всегда оптимизирован по количеству ферросплавов и других компонентов, что приводит к существенному снижению качественных характеристик, таких как: качество сварки, сварочного шва, надежность и безопасность сварных соединений.

Многообразие производителей вызывает разночтение, поэтому ориентирование на стоимость не гарантирует соответствие качества, указанное на упаковке. Нужно ориентироваться на соответствия заявленным характеристикам, который является важным параметром для выбора электродов. В работе изучены сварочные технологические свойства новых сварочных материалов от разных производителей, а именно проведено исследование свойств коэффициента наплавки для оценки эффективности электродов от следующих производителей: Goodel и Флагман. Марки электродов представлены в таблице 1. Э46-GOODEL-ОК46-3-УД Е430(3)-РЦ 11, Э46- ПЭОК46.00-3-УД, Э46-АНО-21-3-УД Е 435-РЦ 11, GOODEL, Э46-GOODEL МР-3-3-УД Е43 0(3)-РЦ 11. Производилось сравнение их с классическим вариантом УОНИ 13/55 произведенной компанией Welding electrodes.

Э46-GOODEL-ОК46-3-УД Е430(3)-РЦ 11. Электроды предназначенны для ручной дуговой сварки рядовых и ответственных конструкций из низкоуглеродистых марок сталей (Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, всех групп А, Б, В и всех степеней раскисления «КП» «ПС» «СП» по ГОСТ 380 и (05кп, 08кп, 08пс,08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20) по ГОСТ 1050-88. Рекомендуемые режим сварки: положение сварки: нижнее/ потолочное, диаметр 3: 70-140 А / 70-120 А, вертикальное (снизу-вверх) - 60-130 А. Сварку проводить постоянным током любой полярности (рекомендуется обратной “+” на электроде) или переменным током от трансформатора с U холостого хода не менее 50 В. Содержание влаги в покрытии электродов должно быть не более 1,5%, поэтому при подготовке к сварке режим прокалки при температуре 90℃ ± 10℃ в течении 25-30 минут.

Э46-ПЭОК46.00-3-УД. Диаметр электрода 3 мм нижнее положение 90-110. Вертикальное положение 85-100. Потолочное положение 80-90. Рутиловые электроды предназначены для ручной дуговой сварки ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей с временным сопротивлением разрыву до 450 МПа. Электроды характеризуются лёгким первичным и повторным зажиганием, стабильным горением дуги,

малым разбрызгиванием металла, а также формированием мелкочешуйчатого шва. Сварка во всех пространственных положениях. Рекомендуемый ток - постоянный обратной полярности. Влажность покрытий перед использование не более 0,8%. Повторная прокалка электродов осуществляется при температуре $90℃ \pm 10℃$ в течение 30 минут.

Э46-АНО-21-3-УД Е 435-РЦ 11.Электроды предназначены для ручной дуговой сварки рядовых и ответственных конструкций из низкоуглеродистых марок сталей (Ст 0, Ст 1, Ст 2, Ст 3, всех групп А, Б, В и всех степеней раскисления «КП» «ПС» «СП» по ГОСТ 380 и (05кп, 08кп, 08пс,08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20) по ГОСТ 1050-88. Режим сварки положение сварки: нижнее/ потолочное 70- 140 А/ 70- 120 А, вертикальное (снизу-вверх) 70-130 А. Сварку проводить постоянным током любой полярности (рекомендуется обратной “+” на электроде) или переменным током от трансформатора с U холостого хода не менее 50 В. Содержание влаги в покрытии электродов не более 1,5% Режим повторной прокалки при температуре $90℃ \pm 10℃$ в течении 25-30 минут.

Э46-GOODEL МР-3-3-УД Е 43 0(3)-РЦ 11. Электроды предназначены для ручной дуговой сварки рядовых и ответственных конструкций из низкоуглеродистых марок сталей (Ст 0, Ст 1, Ст 2, Ст 3, всех групп А, Б, В и всех степеней раскисления «КП» «ПС» «СП» по ГОСТ 380 и (05кп, 08кп, 08пс,08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20) по ГОСТ 1050-88. Режим сварки положение сварки: нижнее/ потолочное 70- 140 А/ 70- 120 А, вертикальное (снизу-вверх) 70-130 А. Сварку проводить постоянным током любой полярности (рекомендуется обратной “+” на электроде) или переменным током от трансформатора с U холостого хода не менее 50 В. Содержание влаги в покрытии электродов не более 1,5% Режим повторной прокалки при температуре $90℃ \pm 10℃$ в течении 30-40 минут.

Для оценки эффективности предложенных сварочных материалов в работе была проведена наплавка электродного металла на стальную пластину, и рассчитаны параметры коэффициент плавления электрода, коэффициент наплавки, определены потери электродного металла. Для проведения эксперимента был произведен расчёт режима параметров сварки в целях проведения наплавки каждым электродом способом ручной дуговой сварки (РДС). Ручная дуговая сварка – это способ дуговой сварки, при котором дуга горит между плавящимся металлическим электродом и поверхностью сварочной ванны, защита сварочной ванны от воздуха осуществляется за счет расплавления электродного покрытия. Ручная дуговая сварка традиционна имеет широкое применение во многих областях [1].

К параметрам режима сварки относятся: $I_{св}$- сила сварочного тока, А; $U_д$- напряжение на дуге, В; род и полярность тока; $d_э$- диаметр и марка электрода и рассчитываются по следующим формулам.

$$d_э = \frac{S}{2} + 1$$

$$l_д = \frac{d_э + 2}{2} = \frac{3 + 2}{2} = 2{,}5 \text{ мм}$$

$$I_{св} = (20 + 6 \cdot d_э) \cdot d_э = (20 + 6 \cdot 3) \cdot 3 = 114 \text{ А}$$

$$U_д = 12 + 3 \cdot l_д = 12 + 3 \cdot 2{,}5 = 19{,}5 \text{ В}$$

Параметры режимов наплавки различными электродами, а также исходные данные по массе пластин приведены в таблице 1, 2.

По рассчитанным параметрам режимов РДС проведена наплавка всеми видами электродов (рис.1).

Рисунок 1. Образцы после наплавки

Коэффициент плавления - показывает, какое количество теплоты необходима передать веществу массой 1 кг при температуре плавления.

$$К_э = \frac{Q_э \cdot 3600}{I_{св} \cdot \tau},$$

где $Q_э -$ масса расплавленного электродного металла.

$$Q_э = \frac{\pi \cdot d_э^2}{4}(L_{э1} - L_{э2})\gamma$$

Коэффициент наплавки - показатель в сварке, который показывает, сколько материала переходит в шов на каждый килограмм израсходованного электрода.

$$К_н = \frac{q_н \cdot 3600}{I_{св} \cdot \tau},$$

где $q_H -$ масса наплавленного металла.

Коэффициент потери на угар и разбрызгивание - показатели потерь металла в процессе сварки.

$$\varphi_{уг} = \frac{Q_э - q_н}{Q_э} \cdot 100\%$$

Общие потери [2]

$$\varphi_{об} = \varphi_{уг} + \varphi_{ог}, \text{ где } \varphi_{ог} = \frac{L_{э2}}{L_{э1}} \cdot 100\%$$

Пример расчета параметров наплавки для образца №1.

$$Q_э = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}4^2}{4}(45 - 5{,}8) \cdot 7{,}8 = 38{,}4 \text{ г}$$

$$К_э = \frac{38{,}4 \cdot 3600}{176 \cdot 67} = 11{,}72 \frac{\text{г}}{\text{А} \cdot \text{с}}$$

$$К_н = \frac{30 \cdot 3600}{176 \cdot 67} = 9{,}158 \frac{\text{г}}{\text{А} \cdot \text{с}}$$

$$\varphi_{уг} = \frac{38{,}4 - 30}{38{,}4} \cdot 100 = 21{,}9\%$$

$$\varphi_{ог} = \frac{5{,}8}{45} \cdot 100 = 12{,}8\%$$

$$\varphi_{об} = 21{,}9 + 12{,}8 = 34{,}7\%$$

Результаты расчета параметров наплавки для всех образцов приведены в таблице 3.

Таблица 1

Параметры режимов наплавки

№	Марка	Диаметр $d_э$, мм	Сила тока $I_{св}$, А	Длина дуги $l_д$, см	Напряжение $U_д$, В	
					$U_р$	$U_э$
1	Э46-GOODEL-OK46-3-УД Е430 (3) -РЦ 11	3	114	0,25	19,5	49,1
2	Э46-ПЭОК46.00-3-УД	3	114	0,25	19,5	49,1

3	Э46-АНО-21-3-УД Е 435-РЦ 11	3	114	0,25	19,5	49,1
4	Э46-GOODEL МР-3-3-УД Е43 0(3) -РЦ 11	3	114	0,25	19,5	49,1
5	УОНИ 13/55	4	176	0,3	21	-

Результаты показывают, что у всех образцов коэффициент наплавки примерно одинаковый и соответствует заявленным в сертификате характеристикам. Однако результаты сравнения эффективности предлагаемых новых сварочных материалов с традиционно применяемым УОНИ 13/55 не в пользу новых электродов. Традиционно применяемый разработанный еще в 1940-х годах электрод марки 13/55, произведенный Welding electrodes показал наибольший коэффициент наплавки 9,158. Немного уступает электрод от производителя «ФЛАГМАН» Э46- ПЭОК46.00-3-УД - Кн = 8.5.

Таблица 2

Параметры опытных образцов в результате наплавки

№	Марка	Масса пластины			$q_н$, г		Длина электрода, см			Время t, с	
		q_1	q_2	q_3							
1	Э46-GOODEL-ОК46-3-УД Е430 (3) -РЦ 11	988,08	1000,54	1014,29	12,46	13,75	35	5	4,9	57	54
2	Э46-ПЭОК46.00-3-УД	914,55	925,04	937,16	10,49	12,12	35	5,3	5,8	47	45
3	Э46-АНО-21-3-УД Е 435-РЦ 11	1000,54	1012,51	1025,19	11,97	12,68	35	6,4	5,5	61	61
4	Э46-GOODEL МР-3-3-УД Е43 0(3) -РЦ 11	873,52	886,73	900,44	13,21	13,71	35	5,8	5	53	56
5	УОНИ 13/55	470	500	-	30	-	45	5,8	-	67	-

$U_р$ – расчетное напряжение, В

$U_э$ – экспериментальное напряжение, В

$q_н$ – средняя масса пластины.

Таблица 3

Величина расчетных значение коэффициентов плавления и наплавки

№	Марка электрода	$К_э, \frac{г}{А \cdot с}$		$К_н, \frac{г}{А \cdot с}$		$\varphi_{уг}$, %		$\varphi_{ог}$, %		$\varphi_{об}$, %	
1	Э46-GOODEL-ОК46-3-УД	9,16	9,7	6,9	8	24,63	17,1	14,3	14	38,93	31,1
2	Э46-ПЭОК46.00-3-УД	11	11,3	7,05	8,5	35,9	24,67	15	16,6	40,9	41
3	Э46-АНО-21-3-УД Е 435-РЦ 11	8,16	8,42	6,19	6,56	24	22	18	15,7	42	37
4	Э46-GOODEL МР-3-3-УД Е43 0(3)-РЦ 11	9,53	9,32	7,87	7,73	17	17	16,6	14	33	31
5	УОНИ 13/55	11,72		9,158		21,9		12,8		34,7	

Таким образом, новые сварочные материалы, представленные на выставках и предлагаемые на рынке, соответствуют заявленным характеристикам, но не показали явных преимуществ, чтобы заменить традиционные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Фетисов Г.П., Гарифуллин Ф.А.* Материаловедение и технология материалов: учебник. – Москва: Издательство МГУ, 2014.

2. ГОСТ 9466-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Москва: Стандартинформ, 1975.

INVESTIGATION OF WELDING TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF ELECTRODES FOR MANUAL ARC WELDING

Kuzmenko A.A., Bilyalova R.I.

Supervisor: Kurtaeva F.N., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Welding technological properties of new welding materials from different manufacturers have been studied. Recommendations are made for welding companies on the possibility of using new welding materials.

УДК 621.315.61

МНОГОЦВЕТНОЕ ЭЛЕКТРОХРОМНОЕ СТЕКЛО С ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫМИ ЦВЕТАМИ: РАЗРАБОТКА ГИБКОГО МАТЕРИАЛА С УПРАВЛЯЕМЫМ ОКРАШИВАНИЕМ

Малкова В.В.

Научный руководитель: Хабибуллин Ф.Ф., к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье разработана концепция многоцветного электрохромного стекла с переключаемыми цветами на основе многослойной структуры из электрохромных материалов (WO_3, PANI, виологен). Предложены варианты реализации как жестких (стеклянных), так и гибких (полимерных) решений с управляемым окрашиванием. Рассмотрены перспективы применения технологии в архитектуре, транспорте и электронике, а также ключевые технологические вызовы и пути их решения.

Современные технологии умных материалов открывают поистине революционные перспективы в области разработки инновационных адаптивных поверхностей, обладающих уникальной способностью динамически изменять свои оптические характеристики в соответствии с запросами пользователя.

Особое внимание исследователей привлекает создание многоцветного электрохромного стекла – передового материала, способного не только переключаться между прозрачным и затемненным состояниями, но и демонстрировать широкий спектр цветовых вариаций под управлением электрического сигнала. В отличие от классических электрохромных систем, ограниченных бинарным режимом «прозрачно-затемнено», новое поколение интеллектуальных стекол предлагает принципиально иной уровень функциональности, обеспечивая возможность выбора из множества оттенков, что открывает беспрецедентные возможности для их внедрения в различные сферы человеческой деятельности.

Ключевой особенностью данного материала является его сложная многослойная структура, где каждый функциональный слой отвечает за формирование определенного цвета. Конструкция включает высокопрозрачные электроды на основе таких передовых материалов, как оксид индия-олова (ITO) или графен, которые чередуются со специализированными электрохромными слоями и ионными электролитами, обеспечивающими управляемое окрашивание [1].

Для достижения многоцветности в составе материала применяются различные электрохромные компоненты, каждый из которых отвечает за свой сегмент цветового спектра: оксид вольфрама (WO_3) обеспечивает глубокие синие тона, полианилин (PANI) отвечает за насыщенные зеленые оттенки, а виологеновые соединения позволяют получать яркие красные цвета [2]. Активация каждого слоя происходит под воздействием строго определенного напряжения, что запускает процесс миграции ионов (Li^+ или H^+) и приводит к обратимым электрохимическим превращениям, визуально проявляющимся в виде контролируемого окрашивания выбранных участков материала.

Таким образом, сочетание передовых материалов и инновационных технологий формирования многослойных структур позволяет создавать электрохромные стекла нового поколения, обладающие не только высокой функциональностью, но и широкими возможностями для интеграции в современные архитектурные, транспортные и электронные решения.

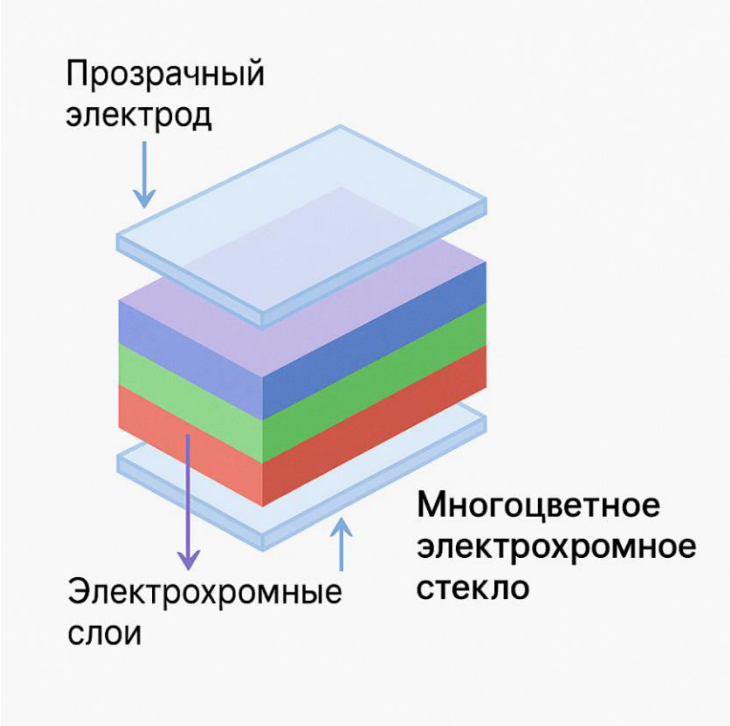


Рисунок 1. Многоцветное электрохромное стекло

Технология изготовления такого материала зависит от требуемых характеристик. Для жестких стеклянных вариантов применяются методы магнетронного напыления и термического испарения, позволяющие создавать тонкие, равномерные слои с высокой точностью. При этом общая толщина готового изделия обычно не превышает 3 мм. Однако настоящий прорыв представляет собой разработка гибких версий на полимерной основе, где традиционное стекло заменяется на полиэтилентерефталат (PET) или поликарбонат (PC). Такие решения, изготавливаемые методом рулонного напыления (roll-to-roll), обладают значительно меньшей толщиной (0,3-1,5 мм) и открывают возможности для интеграции в носимую электронику, изогнутые автомобильные стекла и другие нестандартные поверхности [3].

Несмотря на очевидные перспективы, разработка многоцветных электрохромных систем сталкивается с рядом технологических вызовов. Одной из основных проблем является деградация органических компонентов (особенно виологенов и полианилина) при длительной эксплуатации. Решение может заключаться в применении защитных нанопокрытий на основе оксидов алюминия или кремния, а также в разработке новых стабильных органико-неорганических гибридных материалов. Другой существенной трудностью являются перекрестные помехи между слоями, когда напряжение, приложенное

к одному цветовому каналу, частично влияет на соседние. Этот вопрос требует тщательного подбора электролитов с селективной ионной проводимостью для каждого слоя [4].

Области применения многоцветных электрохромных материалов чрезвычайно разнообразны. В архитектуре они могут использоваться для создания "умных" фасадов зданий, динамически адаптирующихся к условиям освещенности и одновременно выполняющих эстетические функции. В транспортной сфере такие решения найдут применение в панорамных крышах автомобилей и самолетов, обеспечивая не только регулируемую светопропускаемость, но и возможность визуальной сигнализации. Особый интерес представляют перспективы использования в потребительской электронике - от переключаемых цветовых фильтров для камер смартфонов до интерактивных поверхностей в носимых устройствах.

Рисунок 2. Применение материала

Дальнейшее развитие технологии требует комплексного подхода, сочетающего фундаментальные исследования в области электрохимии материалов с инженерными разработками в сфере микроэлектроники. Ключевыми направлениями совершенствования являются увеличение срока службы органических компонентов, ускорение времени переключения между цветовыми состояниями и снижение рабочих напряжений. Особое внимание уделяется разработке экологически безопасных материалов и производственных процессов, что особенно важно для будущего массового внедрения таких решений [2].

В заключение следует отметить, что многоцветные электрохромные материалы представляют собой яркий пример конвергенции современных технологий - от наноинженерии до энергоэффективной архитектуры. Их коммерциализация откроет новые возможности для создания принципиально нового класса "живых" поверхностей, способных динамически адаптироваться к окружающей среде и потребностям человека. Уже в ближайшие годы мы можем ожидать появления первых серийных продуктов на основе этой технологии, что ознаменует новый этап в развитии интеллектуальных материалов и интерфейсов человек-машина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Сунь, Х., Чжоу, Ю., Се, К.* Гибкие электрохромные материалы и устройства. - Новосибирск: Наука, 2021. - 254 с.

2. *Монк, П. М. С., Мортимер, Р. Дж., Россейнски, Д. Р.* Электрохромизм: основы и применения. - М.: БИНОМ, 2012. - 401 с.

3. *Мортимер, Р. Дж.* Электрохромные материалы и устройства. - СПб.: Профессия, 2014. - 318 с.

4. *Гранквист, К. Г.* Неорганические электрохромные материалы: Справочник. - М.: Техносфера, 2015. - 482 с.

MULTICOLOR ELECTROCHROMIC GLASS WITH SWITCHABLE COLORS: DEVELOPMENT OF A FLEXIBLE MATERIAL WITH CONTROLLED COLORING

Malkova V.V.

Supervisor: Khabibullin F.F., Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article develops the concept of multicolored electrochromic glass with switchable colors based on a multilayer structure of electrochromic materials (WO_3, PANI, viologen). Implementation options for both rigid (glass) and flexible (polymer) solutions with controlled coloring are proposed. The prospects of technology application in architecture, transport and electronics, as well as key technological challenges and ways to solve them are considered.

УДК 669.2

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА АНОДНОГО ОКСИДИРОВАНИЯ ДЕТАЛИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Медведева Р.А.

Научный руководитель: Черноглазова А.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Данная работа посвящена оптимизации технологии анодного оксидирования детали «Патрубок» из алюминиевого сплава АМг2М для авиационных дренажных систем топливных баков. В исследовании предложена замена традиционного анодного оксидирования на микродуговое оксидирование (МДО), что позволило устранить использование токсичного бихромата калия и сократить длительность процесса за счёт увеличения скорости формирования покрытия до 1–1,5 мкм/мин. Подобраны оптимальные составы электролитов и режимы МДО, обеспечивающие формирование покрытий с повышенной термостойкостью и коррозионной стойкостью.

Введение

Анодное оксидирование – процесс электрохимической обработки металлов, целью которой является повышение их механических свойств за счет создания на поверхности металла оксидной пленки путем анодной поляризации в растворах электролитов.

Основными проблемами существующих технологий анодирования являются:

1) Продолжительность процесса: анодирования – это длительный процесс, что может увеличивать сроки производства и стоимость изделий.

2) Экологические аспекты: при анодном оксидировании используют дихромат калия, который является токсичным веществом.

В современной промышленности процесс анодирования играет важную роль в улучшении свойств металлических деталей, в частности патрубков. Анодирование позволяет улучшить их твердость, износостойкость и коррозионную стойкость. Однако, для

достижения оптимальных результатов, необходимо постоянно совершенствовать технологии и процессы анодирования [1].

Механизм образования анодных пленок

Анодная пленка имеет двухслойную структуру: тонкий, прилегающий к металлу слой имеет плотную упаковку, наружный слой – пористый. При анодной поляризации алюминия происходит его дальнейшее окисление по реакции:

$$2Al + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 6H^+ + 6\bar{e}$$

В результате этой реакции на поверхности алюминия под порами естественной оксидной плёнки формируются линзообразные (полусферические) ячейки оксида алюминия, срастающиеся в процессе окисления металла в сплошной слой оксида – барьерный слой (рис. 1). Барьерный слой представляет собой так называемую γ-модификацию окиси алюминия Al_2O_3 [2].

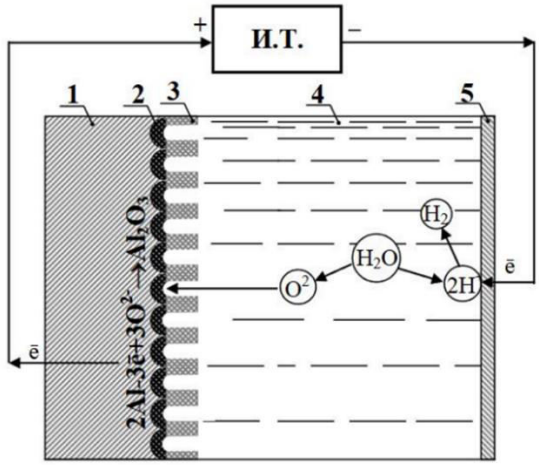


Рисунок 1. Схема образования барьерного слоя при анодном оксидировании алюминия: 1 – алюминий, 2 – оксидный барьерный слой, 3 – пористая естественная оксидная плёнка, 4 – электролит, 5 – свинцовый катод

В том случае, если анодное оксидирование проводится в электролите, способном растворять Al_2O_3 (растворы сильных кислот), то рост оксидной пленки определяется результатом двух процессов, одновременно протекающих на аноде:

− Образование оксидной плёнки за счёт анодного окисления алюминия.

− Химическое растворение оксидной пленки в электролите.

− Химическое растворение оксидной пленки в электролите.

В начале окисления, в соответствии с законом Ома, ток устремляется в поры естественного оксидного слоя из-за их существенно меньшего сопротивления. Рисунок 2 демонстрирует динамику формирования пленки.

Рисунок 2. Динамика образования пористой пленки: ▨ – естественная оксидная пленка, ■ – анодная оксидная пленка, ▨ – алюминий

Исходя из рисунка видно, что при росте оксидной пленки толщина барьерного слоя (определяемая толщиной дна поры) не изменяется, а само дно поры перемещается вглубь алюминиевой подложки.

Технологический процесс анодного оксидирования

Процесс анодного оксидирования достаточно длительный и имеет большое количество технологических операций (рис.3) Важными этапами являются предварительная подговка поверхности (обезжиривание) с помощью органического растворителя «Нефрас» С2-80/120 с антистатической присадкой «Сигбол» концентрацией от 0,0010 до 0,0025 %. Травление путем погружения в ванну травления, содержащую раствор едкого натра "NaOH " в течении 2 минут. Осветление детали путем погружения в раствор азотной кислоты HNO_3 с концентрацией 200-350 г/л до полного осветления (2-10 мин). Анодное окисление проводят путем погружения в ванне анодирования путем погружения в раствор серной кислоты H_2SO_4 в количестве 180-200 г/л. режим работы указан в табл.1. Наполнение анодной пленки путем погружения в раствор бихромата калия $K_2Cr_2O_7$ (хромпика) с добавлением едкого натра NaOH.

Таблица 1

Режим работы при анодном оксидировании сварных деталей

Температура, ºС	Плотность тока, А/дм^2	Напряжение, В	Время выдержки, мин.
15-25	1,0-1,5	12-24	25-35

Результаты исследования

В ходе анализа ТП анодного оксидирования были выявлены следующие недостатки: длительность процесса анодирования, большое количество операций и экологические аспекты. В качестве усовершенствования был предложен альтернативный метод оксидирования – микродуговое оксидирование.

Микродуговое оксидирование – это электрохимический процесс окисления поверхности вентильных металлов (алюминий, титан, магний и др.) близкий по механизму к анодированию, сопровождающийся локальными микроплазменными разрядами. В зоне пробоя развиваются высокие температуры и давления, что позволяет получать покрытие, качественно отличающееся от покрытий, полученных анодированием [3]. Процесс формирования покрытия состоит из четырех стадий представленных на рисунке 3.

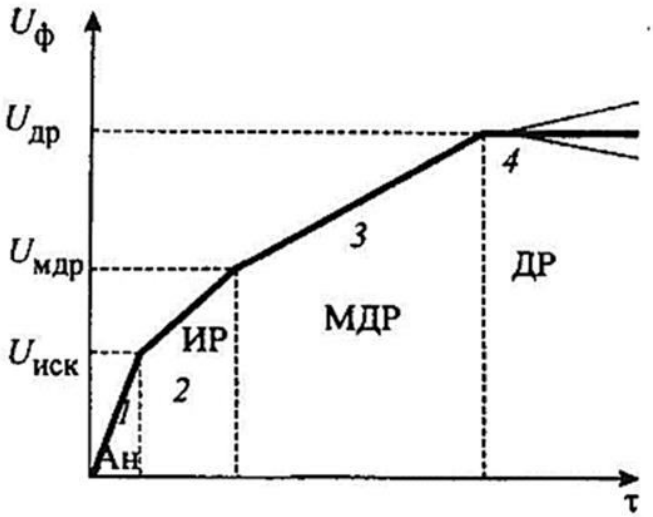


Рисунок 3. Формовочная кривая процесса микродугового оксидирования: 1– анодирование, 2 – искровой разряд (ИР), 3 – микродуговой разряд (МДР), 4 – дуговой разряд (ДР)

На 1 и 2 стадии происходит рост аморфной оксидной пленки и продолжается до тех пор, пока слой не достигнет определенной толщины (для алюминия 1-5 мкм), появляются условия для формирования первых кристаллизованных форм модификации оксида

алюминия. Процесс переходит на третью стадию формирования покрытия, состоящего из оксида металла основы и составляющих электролита. По мере роста покрытия количество одновременно горящих микродуг уменьшается, а их мощность растет, дуговой режим является не допустимым, так как происходит образование дефектов и разрушение слоя.

МДО-покрытие является трехслойным. Рабочий слой состоит в основном из корунда, а технологический из силлиманита и γ-Al_2O_3 (рис.4). Формируемое при МДО покрытие на 70% погружено в основной металл, и только 30% составляет внешний прирост.

Ключевая особенность процесса — ионная проводимость в системе металл-оксид-разряд-электролит, при которой ток течет исключительно через каналы разрядов (поры). Следовательно, пористость — фундаментальное условие образования МДО-покрытия.

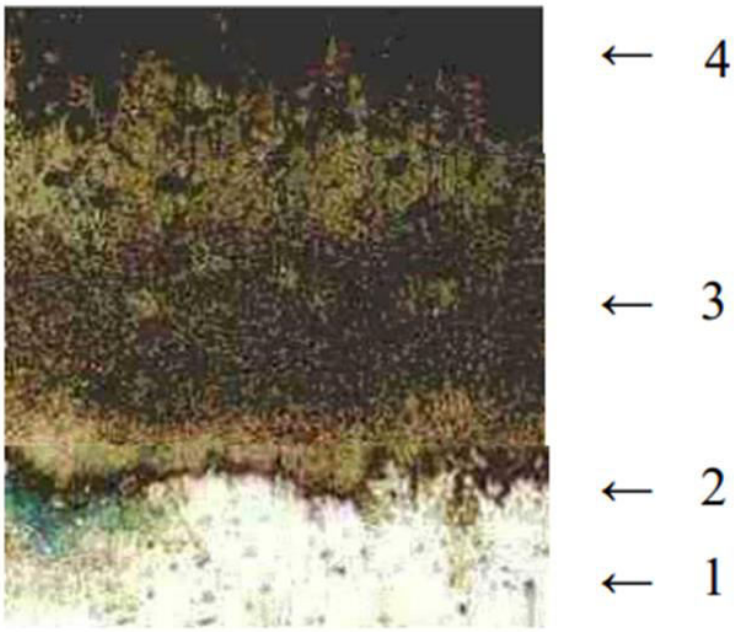


Рисунок 4. Послойная структура МДО-покрытия, на сплаве АМг2 2000х: 1 – материал подложка (АМг2), 2 – переходный слой,3 – основной рабочий слой, 4 – наружный слой

Верхний рыхлый слой, состоящий из муллита $Al_2O_3 \times 2SiO_2$, зачастую удаляется пескоструйной обработкой и в эксплуатацию поступает деталь с плотным оксидным покрытием. Внутренний слой представляет собой плотный оксид алюминия Al_2O_3, имеющий высокую микротвердость. Переходный слой – это тонкий слой, зачастую от 0,01-0,1 мкм, располагается между материалом подложки и слоем оксида [4].

Высокая адгезия между материалом основы и покрытием (на уровне прочности материала основы) определяется тем, что МДО-покрытия формируются за счет обрабатываемого материала с продвижением границы раздела вглубь. Покрытия, полученные на алюминии и его сплавах, обладают следующими эксплуатационными характеристиками, среди которых:

– Толщина до 350 мкм.
– Микротвердость – до 2450 кг/мм^2.
– Пробойное напряжение – до 5500 В.
– Пористость – от 3 до 45 % (регулируемая).
– Высокая защита против коррозии.
– Теплостойкость – тепловой удар до 2450 °С.

Основные технологические операции микродугового оксидирования: обезжиривание, промывка, МДО, промывка, сушка. В качестве электролитов были выбраны силикатно-щелочной и алюминатный. Параметры режимов микродугового оксидирования в растворах выбранных электролитов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры МДО композиционных металлических материалов на основе алюминия АМг2

Электролит	Время обработки, мин	Режимы обработки				
		Плотность тока, А/дм^2	Напряжение, В	Температура электролита, ºС	Род тока	Перемешивание электролита
Раствор 1 (силикатно-щелочной)	10-40	15-20	380-420	18-35	Переменный	+
Раствор 2 (алюминатный)	20-80	25-30	300-320	18-25	Постоянный	+

Покрытие полученнное в алюминатном электролите имеет пористость 2-8%, получается более плотным и обеспечивает высокую износостойкость покрытия, но для получения толстых пленок требуется больше времени в отличии от силикатно-щелочного (рис.5).

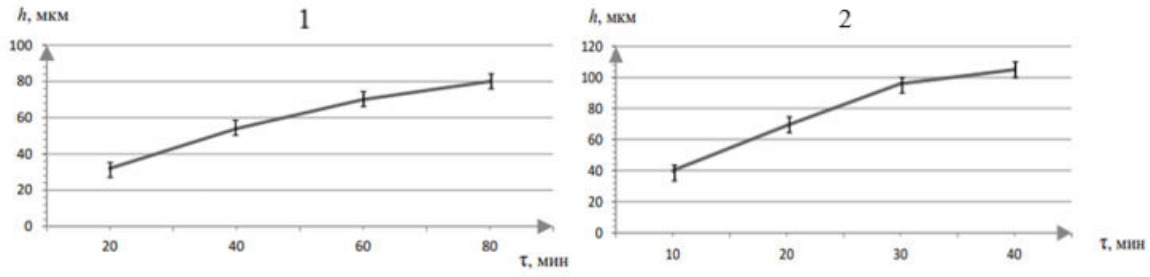


Рисунок 5. График зависимости толщины покрытия от времени обработки: 1 – в алюминатном электролите, 2 – в силикатно-щелочном электролите

Покрытия, полученные в силикатно-щелочном электролите, имеют пористость 8-20% и подходят в качестве подслоя под лакокрасочное покрытие.

Применение технологии МДО по сравнению с традиционными методами, имеет ряд важных преимуществ таких как:

1. Невысокие энергозатраты на единицу поверхности покрытия.
2. Экологическая чистота процесса.
3. Значительное сокращение общего времени процесса за счет исключения промежуточных технологических операций по активации поверхности деталей.
4. Возможность покрытия крупногабаритных деталей площадью до 17 м^2.

Сравнение технологических особенностей МДО и анодного оксидирования дано в таблице 3.

Таблица 3

Сравнительные характеристики методов оксидирования

Характеристики	Анодирование	МДО
Охлаждение электролита	Требуется жесткий контроль температуры электролита	Требуется контроль температуры для устранения перегрева и испарения
Скорость формирования покрытия, мкм/мин	0,45	1-1,5

Экологичность процесса	Наполнение в хромпике	Применение не токсичных слабощелочных/слабокислых электролитов
Количество технологических операций	14	5
Термостойкость	Растрескивание покрытия при 100ºС	Без растрескивания до 300ºС
Толщина покрытия	До 120 мкм	До 350 мкм

Таким образом можно прийти к выводу, что метод микродугового оксидирования является более перспективным по сравнению с анодным оксидированием и может использоваться в качестве альтернативы традиционного процесса.

Выводы

Проведен анализ типового технологического процесса анодирования, изучены структура и свойства покрытия. Выявлены следующие проблемы: продолжительность процесса: анодирование длительный процесс, что может увеличивать сроки производства и стоимость изделий; экологические аспекты: при анодном оксидировании используют дихромат калия, который является токсичным веществом. Основываясь на анализе отечественного опыта оксидирования алюминиевых сплавов предложен альтернативный технологический процесс микродугового оксидирования. На основании изученной микроструктуры оксидного слоя полученного методом МДО, его особенностей адгезии, термостойкости и коррозионной стойкости проведен сравнительный анализ с анодным покрытием: термостойкость МДО покрытия до 300 ºС, что в 3 раза превышает покрытие по типовому ТП; скорость формирования и толщина покрытия МДО также превышают эти показатели при анодном оксидировании. Таким образом, учитывая все преимущества в качестве усовершенствования технологического процесса предлагается заменить анодное оксидирование на микродуговое оксидирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Лайнер, В.И.* Гальванические покрытия легких сплавов/ В.И. Лайнер. – М.: Металлургиздат, 1959. – 138 с.

2. *Девяткина, Т.И.* Анодное оксидирование алюминия и его сплавов для получения качественных гальванических покрытий / Т.И. Девяткина, М.М. Спасская, А.Н. Москвичев [и др.] // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2013. – Т. 1, № 4. – С. 109-114.

3. О технологии МДО [Электронный ресурс]. – URL: https://manel.ru/tech/ (дата обращения: 15.05.2025).

4. *Казанцев, И.А.* Технология получения композиционных материалов микродуговым оксидированием: монография / И.А. Казанцев, А.О. Кривенков. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2007. – 240 с.

IMPROVEMENT OF THE PROCESS OF ANODIC OXIDATION OF AIRCRAFT PART

Medvedeva R.A.

Supervisor: Chernoglazova A.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This work is devoted to the optimization of the anodic oxidation technology of the "Branch" part made of aluminum alloy AMg2M for aviation drainage systems of fuel tanks. The study proposes replacing traditional anodic oxidation with microarc oxidation (MAO), which

eliminated the use of toxic potassium dichromate and reduced the duration of the process by increasing the coating formation rate to 1–1.5 μm/min. Optimal electrolyte compositions and MAO modes were selected, ensuring the formation of coatings with increased heat resistance and corrosion resistance.

УДК 669.295

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПСЕВДО-α-ТИТАНОВОГО СПЛАВА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ИСПЫТАНИЯ

Михонов В.В., Хажакян В.О.

Научный руководитель: Егорова Ю.Б., профессор, д. т. н.

(Ступинский филиал ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Ступино)

Аннотация. В данной работе на основе обобщения литературных и производственных данных исследованы статистические закономерности влияния температуры испытаний и марочного состава на предел прочности прутков и поковок из псевдо α-титанового сплава ВТ18У.

Сплав ВТ18У относится к наиболее жаропрочным титановым сплавам. Детали из этого сплава могут длительно работать при температурах 550-600°С [1, 2]. Основная область применения – детали компрессоров газотурбинных двигателей (диски, лопатки, кольца и др.). Механические свойства серийных полуфабрикатов могут зависеть от колебаний химического состава в пределах марки или паспорта сплава [3]. Поэтому цель исследования заключалась в выявлении статистических закономерностей влияния химического состава и температуры испытания на предел прочности деформированных полуфабрикатов из сплава ВТ18У. Для достижения этой цели были поставлены задачи: сбор и обобщение опубликованных данных о пределе прочности прутков и поковок в отожжённом состоянии, сопоставление зависимостей предела прочности от температуры в диапазоне 20–600 °С, проведение статистического анализа зависимости предела прочности от уровней легирования по алюминию и молибдену, а также обоснование оптимального химического состава полуфабрикатов в соответствии с отраслевыми стандартами.

Объектами исследования выступали литературные сведения и промышленные данные о производственных полуфабрикатах после отжига по стандартному (заводскому) режиму. В качестве методов использовался статистический анализ с применением пакета «Statistica», включающий корреляционный анализ, регрессионное моделирование и процедуру сравнения регрессий с доверительной вероятностью 0,95 [4].

Для оценки влияния степени легирования на механические свойства использовали показатели прочностных эквивалентов по алюминию и молибдену. Прочностной эквивалент по алюминию отражает уровень растворного упрочнения титана, вызванного альфа-стабилизаторами и нейтральными упрочнителями, в то время как эквивалент по молибдену демонстрирует влияние бета-стабилизаторов. Эти показатели рассчитывали по формулам (1) и (2) [1]:

$$[\mathrm{Al}]_{\text{экв}}^{\text{пр}} = \%\mathrm{Al} + \frac{\%\mathrm{Sn}}{2} + \frac{\%\mathrm{Zr}}{3} + 20[\%\mathrm{O}] + 33[\%\mathrm{N}] + 12[\%\mathrm{C}] + 3{,}3\mathrm{Si}, \quad (1)$$

$$[\mathrm{Mo}]_{\text{экв}}^{\text{пр}} = \%\mathrm{Mo} + \frac{\%\mathrm{V}}{1{,}7} + \%\mathrm{Mn} + \frac{\%\mathrm{Cr}}{0{,}8} + \frac{\%\mathrm{Fe}}{0{,}7} + \frac{\%\mathrm{Nb}}{3{,}3}. \quad (2)$$

На основе собранных данных построены зависимости предела прочности для прутков и поковок дисков от температуры испытания. Статистическая процедура сравнения регрессий, приведенных на рисунке 1, показала отсутствие значимых различий между зависимостями для различных типов полуфабрикатов.

Это позволило сформировать регрессионную модель зависимости предела прочности (выраженного в процентах относительно комнатной температуры) от температуры эксплуатации по формуле (3):

$$\sigma_{\text{в}}^{\%} = 100 - 0{,}0832 \cdot (t - 20) + 0{,}00021 \cdot (t - 20)^2 - 2{,}852 \cdot 10 - 7 \cdot \cdot (t - 20)^3. \quad (3)$$

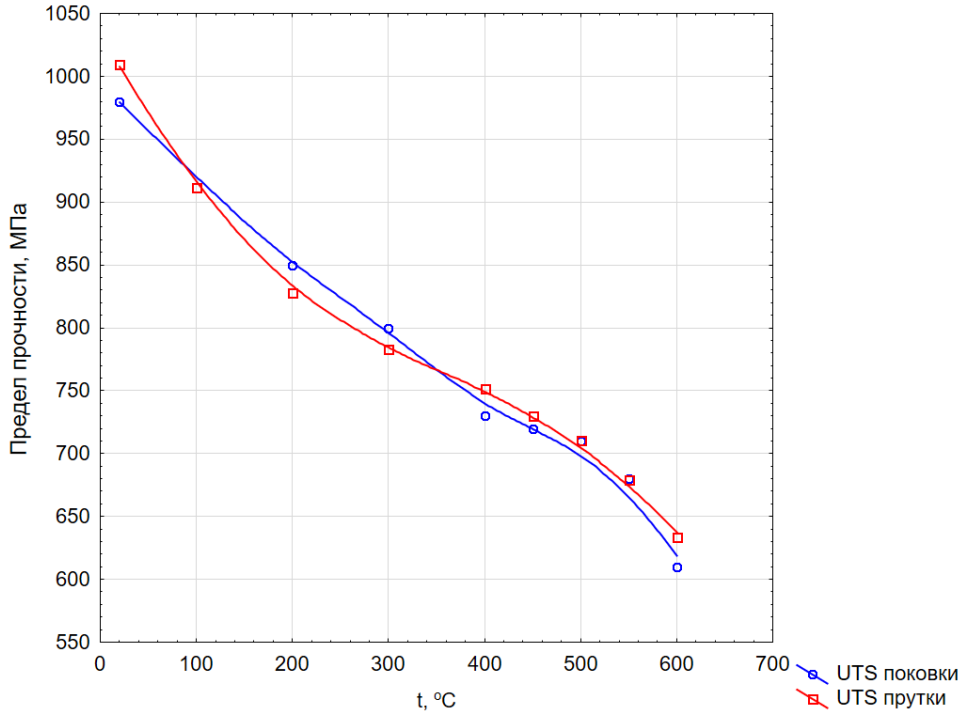


Рисунок 1. Влияние температуры испытания на предел прочности прутков и поковок дисков из сплава ВТ18У (литературные данные)

Далее был проведён анализ химического состава сплава ВТ18У согласно отраслевым стандартам (ОСТ), что позволило определить диапазон легирования по алюминию и молибдену (таблица 1) для обеспечения требуемых механических свойств.

Таблица 1

Химический состав (% по массе) по ОСТ1 90013-81 и эквиваленты по алюминию и молибдену сплава ВТ18У

Уровень легирования	Al	Mo	Nb	Sn	Zr	Si	O	C	N	Fe	$[Al]_{\text{экв}}^{\text{пр}}$	$[Mo]_{\text{экв}}^{\text{пр}}$
Нижний	6,2	0,4	0,5	2	3,5	0,1	0,05	0,003	0,002	0,1	9,8	0,5
Средний	6,75	0,7	1	2,5	4	0,175	0,095	0,052	0,021	0,15	13,1	0,9
Верхний	7,3	1	1,5	3	4,5	0,25	0,14	0,1	0,04	0,2	16,4	1,3

Были построены теоретические зависимости предела прочности при различных уровнях легирования — нижнем, среднем и верхнем — что показало разброс значений порядка 300–400 МПа (рис. 2). Такой разброс может негативно сказаться на стабильности свойств материала при эксплуатации.

На диаграммах (рис. 3) представлены области допустимых значений химического состава в координатах «прочностной эквивалент по алюминию — прочностной эквивалент

по молибдену» при комнатной температуре и 600 °С. Область легирования по ОСТ ограничена большим прямоугольником, а реальный состав поковок дисков выделен прямоугольником меньшего размера. Теоретический анализ показал, что для обеспечения требований стандарта необходимо находиться внутри заштрихованной области: чем выше уровень легирования в перерасчете на эквивалент по молибдену, тем ниже должен быть уровень в перерасчете на эквивалент по алюминию.

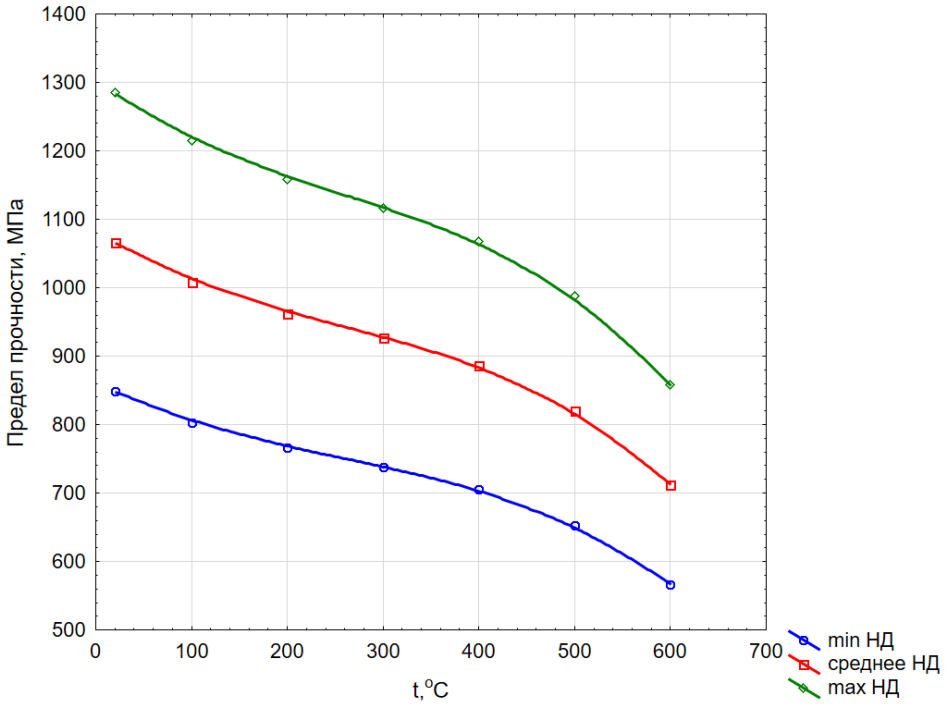


Рисунок 2. Теоретическая зависимость предела прочности прутков и поковок из сплава ВТ18У

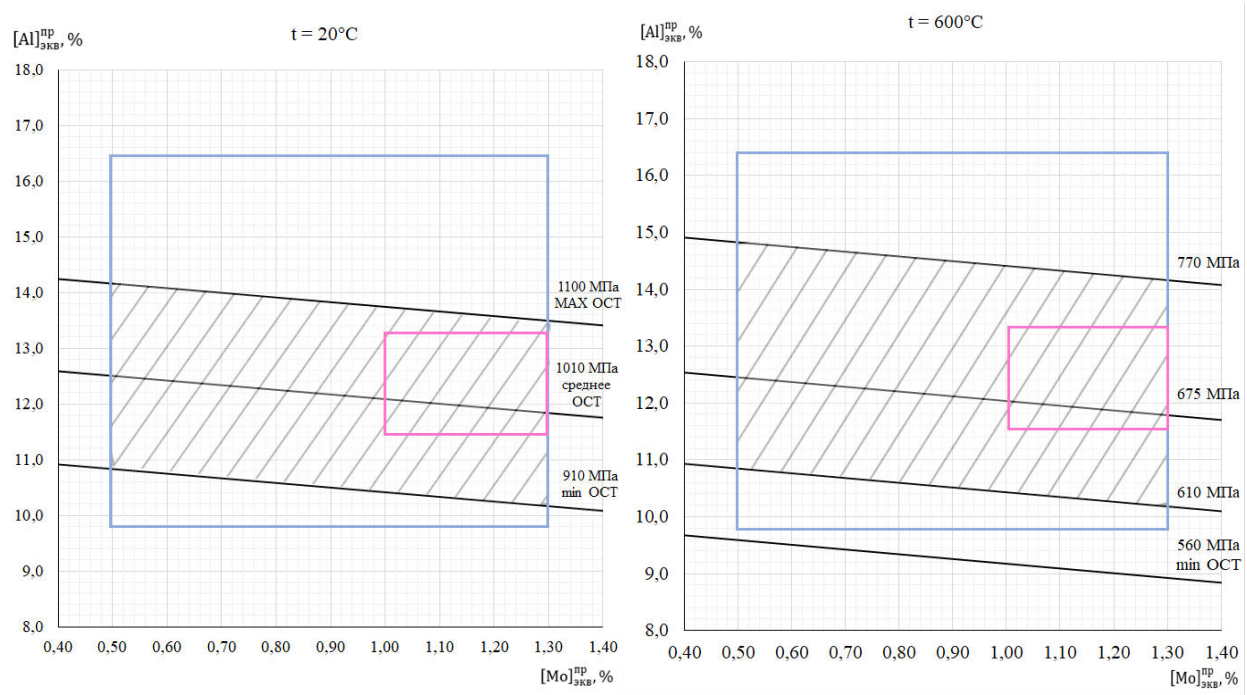


Рисунок 3. Диаграммы в координатах «прочностной эквивалент по алюминию - прочностной эквивалент по молибдену» при комнатной температуре и температуре эксплуатации 600°С

Результаты регрессионного анализа подтвердили, что увеличение содержания легирующих элементов ведёт к повышению предела прочности при различных температурах эксплуатации. На основе полученных моделей (рисунки 4 и 5) выполнено прогнозирование температурной зависимости предела прочности серийных поковок дисков для различных уровней фактического легирования (нижнего, среднего, верхнего). Полученные значения соответствуют требованиям стандарта ОСТ, что подтверждает возможность использования предложенных моделей для оценки свойств материала при проектировании и контроле производства.

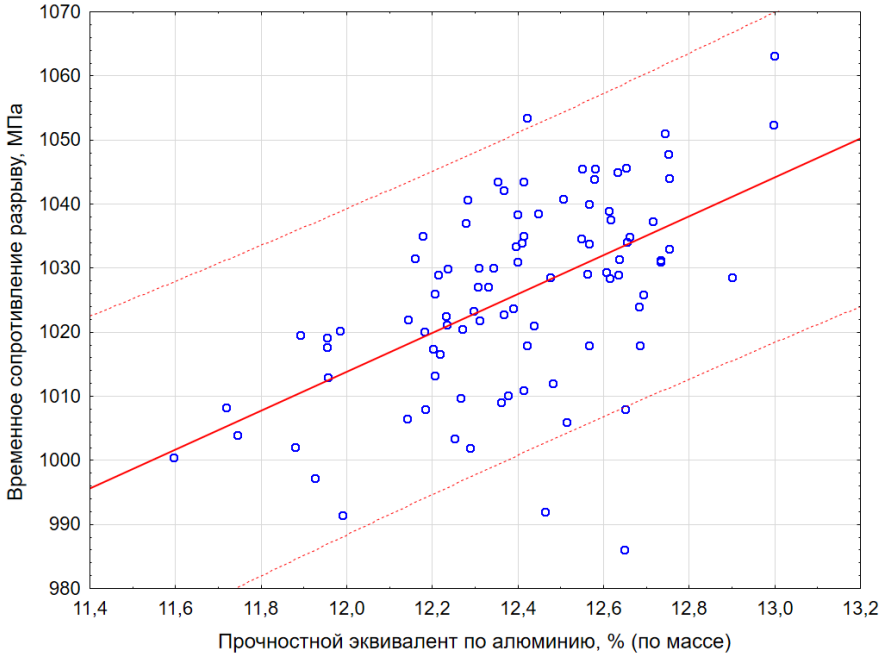


Рисунок 4. Регрессионная связь между пределом прочности поковок сплава ВТ18У и прочностным эквивалентом алюминия

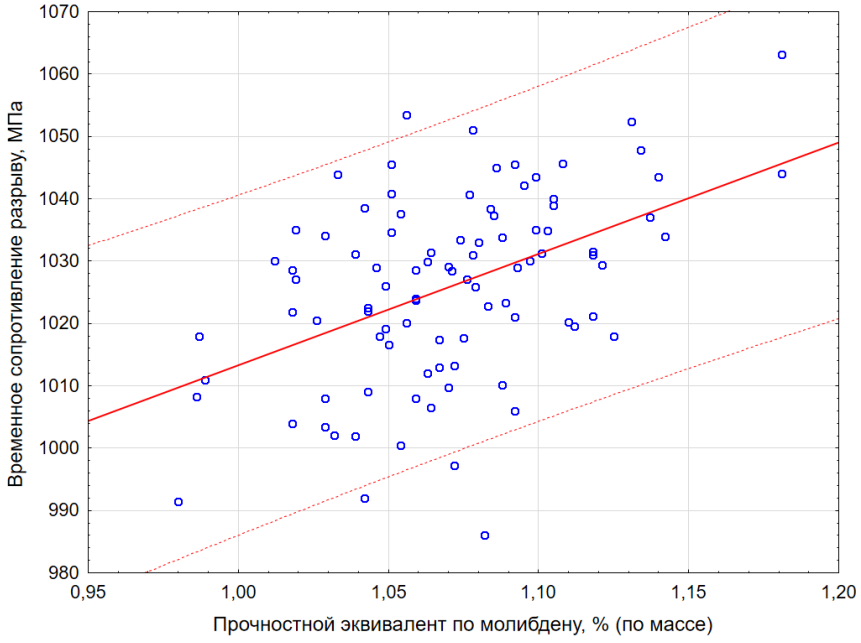


Рисунок 5. Регрессионная связь между пределом прочности поковок сплава ВТ18У и прочностным эквивалентом молибдена

Таким образом, проведённое исследование не только выявляет статистические закономерности влияния химического состава в рамках марки сплава и температуры на

прочностные характеристики сплава ВТ18У, но и позволяет разработать рекомендации по оптимальному легированию для достижения необходимых свойств в условиях эксплуатации при температурах от 20 до 600 °С.

Полученные модели могут быть эффективно использованы для прогнозирования свойств полуфабрикатов в производственной практике, что, в свою очередь, способствует повышению их качества и долговечности. Эти результаты открывают новые перспективы для улучшения технологии производства и оптимизации процессов легирования, что может значительно повысить конкурентоспособность продукции на рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С.* Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. М.: ВИЛС – МАТИ, 2009. 520 с.

2. Авиационные материалы: Справочник в 12 томах/ под общ. Редакцией Е.Н. Каблова. Т.6 Титановые сплавы – М.: ВИАМ, 2010, 96 с.

3. Полуфабрикаты из титановых сплавов. Александров В.К., Аношкин Н.Ф., Белозеров А.П. и др. М.: ВИЛС, 1996 - 581 с.

4. *Боровиков В.П., Ивченко Г.И.* Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows. Основы теории и интенсивная практика на компьютере. М.: Финансы и статистика, 2006. 368с.

DEPENDENCE OF STRENGTH PROPERTIES OF PSEUDO-α-TITANIUM ALLOY ON TESTING TEMPERATURE

Mikhonov V.V., Khazhakian V.O.

Supervisor: Egorova Yu.B., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Stupino Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow State Technical University of Civil Aviation (National Research University)", Stupino)

Abstract. This work investigates the statistical patterns of the influence of testing temperature and alloy composition on the tensile strength of bars and forgings made from the pseudo-α-titanium alloy VT18U, based on a synthesis of literary and production data.

УДК 621.762

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВОЙ КОМПОЗИЦИИ AL-SIC, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИГАТУРНЫХ БРИКЕТОВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Осетров Н.Е.

Научный руководитель: Кузина А.А., доцент, к. т. н.

(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара)

Аннотация. В работе проведено исследование влияния параметров механического смешивания порошков Al-SiC на их физико-технологические свойства. Установлены оптимальные режимы смешивания исходных порошков алюминия и карбида кремния в планетарной мельнице, обеспечивающие однородность распределения армирующей фазы в полученных композициях для изготовления лигатурных брикетов необходимой пористости.

В изделиях авиационной, машиностроительной и ракетно-космической техники большую область применения находят алюмоматричные композиционные материалы (АМКМ), которые обладают малой плотностью, повышенной прочностью и возможностью производить трудно изготавливаемые из них детали. В настоящее время ведётся активная работа над развитием и оптимизацией технологий изготовления АМКМ, упрочненных керамическими соединениями. Для обеспечения качественного ввода наночастиц в

алюминиевые расплавы используются различные приемы, в том числе и их ввод в состав порошковых лигатур [1-5].

Целью данной работы является исследование влияния механоактивации порошков Al и SiC, предназначенных для получения лигатурных брикетов, на их свойства.

В качестве исходных компонентов для приготовления порошковых лигатур использовались алюминиевый порошок марки АКП с фракционным составом частиц в пределах 75…250 мкм, а также порошок SiC марки СВС с размером частиц 70…130 нм.

Исследуемые порошковые композиции были получены в шаровой и планетарной мельницах. Продолжительность процесса смешивания изменялась в диапазоне от 15 до 45 минут, при этом скорость вращения варьировалась от 50 об/мин в шаровой мельнице до 150 об/мин в планетарной мельнице.

В полученных смесях порошков были выявлены частицы различных морфологических типов: сферической, каплеобразной, осколочной форм и иррегулярных очертаний. Смешиванием в планетарной мельнице на протяжении 45 минут обеспечивается равномерное распределение армирующих частиц SiC в алюминиевой матрице. При одинаковых режимах смешивания композиции Al-SiC, изготовленные с применением планетарной мельницы, характеризуются более низким содержанием кислорода по сравнению с порошками аналогичного состава, полученными в шаровой мельнице. Однако продолжительный процесс смешивания способствует насыщению смеси газами, что послужило причиной сокращения времени и увеличения скорости перемешивания в последующих экспериментах. Для этого использовалась планетарная мельница с повышенной частотой вращения размольных шаров 250 об/мин при длительности 1 и 5 минут, поскольку применяемая шаровая мельница не способна производить смешивание при повышенных скоростях.

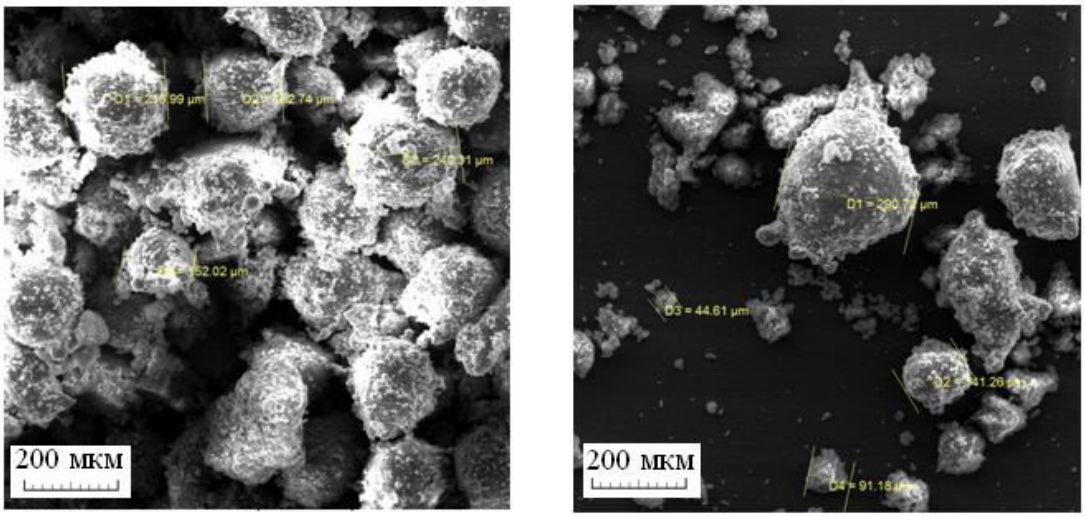
В таблице 1 приведены физико-технологические характеристики исследуемых порошковых композиций. При увеличении времени смешивания наблюдается снижение среднего размера частиц в образцах. Повышение содержания армирующей фазы в композициях сопровождается ростом удельной поверхности, насыпной и компактной плотности; однако порошковые образцы не имеют текучести. С целью исключения наклёпа алюминиевых частиц рекомендуется осуществлять смешивание исходных порошков в планетарной мельнице при минимальном времени обработки, равном 1 минуте, и скорости вращения 250 об/мин.

Таблица 1

Характеристики порошковых смесей, приготовленных в планетарной мельнице при повышенных скоростях смешивания

Порошковые смеси	Грансостав, мкм	Компактная плотность, г/см^3	Насыпная плотность, г/см^3	Удельная поверхность, м^2/г
длительность смешивания 1 мин.				
Al+2,5%SiC	70…240	2,71	0,67	1,77
Al+5%SiC	65…235	2,72	0,84	2,03
Al+7,5%SiC	60…230	2,73	0,96	2,94
длительность смешивания 5 мин.				
Al+2,5%SiC	65…235	2,71	0,73	1,62
Al+5%SiC	60…230	2,72	0,86	1,87
Al+7,5%SiC	55…225	2,73	1,04	2,33

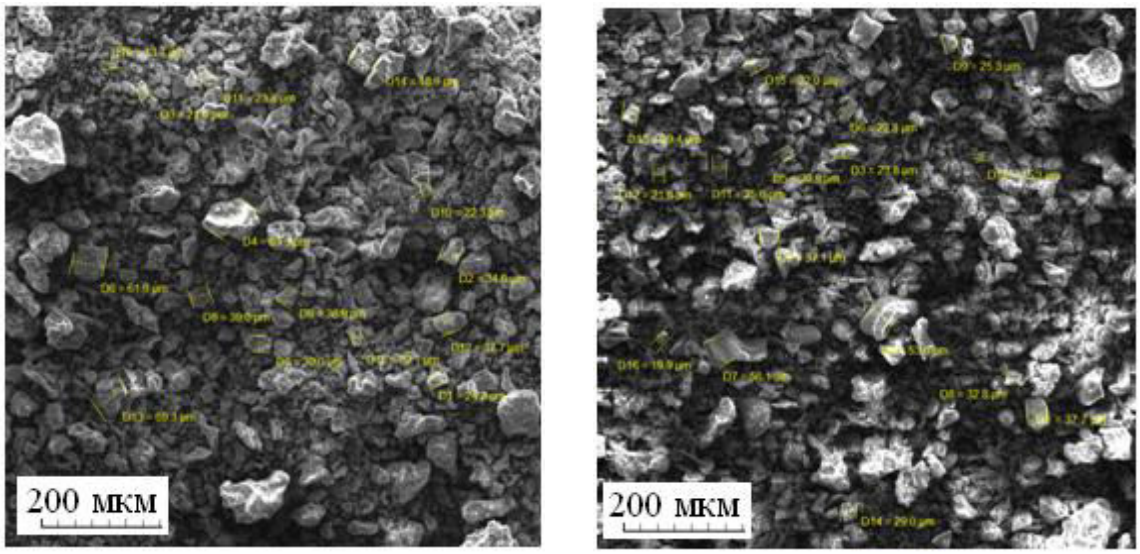
На рисунках 1 и 2 представлена морфология частиц полученных порошков.



а б

а) Al+2,5%SiC; б) Al+7,5%SiC

Рисунок 1. Морфология частиц порошков (смешивание в планетарной мельнице в течение 1 мин.)



а б

а) Al+2,5%SiC; б) Al+7,5%SiC

Рисунок 2. Морфология частиц порошков (смешивание в планетарной мельнице в течение 5 мин.)

Согласно рисункам 1 и 2, с увеличением времени смешивания порошков в исследуемых смесях увеличивается количество частиц осколочной формы и иррегулярных очертаний. Однородность распределения армирующей фазы SiC в полученных смесях на алюминиевой основе достигается смешиванием в течение 1 и 5 мин., поэтому механическое смешивание исходных порошков можно проводить при более короткой длительности смешивания (в течение 1 мин.).

Далее были изготовлены порошковые брикеты массой до 3 граммов методом одностороннего прессования, давление варьировалось от 25 до 105 МПа. На рисунке 3 представлена зависимость пористости брикетов Al-SiC от давления прессования.

Рисунок 3. Зависимость пористости брикетов Al-SiC от давления прессования

Согласно рисунку 3, с увеличением давления прессования пористость полученных лигатурных брикетов уменьшается. Необходимая пористость (10 - 15%) лигатурных брикетов Al-SiC получена при давлении прессования 105 МПа, при меньшем давлении прессования лигатурные образцы осыпаются, что затрудняет процесс их ввода в алюминиевый расплав. Применение более плотных лигатурных брикетов увеличивает время растворения их в расплаве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Березовский В.В., Шавнев А.А., Ломов С.Б., Курганова Ю.А.* Получение и анализ структуры дисперсноупрочнённых композиционных материалов системы Al-SiC с различным содержанием армирующей фазы // Авиационные материалы и технологии. - 2014. - № S6. - С. 17-23.

2. *Петрунин А.В., Панфилов А.В., Панфилов А.А.* О влиянии модифицирования наноразмерными тугоплавкими частицами на структуру и свойства алюмоматричных композитов // Литейное производство. - 2009. - №10. - С. 17-20.

3. *Кузина А.А.* Получение нанопорошковых псевдолигатур Cu-AlN для модифицирования алюминиевых сплавов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». - 2021. - Т. 25. - № 2. - С. 55-62.

4. *Рафальский И.В.* Получение литейных композиционных материалов из алюминиевых сплавов в гетерофазном состоянии с дисперсными наполнителями // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2020. - № 3 (80). - С. 35-41.

5. *Прусов Е.С., Панфилов А.А., Деев В.Б.* Особенности формирования структуры литых алюмоматричных композитов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2021. - Т. 18. - № 3. - С. 360 - 367.

STUDY OF AL–SIC POWDER COMPOSITION DESIGNED FOR THE MANUFACTURE OF MASTER ALLOY BRIQUETTES OF ALUMINUM ALLOYS

Osetrov N.E.

Supervisor: Kuzina A.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara)

Abstract. The study investigates the effect of mechanical mixing parameters of Al–SiC powders on their physical and technological properties. Optimal mixing modes of the initial aluminum and silicon carbide powders in a planetary mill have been determined, ensuring uniform distribution of the reinforcing phase in the obtained compositions for the manufacture of master alloy briquettes with the required porosity.

УДК 621.762

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА АЛЮМИНИЕВОЙ ОСНОВЕ, УПРОЧНЕННОГО ОКСИДОМ ЦИРКОНИЯ

Селиверстова Д.В.

Научный руководитель: Кузина А.А., доцент, к. т. н.

(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара)

Аннотация. В работе приведено исследование влияния содержания армирующей фазы оксида циркония на физико-технологические свойства порошковой композиции Al-ZrO_2. Изучены технологические режимы прессования и спекания полученных порошковых композиций Al-ZrO_2.

В век высоких технологий особенно актуально создание композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов, которые широко применяются в транспортном машиностроении, аэрокосмической промышленности, робототехнике и др. Преимущества алюмоматричных композиционных материалов с дисперсным упрочнением керамическими частицами состоят в достижении высоких эксплуатационных характеристик при сохранении минимальной массы, что имеет научно-практическую значимость для развития передовых отраслей промышленности [1-5].

Целью данной работы является исследование влияния содержания армирующей фазы ZrO_2 на свойства порошковой композиции Al-ZrO_2, а также получение прессованных и спеченных образцов Al-ZrO_2.

В качестве исходных компонентов для получения порошковых композиций Al-ZrO_2 применялись порошок алюминия марки ПА-4 с размером частиц 70…80 мкм и порошок ZrO_2 с размером частиц 5…35 мкм. В таблице 1 представлены свойства исходных порошков. Частицы порошка марки ПА-4 имеют каплевидную и вытянутую формы, а порошка оксида циркония - сферическую форму.

Таблица 1

Свойства исходных порошков

Порошок	Компактная плотность, г/см^3	Насыпная масса, г/см^3	Удельная поверхность, м^2/г
Al	2,7	1,1	0,87
ZrO_2	5,4	2,9	2,8

Исследуемые порошковые композиции получены смешиванием в планетарной мельнице в течении 1 минуты со скоростью 300 об/мин, концентрация порошка оксида циркония составила 2,5% и 5%. В таблице 2 представлены свойства полученных порошковых композиций Al-ZrO_2.

Таблица 2

Свойства полученных порошковых композиций Al-ZrO_2

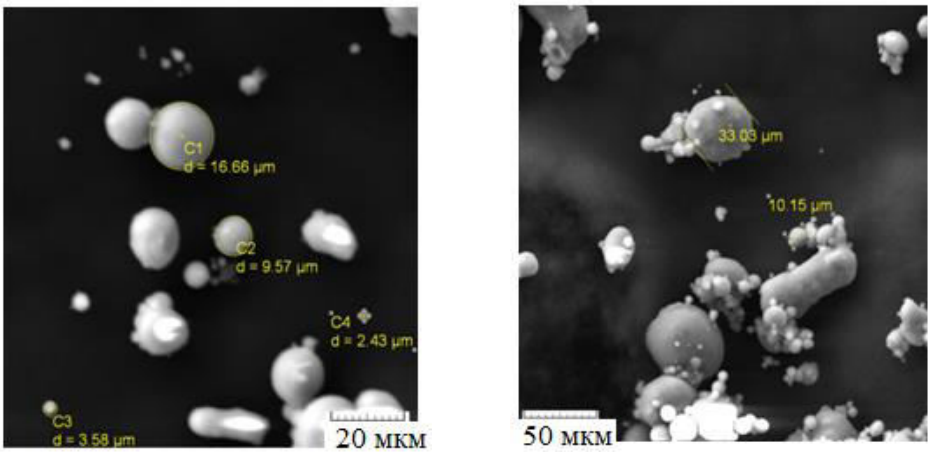
Порошковая композиция	Средний размер порошковых частиц, мкм	Компактная плотность, г/см^3	Насыпная масса, г/см^3	Удельная поверхность, м^2/г
Al+2,5%ZrO_2	40…60	2,74	1,37	1,15
Al+5%ZrO_2	30…50	2,77	1,41	2,05

Анализ полученных данных показал, с увеличением содержания армирующей фазы ZrO_2 в исследуемых порошковых композициях Al-ZrO_2 насыпная масса, удельная

поверхность и компактная плотность возрастают, средний размер частиц уменьшается. Все приготовленные порошковые композиции Al-ZrO_2 обладают низкой текучестью.

При изготовлении конструкционных изделий целесообразно применять порошки с большой насыпной массой, так как прессуемость их лучше. Порошковые материалы, имеющие высокую удельную поверхность, прессуются хуже, так как существенная часть работы прессования затрачивается на преодоление сил трения между частицами.

На рисунке 1 представлена морфология частиц полученных порошков Al-ZrO_2 в насыпном состоянии.



а б

а) Al+2,5%ZrO_2; б) Al+5%ZrO_2

Рисунок 1. Морфология частиц полученных порошков Al-ZrO_2

Согласно рисунку 1, в морфологии частиц полученных порошков Al-ZrO_2 преобладают частицы сферической и каплевидной форм. С повышением содержания армирующей фазы ZrO_2 в полученных композициях Al-ZrO_2 отмечается увеличение количества частиц осколочной формы и иррегулярных очертаний.

Далее полученные порошковые композиции Al-ZrO_2 прессовали с давлением 70…130 МПа. Получены прессованные образцы с пористостью 5…15%, массой до 5 граммов. Образцы с минимальной пористостью спекали в вакуумной печи при температуре 570…590°С.

На рисунке 2 представлена зависимость пористости полученных после спекания образцов Al-ZrO_2 от содержания армирующей фазы ZrO_2.

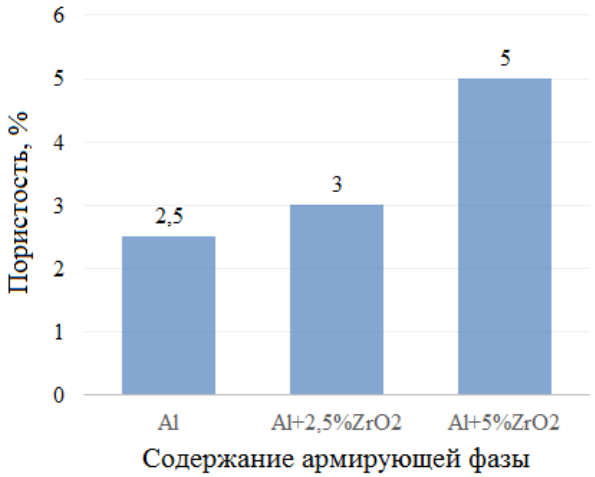
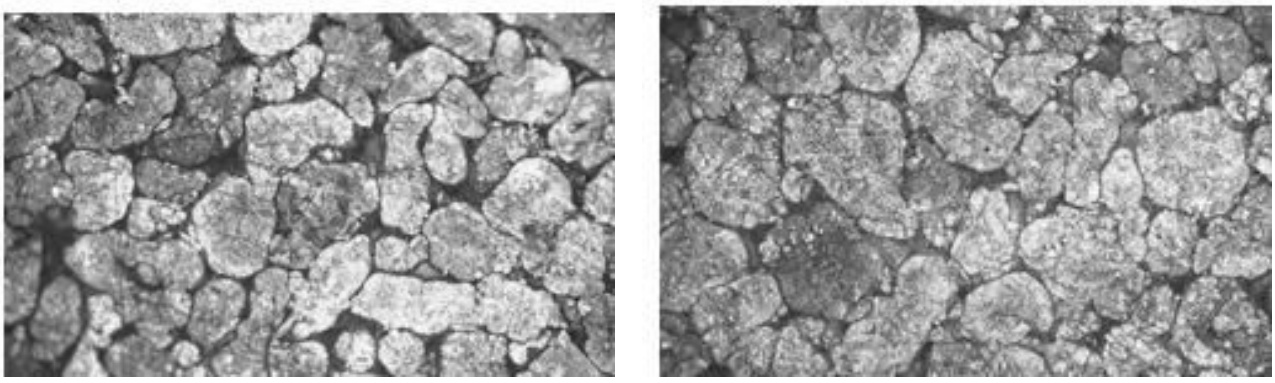


Рисунок 2. Зависимость пористости полученных после спекания образцов Al-ZrO_2 от содержания армирующей фазы ZrO_2

Согласно рисунку 2, с увеличением содержания армирующей фазы отмечается повышение пористости в полученных после спекания образцах Al-ZrO_2. Микроструктуры этих образцов представлены на рисунке 3.



Al+2,5%ZrO_2 Al+5%ZrO_2

Рисунок 3. Микроструктуры полученных после спекания образцов Al-ZrO_2, ×500

Исследована микротвердость полученных после спекания образцов Al-ZrO_2. На рисунке 4 показана зависимость микротвердости полученных после спекания образцов Al-ZrO_2 от содержания армирующей фазы.

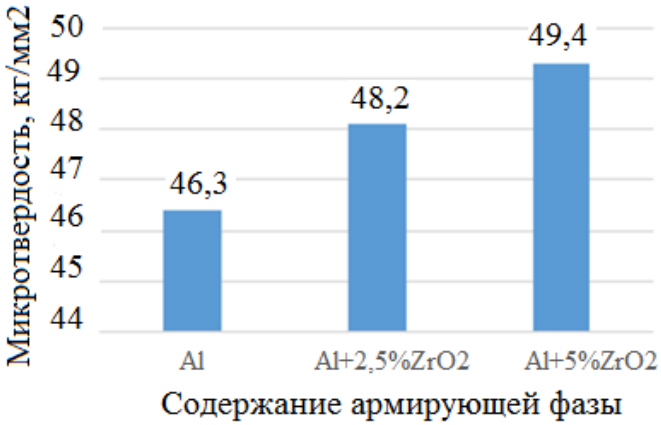


Рисунок 4. Зависимость микротвердости полученных после спекания образцов Al-ZrO_2 от содержания армирующей фазы

С увеличением содержания армирующей фазы оксида циркония микротвердость полученных образцов Al-ZrO_2 повышается. Максимальная микротвердость наблюдается в образце Al+5%ZrO_2 и составляет 49,4 кг/мм^2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Батиенков Р.В.* Высокотемпературные композиционные материалы с металлической матрицей (обзор) / Р.В. Батиенков, Н.П. Бурковская, А.Н. Большакова, А.А. Худнев // Композиционные материалы. - 2020. - № 6 - 7. - С. 45 - 62.

2. *Prusov E.S.* Modern Methods of Metal Matrix Composite Alloys Production and New Approaches to Realization of Reinforcing Scheme // Machines, Technologies, Materials. - 2014. - №1. - P. 11 - 13.

3. *Амосов А.П.* Получение наноструктурного композиционного алюмоматричного материала Al-AlN методом порошковой металлургии / А.П. Амосов, Ю.В. Титова, А.А. Кузина, Д.А. Захаров // Наукоёмкие технологии в машиностроении. - 2019. - № 10 (100). - С. 3 - 11.

4. *Курганова Ю.А., Гончарова Ю.А.* Жидкофазный способ совмещения компонентов алюмоматричных дисперсно-упрочненных композиционных материалов / Ю.А. Курганова, Ю.А. Гончарова // Известия Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. - 2021. - № 11. - С. 15 - 20.

5. *Прусов Е.С., Панфилов А.А., Деев В.Б.* Особенности формирования структуры литых алюмоматричных композитов / Е.С. Прусов, А.А. Панфилов, В.Б. Деев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2021. - Т. 18. - № 3. - С. 360 - 367.

RESEARCH OF THE TECHNOLOGY OF OBTAINING A COMPOSITE MATERIAL ON THE ALUMINIUM BASIS, HARDENED BY ZIRCONIUM OXIDE

Seliverstova D.V.

Supervisor: Kuzina A.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara)

Abstract. The paper presents a study of the influence of the content of the reinforcing phase of zirconium oxide on the physical and technological properties of the Al-ZrO_2 powder composition. The technological modes of pressing and sintering of the obtained Al-ZrO_2 powder compositions have been studied.

УДК 621.791

РЕАЛИЗАЦИЯ ГИБРИДНОГО МЕТОДА НАПЛАВКИ ПО ТЕХНОЛОГИИ WAAM С СОВМЕСТНОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКОЙ РАСПЛАВА

Скороумов А.К.

Научный руководитель: Черников Д.Г., доцент, к. т. н.

(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, г. Самара)

Аннотация. В работе представлено описание разработанного экспериментального комплекса, предназначенного для реализации гибридного метода обработки металлического расплава в процессе аддитивного формирования деталей. Метод объединяет электродуговую наплавку проволокой (Wire Arc Additive Manufacturing — WAAM) и магнитно-импульсное воздействие на ванну расплава. Особое внимание уделено применяемому оборудованию, конструктивным особенностям оснастки и параметрам проведения экспериментов. Описаны этапы создания экспериментального стенда, включая выбор и модификацию индуктора. Приведены технические характеристики ключевых компонентов комплекса, а также особенности их взаимодействия в ходе реализации гибридной технологии.

В современных условиях развития машиностроительных и металлургических технологий всё большее внимание уделяется интеграции физических методов воздействия на металл в процессе его формирования. В этом контексте актуальным является создание гибридных технологий, сочетающих традиционные процессы литья или сварки с дополнительным внешним воздействием на расплав. Одним из перспективных направлений является комбинирование технологии Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM), заключающейся в послойной наплавке металла с использованием дугового источника тепла, с магнитно-импульсной обработкой, позволяющей модифицировать структуру без изменения химического состава материала.

Следует отметить, что ранее уже проводились эксперименты по применению магнитно-импульсной обработки (МИО) в процессе электродуговой сварки алюминиевых сплавов, что подтверждается работой [1]. Однако в настоящем исследовании впервые реализована и опробована технология объёмной электродуговой наплавки, совмещённой с

МИО, что открывает новые возможности для управления структурой и свойствами изделий, создаваемых аддитивным методом.

Технология электродуговой наплавки относится к числу наиболее экономически эффективных и производительных аддитивных процессов, основанных на использовании дугового источника тепла и проволочной загрузки. Формирование изделия осуществляется послойным нанесением наплавленного металла под управлением роботизированного манипулятора. Однако одним из ограничивающих факторов широкого внедрения электродуговой наплавки остаётся неоднородность микроструктуры, наличие ликвационных зон, пористости и других дефектов, которые отрицательно влияют на прочностные характеристики готовых изделий. Для устранения этих недостатков применяются различные методы жидкофазного воздействия, включая магнитно-импульсную обработку [2, 3].

Магнитно-импульсная обработка заключается в воздействии на жидкий металл мощного импульсного магнитного поля, которое индуцирует вихревые токи, приводящие к возникновению электродинамических сил. Эти силы вызывают гидродинамическое перемешивание расплава, образование ударных волн и турбулентных потоков, что способствует более равномерному распределению легирующих элементов, снижению неметаллических включений, измельчению дендритной структуры и повышению однородности затвердевающего металла [4].

Целью исследования стало создание экспериментального комплекса, предназначенного для реализации гибридного метода — совместного применения электродуговой наплавки по технологии WAAM и магнитно-импульсной обработки расплава алюминиевого сплава Св-АК5. Для достижения этой цели был разработан и собран опытный стенд, объединяющий оборудование для сварочно-наплавочных работ и источник импульсного магнитного поля.

Экспериментальная установка включала следующие ключевые компоненты сварочный инверторный полуавтомат EWM Titan 350 XQ Puls D (рисунок 1а), обеспечивающий стабильную дугу и высокую точность подачи алюминиевой проволоки диаметром 1 мм; горелку MIG MS24 (рисунок 1б), используемую для подачи защитного газа (аргона) и расплавления проволоки; роботизированный манипулятор Dobot CR10 (рисунок 2а), обеспечивающий точное позиционирование горелки и контроль траектории наплавки; магнитно-импульсную установку МИУ-1 (рисунок 2б), разработанную в Самарском университете — источник импульсного магнитного поля, питаемый от бытовой сети (220 В); индукторы прямоугольного и кольцевого типа, обеспечивающие локальное воздействие на расплавленную ванну; тепловизор FLIR SC7000, позволяющий регистрировать температурное поле в процессе наплавки; осциллограф LeCroy WaveSurfer 434, применяемый для синхронизации сигналов управления и анализа параметров тока.

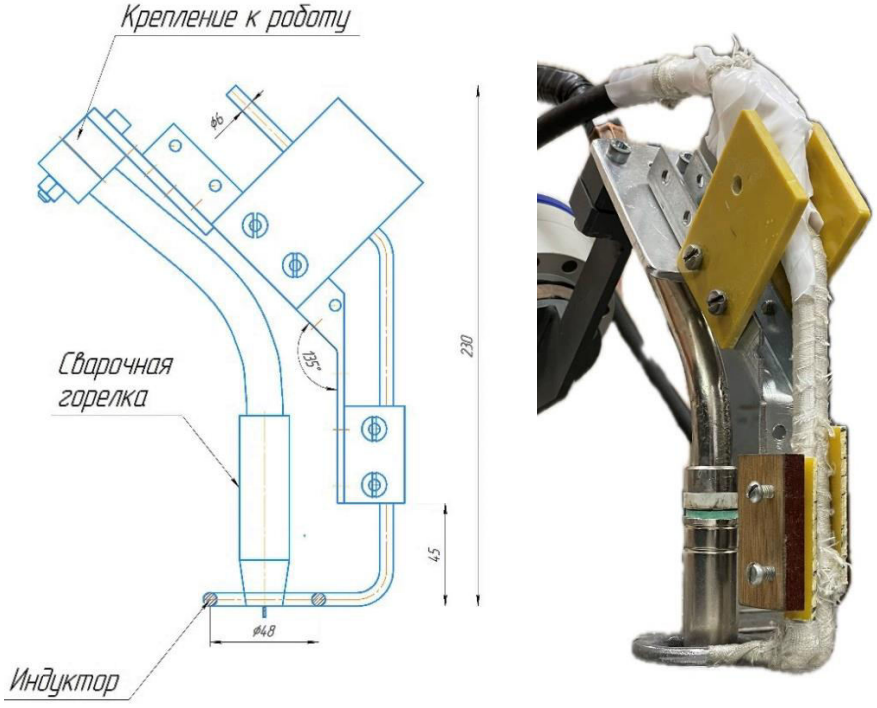
а) б)

Рисунок 1. Внешний вид а) сварочного инверторного полуавтомата EWM Titan 350 XQ Puls D, б) горелки MIG MS24

а) б)

Рисунок 2. а) Роботизированный манипулятор DOBOT CR10, б) Установка МИУ-1

Для обеспечения пространственной и временной согласованности работы всех систем были разработаны специальные конструктивные решения, предусматривающие крепление индуктора непосредственно на сварочной горелке. На этапе проектирования были выполнены 3D-модели узлов крепления в программном комплексе КОМПАС-3D, после чего изготовлены эскизы и собран экспериментальный узел, представленный на рисунке 3. Общий вид полученного экспериментального стенда приведен на рисунке 4.



а) б)

Рисунок 3. а) Эскиз крепления кольцевого индуктора к сварочной горелке
б) внешний вид собранного узла

Было рассмотрено два варианта исполнения с прямоугольным и кольцевым индуктором. Анализ распределения магнитного поля показал, что использование прямоугольного индуктора нецелесообразно вследствие «провала» поля в центральной части, вызванного разрывом витка. По этой причине для проведения экспериментов был

выбран кольцевой индуктор, который позволил равномерно распределить магнитное поле вокруг зоны наплавки и обеспечить её полноценное воздействие.

Эксперименты проводились с различными режимами магнитно-импульсной обработки, варьируя энергию разряда (186 Дж, 332 Дж, 518 Дж), при этом число импульсов на один слой составляло 20. Установлено, что при всех значениях энергии разряд подаётся точно в зону наплавки, без разбрызгивания металла, обеспечивая стабильную геометрию образцов. Анализ микроструктуры показал, что магнитно-импульсная обработка оказывает существенное влияние на формирование структуры сплава, особенно при минимальной энергии разряда (186 Дж). Наблюдается значительное измельчение дендритов α-Al и повышение однородности структуры. При этом между слоями наплавки отсутствуют дефекты, что говорит о высоком уровне адгезии и качестве соединения.

Механические испытания на растяжение выявили увеличение предела прочности σв и относительного удлинения δ, особенно при низкоэнергетическом режиме. Анализ микротвердости показал её незначительное снижение, однако полученные значения остаются в пределах допустимых норм для данного класса сплавов.

Рисунок 4. Общий вид экспериментального комплекса «электродуговая наплавка – магнитно-импульсная обработка»

Таким образом, разработанный экспериментальный комплекс позволяет успешно реализовывать гибридный метод воздействия на расплавленную ванну магнитно-импульсным полем в процессе электродуговой наплавки по технологии WAAM. Использование современного оборудования, особое внимание к конструкции индукторов и их креплению, а также применение систем контроля и синхронизации обеспечивают воспроизводимость результатов исследований и открывают перспективы дальнейшего совершенствования технологии для повышения качества изделий, получаемых аддитивными методами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Скороумов А. К.* Применение магнитно-импульсной обработки при электродуговой сварке алюминиевых сплавов [Текст] А. К. Скороумов, Д. Г. Черников XVII КОРОЛЁВСКИЕ ЧТЕНИЯ материалы Всероссийской молодёжной научной конференции с международным участием, посвящённой 35-летию со дня первого полёта МТКС «Энергия – Буран», Т. 1. – 2023. – С. 81–82.

2. Никитин К. В. Теоретическое и экспериментальное обоснование обработки расплавов на основе алюминия импульсными магнитными полями [Текст] К. В. Никитин, Е. А. Амосов, В. И. Никитин, В. А. Глущенков, Д. Г. Черников Известия вузов. Цветная металлургия. – 2015. – № 5. – С. 11–19.

3. Эскин Г. И. Влияние кавитационной обработки расплава на измельчение структуры слитков легких сплавов [Текст] Г. И. Эскин Труды V международной научно-практической конференции “Прогрессивные литейные технологии”. – М., – 2009. – С. 44–48.

4. *Черников Д. Г.* Совершенствование способа магнитно-импульсной обработки алюминиевых расплавов [Текст] Д. Г. Черников, В. А. Глущенков, В. И. Никитин, К. В. Никитин Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 6. – С. 256–262.

EXPERIMENTAL COMPLEX FOR HYBRID WAAM SURFACING TECHNOLOGY WITH SIMULTANEOUS MAGNETIC PULSE TREATMENT

Skoroumov A.K.

Supervisor: Chernikov D.G., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara)

Abstract. The paper describes the developed experimental complex designed to implement a hybrid method for processing metal melt in the process of additive molding of parts. The method combines electric arc welding with wire (WAAM) technique and magnetic pulse treatment on a molten metal volume. The equipment used in the creation of the stand, the design features of the equipment, as well as the parameters of the experiments are described. The results of the analysis of the microstructure and mechanical properties of the obtained samples are presented, confirming the effectiveness of magnetic pulse treatment (MPT).

УДК 621.9.015.4:620.3

ВЛИЯНИЕ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ ТИТАНА

Утенов А.А.

Научный руководитель: Ефимова Ю.В., доцент, к. п. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Чистопольский филиал «ВОСТОК», г. Чистополь)

Аннотация. В статье рассматривается влияние наноструктурных покрытий на стойкость режущего инструмента при высокоскоростной обработке титановых сплавов. Представлен краткий обзор современных покрытий (TiAlN, AlCrN, TiSiN, DLC и др.), их физико-химические свойства и механизмы воздействия на процессы износа.

Обработка титановых сплавов при высоких скоростях резания представляет собой одну из наиболее сложных задач современной металлообработки. Титан обладает уникальным сочетанием высокой прочности, коррозионной стойкости и биосовместимости, благодаря чему широко используется в авиационной, энергетической, медицинской и оборонной промышленности. Однако его физико-механические свойства, такие как низкая теплопроводность, высокая химическая активность при высоких температурах и склонность к образованию наростов на режущей кромке, значительно осложняют процесс резания.

Одним из перспективных решений, направленных на повышение стойкости режущего инструмента и качества обработки титановых сплавов, является применение наноструктурных покрытий. Эти покрытия позволяют улучшить теплоотвод, снизить коэффициент трения, повысить термостойкость и устойчивость к износу.

Цель настоящего исследования – провести анализ влияния различных типов наноструктурных покрытий на стойкость режущего инструмента при высокоскоростной обработке титана. Работа основана на обобщении литературных источников, технических характеристик покрытий, а также сопоставлении их влияния на эксплуатационные параметры инструмента.

Современные наноструктурные покрытия играют ключевую роль в повышении эксплуатационных характеристик режущего инструмента. В отличие от традиционных покрытий, они обладают более высокой твердостью, улучшенной адгезией и стойкостью к окислению, что особенно важно при обработке труднообрабатываемых материалов, таких как титановые сплавы.

К числу наиболее эффективных нанопокрытий относятся:

– TiAlN (титано-алюминиевый нитрид);

Это одно из самых распространённых покрытий, отличающееся высокой твёрдостью (до 3300 HV), термостойкостью (до 900 °C) и низким коэффициентом трения. Добавление алюминия повышает окислительную стойкость покрытия, что особенно важно при сухой и полусухой обработке титана.

– AlCrN (алюминий-хром-нитрид);

Имеет улучшенные показатели износостойкости по сравнению с TiAlN, а также повышенную термическую стабильность (до 1100 °C). Это покрытие формирует на поверхности защитный оксидный слой Al_2O_3, предотвращающий диффузию и химическое взаимодействие с титаном.

– DLC (Diamond-Like Carbon – алмазоподобный углерод);

Обеспечивает сверхнизкий коэффициент трения (до 0,1), что существенно снижает тепло, возникающее в зоне резания. Однако имеет ограниченную термостойкость (до 400–500 °C), поэтому применяется в условиях минимального нагрева и при фрезеровании с охлаждением.

– Мультислойные и градиентные покрытия;

Комбинация различных материалов в виде чередующихся слоёв (например, TiAlN/CrN, TiSiN/AlTiN) позволяет достичь синергетического эффекта: повышенной износостойкости, термостойкости и сопротивления термошоку. Градиентные покрытия с плавным изменением состава по толщине обеспечивают лучшую адгезию и равномерное распределение внутренних напряжений.

– NbN, ZrN, CrAlSiN и другие перспективные нанопокрытия.

Находятся на стадии активного изучения и демонстрируют улучшенные характеристики по сравнению с традиционными покрытиями, особенно при обработке титановых сплавов в условиях высоких скоростей резания и прерывистого резания.

Настоящее исследование базируется на теоретико-аналитическом подходе, включающем сравнительный анализ литературных источников, патентной документации и технических характеристик инструментов, покрытых наноструктурными композициями. Основной целью данного этапа является выявление закономерностей между типом покрытия, его физико-химическими свойствами и стойкостью режущего инструмента при высокоскоростной обработке титановых сплавов.

В качестве основных критериев оценки использовались следующие параметры:

• твердость покрытия (HV) – как фактор сопротивления абразивному износу;

• термостойкость (°C) – определяет способность покрытия сохранять свойства при высоких температурах в зоне резания;

• коэффициент трения (μ) – влияет на тепловыделение и качество обработанной поверхности;

• адгезия покрытия к подложке – от нее зависит срок службы покрытия при циклических нагрузках;

• сопротивление окислению и термошоку – критично для обработки титана, склонного к налипанию и химическому взаимодействию с материалом инструмента.

Для сопоставления эффективности различных покрытий использовались данные из следующих источников:

• научных журналов по материаловедению и обработке металлов;

• технических каталогов производителей режущего инструмента (Sandvik Coromant, Kennametal, Seco, Walter);

• отчётов по результатам независимых лабораторных и производственных испытаний, опубликованных в открытом доступе.

Выбор покрытий для анализа был основан на их реальном применении в практике высокоскоростной обработки титановых сплавов, с фокусом на условиях минимального охлаждения и максимальной термической нагрузки [1].

Таким образом, предложенная методическая база позволяет сделать обоснованные выводы о влиянии конкретных типов нанопокрытий на стойкость инструмента без необходимости проведения дорогостоящих и трудоёмких экспериментальных работ.

Обработка титановых сплавов на высоких скоростях сопровождается интенсивным нагревом зоны резания, образованием наростов и повышенным износом инструмента. Наиболее эффективно с этими проблемами справляются наноструктурные покрытия, способные обеспечить: снижение силы резания и трения, изоляцию режущей кромки от активного контакта с титаном, снижение адгезии и образования наростов, повышение термостойкости режущего инструмента [2].

Ниже приведено таблица 1 краткое сравнение основных типов покрытий.

Таблица 1

Краткое сравнение основных типов покрытий

Покрытие	Твердость (HV)	Термостой кость (°C)	Коэф. трения (μ)	Преимущества	Ограничения
TiAlN	2800-3300	До 900	0,4-0,6	Хорошая износостойкость, универсальность	Меньшая термостойкость, чем у AlCrN
AlCrN	2800-3200	До 1100	0,3-0,5	Высокая термостойкость, стойкость к окислению	Стоимость выше, чем у TiAlN
DLC	2000-2500	До 500	0,1-0,2	Минимальное трение, гладкая поверхность	Ограничение по температуре
TiSiN	До 4000	До 1200	0,3-0,4	Повышенная твердость, жаростойкость	Более дорогой в нанесении
Мультисл. (TiAlN/CrN)	3000-3500	До 1100	0,35-0,5	Сочетание преимуществ, сопротивление термошоку	Сложность производства

Основные тенденции, выявленные в ходе анализа:

– Покрытия с алюминием и кремнием (TiAlN, AlCrN, TiSiN) демонстрируют наилучшую термостойкость, что критично при высоких температурах обработки титана.

– DLC покрытие эффективно в операциях с пониженным тепловыделением (например, при микрообработке, сверлении с охлаждением), но не выдерживает высокотемпературные нагрузки.

– Мультислойные покрытия увеличивают стойкость инструмента за счёт равномерного распределения напряжений и устойчивости к растрескиванию.

– Увеличение термостойкости покрытия напрямую влияет на сохранение геометрии режущей кромки и стабильность обработки в течение всего срока службы инструмента.

Таким образом, для высокоскоростной обработки титановых сплавов наиболее перспективными являются покрытия типа AlCrN, TiSiN и сложные мультислойные композиции [3].

Высокоскоростная обработка титановых сплавов характеризуется особыми условиями резания, при которых износ режущего инструмента происходит интенсивно и по нескольким направлениям. Основными механизмами разрушения инструмента при работе с титаном являются:

Абразивный износ – возникает из-за твёрдых включений и высокой прочности титана. Нанопокрытия с повышенной твёрдостью (TiSiN, TiAlN) эффективно противостоят этому типу износа.

Адиабатическое нагревание и термический износ – из-за низкой теплопроводности титана большая часть тепла концентрируется в зоне резания. Покрытия с высокой термостойкостью (AlCrN, TiSiN) снижают тепловую нагрузку на режущую кромку, увеличивая её стойкость.

Диффузионный износ – на высоких температурах титан активно вступает в химическое взаимодействие с материалом инструмента, вызывая растворение и разрушение кромки. Покрытия с барьерными свойствами (Al_2O_3-формирующие, TiAlN, AlCrN) предотвращают миграцию элементов.

Адгезионный износ и образование наростов – титан склонен к налипанию на инструмент, особенно при недостаточном охлаждении. Низкий коэффициент трения у покрытий типа DLC и CrN помогает снизить вероятность образования наростов [4].

Усталостные и термошоковые разрушения – прерывистое резание вызывает циклические нагрузки, приводящие к растрескиванию и сколам. Мультислойные и градиентные покрытия способствуют равномерному распределению внутренних напряжений и устойчивости к трещинообразованию.

Таким образом, каждое покрытие вносит вклад в компенсацию определённого механизма износа, а их грамотный выбор позволяет значительно продлить срок службы инструмента при работе с титаном.

Проведённый анализ показал, что наноструктурные покрытия играют ключевую роль в повышении стойкости режущего инструмента при высокоскоростной обработке титановых сплавов. В условиях высоких температур и интенсивного износа они обеспечивают:

• существенное снижение коэффициента трения и силы резания;

• повышение термостойкости режущей кромки;

• защиту от абразивного, адгезионного и диффузионного износа;

• предотвращение образования наростов и преждевременного разрушения инструмента.

Наиболее эффективными покрытиями для обработки титана являются:

AlCrN, TiSiN, TiAlN, мультислойные и градиентные композиции, которые совмещают термостойкость, прочность и устойчивость к термошоку [5].

Понимание механизмов взаимодействия титана с инструментом и влияние нанопокрытий на данные процессы позволяет разрабатывать оптимальные стратегии выбора режущего инструмента в зависимости от условий обработки. Это, в свою очередь, способствует: повышению производительности снижению затрат на инструмент, улучшению качества поверхности обрабатываемых деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Новые покрытия для режущего инструмента: TiAlN, AlCrN, DLC – полный гид по выбору // Блог ООО «Инструментально-Подшипниковая компания». – (дата обращения: 16.06.2025).

2. Современное состояние исследований в области жаростойких ресурсных покрытий для никелевых и титановых сплавов (обзор) // КиберЛенинка. – 2024.

3. *Пячин С. А., Бурков А. А., Власова Н. М., Кириченко Е. А., Кулик М. А.* Сравнение свойств электроискровых Ti_3Al–X покрытий на титановых сплавах // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2025. № 10.

4. *Боровиков С. М., Пигаль Р. В., Терещук О. И.* Свойства и применение DLC-покрытий // Молодой ученый. – 2021. № 6 (348).

5. Таблицы характеристик износостойких покрытий: свойства, применение и сравнительный анализ // Inner.su. – (дата обращения: 16.06.2025).

THE EFFECT OF NANOSTRUCTURED COATINGS ON THE DURABILITY OF CUTTING TOOLS DURING HIGH-SPEED TITANIUM PROCESSING

Utenov A.A.

Supervisor: Efimova Yu.V., Associate Professor, Candidate of Pedagogic Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Chistopol branch "VOSTOK", Chistopol)

Abstract. The article discusses the effect of nanostructured coatings on the durability of cutting tools during high-speed processing of titanium alloys. A brief overview of modern coatings (TiAlN, AlCrN, Rising, DLC, etc.), their physico-chemical properties and mechanisms of influence on wear processes is presented.

УДК 621.791.7.053:669.14.018.8:004.94

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ TIG СВАРКЕ ТРУБЫ ИЗ СТАЛИ Р91 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРА ХРУПКОГО УЧАСТКА ЗТВ ПОСЛЕ КАЖДОГО ПРОХОДА

Филиппов М.Н.

(Белорусский национальный технический университет, г. Минск)

Аннотация. Моделирование распределения температуры в процессе сварки жаропрочных высокохромистых сталей, в частности Р91, даёт возможность определить не только динамику изменения температуры по длине и по толщине трубной заготовки, но и показать изменение размеров участков зоны термического влияния (ЗТВ). Зная изменение температуры во времени можно рассчитать термические напряжения, а зная размеры участков ЗТВ можно предсказать размер зерна и структурные составляющие, что даст возможность прогнозировать не только напряжённое состояние, но и механические свойства шва и ЗТВ. Моделирование TIG сварки проводили в четыре прохода, сравнивая распределения температуры от оси шва до основного металла после каждого прохода. Рассчитан размер участка частичной перекристаллизации, который является температурным интервалом хрупкости (ТИХ) 800°С–500°С, после каждого прохода. Определены размеры всей ЗТВ после каждого прохода, а также размеры участков зон в ЗТВ.

Сталь Р91(российский аналог 10Х9МФБ) – это жаропрочная феррито-мартенситная сталь. Сталь Р91 была разработана в США в середине 1970-х годов компанией Oak Ridge, как теплоустойчивая, для изготовления толстостенных элементов котлов (колонна, магистральная паровая труба и пр.) и для трубопроводов-паропроводов ядерных реакторов. Сталь Р91 создана на основе трубной стали Р9 (9Cr-1Mo) с небольшим добавками V, Nb и N [1], которые значительно снизили скорость ползучести и позволяют эксплуатировать трубы длительное время при давлении пара до 31 МПа и температуре до 600°С.

Таблица 1

Химический состав стали марки Р91[1]

Элемент	C	Cr	Mo	Si	Mn	V	Nb	N	Fe
мас. %	0,10	9,00	0,92	0,23	0,46	0,18	0,08	0,084	Основа

В энергетике и нефтегазовой промышленности, где эксплуатация трубопроводов происходит в условиях высоких температур и давлений, качество сварных соединений играет решающую роль. Надежность сварных соединений Р91 напрямую влияет на безопасность и эффективность работы энергетических установок и нефтеперерабатывающих заводов. Дефекты сварных соединений могут привести к авариям, остановкам производства и огромным финансовым потерям [2]. Как показано в работе [3], при эксплуатации паропроводов разрушение с вероятностью 95 % происходит путем образования трещин III или IV типа в зоне термического влияния (ЗТВ) сварного соединения. Поэтому, мониторинг термо-механических процессов в ЗТВ стали Р91 имеет решающее значение, поскольку ЗТВ является критической областью, где механические свойства металла значительно изменяются из-за теплового воздействия сварочной дуги, что влияет на общую прочность и надежность сварных соединений. Мониторинг ЗТВ позволяет оптимизировать параметры сварки для минимизации неблагоприятных изменений в металле.

ЗТВ (рис.1) [4] состоит из зоны сплавления 2, характеризующейся скоплением примесей и имеющей пониженную прочность и пластичность, а также повышенную твёрдость. Следующая зона – зона перегрева 3 соответствует зоне роста зерна аустенита, что вызывает формирование неблагоприятной крупнозернистой структуры, и в свою очередь снижает пластичность и сопротивление хрупкому разрушению. Затем следует зона нормализации 4, которая имеет мелкозернистую структуру с достаточно высокими механическими свойствами. Далее идёт зона неполной перекристаллизации 5, имеющая в своём составе как крупные, так и мелкие зёрна. Зона неполной перекристаллизации заканчивается участком синеломкости, который не имеет структурных изменений, но в этом участке происходит старение, с образованием интерметаллидов, карбидов и нитридов, что также снижает механические свойства сварного соединения.

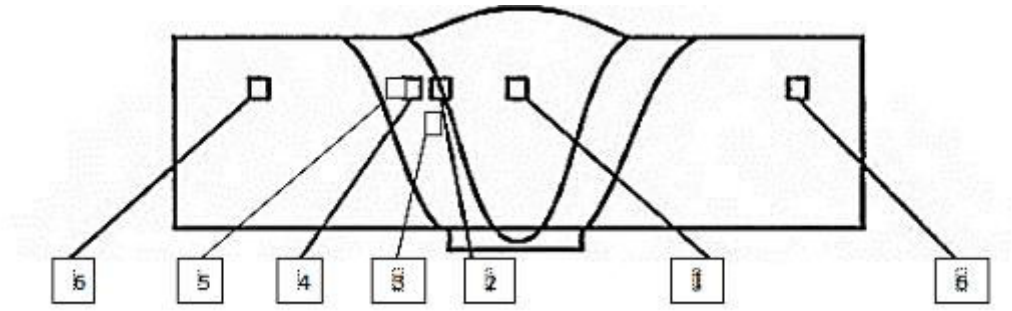


Рисунок 1. Строение ЗТВ стали Р91[4]

В данной работе мониторинг изменения механических свойств ЗТВ при сварке осуществляли путём компьютерного моделирования. Моделирование позволяет рассчитать изменения структуры и свойств металла при различных режимах сварки, а также может предсказать распределение остаточных напряжений в ЗТВ, что помогает оценить риск возникновения трещин. Тем самым, моделирование позволяет оптимизировать параметры сварки и сократить количество дорогостоящих экспериментов, необходимых для изучения ЗТВ. Кроме того, моделирование предоставляет возможность визуализации распределения температуры, напряжений и изменений микроструктуры в ЗТВ. Таким образом, компьютерное моделирование является мощным инструментом для изучения ЗТВ стали Р91, позволяя предсказывать изменения в структуре и свойствах металла, оптимизировать процессы сварки и повышать надежность сварных конструкций [5].

Описание математической модели

Для предварительной оценки участков ЗТВ трубопровода при различных вариантах технологии сварки была разработана математическая модель сварки. Справочные данные [6] по теплофизическим и механическим свойствам стали Р91, которые использовали при расчете, приведены на рис. 2.

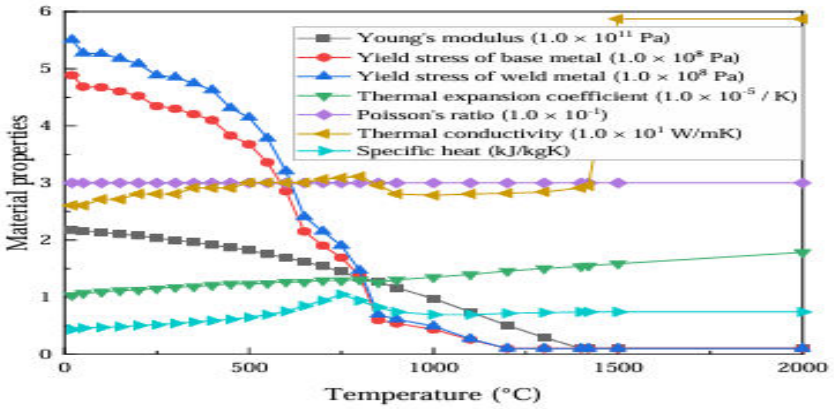


Рисунок 2. Теплофизические и механические свойства стали P91[6]

В основу разработанной расчетной модели положено численное решение задачи термоупругости и термопластичности при нагреве осесимметричной трубной заготовки по поверхности движущимся точечным источником нагрева. При этом производится расчёт возникающих температурных полей и сгенерированных ими упругопластических деформаций.

Расчёты проводились для аргонодуговой сварки с неплавящимся электродом и погруженной дугой (TIG), при коэффициенте эффективности нагрева $\eta_и$ = 0,65; I=100A; U=13B, $v_{св}$ =2 мм/с и погонной энергии сварки $q_п$ = 4,224 кДж/мм. Моделирование сварки пластины проводили в четыре прохода с V-образной разделкой кромок, при следующих максимальных температурах источника тепла корневого шва и облицовочных швов – около 2000°C. Количество элементов сетки – 189060.

Моделирование участков зоны термического влияния проводились в инженерном пакете Ansys/LS-DYNA в два этапа:

1) проведение термического анализа для получения распределения тепловых полей;

2) проведение анализа на основе результатов термического анализа;

Для имитации нагрева использовалась математическая модель двойного полуэлипсоида Голдака [7]. Модель двойного полуэллипсоида состоит из двух полуэллипсоидов: один для передней поверхности сварного бассейна, а другой - для задней поверхности. Плотность мощности в точке (x,y,z) задается следующим уравнением:

$$q = \frac{6\sqrt{3}FQ}{\pi\sqrt{\pi}abc}\exp\left(\frac{-3x^2}{a^2}\right)\exp\left(\frac{-3y^2}{b^2}\right)\exp\left(\frac{-3z^2}{c^2}\right), \quad (2)$$

где a,b,c – это полуоси эллипосида, а Q – тепловой поток.

Формула (2) была преобразована в функцию движения источника нагрева в среде ANSYS/LS-DYNA. Моделирование двойного полуэллипсоида Голдака более точно учитывает вытянутую форму реального распределения плотности мощности и обеспечивает улучшенное приближение к форме и глубине проплавления сварного шва (рис.3).

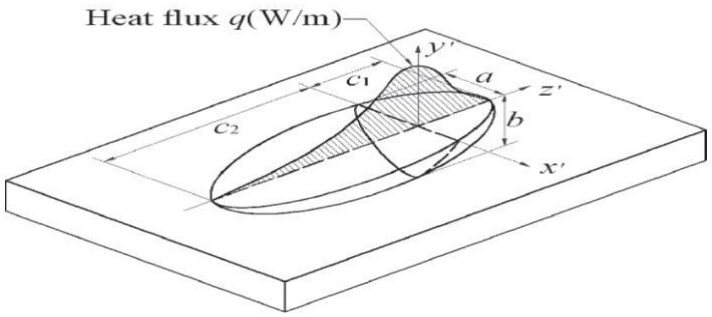


Рисунок 3. Модель двойного полуэлипсоида Голдака [7]

В пакете LS-DYNA была построена геометрическая модель трубопровода (рис. 4) с конечно-элементной сеткой и шагом в 0,5 мм. Размеры трубы: 48,5х5,08 мм.

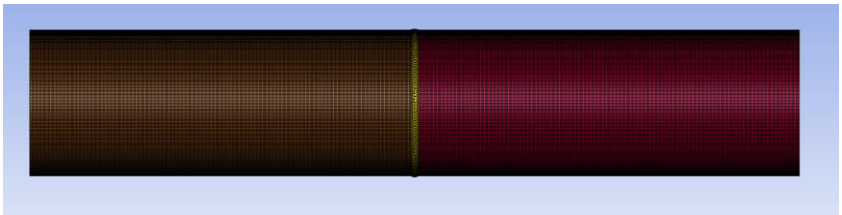


Рисунок 4. Модель многопроходного тонкостенного трубопровода

На рис.5 – рис.8 показано распределение температуры по длине и толщине трубы от шва через ЗТВ до основного металла после первого (рис.5), второго (рис.6), третьего (рис.7) и четвёртого (рис.8) проходов.

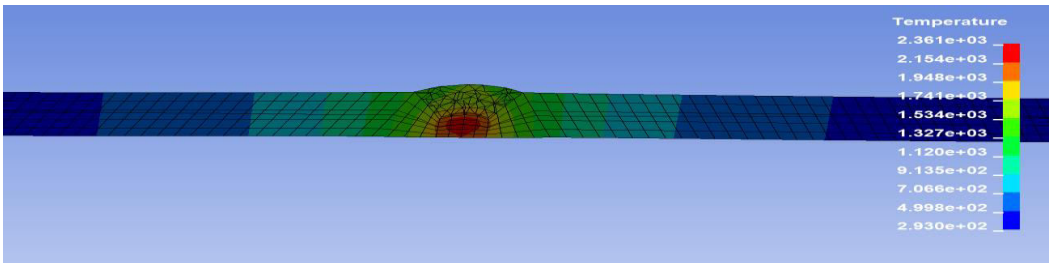


Рисунок 5. Распределение температуры в шве и ЗТВ после первого прохода

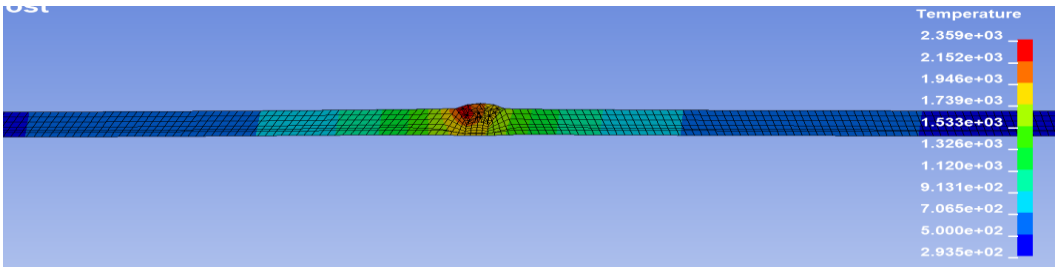


Рисунок 6. Распределение температуры в шве и ЗТВ после второго прохода

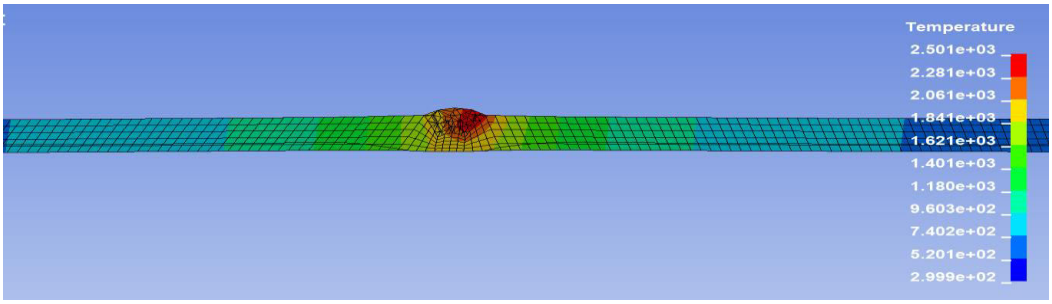


Рисунок 7. Распределение температуры в шве и ЗТВ после третьего прохода

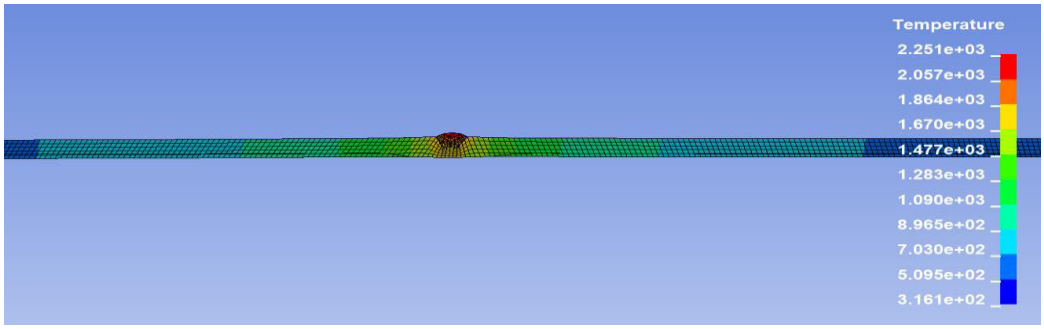


Рисунок 8. Распределение температуры в шве и ЗТВ после четвёртого прохода

На рис.9 показано распределение средней температуры от оси шва через ЗТВ к основному металлу. При каждом последующем проходе от первого до четвёртого, увеличивается зона ТИХ: 5 мм после первого прохода, 13 мм после второго и 22 мм после третьего, а после четвёртого – 33мм. Интересно отметить, что зона ТИХ после второго прохода смещается от оси шва, но не перекрывается с зоной ТИХ после первого прохода, а находится, вплотную не пересекаясь. Зоны ТИХ после второго и третьего проходов пересекаются тем более, чем больше проходов было выполнено.

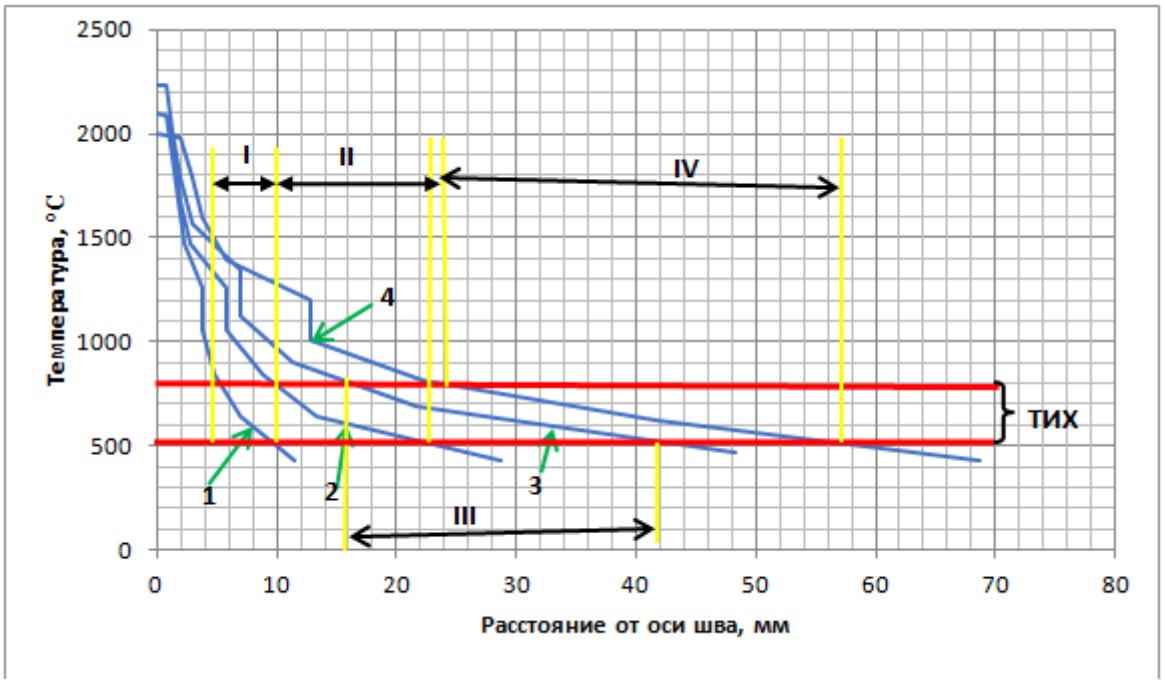


Рисунок 9. Распределение средней температуры от оси шва через ЗТВ к основному металлу

Выводы:

1. На основании моделирования на базе пакета программ Ansys/LS-DYNA определено распределение средней температуры от оси шва до основного металла.
2. Определены размеры ЗТВ после каждого прохода и размеры участка ЗТВ соответствующей охрупченной зоне – зоне частичной перекристаллизации.
3. ЗТВ после первого прохода составляет – 10мм, а охрупченная зона – 5мм; ЗТВ после второго – 23 мм, а охрупченная зона – 13мм; ЗТВ после третьего прохода составляет – 42мм, а охрупченная зона – 22мм; ЗТВ после четвёртого – 56 мм, а охрупченная зона – 33мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Hurtado-Noreña, C.A. Danón, M.I. Luppo, P. Bruzzoni.* Evolution of Minor Phases in a P91 Steel Normalized and Tempered at Different Temperatures // International Congress of Science and Technology of Metallurgy and Materials, SAM-CONAMET. 2013. – P.143 – 146.
2. *Bonetti R., Neate N.C., Morris A., Shipway P.H., Sun W.* Microstructure evolution and deformation mechanisms of service-exposed P91 steel via interrupted uniaxial creep tests at 660 °C // Journal of Materials Research and Technology. 2024. Vol. 33. P. 3529-3549. ISSN 2238-7854.
3. *Хромченко Ф.А.* Ресурс сварных соединений паропроводов// М., Машиностроение, 2002. – 352 с.
4. *Пантелеенко Ф.И., Зеленин В.А., Миньков А.Л.* Влияние режимов предварительной термической обработки на структуру и механические свойства сварных соединений из стали Р91//Сборник научных трудов ГНУ ФТИ НАН Беларуси «Современные методы и технологии создания и обработки материалов» Книга 2, Стр.48-63, 2024г.

5. *Самойленко В.М., Зубов О.Е., Кочкин Д.Н.* Материаловедение и технология материалов Ч III: пособие по выполнению практических и лабораторных работ. – М.: МГТУ ГА, 2016. –24.

6. *Yang, K.; Zhang, Y.; Zhao, J.* Elastoplastic fracture analysis of the P91 steel welded joint under repair welding thermal shock based on XFEM. Metals 2020, 10, 1285.

7. *Goldak, J. A.,* Computational Welding Mechanics, Springer Science+Business Media, Inc. USA, 2005, p. 325.

SIMULATION OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN TIG WELDING OF A PIPE STEEL OF GRADE P91 TO DETERMINE THE SIZE OF A BRITTLE AREA OF THE HAZ AFTER EACH PASS

Filippov M.N.

(Belarusian National Technical University, Minsk)

Abstract. Modeling of temperature distribution during welding of heat-resistant high-chromium steels, in particular grade P91 steel, makes it possible to determine not only the dynamics of temperature change along the length and thickness of samle pipe, but also to show the change in the sizes of heat-affected zone (HAZ) areas. Knowing the temperature change over time, it is possible to calculate thermal stresses, and knowing the sizes of HAZ areas, it is possible to predict the grain size and structural components, which will make it possible to predict not only the stress state, but also the mechanical properties of the weld and HAZ. Modeling of TIG welding was carried out in four passes, comparing the temperature distributions from the weld axis to the base metal after each pass. The size of the partial recrystallization area, which is the brittleness temperature range (BTR) of 800 ° C - 500 ° C, was calculated after each pass. The sizes of the entire HAZ after each pass, as well as the sizes of the zone sections in the HAZ, were determined.

УДК 66.017

АНАЛИЗ СПОСОБОВ СИНТЕЗА НАНОКОМПОЗИТОВ УГЛЕРОД-НИКЕЛЬ С ПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

Фофонова О.С.

Научный руководитель: Морозов М.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье проведен сравнительный анализ методов синтеза композитов никель-углерод, установлено, что для низкотемпературного синтеза наиболее перспективен окислительно-восстановительный метод получения никелевых микроволокон с использованием хлорида никеля и гидразингидрата. Успешно синтезированы композиты на основе углеродного войлока с никелевыми микроволокнами. Проведена характеризация образцов: получены СЭМ-изображения микроволокон никеля и исходного углеродного войлока, выполнены измерения массы войлока до и после синтеза.

Актуальность разработки новых методов синтеза металл-углеродных нанокомпозитов обусловлена ограничениями традиционных подходов, таких как пиролиз карбонилов или электроосаждение. Эти методы требуют применения высоких температур (300–400°C) и сложного оборудования, часто приводят к неполному заполнению порового объема (менее 40%) и образованию агломератов наночастиц, что существенно снижает функциональные характеристики материала [3]. Целью данной работы является сравнительный анализ различных композитов никель-углерод и синтез композитов никелевых микроволокон с углевойлоком.

Теоретическая часть

Анализ металл-углеродных композитов выявляет существенные различия в механизмах адгезии между реакционноспособными и инертными парами материалов. Согласно исследованиям, в нереактивных системах, таких как золото-углерод или медь-углерод, преобладают слабые ван-дер-ваальсовы взаимодействия, что объясняет их склонность к расслоению [1]. В противоположность этому, другие работы подчеркивают способность переходных металлов с незаполненными d-орбиталями, таких как титан, образовывать с углеродом прочные ионные и ковалентные связи [2].

Хотя наличие частично заполненных d-орбиталей у никеля теоретически допускает его взаимодействие с углеродом, экспериментальные данные [2] свидетельствуют о меньшей легкости этого процесса по сравнению с металлами, имеющими вакантные d-орбитали, такими как титан. Для достижения прочного связывания никеля с углеродом требуются условия, активирующие химические процессы. Ключевую роль играет применение высокой температуры в сочетании с вакуумной средой, что минимизирует окисление и обеспечивает прямой контакт между фазами. Не менее важна тщательная подготовка поверхностей: полировка углеродных подложек [1]. Дополнительным фактором усиления адгезии может служить образование карбидных фаз, таких как карбиды никеля. Этот подход аналогичен улучшению смачивания в системе алюминий/углерод за счет образования карбида Al_4C_3, хотя и требует строгого контроля реакции [1]. Для никеля реализация данного метода предполагает термическую обработку, стимулирующую диффузию углерода в металлическую матрицу. Однако избыточное карбидообразование может привести к повышению хрупкости композита, что делает критически важным поддержание оптимального баланса между химическим составом и структурой интерфейса.

Например, в работе [3] проведен синтез нанокомпозитного материала системы углерод-никель, который осуществляли в три последовательные стадии. На первом этапе использовали микропористую угольную матрицу с удельной поверхностью 1113 м²/г, объемом микропор 0,31 см³/г и объемом мезопор 0,43 см³/г. Данная матрица была получена предварительным обеззоливанием угля, его активацией гидроксидом калия (KOH) и последующей карбонизацией при 800°C. На втором этапе угольную матрицу пропитывали 1 М водным раствором азида никеля. Восстановление ионов никеля до металла проводили с использованием гидразингидрата в сильнощелочной среде (pH ≥ 12), создаваемой гидроксидом калия (KOH), при сравнительно низкой температуре 90–100°C. Ключевым аспектом методики является применение сверхстехиометрических количеств как щелочи, так и восстановителя относительно азида никеля, что обеспечивает полноту протекания реакции и высокую чистоту продукта [3]. Содержание никеля в конечном композите варьировалось от 5 до 40 мас.% путем регулирования объема раствора соли, используемого для пропитки. На заключительном этапе синтезированный композитный материал тщательно промывали ацетоном и дистиллированной водой для удаления побочных продуктов и солей, после чего сушили до постоянной массы.

Морфологический и структурный анализ полученных композитов, проведенный методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и малоуглового рассеяния рентгеновских лучей (МУРР), выявил равномерное распределение наночастиц никеля по поверхности и в объеме угольной матрицы без признаков агломерации. Было установлено биомодальное распределение частиц по размерам в зависимости от их локализации: частицы диаметром 2 нм формировались в микропорах, частицы размером 3–15 нм – в мезопорах, а на внешней поверхности матрицы и в межпоровом пространстве наблюдались частицы размером 80–150 нм. Степень заполнения порового объема угольной матрицы наночастицами никеля достигала 95%. Измерения удельной поверхности по БЭТ показали, что для композитов с 5 мас.% Ni она составила 870 м²/г, а для материала с 40 мас.% Ni – 800 м²/г, что несколько ниже исходной матрицы (1113 м²/г), но остается значительной. Снижение пористости подтверждается также уменьшением общего объема пор и объема микропор при сохранении объема мезопор.

Оценка функциональных свойств продемонстрировала высокую эффективность полученного материала. В качестве катализатора реакции озонирования сырого бензола композит с 5 мас.% Ni обеспечил конверсию 52.5%, в то время как в отсутствие катализатора конверсия не наблюдалась. Электрохимические исследования композита с 40 мас.% Ni в 6M водном растворе KOH на установке Parsat-4000 с использованием симметричной двухэлектродной ячейки выявили выраженное псевдоемкостное поведение. Вольтамперные кривые, снятые при скорости сканирования 80 мВ/с, позволили рассчитать удельную емкость материала, которая составила 190 Ф/г, что указывает на его перспективность для применения в суперконденсаторах [3].

В то же время проведенный анализ показывает, что для проведения карбонизации требуются высокие температуры, как например 800°C в рассмотренной выше статье. При этом известен химический окислительно-восстановительный метод синтеза никелевых микроволокон с использованием хлорида никеля в качестве окислителя и гидразингидрата никеля в качестве восстановителя [4]. Было показано, что изменение концентрации хлорида никеля дает возможным регулировать длину волокна в диапазоне 20-250 мкм. На мой взгляд преимущество данного метода в том, что для него нет необходимости использовать специальное оборудование, что позволяет масштабировать его. Дополнительно следует отметить, что при данном синтезе используется температура не выше 90 °C.

Практическая часть

Синтезированы композиты никелевых волокон с углевойлоком. Для синтеза использовалась методика [4], модифицированная в том, что в реакционную смесь вводился кусочек углевойлока. После проведения синтеза полученные образцы изучались методом СЭМ. СЭМ-изображения синтезированных никелевых микроволокон показаны на рис. 1.

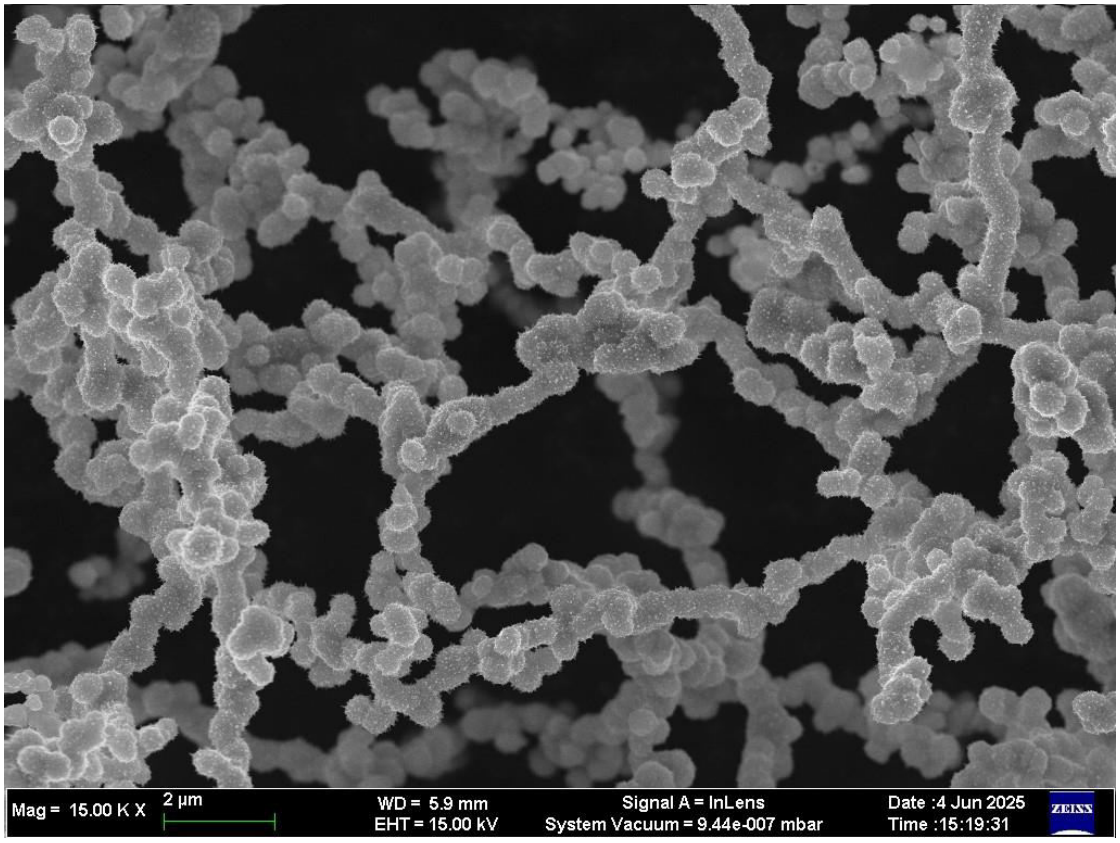


Рисунок 1. СЭМ-изображение никелевых волокон

Полученные результаты показывают, что синтезированные никелевые микроволокна обладают пористой структурой. Также были сняты СЭМ-изображения углеродного войлока, который также характеризуется пористой структурой (рис. 2).

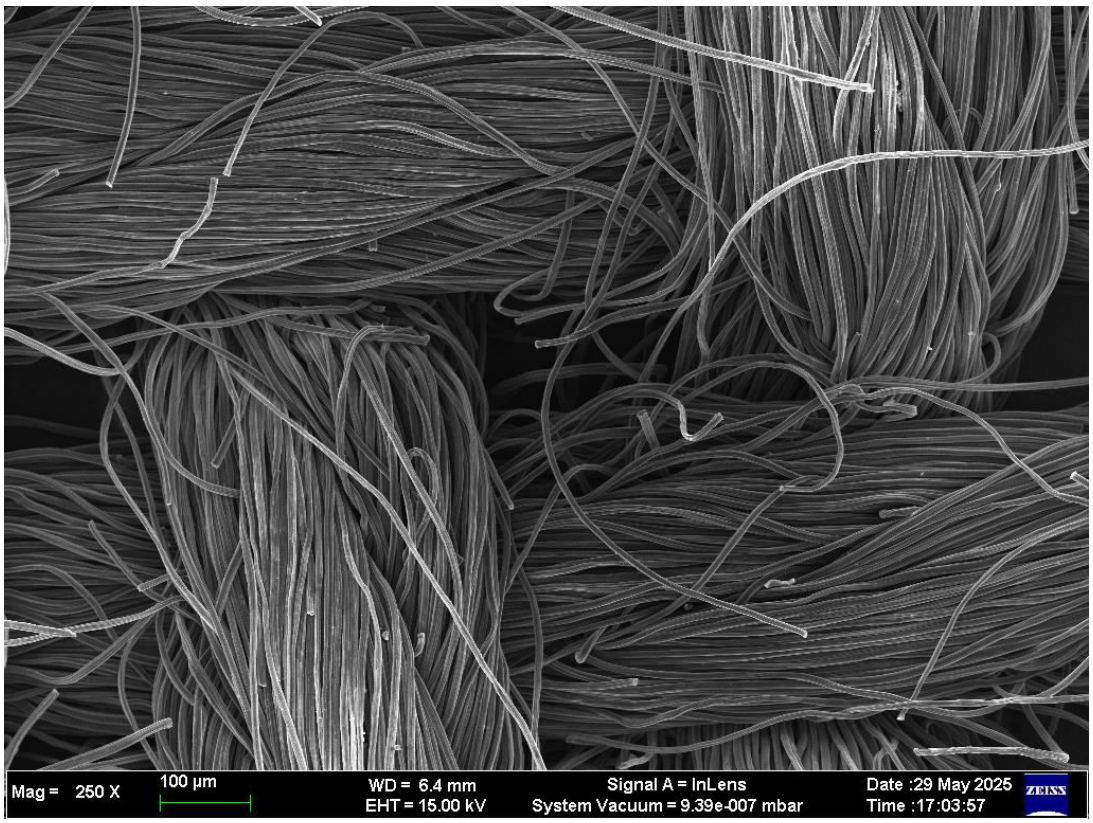


Рисунок 2. СЭМ изображение углеродного войлока

Проведено взвешивание образца углеродного войлока на аналитических весах до и после осаждения никелевых микроволокон. До взвешивания масса составляла 20,1 мг, после взвешивания 24,8 мг.

Заключение

Проведен сравнительный анализ различных композитов никель-углерод. Показано, что для синтеза при низких температурах перспективно использовать окислительно-восстановительный метод синтеза никелевых микроволокон с использованием хлорида никеля в качестве окислителя и гидразингидрата в качестве восстановителя. Синтезированы композиты никелевых микроволокон с углеродным войлоком, получены СЭМ изображения синтезированных никелевых микроволокон и образца углеродного войлока, определена масса углеродного войлока до и после нанесения никелевых микроволокон. Полученные результаты перспективны с точки зрения получения никель-углеродных композитов при низких температурах синтеза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Dezellus O., Eustathopoulos N.* The role of van der Waals interactions on wetting and adhesion in metal/carbon systems // Scripta Materialia. 1999. Vol. 40. № 11. P. 1283–1288. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359646299000822 дата обращения: 11.05.2025). Текст: электронный.

2. *Shin S.E., Choi H.J., Hwang J.Y., Bae D.H.* Strengthening behavior of carbon/metal nanocomposites // Scientific Reports. 2015. Vol. 5. Art. 16114. P. 1–7. URL: https://www.nature.com/articles/srep16114 дата обращения: 11.05.2025). Текст: электронный.

3. *Федорова Н.М., Манина Т.С., Додонов В.Г., Пугачев В.М., Захаров Ю.А., Воропай А.Н., Исмагилов З.Р.* Патент RU 2570672 C1. Способ получения композитного материала системы углерод-никель. Бюл. № 34. Опубл. 10.12.2015.

4. *Морозов М.В., Баталин Г.А., Гареев Б.И., Гильмутдинов А.Х., Салахов М.Х.* Синтез никелевых волокон с развитой поверхностью без влияния магнитным полем и

сурфактантами и исследование их электрохимической активности // Нанотехника. 2011. № 4. С. 61–65.

ANALYSIS OF METHODS FOR THE SYNTHESIS OF CARBON-NICKEL NANOCOMPOSITES WITH A POROUS STRUCTURE FOR ELECTROCHEMICAL APPLICATIONS

Fofonova O.S.
Supervisor: Morozov M.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. In this article, a comparative analysis of methods for the synthesis of nickel-carbon composites has been carried out, and it has been established that the redox method for producing nickel microfibers using nickel chloride and hydrazine hydrate is the most promising for low-temperature synthesis. Composites based on carbon felt with nickel microfibers have been successfully synthesized. The samples were characterized: SEM images of nickel microfibers and the initial carbon felt were obtained, and the mass of the felt was measured before and after synthesis.

УДК 544.2

СПОСОБ СИНТЕЗА НИКЕЛЕВЫХ ВОЛОКОН ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ НАГРЕВА РЕАКЦИОННОЙ СМЕСИ

Фофонова О.С.
Научный руководитель: Морозов М.В., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе были исследованы методы синтеза наноструктурированных никелевых волокон. Актуальность данного исследования объясняется потребностью в материалах для электрохимических систем, где ключевым фактором эффективности является стабильность структуры материала. Результаты данной работы представляют основу для масштабируемого получения наноструктурированных никелевых волокон.

Изучение никелевых волокон в настоящее время приобретает все более широкую актуальность. Данный материал востребован в самых различных областях медицины, науки и техники. Одними из самых распространенных областей применения никелевых покрытий является аэрокосмическая и автомобильная промышленности (33%), производство электрооборудования и металлов (13-20%), нефтяная промышленность и суперконденсаторы (5-7 %) [1].

Ключевым фактором, определяющим рабочие характеристики никелевых волокон – такие как диаметр, морфология поверхности, кристаллическая структура, механическая прочность и удельная электропроводность – является процесс их синтеза. Среди различных методов получения металлических волокон значительный интерес представляет метод химического восстановления, позволяющий контролировать морфологию продукта за счет варьирования параметров процесса.

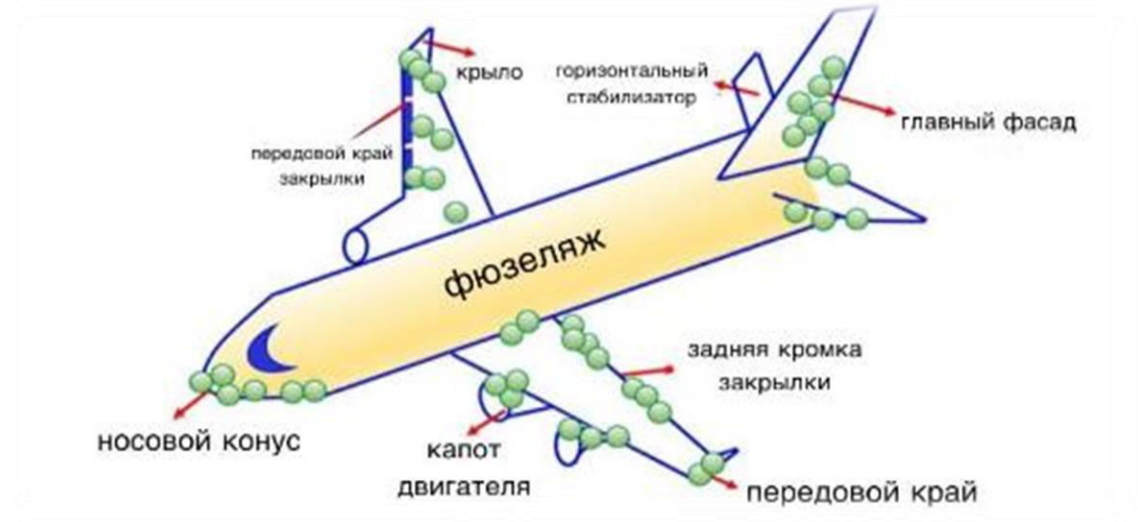


Рисунок 1. Схема, показывающая использование никеля в различных частях самолета (отмечено кружками)

Методика синтеза

Синтез делится на несколько этапов выращивания никелевых волокон. Первым этапом была тщательная подготовка материала для дальнейшей работы. Кристаллы соли никеля весом 0,3 г поместили в колбу объемом 500 мл, смешали с 200 мл дистиллированной воды и перемешивали до полного растворения. Когда соль полностью растворилась в воде, получилась однородная бирюзовая жидкость, что подтвердило, что в растворе не осталось нерастворимых веществ.

В это время был приготовлен раствор с применением гидразингидрата и дистиллированной воды. Бралось 25 мл гидразингидрата на 200 мл воды.

После этого начался следующий этап, который заключался в нагревании раствора хлорида никеля при температуре 40˚С с помощью термостата. Данная температура была выбрана для того, чтобы обеспечить достаточное восстановление без преждевременного прилипания частиц. Когда раствор нагрелся, добавляется восстановитель с помощью капельной воронки около 1-2 капель в секунду. Если добавлять раствор гидразингидрата постепенно, атомам никеля будет легче образовывать волокна в растворе.

После добавления раствора гидразингидрата температуру смеси повысили до 90˚С. Главным этапом процедуры было предотвращение реакции «серебряного зеркала», которая приводила к образованию кристаллов никеля в колбе. Для равномерного протекания реакции раствор переливается в другую, заранее очищенную кислотой колбу и выдерживали так же при 90˚С. На заключительном этапе синтеза жидкость из светло-зеленого цвета превратилась в прозрачную, слегка темно-синего оттенка, что говорит о правильном протекании реакции. На дне образовалось волокно черного цвета с пористой структурой. Когда волокна образовались на дне колбы, их нужно промыть несколько раз используя дистиллированную воду и магнит, чтобы удалить ненужный нам раствор. На заключительном этапе образцы поместили в сушильный шкаф при температуре 120˚С на 4 часа, чтобы удалить воду и зафиксировать их структуру. Во втором синтезе последовательность действий (растворение соли, подготовка раствора гидразингидрата) оставалась такой же, но нагрев раствора соли никеля составил 60˚С как показано в методике [2].

Результаты

Для исследования полученного волокна в первом синтезе использовалась оптическая микроскопия. На снимках можно увидеть, что получились волокна длиной 10-15 мкм с четко выраженной пористостью и червячной структурой. На поверхности есть макропоры, которые распределены неравномерно, а также микропоры, так как на этапе восстановления выделяется газ. Тот факт, что волокно имеет металлический блеск, говорит о том, что это кристаллический материал.

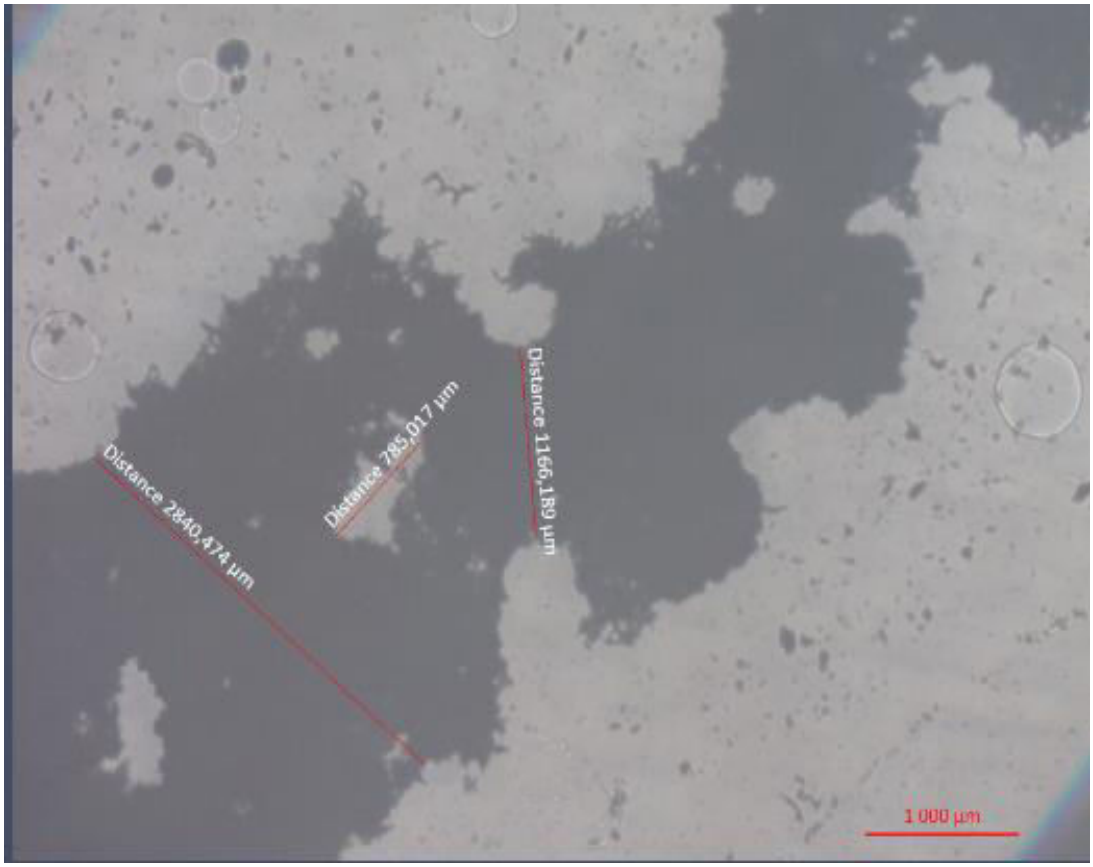


Рисунок 2. Размеры пор волокна

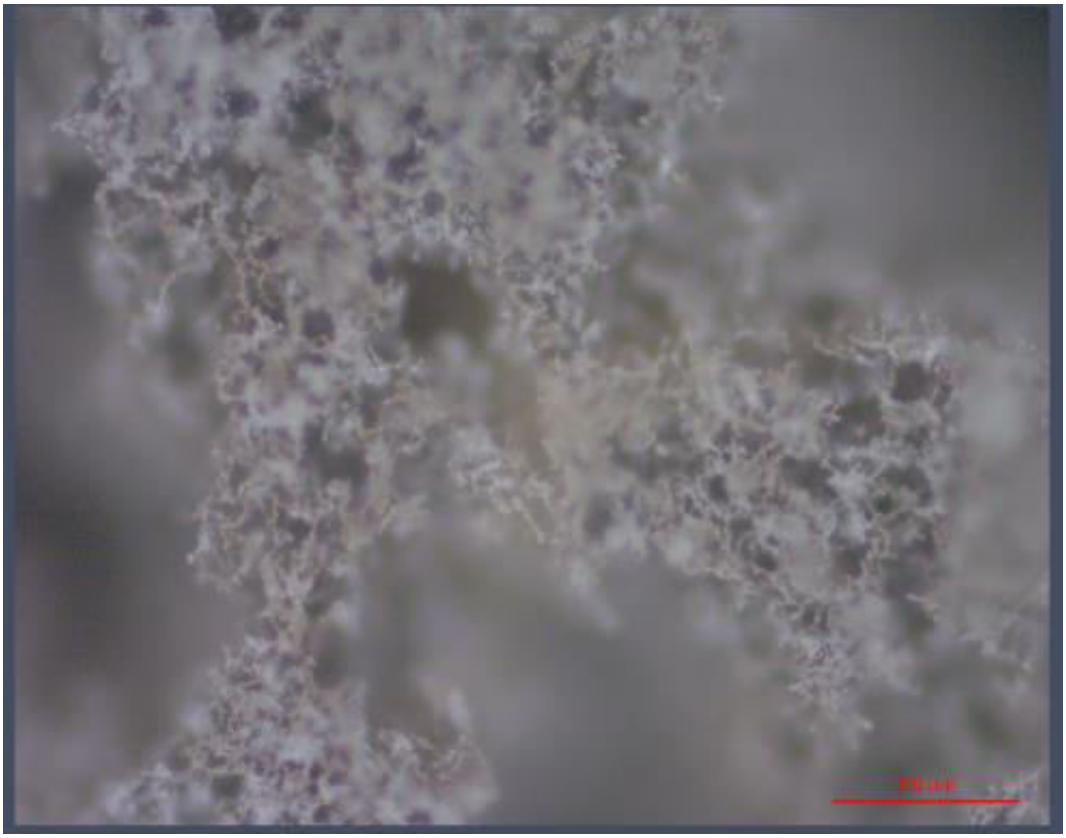


Рисунок 3. Пористая структура волокна

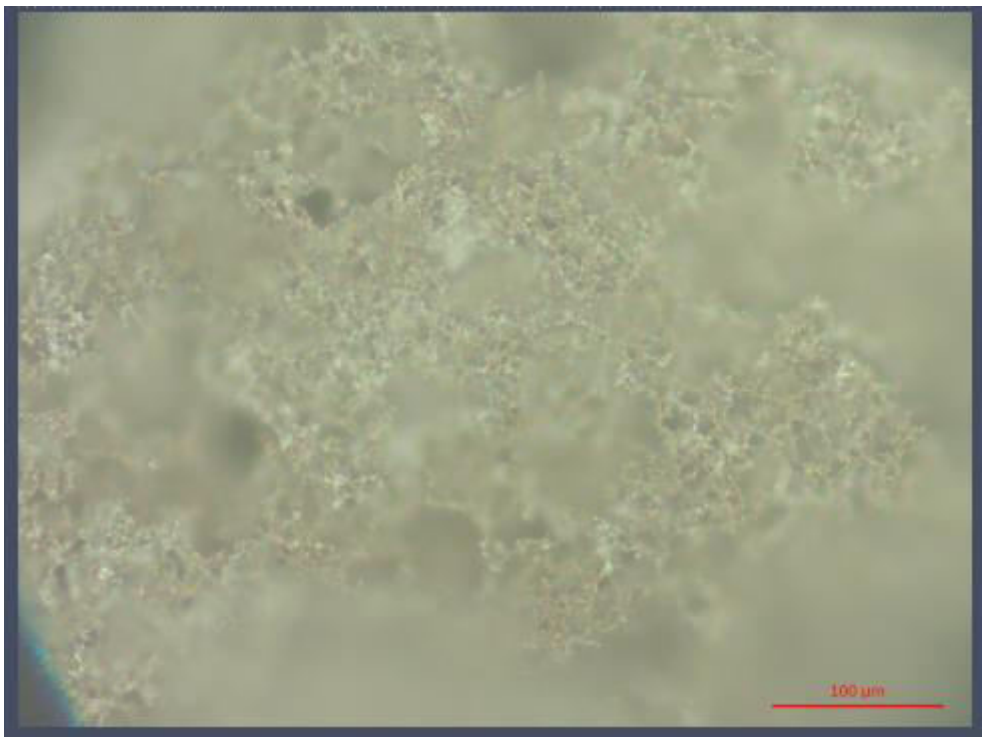


Рисунок 4. Металлический блеск волокна

Теоретическая масса никеля = 67 мг

Практическая масса никеля = 2,2 мг

Во втором синтезе оценка результатов проводилась также методом оптической микроскопии. Можно увидеть, что никель образует рыхлую структуру с множеством пор и каналов. Поры имеют неправильную форму и распределены относительно равномерно. Размеры мелких пор варьируются примерно от 5 до 20 мкм.

Рисунок 5. Синтезированный никель

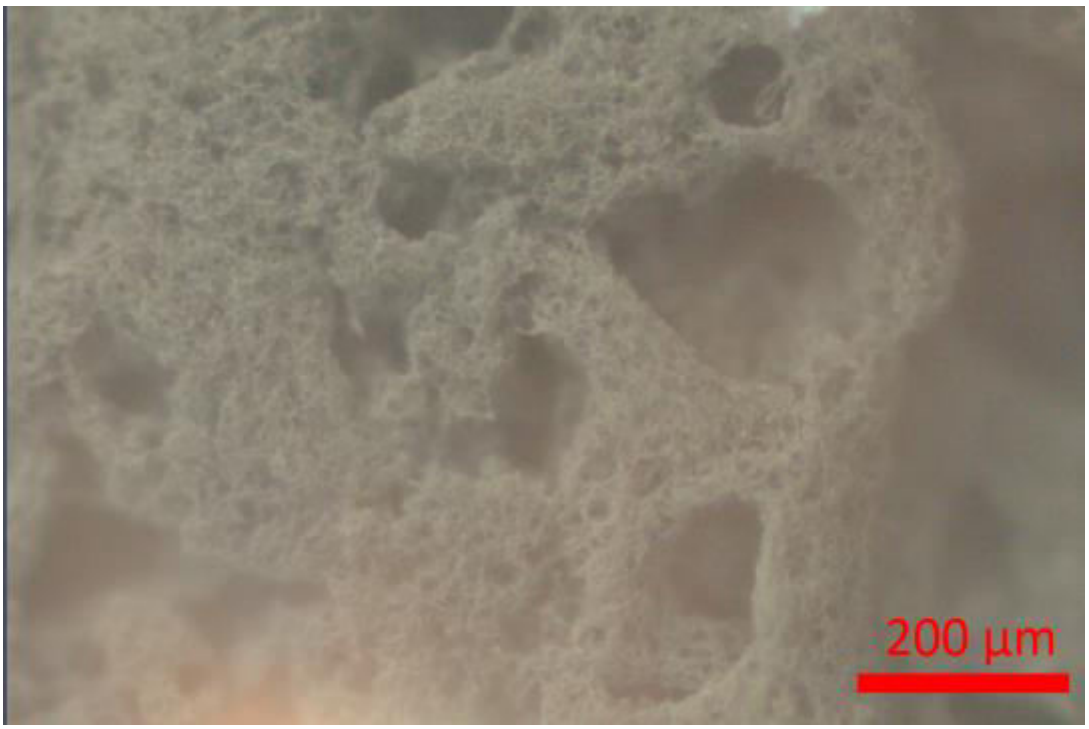


Рисунок 6. Изображение крупных пор никелевого волокна

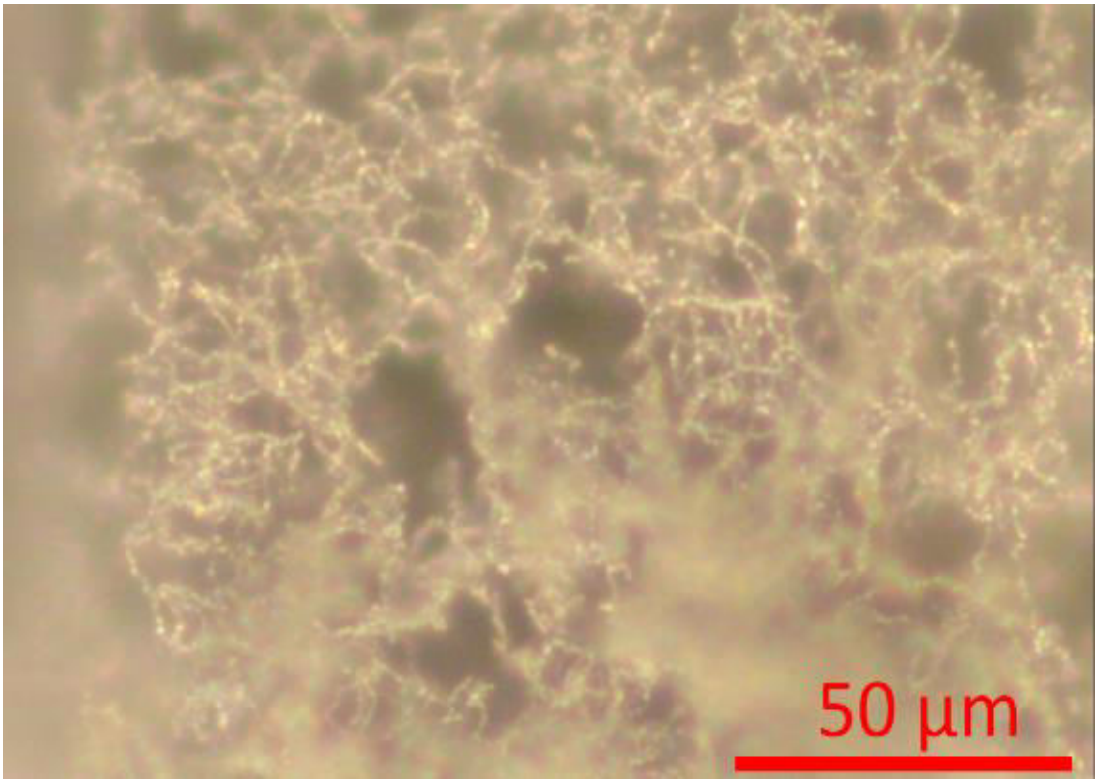


Рисунок 7. Изображение мелких пор никелевого волокна

На рис.6 видна более крупная пористая структура с большими порами и полостями. Размер больших пор достигает примерно 100-150 мкм, при этом присутствуют и более мелкие поры, видимые на фоне.

Теоретическая масса никеля = 178 мг

Практическая масса никеля = 50 мг

Заключение

Разработан энергоэффективный метод синтеза никелевых волокон, осуществляемый при значительно более низких температурах (40–90°C) по сравнению с традиционными

аналогами (300–400°C), что обеспечивает снижение энергозатрат. Было продемонстрированно, что использование определенных условий позволяет синтезировать никелевые волокна с развитой пористой структурой, обладающей высокой удельной поверхностью. Основными ограничениями метода, требующими внимания при масштабировании, являются использование токсичного гидразингидрата в качестве восстановителя и необходимость строгого контроля pH и температуры на стадии восстановления, что требует применение соответствующих мер безопасности. Работа вносит вклад в понимание взаимосвязи между параметрами синтеза, формируемой наноструктурой и свойствами никелевых волокон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Awasthi S.* Electrodeposited carbon nanostructured nickel composite coatings: A review [Электронный ресурс] // Heliyon. 2024. Vol. 10. e26051. URL: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26051 (дата обращения: 17.02.2025).

2. *Morozov M. V.* Synthesis of nickel nanostructured microfibers to increase the electrochemical activity of nickel electrodes // Journal of Advanced Materials and Technologies. 2023. Т. 8. № 4. С. 260–269.

METHOD OF SYNTHESIS OF NICKEL FIBERS AT DIFFERENT TEMPERATURES OF HEATING THE REACTION MIXTURE

Fofonova O.S.

Supervisor: Morozov M.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. In this work, methods for the synthesis of nanostructured nickel fibers were investigated. The relevance of this study is explained by the need for materials for electrochemical systems, where the stability of the material structure is a key factor in efficiency. The results of this work provide the basis for the scalable production of nanostructured nickel fibers.

УДК 621.791.37; 620.183

МИКРОСТРУКТУРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРНОГО ШВА СТАЛИ ASTM A350 LF3

Халиуллин Э.И., Шабалин С.А.

Научный руководитель: Абдуллина В.Х., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. Представлены результаты микроструктурного анализа сварного соединения из стали ASTM A350 LF3, выявлены структуры на ее участках.

Сталь ASTM A350 LF3 – это низколегированная сталь с высоким пределом текучести, предназначенная для использования в сосудах под давлением и других конструкциях, где требуется высокая прочность и ударная вязкость [1].

Одно из области применения стали ASTM A350 LF3 – изготовление цилиндров и патрубков компрессорных установок. И для создания целостной конструкции применяют сборку и сварку в среде защитных газов. Поэтому представляет интерес изучение структуры сварного шва, так как это может дать информацию о качестве сварного соединения, что может повлиять на его эксплуатационные характеристики.

Нормативным документом, регламентирующим требования к сталям класса LF3, является спецификация ASTM A350/A350M «Standard Specification for Carbon and Low-Alloy Steel Forgings, Requiring Notch Toughness Testing for Piping Components». В последней

редакции (A350/A350M-23) она определяет геометрию поковок и фитингов, химический состав (таблица 1), механические свойства (включая ударную вязкость при низких температурах), методики испытаний и требования к контролю качества.

Таблица 1

Химический состав ASTM A350 LF3, %

C	Si	Mn	Mo	Cu	Cr	Ni	P	S
Не более 0,20	0,12-0,35	Не более 0,9	Не более 0,12	Не более 0,30	Не более 0,30	3,3 – 3,7	Не более 0,040	Не более 0,040

Кремний – один из наиболее эффективных раскислителей при выплавке стали. Он связывает кислород, предотвращая образование оксидов железа и улучшая структуру металла, упрочняет ферритную матрицу стали, повышая предел текучести и предел прочности при растяжении.

Марганец, как и кремний, является раскислителем, связывая кислород и предотвращая образование вредных оксидов железа. Кроме того, он связывает серу, образуя сульфид марганца (MnS), который имеет более благоприятную форму и распределение по сравнению с сульфидом железа (FeS), снижая склонность стали к горячеломкости (образованию трещин при горячей деформации), увеличивает прокаливаемость стали, т.е. способность стали закаливаться на большую глубину, в твердом растворе упрочняет ферритную матрицу стали, повышая предел текучести и предел прочности при растяжении, способствует повышению износостойкости стали.

Молибден – один из наиболее эффективных легирующих элементов для повышения прокаливаемости стали. Даже небольшие добавки молибдена значительно увеличивают глубину закалки, в твердом растворе упрочняет ферритную матрицу стали, повышая предел текучести и предел прочности при растяжении, увеличивает жаропрочность и жаростойкость стали, снижает склонность стали к отпускной хрупкости.

Хром – один из важнейших легирующих элементов, повышающих коррозионную стойкость стали. Хром образует карбиды, которые повышают износостойкость и твердость стали, упрочняет ферритную матрицу стали, повышая предел текучести и предел прочности при растяжении.

Никель, как и хром, повышает коррозионную стойкость стали, особенно в сочетании с хромом, повышает пластичность и ударную вязкость стали, особенно при низких температурах. Он снижает температуру хладноломкости стали, умеренно увеличивает прокаливаемость стали, в твердом растворе упрочняет ферритную матрицу стали, повышая предел текучести и предел прочности при растяжении. Никель является аустенитообразующим элементом, т.е. он расширяет область существования аустенита в железоуглеродистой диаграмме. Это позволяет получать аустенитные нержавеющие стали, которые обладают высокой коррозионной стойкостью и пластичностью. Основную роль играет никель, содержание которого в этой стали достигает 3,3–3,7%. Благодаря никелю повышается ударная вязкость, особенно при низких температурах, что снижает риск хрупкого разрушения сварных соединений. Он также стабилизирует ферритную структуру и уменьшает склонность зоны термического влияния к образованию закалочных структур и холодных трещин, улучшая общее качество сварного шва.

Медь повышает коррозионную стойкость стали, особенно в атмосфере. В небольших количествах (до 0,5%) медь может улучшить обрабатываемость резанием стали [2].

Для изучения влияния сварки на структуру сварного шва стали ASTM A350 LF3 был подготовлен экспериментальный образец, представленный на рисунке 1. Сварка заготовок проводилвсь механизированной сваркой в смеси защитных газов аргона и углекислого газа в соотношении 70 на 20. В качестве присадочной проволоки использовалась проволока Boehler 2,5 Ni-iG с диаметром равным 1,2 мм.

Анализ микроструктуры осуществлялся на шлифе с предварительной механической и химической подготовкой (травление 4% HNO_3 в спирте).

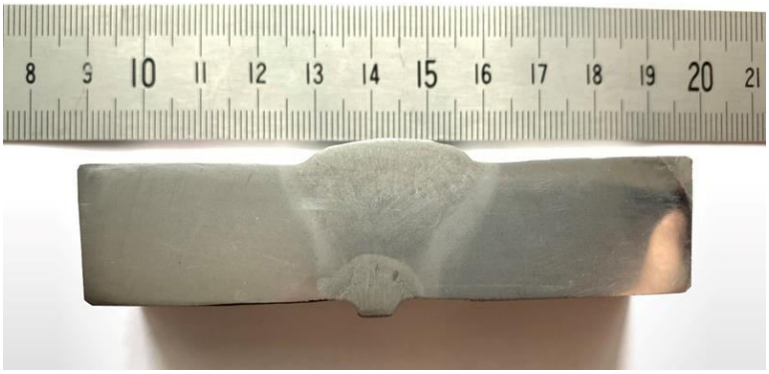


Рисунок 1. Сварное соединение стали ASTM A350 LF3

При макроструктурном анализе сварного соединения можно увидеть зону термического влияния (ЗТВ) как на самом основном сплаве, так и в корне шва. На рисунке 2 представлена структура ЗТВ.

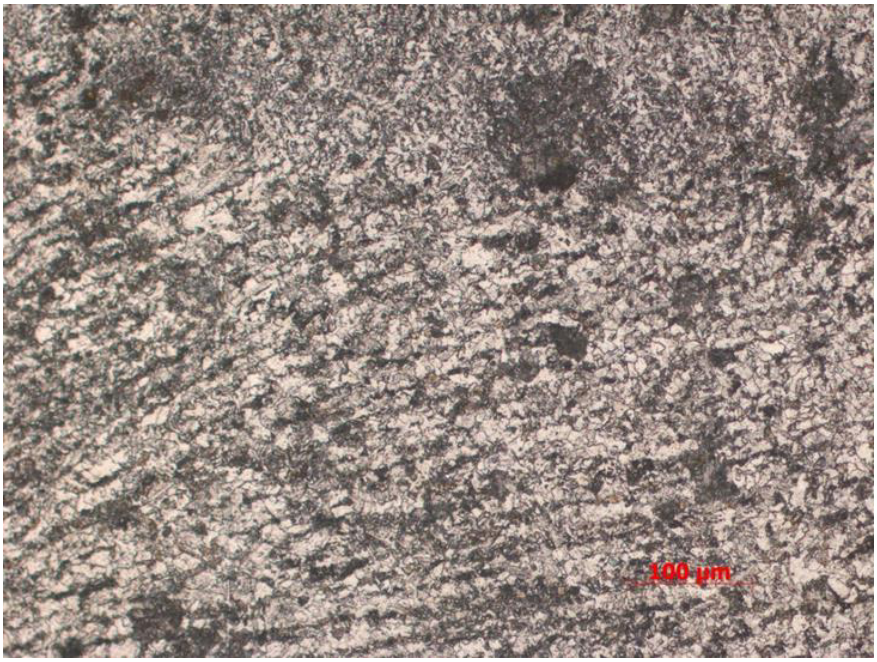


Рисунок 2. Зона термического влияния 200х

Микроструктура ЗТВ (рисунок 2) представляет собой типичную для низколегированных сталей ферритно-перлитную смесь, претерпевшую изменения в результате теплового воздействия сварки. Основу структуры составляет светлый зернистый феррит, равномерно распределённый по площади.

Микроструктура металла шва (рисунок 3) представлена преимущественно пластинчатым и игольчатым ферритом, вытянутым в направлении теплового градиента. Эта морфология свидетельствует о высокой скорости охлаждения в зоне расплава, типичной для полуавтоматической сварки в среде защитных газов.

В микроструктуре локально выявлены единичные округлые включения тёмного цвета – вероятно, неметаллические включения (оксиды, сульфиды), что допустимо для данного класса сталей и не оказывает критического влияния на прочностные характеристики соединения.

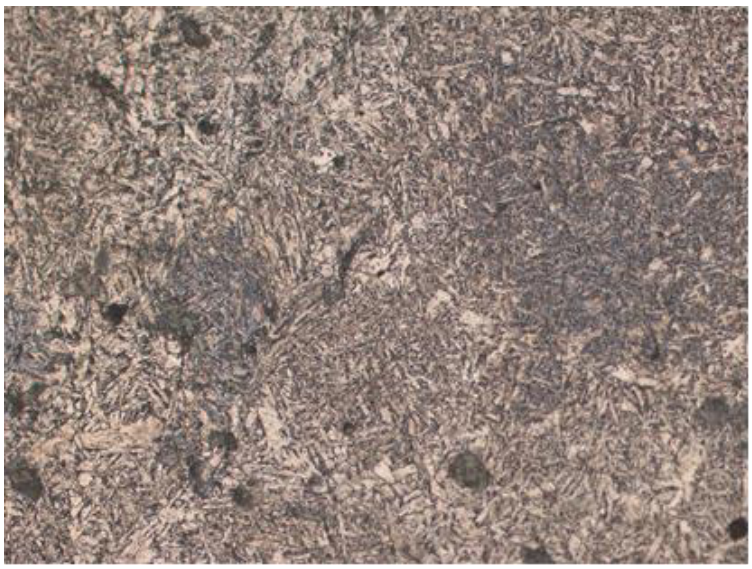


Рисунок 3. Структура металла шва 200х

В ходе исследования микроструктуры сварного шва обнаружился непровар (рисунок 4), где не до конца проварился сам электрод. Данный дефект был единичным.

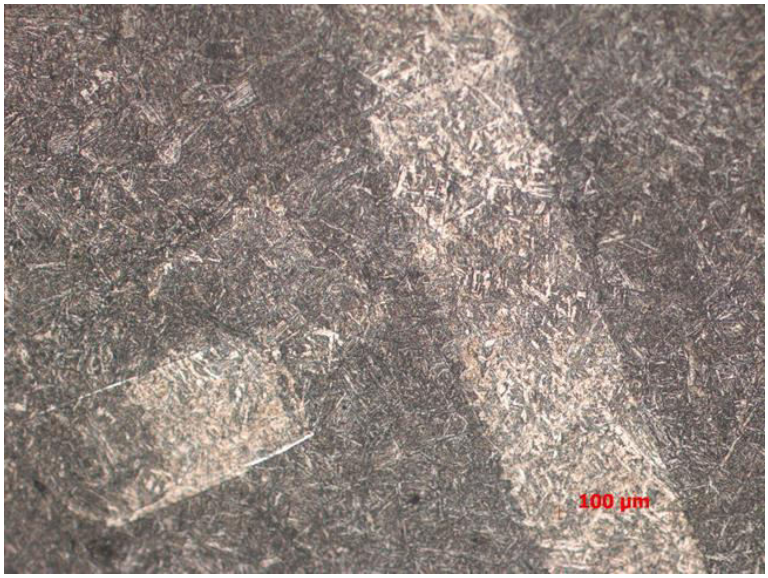


Рисунок 4. Участок с дефектом непровар 200х

В результате микроструктурного анализа сварного соединения из стали ASTM A350 LF3 можно сделать следующие выводы:

- выявлена зона термического влияния;
- структура металла в зоне сварного шва и околошовной зоны соответствуют типичной структуре низколегированных стальных сплавов;
- обнаружен единичный дефект непровар электродного металла, что скорее всего связан с процессом начала сварки и выходом на основной режим сварки;

Неоднородности структуры сварного шва можно устранить за счет дополнительной термической обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Федосов С.А.* Основы технологии сварки/ С.А. Федосов, И.Э. Оськин. –. М: Машиностроение, 2011. – 125 с.

2. ASTM A350/A350M-22 Standard Specification for Carbon and Low-Alloy Steel Forgings, Requiring Notch Toughness Testing for Piping Components.

MICROSTRUCTURAL STUDY OF STEEL WELD ASTM A350 LF3

Haliullin E.I., Shabalin S.A.
Supervisor: Abdullina V.Kh., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan*)

Abstract. Presented the results of microstructural analysis of a welded joint made of ASTM A350 LF3 steel, and identified the structures.

УДК 620.172.22

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛА ПРУЖИНЫ ЧЕРЕЗ МОДУЛЬ СДВИГА

Чернавский Е.А.
Научный руководитель: Галимова Л.Н., профессор, д. и. н.
(Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Москва)

Аннотация. Цель исследования – проанализировать поведение пружин при растяжении и определить материал их изготовления. Проведён теоретический обзор деформаций при растяжении, истории, принципов работы, технологий производства и областей применения пружин; в эксперименте проверена методика идентификации материала через расчёт модуля сдвига по данным растяжения. Измеренные зависимости модуля сдвига от величины растяжения согласуются со справочными характеристиками исследованных материалов, что подтверждает корректность предложенного метода.

Пружина – упругая деталь механизмов, которая накапливает, отдаёт или поглощает сообщённую ей механическую энергию. Но как же мы пришли к использованию свойств упругости, а также к современному виду пружин?

Изначально упругими свойствами материалов пользовались наши далёкие предки, используя различные гибкие прутья и сухожилия животных, они научились делать луки, удочки, а также различные зажимы и ловушки для охоты на диких зверей. Способности к упругости сплавов были открыты греческим изобретателем, механиком и математиком Ктесибием в 3 веке до нашей эры. С помощью увеличения доли олова в сплаве с медью он смог получить бронзу, которая отличалась большей эластичностью, чем остальные материалы, известные в то время [1].

В середине XIII века французским архитектором Вилларом де Оннекуром была спроектирована и построена первая механическая пила, которая работала под действием потока воды на водяную мельницу. Благодаря водяному колесу, лезвие двигалась в одну сторону, а деревянный вал изгибался, накапливая энергию. Затем, вал разгибался и тянул полотно пилы в противоположную сторону.

Спиральный вид пружины был придуман в 1470 году. Такие пружины заменили систему гирь, которая использовалась раннее для завода часов. А часовой мастер из Нюрнберга - Петер Хенляйн (1485-1542 гг.) изготовил первые наручные часы, имевшие только часовую стрелку. Его мастерство дало огромный толчок в развитии этой отрасли. Но оставалась проблема в изменении силы тяги пружины часов. Её смог решить пражский мастер Джакоб, который приспособил барабан переменного диаметра.

Затем началось усложнение пружинного механизма часов: появились минутная, затем секундная стрелки; увеличилась точность и долговечность механизма, с помощью внедрения спиральной пружины-балансира и анкерного спуска [6].

Основой для пружин в современном мире является пружинная сталь, высокоуглеродистая или легированная.

Легированные стали обладают высокими прочностными свойствами и долговечностью изготовленных изделий, но имеют высокую себестоимость. Из-за этого они

применяются для изготовления особых пружин для особенных климатических условий. Легированные стали бывают хромомарганцовистые, хромокремнистые, хромованадиевые, хромокремневанадиевые, вольфрамокремнистые, никелекремнистые и другие.

Высокоуглеродистая сталь обладает высокими прочностными свойствами и долговечностью изготовленных изделий. Обладает умеренной пластичностью.

Пружины различаются по видам и своему назначению. На сегодняшний день придумано огромное количество пружин различных форм и размеров, которые выполняют очень важные функции в разнообразных технических механизмах.

В физике закон Гука является эмпирическим законом. Формулируется данный закон так: сила (F), возникающая при растяжении или сжатии тела, пропорциональна его удлинению

$$F = k\Delta x,$$

где k - постоянный коэффициент жёсткости, т.е. характеристика жёсткости пружины; Δx - деформация пружины [5].

Закон назван в честь британского физика XVII века Роберта Гука, который впервые смог открыть закономерность и сформулировать закон в 1676 году в виде латинской анаграммы. Опубликовано решение анаграммы было лишь в 1678 году как: «*ut tensio, sic vis*» ("как расширение, так и сила" или "расширение пропорционально силе"). Гук утверждал в своей работе 1678 года, что он находил подобные закономерности и раньше [1].

На практике закон Гука не может всегда выполняться точно, а только при малых значениях сжатия или растяжения пружин. Если растяжение превышает определённый предел, то в исследуемом материале начинаются необратимые нарушения структуры, вследствие которых пружина деформируется и теряет свои свойства.

Основные сведения о теории работы и применения пружин

1 Основные виды пружин.

2 Производственные процессы при производстве пружин.

3 Модуль упругости.

- Модуль Юнга – модуль первого рода.
- Модуль сдвига – модуль второго рода.
- Коэффициент Пуассона.

Пружины различаются по характеру воздействия на пружину, по форме, по конструкции [2].

По характеру воздействия на пружину:

- **Пружина растяжения** — элемент, рассчитанный на увеличение своей длины под нагрузкой. Без внешней нагрузки состоит из сомкнутых витков. Бывают с кольцами и без (со специальными винтовыми пробками), на концах витков. Подвергаются продольно-осевой нагрузке и растягиваются под её действием.
- **Пружина сжатия** — элемент, рассчитанный на уменьшение своей длины под нагрузкой. Без внешней нагрузки состоят из не касающихся между собой витков. При создании такой пружины концевые витки поджимаются, а торцы шлифуются. Если пружина имеет неустойчивое положение из-за своей длины, то обычно её ставят в стаканы или оправки. Подвергаются продольно-осевой нагрузке и сжимаются под её действием. Имеют специальную обработку - для создания хорошей опоры каждый торцовый виток поджимается к соседним виткам на длине ¾.
- **Пружина растяжения-сжатия** — элемент, рассчитанный как на увеличение, так и на уменьшение своей длины под нагрузкой. Из-за этого витки могут испытывать напряжения двух видов: изгиба и кручения.
- **В различных вариациях пружин, на концах имеются крючки или кольца для крепления в различных конструкциях.**
- **Пружина изгиба** — элемент, рассчитанный для передачи упругих деформаций при изменениях размеров пружины. В основном это плоские пружины, подвергающиеся изгибающей нагрузке (Пример – рессоры). Бывают разнообразной формы: торсионы, стопорные кольца и шайбы, упругие зажимы, элементы реле и т.п.

• **Плоская пружина** — элемент, который контролирует отклонение частей механизма в ограниченных пространствах.

По форме пружин и конструкции**:** цилиндрические, фасонные, конические, спиральные, ленточные, плоские, тарельчатые, торсионные, дуговые, пластинчатые, волновые, газовые, жидкостные.

Также существуют пружины специального назначения:

Пружина Бурдона - изогнутая в дугу трубка с различным сечением, которая является основополагающей деталью для манометров.

Жидкостная пружина — механизм пружинного типа, где упругие свойства обеспечиваются рабочей жидкостью. При смещении поршня вправо происходит сжатие жидкости из-за уменьшения её объёма (см. рисунок), поскольку часть пространства занимает входящий шток. При снятии внешнего усилия сжатая жидкость расширяется, возвращая поршень в исходное левое положение, что и обеспечивает пружинящий эффект.

Производственные и технологические процессы при производстве пружин [4].

Пружины производятся в специализированных цехах крупных машиностроительных предприятий, являющиеся обрабатывающим цехом, с организацией серийного производства. Существует два способа производства пружин: с нагревом материала (А) и без нагрева (Б).

А) Навивка пружин в горячем состоянии используется в основном для навивания пружин, работающих на сжатие. После нагрева специальных заготовок производится оттяжка их концов на ковочных вальцах или кузнечных молотах. Для обеспечения прямолинейности заготовки диаметром от 10 мм правят на правильных прессах. Во время всего производственного процесса материал поддерживается в определённом температурном состоянии. После навивки, происходит транспортировка в специальных контейнерах, направленных на удержание тепла, во избежание резкого охлаждения изделий и потери механических свойств. За это время они проходят участок для обработки торцов. Для разводки шага пружин применяют винтовые и гидравлические прессы. Затем пружины проходят участок дополнительной термической обработки и после они попадают на участок отделки. В нём осуществляется контроль дефектов изделия и прохождение испытаний с целью определения надёжности и долговечности их работы. Обработанные пружины транспортируются на участок защитных покрытий. Осуществляется окончательная обработка поверхности пружин с целью их защиты от вредных воздействий окружающей среды. Может наноситься как лакокрасочное, так и гальваническое покрытие продукции.

Б) Навивка пружин в холодном состоянии используется для пружин различных видов: сжатия, кручения и растяжения, а также плоских. Данный способ обладает низкой производительностью, поэтому к нему прибегают на производствах с низкой потребностью пружин, удовлетворяющей потребностям локализации производства. Холодная навивка осуществляется при помощи токарных станков, пружинонавивочных аппаратах, а также вручную.

Начало производство берёт с промежуточного склада, на котором хранятся заготовки – проволока в обмотках, до 10 мм. Со склада материал отправляется на заготовительный участок, где производится очистка от специальной смазки и упаковки из льняного промасленного материала, утверждаются заявленные механические свойства. Затем происходит транспортировка в цех холодной навивки, который оснащён специальными пружинонавивочными автоматами. После навивки изделия отправляются в слесарно-механический участок, для снятия напряжений посредством термической обработки. Затем происходит контроль дефектов и испытания для определения надёжности и долговечности их работы. Обработанные пружины транспортируются на участок защитных покрытий. Осуществляется окончательная обработка поверхности пружин с целью их защиты от вредных воздействий окружающей среды. Может наноситься как лакокрасочное, так и гальваническое покрытие продукции.

Модуль упругости:

Модуль Юнга – модуль первого рода:

Модуль Юнга – механическое свойство, которое измеряет жёсткость материала во время растяжения и сжатия, при продольном приложении силы. Он количественно определяет взаимосвязь между растягивающим или сжимающим напряжением и осевой деформацией области материала. Сам термин модуля происходит латинского термина «modus», что означает «мера».

Значения модуля Юнга велики, поэтому принято их выражать в ГПа. Чем выше значение модуля Юнга, тем больше продольной жёсткости у материала [3].

Модуль Юнга был назван в честь британского учёного XIX века – Томаса Юнга (1773-1829 гг.). Но известно, что данная концепция была разработана в 1727 году швейцарским математиком и физиком - Леонардом Эйлером (1707-1783 гг.). Первые экспериментальные работы были проведены итальянским учёным Джордано Риккати в 1782 году [7].

Модуль сдвига – модуль второго рода:

Модуль сдвига – механическое свойство, которое измеряет жёсткость материала во время изменения формы, при приложении силы под углом к нормали объекта. Он количественно определяет взаимосвязь между сдвигающим напряжением и осевой деформацией области материала.

Значения модуля сдвига выражается в ГПа, как и модуль Юнга. Чем выше значение модуля сдвига, тем больше материал способен сопротивляется сдвиговой деформации [8].

Модуль сдвига меньше модуля Юнга из-за того, что напряжение сдвига неравномерно распределено по всему поперечному сечению элемента, в то время как осевое напряжение, как правило, более равномерно распределено по поперечному сечению. Другими словами, любой элемент будет переносить осевое напряжение более эффективно, чем напряжение сдвига.

Эти два свойства применимы только к твердым частицам. Жидкости и газы обладают только одним таким свойством, называемым объемным модулем, который измеряет сопротивление изменению объема.

Коэффициент Пуассона:

Коэффициент Пуассона является мерой эффекта Пуассона, явления, при котором материал имеет тенденцию расширяться в направлениях, перпендикулярных направлениям сжатия. И наоборот, если материал растягивается, а не сжимается, он обычно имеет тенденцию сжиматься в направлениях, поперечных направлениям растяжения. Это распространенное наблюдение, когда резиновая лента растягивается, она становится заметно тоньше. Опять же, коэффициент Пуассона будет отношением относительного сжатия к относительному расширению и будет иметь то же значение, что и указано выше. В некоторых редких случаях материал фактически сжимается в поперечном направлении при сжатии (или расширяется при растяжении), что приводит к отрицательному значению коэффициента Пуассона [3].

Справочная информация к практической части работы

В ходе выполнения практической части научно-исследовательской работы, использовалась следующая информация о пружинах растяжения:

Ключевые характеристики пружин включают:

1. Количество рабочих витков.
2. Толщину проволоки.
3. Диаметр навивки.
4. Максимально допустимая нагрузка.
5. Линейная зависимость деформации от приложенного усилия, соответствующую закону Гука.
6. Полученные значения модуля сдвига.

Общий принцип функционирования

Витые высокоуглеродистые и легированные пружины преобразовывают деформацию растяжения, кручения во внутреннюю потенциальную энергию. Затем отдают её обратно,

тем самым компенсируют различное воздействие на систему, в которой они находятся. или воздействие элементов системы на другие механизмы. Коэффициент упругости увеличивается за счёт увеличения длины проволоки и количества витков.

Описание практической работы:

Перед началом практической работы, согласно теоретической части проекта, а также используя специализированную литературу, была выведена формула для нахождения модуля сдвига пружины. Для выведения итоговой формулы использовались формула Закона Гука и формула коэффициента жёсткости пружины. По итогу представляется возможным вывести итоговую формулу. Данные преобразования позволят получить итоговую формулу. Полученные значения измерений заносились в таблицу 1.

Таблица 1

Показания весов прибора ПИППР в зависимости от длины растяжения

Длина растяжения ΔX, м	Масса, кг						
	Пружина 1	Пружина 2	Пружина 3	Пружина 4	Пружина 5	Пружина 6	Пружина 7
0,01	0,1	0,18	0,1	0,23	0,115	0,00	0,235
0,02	0,185	0,35	0,19	0,42	0,235	0,005	0,435
0,03	0,265	0,49	0,27	0,61	0,355	0,01	0,53
0,04	0,35	0,64	0,35	0,8	0,42	0,015	0,61
0,05	0,43	0,8	0,44	1,02	0,52	0,02	0,705

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гузенков, П.Г.* Краткий справочник к расчетам деталей машин [Текст] / П.Г. Гузенков; М.: Высшая школа, 1964. - 324 с.
2. *Башта, Т. М.* Гидропривод и гидропневмоавтоматика [Текст] / Т.М. Башта; М.: «Машиностроение», 1972. - 320 с.
3. Хютте: справочник для инженеров, техников и студентов [Текст] / под общ. ред. В. К. Запорожца, С. И. Курбатова, С. Ф. Лебедева, Н. Л. Мануйлова. Т. 1. — Москва; Ленинград: Госмашметиздат, 1934-1939, 1934. — XVI, 1003 с.
4. *Енохович, А. С.* Справочник по физике и технике. [Текст]: Пособие для учащихся / А. С. Енохович; М., «Просвещение», 1976. - 175 с.
5. *Волькенштейн, В.С.* Сборник задач по общему курсу физики [Текст]: Учебное пособие для вузов / В. С. Волькенштейн. - 5-е изд., перераб. - Москва: Физматгиз, 1965. - 464 с.
6. Лабораторный практикум по общей физике. В 3 т. Т. 1. Механика [Текст]: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Прикладные математика и физика" / А.Д. Гладун и др. - Москва: Моск. физ.-техн. ин-т (ГУ), 2004 (ОАО Яросл. полигр. комб.). - 315 с.
7. Таблицы значений Модуля упругости Юнга, Модуля сдвига и коэффициента Пуассона: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://infotables.ru/fizika/295-uprugie-svojstva-tel (Дата обращения: 14.06.2025).
8. Модуль упругости при сдвиге для различных марок сталей и сплавов: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://extxe.com/20985/modul-uprugosti-pri-sdvige-krucheniem-dlja-razlichnyh-marokstali/ (Дата обращения: 26.06.2025).

IDENTIFICATION OF SPRING MATERIAL THROUGH THE SHEAR MODULUS

Chernavskiy E.A.

Supervisor: Galimova L.N., Full Professor, Doctor of Historical Sciences

(Bauman Moscow State Technical University, Moscow)

Abstract. The aim of the study is to analyze the behavior of springs under tension and to determine the material of their manufacture. A theoretical review of tensile deformations, historical background, principles of operation, manufacturing technologies, and applications of springs has been conducted. In the experiment, the method of material identification through the calculation of the shear modulus based on tensile test data was tested. The measured dependencies of the shear modulus on the tensile deformation are consistent with the reference characteristics of the studied materials, which confirms the validity of the proposed method.

УДК 539.25

ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЕ СПЛАВОВ TINI С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ С РАЗЛИЧНОЙ МИКРОСТРУКТУРОЙ

Чуракова А.А.

(Институт физики молекул и кристаллов – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Уфа)

Аннотация. В данном исследовании рассматривалось влияние термоциклирования (многократных мартенситных превращений в интервале температур превращения) с различным числом циклов на функциональные характеристики, микроструктуру и механические свойства сплавов TiNi в различных структурных состояниях и химическим составом. В результате многократных мартенситных превращений наблюдается накопление дефектов и уменьшение размеров структурных элементов. Наиболее эффективное фазовое упрочнение происходит в эквиатомном сплаве $Ti_{50.0}Ni_{50.0}$. Сплав $Ti_{49.8}Ni_{50.2}$ демонстрирует устойчивость к фазовому упрочнению во всех исследованных состояниях.

Введение

Сплавы с памятью формы (СПФ) часто используются в качестве элементов управления приводами, благодаря их уникальным свойствам восстанавливать деформацию и генерировать напряжения [1,2]. В приводах элементы из СПФ подвергаются термическому циклированию через температурный диапазон мартенситных превращений. Следовательно, стабильность свойств СПФ при повторном охлаждении и нагреве является важной их особенностью для различных применений [3-6]. Термостабильные свойства сплавов с эффектом памяти формы зависят от химического состава [7-9], предела текучести [6,10], уровня приложенных напряжений [2,11,12] и размеров конструктивных элементов [10,13]. Термоциклирование эквиатомного сплава TiNi в свободном состоянии приводит к изменению температур мартенситных превращений, а также их порядок [14-18]. Данное явление вероятнее всего связано с увеличением плотности дефектов, возникающих при охлаждении во время прямого мартенситного превращения, которое сопровождается образованием высоких внутренних напряжений [19]. Чтобы скомпенсировать данные напряжения, происходит образование и скольжение дислокаций, что, в свою очередь, увеличивает плотность дислокаций [14,16,20]. Повышенная плотность дислокаций приводит к увеличению упругой энергии, что снижает температуру превращений [21]. Для изменения размера зерен в данных сплавах используются методы интенсивной пластической деформации (ИПД), которые в то же время способствуют изменению плотности дислокаций [22,23]. Термоциклирование сплавов TiNi в состояниях, полученных методами ИПД, протекает аналогично сплавам в крупнозернистом состоянии после закалки [24,25,26]. Одними из наиболее важных свойств сплавов TiNi являются их функциональные свойства, которые оцениваются с помощью различных экспериментов. Однако в некоторых случаях проведение прямых экспериментов сопряжено с трудностями определения функциональных свойств. Но, известно, что связь между пределом дислокационной текучести и пределом фазовой текучести – это напряжение, определяющее реактивное напряжение, как одну из характеристик функциональных свойств. Величина плато предела фазовой текучести может

быть использована для оценки обратимой деформации. В этой работе оценка функциональных характеристик проводилась в соответствии с данными, установленными с помощью механических испытаний на растяжение сплавов с различным химическим составом и размером зерен.

Материал и методики исследований

Материалами исследования были сплавы TiNi различного химического состава с точки зрения стехиометрии - $Ti_{50.0}Ni_{50.0}$, имеющие кристаллическую решетку мартенсита B19', $Ti_{49.8}Ni_{50.2}$ и $Ti_{49.2}Ni_{50.8}$, имеющие кристаллическую решетку B2 аустенита. Термоциклирование проводили путем последовательного погружения образцов в жидкий азот (-196°C) с последующим нагревом до температуры 150±5 °C, данные температуры ниже и выше $M_н$ и $A_к$ температур мартенситных превращений во всех материалах. Количество тепловых циклов "нагрев и охлаждение" составляло от 0 до 100. Время выдержки составляло t=8 мин для обеспечения полного нагрева/охлаждения образцов. Механические испытания на растяжение небольших плоских образцов проводили при комнатной температуре со скоростью деформации $1*10^{-3}$ c^{-1}. Структура материала была изучена с помощью просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ) JEOL 2100.

Результаты исследований

Микроструктура B19' – мартенсита в исходном состоянии, в целом, типична для бинарных сплавов $Ti_{50.0}Ni_{50.0}$. Мартенсит B19' при комнатной температуре имеет преимущественно пакетную морфологию пластинчатых кристаллов. Ширина двойников мартенситных пластин (h_M) составляет 85 ± 15 нм. В состоянии после термоциклирования с максимальным числом термоциклов (n = 100) микроструктура также представляет собой B19'-мартенсит, содержащий двойники I типа шириной ~ 60 ±5 нм, в которых образуются составные нанодвойники шириной в несколько нанометров (~ 10 ± 1 нм). РКУП n = 8 при T = 400 °C приводит к образованию в материале сложной мартенситной структуры. Размер исходного аустенитного зерна по типу мартенситных пакетов составляет около 600 ±30 нм, внутри которых находятся двойники с шириной пластины h_M = 79±8 нм. Термоциклирование с максимальным числом термических циклов (100 циклов) приводит к сохранению преимущественно мартенситной структуры, содержащей двойники шириной 40±7 нм; кроме того, наблюдается заметное увеличение плотности дислокаций в мартенситной матрице. Размер зерен B2-фазы составляет в среднем 34 ± 5 нм. Известно, что при уменьшении размера зерна до диапазона наноструктрного в сплавах TiNi температуры мартенситных превращений значительно снижаются, что объясняет аустенитную природу сплава $Ti_{50.0}Ni_{50.0}$ в наноструктурном состоянии [27-30]. Вовремя термоциклирования в температурном интервале мартенситных превращений при n = 100 циклах отмечено образование составных нанодвойников (001) B19' шириной 3±1 нм в нанокристаллитах B2 размером 29 ± 3 нм.

В исходном сплаве $Ti_{49.8}Ni_{50.2}$ в крупнозернистом состоянии границы зерен без дислокаций видны скопления, структура состоит в основном из равноосных зерен. При многократных циклах наблюдается увеличение внутреннего напряжения и искажение кристаллической решетки. Средний размер зерен при максимальном числе циклов «нагрева – охлаждения», по сравнению с исходными значениями, монотонно уменьшается до 28 ± 2 мкм. Деформация методом РКУП в сплаве $Ti_{49.8}Ni_{50.2}$ приводит к преобразование исходной крупнозернистой структуры в ультрамелкозернистую структуру (УМЗ) с средним размером структурных элементов 220 ± 15 нм. В результате при термоциклировании УМЗ сплава $Ti_{49.8}Ni_{50.2}$ плотность дислокаций на границах зерен увеличивается, а средний размер структурных элементов уменьшается до 200 ±15 нм. Дополнительная осадка образца на 30% после РКУП обработки привела к увеличению плотность дислокации и образованию полос деформации. Ширина полос и размер структурных элементов находится в пределах 175±20 нм. Термоциклирование образца после дополнительной осадки привело к незначительному изменению размера зерен на 165 ± 15 нм. После максимального количества циклов термоциклирования в структуре наблюдаются зерна с неравновесными границами - с высокой плотностью дислокаций и внутренним напряжением. Согласно полученным данным

просвечивающей электронной микроскопии сплав $Ti_{49.2}Ni_{50.8}$ находится в крупнозернистом состоянии, в структуре наблюдаются тройные стыки зерен с четкими равновесными границами. В крупнозернистом состоянии с числом циклов «нагрева – охлаждения» (n = 100), наблюдаются первые составные нанодвойники (001) B19'. Ширина мартенситных пластин составляет ~ 250 ± 30 нм, в то время как ширина двойников составляет ~ 6 ± 3 нм. Согласно анализу структуры, в УМЗ состоянии наблюдаются неравновесные границы зерен с незначительным скоплением дислокаций в теле зерна. В состоянии после термического цикла с количеством термических циклов (n = 100), наблюдается неоднородная структура, часть структуры представляет собой деформированная структура в УМЗ диапазоне, а часть структуры имеет больший размер зерен (что может свидетельствовать о неоднородности деформационных процессов), разделенных полосами. Увеличение числа термоциклов привело к еще большему накоплению дислокаций, как в границах зерен, так в теле зерен. Ширина мартенситных полос составляет h_M = 320 ± 30 нм. Размер дислокационных ячеек составляет ~ 0,8 мкм.

Согласно зависимостям изменения механических и функциональных характеристик, наибольшее увеличение предела текучести в крупнозернистом состоянии наблюдается в сплаве $Ti_{49.2}Ni_{50.8}$ и в сплаве $Ti_{50.0}Ni_{50.0}$ - в ультрамелкозернистом состоянии. Стоит отметить, что сплав $Ti_{49.8}Ni_{50.2}$ демонстрирует примерно одинаковое увеличение предела текучести (около 15%) во всех исследованных состояниях, таким образом, фазовое упрочнение в нем не зависит от начальных размеров структурных элементов. Оценка изменения функциональных характеристик была проведена по данным механических испытаний, наибольшие изменение реактивного напряжения наблюдается в эквиатомном сплаве как в крупнозернистом, так и в ультрамелкозернистом состояниях. Остальные сплавы демонстрируют незначительное повышение реактивного напряжения. В то же время самое значительное увеличение обратимой деформации наблюдается в сплаве $Ti_{50.0}Ni_{50.0}$ с ультрамелкозернистой структурой и в сплаве $Ti_{49.2}Ni_{50.8}$ в крупнозернистом состоянии, в других состояниях наблюдаются изменения в пределах 0,5-0,8%.

Заключение

В результате многократных мартенситных превращений в сплавах различного химического состава наблюдается уменьшение размеров структурных элементов за счет накопления дислокаций и создание субграниц. Также наблюдается образование нанодвойников (001) B19 '. Структурные изменения приводят к изменению механических и функциональных характеристик. Наибольшее изменение свойств демонстрирует эквиатомный сплав как в крупнозернистом, так и в ультрамелкозернистом состоянии. Сплав $Ti_{49.8}Ni_{50.2}$ демонстрирует независимость фазового упрочнения от исходного размера зерен. В сплаве $Ti_{49.2}Ni_{50.8}$ с высоким содержанием никеля наибольшие изменения наблюдаются в крупнозернистом состоянии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Stoeckel D.* Shape memory actuators for automotive applications // Mater. Des. 1990. №11. pp. 302–307.

2. *Mohd Jani J, Leary M., Subic A., Gibson M. A.* A review of shape memory alloy research, applications and opportunities // Mater. Des. 2014. 56. 1078.

3. *Morgan N.B., Friend C.M.* A review of shape memory stability in NiTi alloys // J. Phys. IV Fr. 2001. 11. Pr8-325 - Pr8-332.

4. *H. Tobushi, Date K., Miyamoto K.* Characteristics and development of Shape-memory alloy heat engine // Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering. 2010. 4. pp. 1094 -1102.

5. *Tong Y, Guo B, Chen F, Tian B, Li L, Zheng Y.* Thermal cycling stability of ultrafine-grained TiNi shape memory alloys processed by equal channel angular pressing // Scr. Mater. 2012. 67(1). pp. 1–4.

6. *Belyaev S, Resnina N.* Stability of mechanical behavior and work performance in TiNi-based alloys during thermal cycling // Int. J. Mater. Res. 2013. 104. 11.

7. *Tadaki T, Nakata Y., Shimizu K.* Thermal Cycling Effects in an Aged Ni-rich Ti–Ni Shape Memory Alloy // Trans. Japan Inst. Met. 1987. 28. pp. 883-890.

8. *Tang W., Sandström R.* Analysis of the influence of cycling on TiNi shape memory alloy properties // Mater. Des. 1993. 14. pp. 103-113.

9. *Suresh K. S., Bhaumik S. K., Suwas S.* Effect of thermal and thermo-mechanical cycling on the microstructure of Ni-rich NiTi shape memory alloys // Mater. Lett. 2013. 99. pp. 150-153.

10. *Atli K.C., Karaman I., Noebe R.D., Maier H.J.* Comparative analysis of the effects of severe plastic deformation and thermomechanical training on the functional stability of Ti50.5Ni24.5Pd25 high-temperature shape memory alloy // Scr. Mater. 64. Pp. 315–318.

11. *Furuya Y., Park Y.C.* Thermal cyclic deformation and degradation of shape memory effect in Ti-Ni alloy // Nondestr. Test. Eval. 1992. V.8-9. pp. 541-554.

12. *Atli K.C., Karaman I., Noebe R.D., Gaydosh D.* The effect of training on two-way shape memory effect of binary NiTi and NiTi based ternary high temperature shape memory alloys // 2013. Mater. Sci. Eng. A. 560. pp. 653-666.

13. *Iadicola M.A., Shaw J.A.* An experimental setup for measuring unstable thermo-mechanical behavior of shape memory alloy wire // J Intell Mater Syst Struct. 2002. 13. pp. 157-166

14. *Miyazaki S., Igo Y., Otsuka K.* Effect of thermal cycling on the transformation temperatures of TiNi alloys // Acta Met. 1986. 34. pp. 2045-2051.

15. *Resnina N., Belyaev S.* Multi-stage martensitic transformations induced by repeated thermal cycling of equiatomic TiNi alloy // J. Alloys Compd. 2009. 486. pp. 304-308.

16. *Pelton A.R., Huang G.H., Moine P., Sinclair R.* Effects of thermal cycling on microstructure and properties in Nitinol // Mater. Sci. Eng. A. 2012. 532. pp. 130-138.

17. *Sibirev A., Belyaev S., Resnina N.* Unusual Multistage Martensitic Transformation in TiNi Shape Memory Alloy after Thermal Cycling // Mater. Sci. Forum. 2013. 738 – 739. pp. 372-376.

18. *Wang X., Verlinden B., Van Humbeeck J.* Effect of post-deformation annealing on the R-phase transformation temperatures in NiTi shape memory alloys // Intermetallics. 2015. 62. pp. 43-49.

19. *Prokoshkin S.D., Korotitskiy A.V., Brailovski V., Inaekyan K.E., Dubinskiy S.M*. Crystal lattice of martensite and the reserve of recoverable strain of thermally and thermomechanically treated Ti-Ni shape-memory alloys // Phys. Met. Metallogr. 2011. 112. pp. 170-187.

20. *Simon T., Kroger A., Somsen C., Dlouhy A., Eggeler G.* On the multiplication of dislocations during martensitic transformations in NiTi shape memory alloys // Acta Materialia. 2010. V. 58. No.5. pp. 1850–1860.

21. *McCormick P.G., Liu Y.* Thermodynamic analysis of the martensitic transformation in NiTi II. Effect of transformation cycling // Acta Metallurgica et Materialia. 1994. V. 42. No.7. pp. 2407–2413.

22. *Prokoshkin S.D., Khmelevskaya I.Yu., Dobatkin S.V., Trubitsyna I.B., Tatyanin E.V., Stolyarov V.V., Prokofiev E.A.* Alloy composition, deformation temperature, pressure and post-deformation annealing effects in severely deformed Ti–Ni based shape memory alloys // Acta Materialia. 2005. 53 (9). pp. 2703-2714.

23. *Gunderov D., Churakova A., Lukyanov A., Prokofiev E., Pushin V., Kreitcberg A., Prokoshkin S.* Features of the mechanical behavior of ultrafine-grained and nanostructured TiNi alloys // Materials Today: Proceedings. 2017. Vol. 4. Is. 3. PP. 4825–4829.

24. *Churakova A.A., Gunderov D.V.* Transformation of the TiNi Alloy Microstructure and the Mechanical Properties Caused by Repeated B2-B19′ Martensitic Transformations // Acta Metallurgica Sinica (English Letters). 2015. Vol. 28. PP. 1230–1237.

25. *Churakova A.A., Gunderov D.V., Dmitriev S.V.* Microstructure transformation and physical and mechanical properties of ultrafine-grained and nanocrystalline TiNi alloys in multiple martensitic transformations B2-B19’ // Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. 2018. Vol. 49(6). PP. 769–783.

26. *Churakova A., Gunderov D.* Increase in the dislocation density and yield stress of the Ti50Ni50 alloy caused by thermal cycling // Materials Today: Proceedings. 2017. Vol. 4. Is. 3. PP. 4732–4736.

27. *Khmelevskaya I.Yu., Prokoshkin S.D., Trubitsyna I.B., Belousov M.N., Dobatkin S.V., Tatyanin E.V., Korotitskiy A.V., Brailovski V., Stolyarov V.V., Prokofiev E.A.* Structure and properties of Ti-Ni-based alloys after equal-channel angular pressing and high-pressure torsion // Materials Science and Engineering A. 2008. V. 481–482. P. 119–122.

28. *Brailovski V., Prokoshkin S.V., Khmelevskaya I.Yu, Inaekyan K.E. Demers V., Dobatkin S.V., Tatyanin E.V.* Structure and properties of the Ti-50.0 at.%Ni alloy after strain hardening and nanocrystallizing thermomechanical processing // Materials Transactions, JIM. 2006. V. 47. No. 3. P. 795–804.

29. *Prokoshkin S.D., Khmelevskaya I.Yu., Dobatkin S.V., Trubitsyna I.B., Tatyanin E.V., Turenne S., Brailovski V., Stolyarov V.V., Prokofiev E.A.* Thermomechanical conditions for nanocrystalline structure formation and functional properties of severely deformed TiNi shape memory alloys. – Ultrafine Grained Materials IV. TMS. 2006. P. 301–306.

30. *Sergueeva A.V., Song C., Valiev R.Z., Mukherjee A.K.* Structure and properties of amorphous and nanocrystalline TiNi prepared by severe plastic deformation and annealing // Materials Science and Engineering: A. 2003. V. 339. No. 1–2. P. 159–165.

THERMAL CYCLING OF TINI ALLOYS WITH SHAPE MEMORY EFFECT WITH DIFFERENT MICROSTRUCTURE

Churakova A.A.

(Institute of Physics of Molecules and Crystals, a separate structural unit of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa)

Abstract. This study examined the effect of thermal cycling (multiple martensitic transformations in the transformation temperature range) with a different number of cycles on the functional characteristics, microstructure, and mechanical properties of TiNi alloys in various structural states and chemical composition. As a result of multiple martensitic transformations, the accumulation of defects and a decrease in the size of structural elements are observed. The most effective phase hardening occurs in the equiatomic alloy $Ti_{50.0}Ni_{50.0}$, $Ti_{49.8}Ni_{50.2}$ alloy demonstrates resistance to phase hardening in all studied states.

УДК 543.42

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КОБАЛЬТА В ЖАРОСТОЙКИХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВАХ

Эксузьян Р.Б., Губайдуллин А.Н.

Научный руководитель: Курынцев С.В., доцент, к. э. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассматривается проблема детектирования кобальта и определения его процентного содержания в никелевых жаростойких сплавах. Установлено явления спектральной интерференции. Проведен сравнительный анализ лазерной и энергодисперсионной спектрометрии, определены преимущества энергодисперсионной спектрометрии, при определении химического состава сплавов с элементами, имеющими схожие атомные структуры.

Современные никелевые жаропрочные сплавы играют ключевую роль в аэрокосмической, энергетической и химической промышленности благодаря их высокой термостойкости, прочности и коррозионной устойчивости. Химический состав этих

материалов, включая содержание легирующих и примесных элементов, напрямую влияет на их эксплуатационные характеристики. Кобальт, являясь важным легирующим компонентом, существенно воздействует на жаропрочность и термическую стабильность сплавов. Однако отклонение его концентрации от оптимальных значений может привести к ухудшению механических свойств, что делает контроль содержания кобальта критически важным на всех этапах производства — от выплавки до финальной обработки. Поэтому для контроля содержания кобальта используются современные методы спектрометрии.

При исследовании химического состава жаростойкого никелевого сплава Алюмель марки НМцАК2-2-1, применяемого для изготовления термоэлектродов, используемых для термопары Хромель-Алюмель, были получены результаты, которые показали разницу в содержании кобальта в никелевом сплаве, из-за явления спектральной интерференции, проявляющихся в наложение на сигналы определяемых элементов сигналов от мешающих ионов [1].

Для определения химического состава жаростойкого никелевого сплава использовался промышленный лазерный спектрометр марки ЛИС-2 (рисунок 1а). Для проведения сравнительного анализа использовался энергодисперсионный спектрометр Oxford Instruments INCA X-Max, установленный на сканирующем электронном микроскопе Carl Zeiss Auriga Crossbeam (рисунок 1б).

а) б)

Рисунок 1. Оборудование для анализа сплава: а) лазерный спектрометр марки ЛИС-2; б) сканирующий электронный микроскопе Carl Zeiss Auriga Crossbeam

Лазерная искровая эмиссионная спектрометрия (ЛИЭС) представляет собой один из наиболее перспективных методов для прямого спектрального анализа различных объектов. Эта методика основывается на использовании интенсивно светящегося лазерного плазменного спектра, который возникает на поверхности или внутри анализируемого вещества. Для генерации такой плазмы обычно требуется мощное сфокусированное лазерное излучение. Анализ спектральных данных обеспечивает быстрый и точный доступ к количественной и качественной информации о составе элемента мишени. Основные преимущества применения ЛИЭС связаны как с уникальными свойствами лазерного пробоотбора, так и с простой конструкцией аналитического устройства, состоящего из лазера, системы фокусировки, спектрометра, детектора и системы обработки данных. Лазерная плазма может быть создана в любых материалах, что делает спектрометрию очень универсальной: она позволяет анализировать различные металлы, сплавы, глинозёмы, геологические руды и минералы [2].

Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия (Energy-dispersive X-ray spectroscopy, EDX, EDS или EDRS) –это аналитическая методика элементного анализа

материалов и веществ, базирующаяся на анализе энергии эмиссии их рентгеновского спектра [3].

Метод заключается в сборе и анализе спектра, получаемого в результате возбуждения специфического рентгеновского излучения, которое возникает, когда атом переходит из возбужденного состояния в основное. При облучении электроны удаляются из внутренних оболочек атома. Затем электроны из внешних оболочек переходят на освободившиеся места, высвобождая избыток энергии в форме кванта рентгеновского излучения или передавая её другому электрону из внешних оболочек. В качестве источника возбуждения используется рентгеновское излучение, генерируемое рентгеновской трубкой с радиевым анодом (Rh-анод) мощностью около 50 Вт. Для более точного анализа различных элементов можно изменять напряжение и ток на трубке. Параметры могут быть установлены как для каждого отдельного элемента, так и для группы элементов.

Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия позволяет производить быстрое определение качественного и количественного элементного состава твёрдых и жидких образцов, порошков, гранул, пластин, плёнок, не разрушая при этом образец. Это означает, что в отличие от широко распространенного оптикоэмиссионного анализа поверхность пробы остается неповрежденной. Так же не возникает необходимости в разборке сборного изделия для определения химического состава отдельных его составляющих [3].

Объектом исследования являлась алюмелевая проволока (термоэлектрод), для термопары хромель-алюмель (тик К), из сплава НМцАК2-2-1, отечественных производителей ПОВСИЛ, КУЗОЦМ и импортный аналог данной проволоки RESCAL KPTH1.20COURFRC THERMALCOUPLE KP. Данная проволока производится в соответствии с ТУ48-21-172-72 «Проволока из сплавов хромель Т и алюмель вакуумной плавки для термоэлектродов авиатермопар. Технические условия *». Химический состав сплава данной проволоки, в соответствии с ГОСТом 492-2006 «Никель, сплавы никелевые и медно-никелевые, обрабатываемые давлением. Марки *» представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав сплава Алюмель марки НМцАК2-2-1

Марка	Массовая доля, %						
	Элемент						Сумма примесей
	Ni + Co	Al	Cu	Fe	Mn	Si	
НМцАК2-2-1	Ост., в том числе кобальт 0,6-1,2	1,6-2,4	0,25	0,3	1,8-2,7	0,85-1,5	0,7

При анализе химического состава сплава методом лазерной и энергодисперсионной спектрометрии были получены следующие результаты (рисунок 2, 3).

При определении содержания химических элементов в сплаве, не удалось определить содержание кобальта из-за явления спектральной интерференции (перекрытия спектральных линий). За счёт схожей атомной структуры никеля и кобальта, происходит перекрытие спектральных линий. Интенсивности сигнала, исходящего от кобальта недостаточно, для регистрации спектральным прибором. Также причиной является матричный эффект, при котором большое содержание одного элемента влияет на измерения другого. Так большое содержание никеля (≈ 94%) изменяет условия возбуждения и фоновый сигнал, что также влияет на точность измерения кобальта.

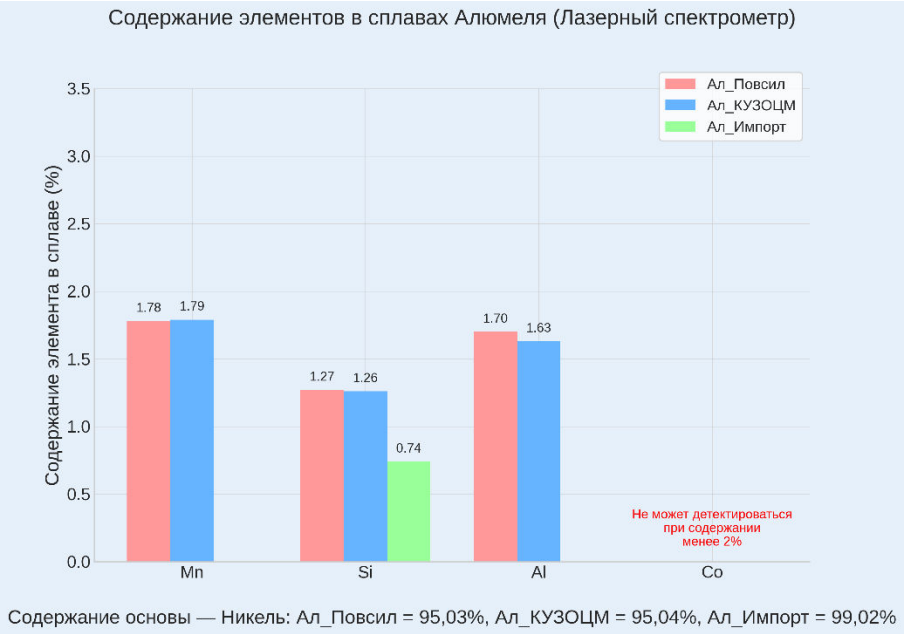


Рисунок 2. Результаты анализа сплава лазерным спектрометром

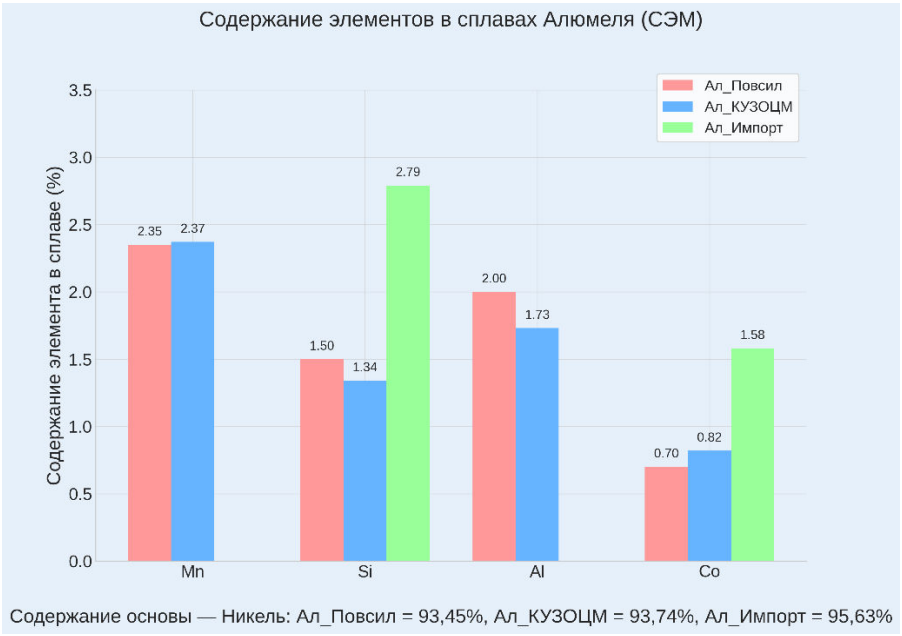


Рисунок 3. Результаты анализа сплава энергодисперсионным спектрометром

В работе Cheng Y. (2018) проведено систематическое исследование спектральных перекрытий между линиями кобальта и никеля при анализе доменных шлаков ванадий-титаномагнетитовой группы, содержащих большое количество матричных компонентов, таких как Ti, Fe, V, Al, Ca, Mg и др.

Анализ показал, что несмотря на подбор чувствительных аналитических линий для никеля, существуют несколько пар спектральных линий никеля и кобальта, расположенных в непосредственной близости по длине волны, что приводит к возникновению интерференции:

• Линия Ni 231.604 нм перекрывается побочной линией Co 231.616 нм;

• Линия Co 341.474 нм перекрывается побочной линией Ni 341.476 нм.

Эти перекрытия классифицированы авторами как слабые (weak line overlap), поскольку основные пики остаются разделёнными, а побочные пики кобальта лишь частично влияют на интенсивность линии никеля. Однако при анализе малых концентраций никеля (ниже 0.3%) даже такие слабые интерференции могут оказывать значимое влияние на точность анализа, особенно в условиях сложной многокомпонентной матрицы [4].

В свою очередь энергодисперсионная спектрометрия определила в сплаве содержание кобальта. Полученные данные соответствуют заявлению производителя и ГОСТу 492-2006 (рисунок 4).

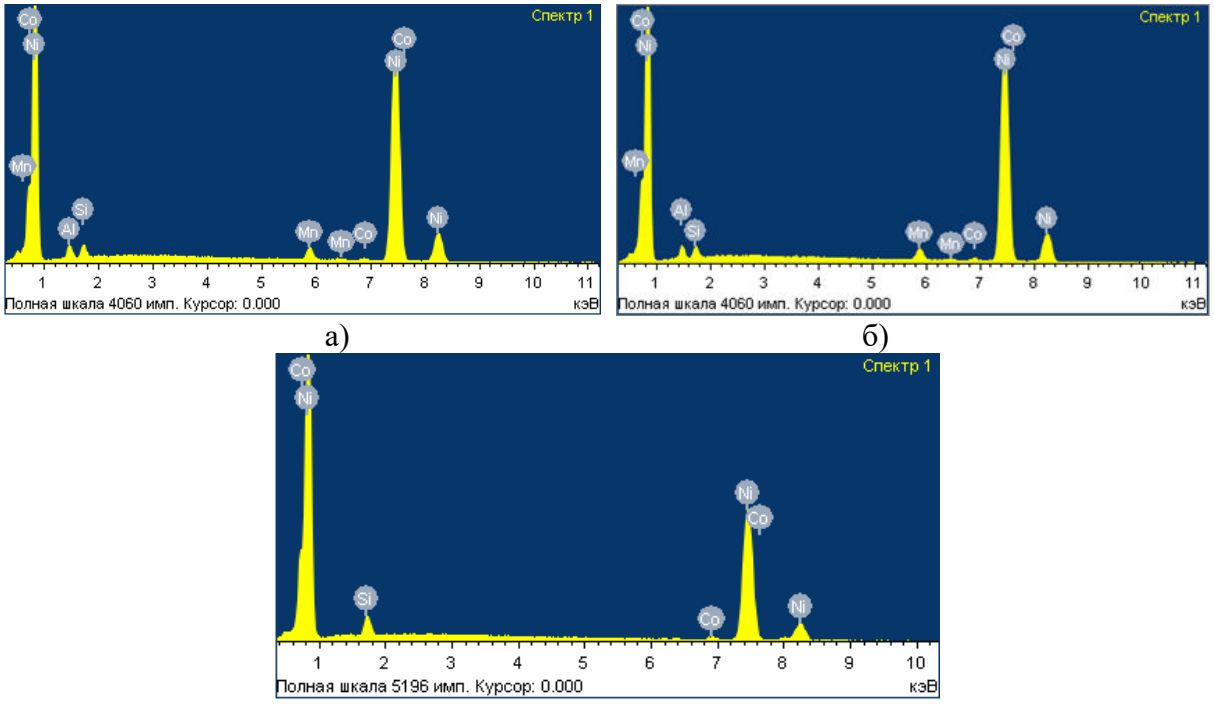


Рисунок 4. Спектр энергодисперсионной спектрометрии сплава: а) ПОВСИЛ; б) КУЗОЦМ; в) Зарубежный производитель

Избежать спектральной интерференции при анализе сплава энергодисперсионной спектрометрией позволяет несколько её существенных отличий.

1. Широкий энергетический диапазон регистрации;
2. Специальные алгоритмы обработки;
3. Минимизация матричных эффектов при работе с высокоэнергетическими линиями;
4. Быстрота полного спектрального сбора.

Энергодисперсионные детекторы фиксируют весь энергетический диапазон рентгеновских излучений одновременно. Характеристические линии никеля и кобальта достаточно удалены в энергетическом спектре (разница ~0.55 кэВ), что позволяет надежно разделять их пики даже при умеренном энергетическом разрешении детектора. Благодаря этому происходит более эффективное разделение элементов в одном спектральном измерении, особенно в области высокоэнергетических K-линий [5;6].

Алгоритмы математической деконволюции, встроенные в программное обеспечение современных энергодисперсионных систем, позволяют эффективно корректировать частично перекрывающиеся пики даже в условиях присутствия интенсивного фона или высокой плотности линий [6].

Поскольку для никеля и кобальта используются K-линии, которые расположены в области 6–8 кэВ, матричные эффекты поглощения и возбуждения выражены значительно слабее, чем при анализе L-линий тяжелых элементов. Это существенно снижает вероятность возникновения вторичных спектральных наложений и ошибок квантования, связанных с комплексной многокомпонентной матрицей никелевых сплавов [7].

Поскольку EDS фиксирует сразу весь спектр в пределах одной измерительной сессии, отпадает необходимость в пошаговом сканировании каждой длины волны. Это уменьшает вероятность пропуска слабых пиков, а также повышает достоверность интерпретации всей спектральной картины при анализе сложных матриц [5;6].

Выполненный сравнительный анализ показывает, что при исследовании химического состава жаропрочных никелевых сплавов использование энергодисперсионной рентгеновской спектрометрии (EDS) является более оптимальным и надёжным аналитическим подходом, по сравнению с лазерной спектрометрией (в частности, с методами лазерно-индуцированной плазменной спектрометрии — LIBS).

Лазерная спектрометрия характеризуется высокой плотностью спектральных линий в области низких длин волн, значительным фоновым излучением плазмы, эффектами доплеровского и давления-ширения линий, что приводит к частым и трудно устранимым спектральным интерференциям между элементами с близкими атомными номерами, включая никель и кобальт. Особенно это проявляется при анализе многокомпонентных никелевых сплавов, содержащих повышенные концентрации матричных элементов.

В отличие от этого, энергодисперсионная рентгеновская спектрометрия позволяет эффективно избегать спектральных интерференций за счёт нескольких факторов:

• высокой энергетической разнесённости характеристических K-линий никеля и кобальта и использование современных детекторов (SDD) с высоким энергетическим разрешением;

• наличия встроенных алгоритмов деконволюции и цифровой коррекции спектров;

• минимального влияния матричных эффектов при работе в области высоких энергий.

Таким образом, применение энергодисперсионной спектрометрии обеспечивает более высокую точность и надёжность при определении содержания основных и легирующих элементов в жаропрочных никелевых сплавах, позволяя минимизировать искажённые результаты вследствие спектральных перекрытий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Якимович П. В., Алексеев А. В.* Улучшение аналитических характеристик определения примесей в жаропрочных никелевых сплавах методом ИСП-МС // Труды ВИАМ. — 2019. — № 5(77). — С. 3–11. — DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-3-11.

2. *Попов А. М., Лабутин Т. А., Зоров Н. Б.* Использование лазерно-искровой эмиссионной спектрометрии для анализа конструкционных материалов и объектов окружающей среды // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. — 2009. — Т. 50, № 6. — С. 453–467.

3. *Митин Д. И., Глебов В. В., Шурыгин А. Ю.* Опыт применения энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра // Приволжский научный вестник. — 2013. — № 12-2(28). — С. 41–42.

4. *Cheng Y.* Determination of chromium, cobalt, nickel, gallium, niobium, scandium and zirconium in the blast furnace slag of vanadium titanium magnetite by ICP-AES // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2018. — Vol. 392. — DOI: 10.1088/1757-899X/392/1/012014.

5. MyScope Training. Energy Dispersive Spectroscopy // Microscopy Australia. — URL: https://myscope.training (дата обращения: 15.06.2025)

6. *Reed S.J.B.* Introduction to Energy Dispersive X-ray Spectrometry (EDS). — Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

7. *Gallhofer D., Lottermoser B.G.* The Influence of Spectral Interferences on Critical Element Determination with Portable X-Ray Fluorescence (pXRF) // Minerals. — 2018. — Vol. 8, No. 320. — DOI: 10.3390/min8080320.

8. ГОСТ 492–2006. Сплавы никелевые и жаропрочные. Методы спектрального анализа. — М.: Стандартинформ, 2007. — 18 с.

9. ТУ 48-21-172-72 Проволока из сплавов хромель Т и алюмель вакуумной плавки для термоэлектродов авиатермопар. Технические условия. — М.: Министерство приборостроения, средств автоматизации и систем управления СССР, 1972. — 26 с.

FEATURES OF DETERMINATION OF COBALT CONTENT IN HEAT-RESISTANT NICKEL ALLOYS

Exuzyan R.B., Gubaidullin A.N.
Supervisor: Kuryntsev S.V., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper considers the problem of detecting cobalt and determining its percentage in nickel heat-resistant alloys. Spectral interference phenomena have been established. A comparative analysis of laser and energy dispersion spectrometry has been carried out, and the advantages of energy dispersion spectrometry in determining the chemical composition of alloys with elements having similar atomic structures have been determined.

УДК 620.1:678:621.793:629.735

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ. ОБЗОР ВИДОВ ПОКРЫТИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ НАНЕСЕНИЯ

Яковлев С.А.
Научный руководитель: Куртаева Ф.Н., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлен обзор современных функциональных покрытий для беспилотных летательных аппаратов из полимерных композиционных материалов. Проанализированы семь классов покрытий, показаны их механизмы защиты от эрозии, нагрева, обледенения, радиолокационного облучения, а также детально рассмотрена самовосстанавливающаяся система Epoxy/MSN-TA. Результаты демонстрируют, что тонкие многослойные покрытия повышают ресурс и ремонтопригодность БПЛА при минимальном приросте массы и открывают путь к созданию адаптивных «умных» оболочек.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) активно используются повсеместно - от доставки посылок до военной разведки. Полимерные композиты, такие как углепластики (CFRP) и стеклопластики (GFRP), широко применяются в их конструкции благодаря легкости и прочности. Однако их полимерные корпуса быстро портятся от дождя, солнца и механических повреждений, они требуют функциональных покрытий для защиты от внешних воздействий и улучшения эксплуатационных характеристик. Современные функциональные покрытия решают эту проблему: они не только защищают дроны, но и придают им особые свойства - например, делают невидимыми для радаров или предотвращают обледенение. Разработка таких покрытий особенно важна сейчас, когда беспилотная техника становится массовой, а экологические требования заставляют искать замену токсичным составам.

1. PU-SiC нанокомпозит — «броня» для кромок лопастей дрона. Первое, что важно для БПЛА: слой формируется методом "холодного" безвоздушного распыления, не требующего термообработки в автоклаве, и закрепляется УФ-сушкой. Это позволяет наносить покрытие непосредственно на собранные CFRP-лопасти без демонтажа и дополнительной термической обработки. Композиция состоит из полиуретановой матрицы, модифицированной перфтор-октилтриэтоксисиланом (PFOTS), и 25 об.% карбида кремния (~1 мкм) [1]. В научной литературе оптимальным считается состав с содержанием до 125 масс.% модифицированного SiC, который обеспечивает максимальную супергидрофобность, износостойкость, термостойкость и устойчивость к агрессивным средам (кислоты, щёлочи, морской туман) [1].

Способ нанесения включает ультразвуковую обработку SiC в этаноле, модификацию PFOTS при 45 °C, смешивание с полиуретановой основой и аэрозольное нанесение. Такая технология позволяет формировать микро- и наноструктурированный защитный слой с высокой адгезией к различным подложкам: от алюминиевых сплавов до пластиков и керамики. В частности, для беспилотных платформ это означает совместимость с композитными несущими элементами, обтекателями и сенсорами. В результате покрытие имеет твёрдость, втрое превосходящую чистый полиуретан, при толщине всего ~150 мкм, что не «съедает» полезную нагрузку беспилотника. На пескоструйном тесте (180 м/с, кварцевый песок 50 мкм) композитные кромки с покрытием теряют массу в три раза медленнее [2]; остаточная изгибная прочность лопасти возрастает на 18 %. Это особенно важно для лёгких пропеллеров: сохранение аэродинамического профиля позволяет дрону поддерживать расчётную тягу дольше, а вибрации на высоких оборотах — уменьшаются.

Выживаемость покрытия подтверждена при 1000 термоциклах (–40 ↔ +70 °C) и 200 часах в соляном тумане — без признаков растрескивания или отслоения. Это значит, что PU-SiC нанокомпозит подходит не только для одноразовых разведывательных платформ, но и для многоразовых логистических дронов, рассчитанных на сотни часов налёта: одну лопасть можно обработать за минуты прямо в полевом ангаре. Такой подход представляет собой перспективное направление в разработке функциональных защитных покрытий нового поколения для беспилотных летательных аппаратов с длительным ресурсом и эксплуатацией в агрессивных условиях.

2. DLC (a-C:H:Si) — сверхтвёрдый спарринг-партнёр для песка PECVD-плёнка толщиной всего 2 мкм и твёрдостью 18 ГПа [3] ложится на композит через тонкий Cr-адгезионный подслой, поэтому нагрузка на структуру дрона минимальна. Температура осаждения ~250 °C совместима с большинством эпоксидных и бисмалеимидных препрегов — можно защищать даже интегральные CFRP-рамы. В работах [4, 5] рассматриваются два эффективных подхода к формированию алмазоподобных углеродных покрытий (DLC), но подходящих для применения на композитных компонентах беспилотных летательных аппаратов только один из них: PECVD (плазменно-химическое осаждение из паровой фазы). Применяется для нанесения тонких DLC-плёнок типа a-C:H:Si на чувствительные полимерные и композитные поверхности (например, CFRP). Процесс проводится при температуре около 250 °C, что совместимо с большинством авиационных эпоксидных и бисмалеимидных препрегов. Используется тонкий подслой хрома (Cr) для улучшения адгезии. Осаждение происходит в реакторе PECVD, где активированные плазмой газовые прекурсоры (например, силан, ацетилен) осаждаются на поверхность с формированием равномерной защитной плёнки толщиной до 2 мкм. Способ нанесения PECVD (плазменно-химическое осаждение из паровой фазы) подходит для композитных материалов, и именно он предпочтителен, когда речь идёт об углепластиках (CFRP), стеклопластиках (GFRP) и других термочувствительных препрегах (на основе эпоксидных и бисмалеимидных смол). Для защиты композитных деталей БПЛА (обтекатели, кромки, рамы, управляющие поверхности) лучше использовать тонкие DLC-покрытия, нанесённые методом PECVD. В эпидемии песчаных эрозий (Al_2O_3, 50 мкм, 150 м/с) DLC снижает потерю материала на 42–65 % [6] и сохраняет зеркальную гладкость профиля; это ощутимо продлевает межсервисный интервал БПЛА-разведчиков в пустыне, где абразив «съедает» кромки за считаные часы. Высокое отношение H/E ≈ 0,12 гасит ударный импульс до того, как он доберётся до углеродных волокон.

Кроме того, толстослойные DLC-покрытия, полученные методом катодно-вакуумной дуги с фильтрацией (FCVA), обеспечивают дополнительный уровень защиты, особенно в условиях интенсивной песчаной эрозии. При толщине 50 мкм и твёрдости 27,3 ГПа [4] такие покрытия демонстрируют снижение потери массы почти в 25 раз по сравнению с тонкими плёнками, а после механической полировки — коэффициент трения до 0,067. Они устойчивы к трещинообразованию и не расслоились даже при повышенных нагрузках. Благодаря высокой адгезии (уровень выше HF1) и минимальному износу, эти покрытия особенно

эффективны для защиты лопастей, кромок, шасси и турбокомпрессоров БПЛА, работающих в пустынных регионах. Стойкость покрытия к ультрафиолету (800 ч UV-B) и низким остаточным напряжениям делает его идеальным ретрофитом: достаточно плазменной активации и короткой PECVD-сессии, чтобы вернуть былую аэродинамику старым пропеллерам или рулям. Это особенно ценно для крупных БПЛА, у которых каждая деталь стоит дороже, чем весь маленький дрон.

3. PDMS/ZrO_2 керамико-формирующий барьер — «тепловой щит» для реактивного БПЛА. Композитные сопла и кожухи турбореактивных дронов встречают тепловой поток до 2 МВт/м². Гибрид PDMS + нано-ZrO_2 (до 30 % масс.) при таких нагрузках формирует авто-стеклокерамический защитный слой SiO_2–ZrO_2, устойчивый к фронтальному нагреву до 700 °C [7], в то время как тыльная сторона панели из CFRP толщиной 2,4 мм сохраняется ниже 100 °C. Это даёт температурную дельту свыше 400 °C по сравнению с незащищённой композитной структурой. При этом толщина покрытия всего ~0,8 мм, а удельная масса — < 0,5 кг/м², что значительно легче традиционных керамик. Это критично для дронов, где каждый грамм влияет на аэродинамику и запас хода. Защитный эффект обеспечивается пористой подслойной зоной, которая действует как тепловой фильтр, рассеивая и задерживая тепловые фронты вместо простого отражения. Покрытие не только термостойко, но и антикоррозионно стабильно. Благодаря равномерному распределению нано-ZrO_2 в матрице PDMS, образуется плотная сетчатая структура, которая эффективно блокирует диффузию влаги и агрессивных ионов. В испытаниях на солевой туман (3,5% NaCl) такое покрытие сохраняло защитные свойства до 210 часов, снижая токи коррозии на 5 порядков по сравнению с голым сплавом магния (AZ91D). Материал выдерживает 30 повторных огневых импульсов по 60 секунд без сквозных трещин, а низкая температура вулканизации (120 °C) позволяет наносить его даже на собранный фюзеляж. Это особенно актуально для реактивных малых БПЛА, где магниевые и CFRP-элементы нуждаются в защите как от тепловой эрозии, так и от коррозии. В таких условиях покрытие PDMS-ZrO_2 выступает не просто как термобарьер, а как многофункциональная композитная защита, сочетающая супергидрофобность, термостабильность и устойчивость к агрессивной среде. В результате даже малогабаритные реактивные дроны получают ощутимый прирост ресурса без утяжеления конструкции и без необходимости перехода к тяжёлой и дорогой керамике.

Для создания защитного слоя применяется центрифугирование (spin-coating), обеспечивающее равномерное распределение материала на поверхностях сложной геометрии. Однако, центрифугирование подходит только для плоских или осесимметричных деталей, что объясняет ограниченную применимость для сложнопрофильных, изогнутых или сборных узлов. В этих случаях лучше использовать альтернативные методы:

– погружение (dip-coating),
– распыление (spray-coating) с последующей полимеризацией,
– щеточное нанесение — в случае ремонтных работ или локального покрытия.

4. Градиентный PDMS/SiO_2 (iCVD) — пассивная защита от обледенения. Градиентное покрытие PDMS/SiO_2 наносится методом инициированного химического осаждения из газовой фазы (iCVD) — это низкотемпературный вакуумный процесс, основанный на плазменно-инициированной полимеризации прекурсоров непосредственно на подложке. Способ нанесения покрытия методом iCVD идеально подходит для деталей из композитных материалов, в том числе используемых в беспилотных летательных аппаратах. Одним из примеров является наноструктурированное трёхслойное покрытие PDMS/SiO_2, полученное также методом iCVD при температуре менее 40 °C. Оно формирует угол смачивания ~165°, а прочность сцепления льда не превышает 11 кПа [8] — значение, соответствующее критерию пассивной антиобледенительной поверхности. Такое покрытие особенно перспективно для лёгких БПЛА (разведчиков, метеорологических, гражданских платформ), поскольку обеспечивает возможность запуска с неподготовленных снежных или обледенелых площадок без обдувочных систем и подогрева топлива; демонстрирует долговечность — менее 5 % потери свойств после 50 циклов оттаивания, благодаря подавлению капиллярных

очагов кристаллизации [9]; подходит для нанесения на композитные элементы конструкции, включая лонжероны и обшивку. Процесс осаждения iCVD вакуумный, не требует растворителей и проходит при мягких температурных режимах. Это позволяет внедрить покрытие в сборочную линию без риска перегрева органических связей и потери прочности армированных пластиков. Таким образом, процесс легко сертифицируется, а готовые БПЛА сохраняют как аэродинамику, так и долговечность, включая в условиях высоких рисков обледенения.

5. Альтернативный подход: графеновые Joule-нагревателию. В дополнение к системам на основе углеродного препрега и ультратонкой гибкой нагревательной плёнки (UTFHF), перспективным решением для активной защиты от обледенения являются графеновые Joule-нагреватели, основанные на многоуровневых CVD-структурах. Четырёхслойная сеть CVD-графена, размещённая на полиимидной подложке толщиной 25 мкм, демонстрирует высокую термоотдачу при минимальном энергопотреблении. При подаче напряжения 8 В происходит нагрев поверхности до +40 °C всего за 25 секунд, что соответствует удельной мощности около 0,38 Вт/см² [10]. Это достаточно для удаления слоя льда толщиной 2 мм при температуре –20 °C в течение 30 секунд, при этом энергозатраты минимальны — особенно важный параметр для электрических БПЛА. Благодаря массе менее 0,1 кг/м² и стойкости к изгибам (изменение поверхностного сопротивления менее 4 % после 10 000 циклов [11]), такие нагреватели могут быть интегрированы прямо под наружное покрытие крыла или использоваться как встроенный элемент под лакокрасочным гидрофобным слоем. Особый интерес представляет возможность комбинирования с пассивной PDMS-защитой, создавая гибридную антиобледенительную систему, сочетающую супергидрофобность и активный нагрев без дополнительных слоёв. Так как графеновый Joule-нагреватель представляет собой гибкую плёнку, сформированную методом химического осаждения из паровой фазы (CVD) в виде четырёхслойной графеновой сети, нанесённой на подложку из полиимида (толщина ~25 мкм). После синтеза графеновый лист может быть адаптирован для прикладного монтажа следующими способами:

−ламинирование под наружное покрытие крыла или других аэродинамически нагруженных элементов с использованием клеевых прослоек, совместимых с авиационными композиционными материалами;

−интеграция в конструкцию композита путём встраивания между слоями CFRP-ламината до стадии отверждения;

−непосредственное нанесение на внешнюю подложку с последующей защитой лаком или прозрачным PDMS-гидрофобом, образуя совмещённую активную и пассивную антиобледенительную систему;

−контактная пайка или гибкое подключение к силовой цепи осуществляется через токосъёмные шины, которые могут быть выполнены из серебряных паст, углеродных чернил или медной фольги.

6. Epoxy / MW-CNT RAM — «невидимка» X-диапазона. Особый интерес для радиопоглощения в БПЛА представляет композит на основе эпоксидной матрицы и многостенных углеродных нанотрубок (MW-CNT). При содержании всего 5 мас.% MW-CNT, эпоксидный слой толщиной 1,8 мм обеспечивает коэффициент отражения RL < –10 дБ на всём диапазоне X-диапазона (8–12 ГГц) [12] и достигает –30 дБ в пике [13], что соответствует поглощению более 99,9 % радиоволн. Разрабатываются также управляемые метаповерхности реального времени [14] и ферритовые водные полиуретан-уретановые покрытия [15]. Для тактических и разведывательных дронов такая эффективность позволяет снизить эффективную площадь рассеяния (ЭПР) на порядок, без необходимости в установке внешних углеродных или ферритовых экранов. MW-CNT значительно увеличивают диэлектрические потери за счёт высоких значений комплексной диэлектрической проницаемости (ε″ до 16), а хаотичная длина и распределение нанотрубок способствуют многократному рассеянию и внутренним отражениям радиоволн в пределах одного слоя (механизм «дробового» затухания). Методика C-скан-томографии показывает ослабление

поля более чем на 32 дБ уже на глубине 1,5 мм, что делает даже тонкий носовой обтекатель «серым» для радара. Кроме того, покрытие демонстрирует высокую стабильность в агрессивных климатических условиях: после 168 часов выдержки при 85 °C и 95 % влажности уровень RL изменяется менее чем на 1 дБ. С технологической точки зрения эпоксидная матрица совместима с авиационными ламинатами (включая CFRP и GFRP), поэтому RAM-плёнка с MW-CNT может быть интегрирована прямо в lay-up конструкции крыла или обшивки, без увеличения массы или дополнительной покраски. Это критически важно для миниатюрных БПЛА, где каждый грамм влияет на дальность и длительность полёта.

7. Epoxy / MSN-TA — «самозаживление» для многоразовых фюзеляжей БПЛА Разработано эпоксидное покрытие, способное к активной защите и самовосстановлению за счёт внедрения мезопористых капсул SiO_2, загруженных дубильной кислотой (TA). Эти наноконтейнеры MSN-TA равномерно распределяются в 120 мкм слое эпоксидной смолы и остаются «скрытыми» до момента механического повреждения [16]. При образовании царапины или скола влага и ионы Fe^{3+} из коррозионной среды активируют высвобождение TA, формируя на поверхности тёмную хелатную Fe-TA плёнку, которая: визуально маркирует повреждение (самодиагностика); образует ингибирующий барьер, восстанавливающий защитные свойства покрытия; сохраняет значение импеданса |Z| на уровне 97 % от исходного даже через 28 суток погружения в 3,5% NaCl.

Такой механизм эффективно защищает многоразовые композитные фюзеляжи БПЛА, особенно подверженные сколам при посадке «на брюхо» или столкновениях с препятствиями. Важно, что даже стеклопластиковые вставки перестают быть «точками роста» коррозии — отпадает необходимость в срочной перекраске или ремонте. При этом цветной «маркер» Fe-TA позволяет техническому персоналу быстро локализовать участок повреждения визуально, без сенсоров или разборки. Коэффициенты деградации по блеску, смачиваемости и микрорельефу после 500 часов UV-A+B облучения и 50 циклов соляного тумана подтвердили климатическую стойкость покрытия и его пригодность для длительных морских патрулей или высокоширотных миссий. Более того, благодаря контролируемому высвобождению TA и возможности дополнения состава другими ингибиторами, авторы планируют реализацию многоразового защитного цикла, что критично для ударных БПЛА, чьи фюзеляжи должны выдерживать десятки циклов боевой загрузки и сброса — например, дронов-носителей квест-подвесов.

Способ нанесения покрытия EP/MSN-TA для композитных деталей (CFRP/GFRP):

Метод ручного раскатывания (ручной препрег/стержневой аппликатор) — подходит для обтекателей, внешних панелей и отсеков;

Метод распыления — применим для крупногабаритных крыльев и корпусов, при использовании соответствующего разбавителя

Разработанная система эпоксидного покрытия с наноконтейнерами MSN-TA полностью совместима с деталями из полимерных композиционных материалов, таких как углепластик (CFRP) и стеклопластик (GFRP), благодаря низкотемпературной технологии нанесения, исключающей термическую деформацию или разрушение матрицы препрегов.

При механическом повреждении слоя (царапина, пробой), влага и ионы Fe^{3+} из внешней среды диффундируют внутрь покрытия. Это инициирует:

- Мгновенное высвобождение TA из повреждённых капсул;
- Реакцию TA с Fe^{3+} и образование чёрного хелатного комплекса $Fe(TA)_3$, визуализирующего повреждение — «самодиагностика»;
- Одновременное формирование антикоррозионной плёнки ферро-танната, пассивирующей металл и замедляющей коррозионный ток.

Через 28 суток после воздействия:

- импеданс $|Z|_{0.01}$ Гц в зоне дефекта остаётся $>10^7$ Ом·см²;
- обычная эпоксидка без MSN-TA теряет защиту, падая до ~10^5 Ом·см²;

- прочность сцепления после цикла — 7,3 МПа (против 4,5 МПа у контроля), что указывает на отсутствие деградации матрицы и хорошее восстановление интерфейса.

Таким образом, покрытие демонстрирует не только визуальное обнаружение дефекта, но и активное восстановление барьерных свойств — ключ к устойчивости в условиях эксплуатации.

Заключение

1. **Функциональные покрытия превращают уязвимый полимерный корпус БПЛА в долговечную конструкцию.** Слои толщиной от нескольких микрон до миллиметра повышают стойкость к эрозии, ультрафиолету, тепловому потоку, обледенению и радиолокационному облучению, добавляя считаные проценты к массе аппарата.

2. **Рынок уже предлагает решения под основные эксплуатационные риски.**

PU-SiC и DLC заметно продлевают срок службы винтов и кромок крыла в песчаной среде. Гибриды PDMS/ZrO_2 и градиентные PDMS/SiO_2 защищают от высоких температур и льда; графеновые нагреватели дают быстрый активный «де-айсинг». MW-CNT-эпоксид и ферритовые метаматериалы снижают эффективную площадь рассеяния в X–Ku-диапазоне, не мешая связи на 2,4 ГГц.

3. **Самовосстанавливающееся покрытие Epoxy / MSN-TA задаёт новый стандарт обслуживания.** Оно сигнализирует о повреждении и самостоятельно восстанавливает барьерные свойства, что снижает трудоёмкость и стоимость наземных работ.

4. **Экономическая отдача измеряется не только снижением числа ремонтов, но и ростом готовности флота.** По данным последних публикаций, межсервисный интервал увеличивается на 30–70 %, а затраты на ремонт — в среднем сокращаются почти наполовину.

Перспективы развития:

1. **Мультифункциональные градиентные «шкуры».** Ближайший шаг — объединить антиобледенение, стелс и самодиагностику в едином адаптивном слое без лишнего веса.

2. **Экологичные рецептуры и низкотемпературное отверждение.** Переход на водные, УФ- или плазменные системы снизит выбросы ЛОС и позволит проводить быстрый ремонт прямо в полевых ангарах.

3. **Аддитивные технологии нанесения.** Роботизированный градиент-принт уже позволяет «точечно» усиливать наиболее уязвимые зоны; в цикле «конвейер → эксплуатация» это минимизирует простой техники.

4. **«Цифровые двойники» покрытий.** ИИ-модели ускоряют подбор рецептур и предсказывают срок службы ещё до изготовления прототипа, что открывает путь к проектированию БПЛА под конкретные климатические и боевые сценарии.

5. **Встроенные сенсорные капсулы-индикаторы.** Разработка многоцветных и инфракрасных маркеров позволит инспектировать состояние дрона дистанционно — с борта самого БПЛА или со спутника.

В итоге функциональные покрытия уже сегодня делают лёгкие композитные беспилотники более выносливыми, незаметными и простыми в обслуживании. Следующий этап — «умные» экосистемы покрытий, которые будут адаптироваться к условиям полёта в режиме реального времени и тем самым расширят диапазон гражданских и оборонных задач, доступных беспилотной авиации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Hong Z., Jiang H., Xue M.* SiC-enhanced polyurethane composite coatings with excellent anti-fouling, mechanical, thermal, chemical properties on various substrates // Progress in Organic Coatings. – 2022. – Vol. 168. – Art. 106909. – DOI 10.1016/j.porgcoat.2022.106909.

2. *Pathak S. M., Kumar V. P., Bonu V.* Enhancing wind turbine blade protection: Solid particle erosion resistant ceramic oxides-reinforced epoxy coatings // Renewable Energy. – 2025. – Vol. 238. – Art. 121681. – DOI 10.1016/j.renene.2024.121681.

3. *Khan M. S., Katiyar L. K., Sasikumar C.* Synthesis and exploration of heat-transfer properties in diamond-like carbon copper composite films deposited on stainless-steel substrates // Surface & Coatings Technology. – 2025. – Vol. 498. – Art. 131871. – DOI 10.1016/j.surfcoat.2025.131871.

4. *Chand N., Singh S., Sekar V., Bharadwaj R. L., Mahajan A. M.* Diamond-like carbon (DLC) coatings: classification, properties and applications // International Journal of Scientific Research in Science and Technology. – 2024. – Vol. 11, № 3. – C. 147–168. – DOI 10.32628/IJSRST5241131.

5. *Robertson J.* Diamond-like amorphous carbon // Materials Science and Engineering R. – 2002. – Vol. 37, № 4–6. – C. 129–281. – DOI 10.1016/S0927-796X(02)00005-0.

6. *Shen Y., Liao B., Zhang Z. et al.* Anti-sand erosion and tribological performance of thick DLC coatings deposited by filtered cathodic vacuum arc // Applied Surface Science. – 2020. – Vol. 533. – Art. 147371. – DOI 10.1016/j.apsusc.2020.147371.

7. *Yang J., Chen A., Liu F.* Hybrid coating of polydimethylsiloxane with nano-ZrO_2 on magnesium alloy for superior corrosion resistance // Ceramics International. – 2022. – Vol. 48, № 23. – C. 35280–35289. – DOI 10.1016/j.ceramint.2022.08.130.

8. *Hernández-Rodríguez G., Fratschko M., Stendardo L. et al.* Icephobic gradient polymer coatings deposited via iCVD: a novel approach for icing control and mitigation // ACS Applied Materials & Interfaces. – 2024. – Vol. 16, № 9. – C. 11901–11913. – DOI 10.1021/acsami.3c18630.

9. *Gong X., He S.* Highly durable superhydrophobic polydimethylsiloxane/silica nanocomposite surfaces with good self-cleaning ability // ACS Omega. – 2020. – Vol. 5, № 8. – C. 4100–4108. – DOI 10.1021/acsomega.9b03775.

10. *Guo X., Yang Q., Zheng H., Wei D.* Integrated composite electrothermal de-icing system based on ultra-thin flexible heating film // Applied Thermal Engineering. – 2024. – Vol. 236. – Art. 121723. – DOI 10.1016/j.applthermaleng.2023.121723.

11. *Muhsan A. A., Lafdi K.* Fabrication and characterization of graphene-based de-icing heater // Materials Today: Proceedings. – 2022. – Vol. 52, Part 2. – C. 206–211. – DOI 10.1016/j.matpr.2021.09.485.

12. *Kim S.-H., Lee S.-Y., Zhang Y. et al.* Carbon-based radar absorbing materials toward stealth technologies // Advanced Science. – 2023. – Vol. 10, № 32. – Art. 2303104. – DOI 10.1002/advs.202303104.

13. *Yilmaz-Atay G., Bilgiç N.* Radar absorbing properties of different-size carbon-nanotube-reinforced polymer composites // Frontiers in Materials. – 2024. – Vol. 11. – DOI 10.3389/fmats.2024.1380472.

14. *Wen E., Yang X., Sievenpiper D. F.* Real-data-driven real-time reconfigurable microwave reflective surface // Nature Communications. – 2023. – Vol. 14. – Art. 7736. – DOI 10.1038/s41467-023-43473-y.

15. *Açıkalın E., Atıcı O., Sayıntı A., Çoban K., Erkalfa H.* Preparation of dendritic waterborne polyurethane-urea/Ni–Zn ferrite composite coatings and investigation of their microwave absorption properties // Progress in Organic Coatings. – 2013. – Vol. 76, № 6. – C. 972–978. – DOI 10.1016/j.porgcoat.2012.10.008.

16. *Wang J., Tan W., Yang H. et al.* Towards weathering and corrosion-resistant, self-warning and self-healing epoxy coatings with tannic-acid-loaded nanocontainers // npj Materials Degradation. – 2023. – Vol. 7. – Art. 39. – DOI 10.1038/s41529-023-00360-7.

FUNCTIONAL COATINGS FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES MADE OF POLYMER MATERIALS. REVIEW OF COATING TYPES AND APPLICATION TECHNOLOGIES

Yakovlev S.A.

Supervisor: Kurtaeva F.N., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. This paper presents a review of modern functional coatings for unmanned aerial vehicles (UAVs) made of polymer composite materials. Seven classes of coatings are analyzed, detailing their mechanisms for protection against erosion, heating, icing, and radar irradiation, with particular attention given to the self-healing Epoxy/MSN-TA system. The results show that thin multilayer coatings significantly enhance the service life and maintainability of UAVs with minimal added weight, opening the way for the creation of adaptive "smart" shells.

СЕКЦИЯ 5
ТЕХНОЛОГИЯ АВИАСТРОЕНИЯ И КОМПОЗИТНОЕ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 620.22:620.17

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ

Аэрайгули К., Старцев Н.Д., Усманов Д.М.
Научный руководитель: Андрианова К.А., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данном исследовании разработаны составы и режимы получения термореактивных пенопластов на основе эпоксидных и эпокси-бензоксазиновых композиций с использованием вспенивающихся микросфер. Установлено, что оптимальное распределение микросфер и применение твердых эпоксидных смол снижают тепловыделение, предотвращая перегрев изделия. Проведен сравнительный анализ горючести пенопластов на основе разрабатываемых составов.

Полимерная пена представляет собой двухфазный композит, в котором газ равномерно распределён в сплошной полимерной фазе. Для создания пористой структуры такого материала в полимерную матрицу вводят специальный вспенивающий агент. В качестве полимерной матрицы могут быть использованы термореактивные композиции, например, на основе эпоксидных и бензоксазиновых смол.

Эпоксидные смолы играют ключевую роль в авиационной промышленности благодаря высоким прочностным свойствам и устойчивости к агрессивным средам [1]. Эпоксидные смолы широко используются, например, в производстве клеев благодаря своей высокой адгезии, прочности и устойчивости к воздействию влаги, химикатов и температурных перепадов. Они также широко используются в качестве связующих в производстве композитных материалов, применяемых для изготовления элементов фюзеляжа, крыльев, лопастей винтов и других деталей современных самолетов и вертолетов.

Бензоксазин представляет собой класс гетероциклических соединений, обладающих уникальными свойствами и широким спектром применения. Они характеризуются высокой прочностью и температурой стеклования, что делает их конкурентоспособными по сравнению с традиционными эпоксидными смолами. Бензоксазины могут быть использованы в качестве термореактивных смол для полимерных композитов, особенно в аэрокосмической и строительной отраслях.

Существуют различные способы вспенивания полимеров. В литературе изучались полибензоксазиновые пенопласты, наполненные стеклянными микросферами, а также пены, полученные с использованием химического пенообразователя – азодикарбонамида (ADC) [2]. Пены с плотностью 273–497 кг/м³ показали прочность на сжатие 5,2–12,4 МПа и модуль упругости 268–681 МПа, однако детали их структуры и процесса вспенивания не были подробно изучены. ADC – распространённый пенообразователь, так как его температуру разложения можно регулировать активаторами: солями металлов, мочевиной, аминами и др.

Более перспективным методом вспенивания является использование терморасширяющихся микросфер, которые при нагреве увеличиваются в объеме, создавая лёгкие и прочные пены. Производство пеноматериалов с использованием вспенивающихся микросфер обычно осуществляется в два последовательных этапа. На первом этапе происходит отверждение композиции, состоящей из смолы, отвердителя и порообразователя, что приводит к повышению вязкости смеси за счет запуска процесса полимеризации. Второй этап представляет непосредственно процесс вспенивания, который способствует формированию более однородной ячеистой структуры с оптимальным распределением размеров пор. В качестве физического пенообразователя часто применяют терморасширяемые микросферы типа Expancel, особенность которых заключается в наличии газонаполненного ядра, заключенного в термопластичную полимерную оболочку. При нагревании такие микросферы значительно увеличиваются в объеме за счет расширения внутреннего газа и

размягчения полимерной оболочки, что и обеспечивает образование пористой структуры готового материала.

Для одностадийного получения пены необходимо синхронизировать кинетику вспенивания микросфер с кинетикой гелеобразования смолы, поскольку процесс зависит от одновременного расширения вспенивающего агента и гелеобразования смолы. Эти два явления независимы друг от друга, но оба зависят от времени и температуры [3]. Таким образом, важно, чтобы температура отверждения и температура вспенивания пены находились в гармонии друг с другом.

Целью данной работы была разработка составов и режимов получения пенопластов на основе эпоксидных и бензоксазиновых связующих. В представленном исследовании бензоксазин был синтезирован безрастворным методом [4]. Использовали следующие вещества: бисфенол-А, диэтилтолуолдиамин (ДЭТДА) и параформальдегид. Синтез бензоксазина проводили по следующей методике: сначала исходные компоненты смешивали в точно заданных соотношениях, после чего реакционную смесь интенсивно перемешивали на водяной бане в течение 20–30 минут. В процессе реакции образуется устойчивый промежуточный продукт — триазин (IV), который можно либо выделить, либо синтезировать отдельно из амина и параформальдегида. Данный интермедиат далее реагирует с фенолом (I), что приводит к формированию целевого бензоксазина. Побочно образуется нерастворимый сетчатый полимер (политриазин), получаемый из диамина и параформа. Этот метод широко применяется благодаря ряду преимуществ: простота и удобство проведения синтеза, доступность исходных веществ, а также возможность получения различных производных бензоксазина.

Процесс отверждения термореактивных связующих исследовалось методом ДСК с помощью дифференциального сканирующего калориметра теплового потока DSC Phoenix 204 F1 при трех скоростях нагрева. Термомеханические свойства разных марок микросфер определялось на термомеханическом анализаторе TMA 402 F3 Hyperion, а анализ поглощения тепла методом ДСК. Для выбора температурно-временного режима получения полимерных пенопластов необходимо, чтобы температурная область вспенивания микросфер была близка к области температур отверждения смоляной композиции. По результатам проведённого анализа микросфер марка DU638 продемонстрировала наилучшие характеристики в составе эпокси-бензоксазиновых пен, включая максимальную степень расширения при высоких температурах по сравнению с другими марками микросфер, а также повышенную температуру вспенивания. В качестве наполнителя для эпоксидных пен была выбрана микросфера DU180. Хотя её степень расширения ниже, чем у альтернативных марок она обеспечивает оптимальное распределение в используемой эпоксидной смоле, способствует равномерному смешиванию и формирует более прочное межфазное сцепление, что делает её предпочтительным вариантом для данной системы.

С помощью программы Netzsch Thermokinetics 3 подбирался режим отверждения термореактивных пенопластов. Используется одноступенчатый режим, поскольку равномерное распределение и увеличение микросфер, снижает тепловыделение, что предотвращает перегрев. Повышение концентрации микросфер в композиции способствует снижению вероятности перегрева пенопласта благодаря тому, что значительная часть тепловой энергии расходуется на испарение растворителя внутри микрокапсул. Использование эпоксидных смол с повышенной молекулярной массой позволяет снизить экзотермический эффект реакции полимеризации, что делает возможным реализацию одноэтапного процесса вспенивания. Кроме того, термореактивные смолы в твердом состоянии выделяют приблизительно в два раза меньше тепла по сравнению с жидкими аналогами, что дополнительно способствует контролю температурного режима при формовании пеноматериалов.

В данной работе эпоксидные и бензоксазиновые пены получали путем добавления вспенивающих микросфер. Эпокси-бензоксазиновый пенопласт состоит из бензоксазина, придающего материалу термостойкость и механическую прочность, эпоксидных смол ЭД-20

и DER671, обеспечивающих высокую адгезию, химическую стойкость и структурную стабильность, а также антипирена триглицидилфосфата (ТГФ), который значительно повышает огнезащитные свойства за счёт замедления распространения пламени. Для получения эпоксидных пенопластов были использованы твердые эпоксидные смолы DER671, жидкие эпоксидные смолы ЭД-20 и жидкий аминный отвердитель ХТ 187Б. Дополнительно в состав входят терморасширяющиеся микросферы, формирующие пористую структуру и придающие материалу лёгкость при сохранении прочностных характеристик и улучшении теплоизоляционных свойств. Процесс изготовления пеноматериалов включает несколько последовательных операций. Перед вспениванием полимерную композицию засыпают в подготовленную оснастку, затем помещают в печь, где под воздействием температуры материал расширяется, заполняя форму и образуя пористую структуру. Данная технология позволяет получать пеноматериалы с регулируемой плотностью.

Для получения образцов пенопластов использовалась специальная оснастка (рисунок 1), оснащенная датчиком давления XPC10-M-20BS-/L4M на верхней крышке. Данный датчик позволял фиксировать уровень давления, возникающего в процессе вспенивания. Контроль давления осуществлялся посредством диэлектрической системы мониторинга DiamonPlus (INASCO), предназначенной для анализа процессов формования полимерных композитов.

Рисунок 1. Оснастка для пен с датчиком измерения давления

Для оценки механических свойств пенопластов в соответствии с ГОСТ 23206-2017 были проведены испытания на сжатие, результаты которых представлены в таблице 1. Установлено, что варьирование состава, в частности концентрации микросфер, позволяет целенаправленно регулировать механические характеристики пенопластов и влиять на характер их разрушения, что открывает возможности для создания материалов с заданными свойствами.

Таблица 1

Результаты механических характеристик

Бензоксазин $БФАДА_2$	DER671	ТГФ+ЭД-20	DU638	Плотность (ρ), кг/м³	σ, МПа	E, МПа
4,25 (21,25%)	8,5 (42,5%)	4,25 (21,25%)	3 (15%)	194,81	2,47	100,2
3,75 (18,75%)	7,5 (37,5%)	3,75 (18,75%)	5 (25%)	194,62	2,84	103,75
3,5 (17,5%)	7 (35%)	3,5 (17,5%)	6 (30%)	193,43	2,25	82,45
3,25 (16,25%)	6,5 (32,5%)	3,25 (16,25%)	7 (35%)	195,73	1,18	45,9
3 (20%)	6 (40%)	3 (20%)	3 (20%)	155,25	1,68	82,33
4 (20%)	8 (40%)	4 (20%)	4 (20%)	193,98	2,53	95,04
5 (20%)	10 (40%)	5 (20%)	5 (20%)	251,85	4,34	181,83
6 (20%)	12 (40%)	6 (20%)	6 (20%)	294,94	6,39	229,29
8,56 (34,24%)	5,72 (22,88%)	5,72 (22,88%)	5 (20%)	243,71	2,55	160,01
10,28 (34,26%)	6,86 (22,87%)	6,86 (22,87%)	6 (20%)	294,46	4,37	245,36

На следующем этапе проводилась сравнительная оценка горючести пенопластов на основе эпоксидных и эпокси-бензоксазиновых пенопластов без антипирена, так и с его добавлением. Наблюдается, что пены на основе первых двух составов активно поддерживают горение. Пену на основе эпокси-бензоксазиновой композиции с антипиреном можно отнести к классу горючести V-0, процесс происходит без каплепадения и с образованием большого коксового остатка, сохраняя внутреннюю структуру материала.

На основе проведённого исследования разработаны составы и режимы отверждения термореактивных пеноматериалов. Получены пенопласты путем одноступенчатого процесса отверждения без перегрева изделия. Концентрация микросфер влияет на механические свойства пенопластов и характер их разрушения. Антипирен триглицидилфосфат (ТГФ) в составе бензоксазиновых пен значительно повышает их пожаробезопасность за счёт фосфорсодержащих групп: подавляют горение и снижают выделение дыма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Старокадомский Д.Л.* Кинетика отверждения эпоксидных олигомеров аминными отвердителями // Наука и жизнь. 2018. № 1. С. 66–71.

2. *Lorjai P., Wongkasemjit S., Chaisuwan T.* Preparation of polybenzoxazine foam and its transformation to carbon foam // Materials Science and Engineering A. 2009. Т. 527. № 1–2. С. 77–84.

3. *El Gazzani S. et al.* High Temperature Epoxy Foam: Optimization of Process Parameters // Polymers. 2016. Т. 8. № 6. С. 215.

4. *Антипин И.С. и др.* Безрастворный синтез бензоксазиновых мономеров различного строения и полимеры на их основе // Вестник Технологического Университета. 2023. Т. 26 № 9. С. 17–25.

DEVELOPMENT OF COMPOSITION AND MODES FOR PRODUCING THERMOSETTING FOAM PLASTICS

Aeraiguli K., Startsev N.D., Usmanov D.M.

Supervisor: Andrianova K.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This study develops compositions and processing methods for thermosetting foams based on epoxy and epoxy-benzoxazine systems using expandable microspheres. It was found that optimal microsphere distribution and the use of solid epoxy resins reduce exothermic heat release, preventing product overheating. A comparative analysis of the flammability of foams based on the developed compositions was conducted.

УДК 620.178.4/.6

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ

Бубнов Д.А.[1], Шевченко В.О.[1], Созонов Н.С.[2]

Научный руководитель: Хамидуллин О.Л.[1], доцент, к. т. н.

([1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань,

[2]ООО «Инверсия-сенсор», г. Казань)

Аннотация. В работе проводится сравнение двух методов фиксации деформаций при механических испытаниях углекомпозита, с применением тензорезисторов и датчиков на основе волоконных Брэгговских решеток (ВБР). Приведены результаты механических испытаний на растяжение при одновременной работе нескольких датчиков определения деформации.

Введение

Тензорезисторы, благодаря высокой чувствительности, простоте интеграции и надежности, широко применяются для измерения деформаций в авиационных и космических конструкциях. Их использование позволяет точно контролировать механические нагрузки и деформации критических элементов летательных аппаратов, что необходимо для обеспечения безопасности и оптимизации конструктивных решений [1, 2].

В последние годы возрастает интерес к оптоволоконным датчикам, обладающим высокой точностью, устойчивостью к электромагнитным помехам и возможностью распределенных измерений. Такие датчики уже успешно применяются в мониторинге напряженно-деформированного состояния конструкций ракет, самолетов и космических аппаратов [3]. Однако, несмотря на их преимущества, выбор оптимального метода измерения деформаций остается актуальной задачей, требующей сравнительного анализа.

В данной работе проводится сравнительное исследование характеристик тензорезисторов и оптоволоконных датчиков. Выполняются экспериментальные испытания для оценки их точности, чувствительности и устойчивости к внешним воздействиям. Полученные результаты позволят определить оптимальные области применения каждого типа датчиков и усовершенствовать методы контроля деформаций в аэрокосмической технике.

В конструкции перспективного российского космического аппарата "Орел" (для лунных миссий) планируется использование как традиционных тензорезисторов для контроля базовых силовых элементов, так и внедрение оптоволоконных сенсорных сетей для мониторинга деформаций в критических композитных узлах и теплозащите, где важна распределенная информация и устойчивость к экстремальным температурам и радиации (рисунок 1).

Рисунок 1. Представление космического аппарата "Орел"

Объекты исследования

Объектами исследования для определения оптимальной системы контроля деформаций являются образцы на растяжение размером 250x25x10 мм, где с 1 стороны были приклеены поверенные тензорезисторы, а с другой Волоконная Брэгговская Решётка (ВБР) (рисунок 2).

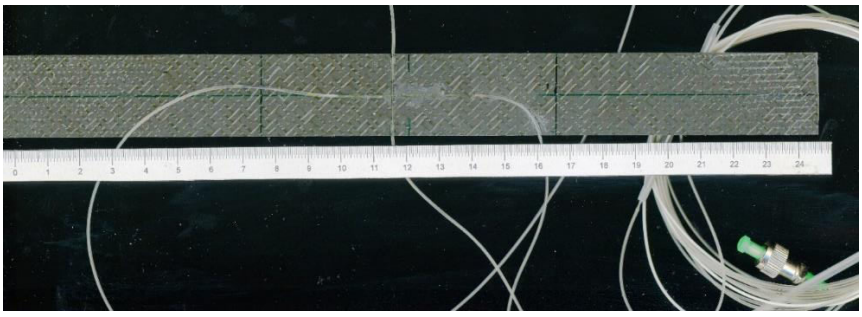
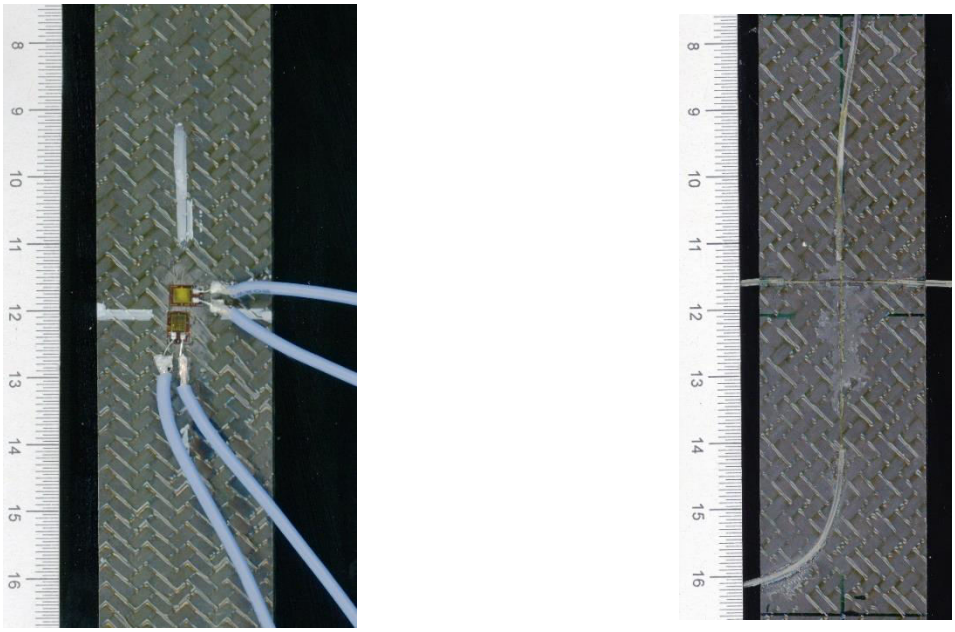


Рисунок 2. Объекты исследования образец на растяжение со схемой армирования ±45°

Одно из требований для получения достоверных результатов является общие габаритные геометрические параметры поэтому. На рисунке 3 приближенно представлено

крепление тензорезистора к образцу для испытаний на растяжение, на рисунке 4 приближенно представлено крепление ВБР к образцу на испытание на растяжение.



а *б*

а – тензорезисторы; *б* – оптические датчики на ВБР

Рисунок 3. Фотография тензометров на образце углекомпозита

Испытание образцов

Основной задачей данного раздела работа являлось определение оптимальной системы измерения деформации на примере такой схемы нагрузки как растяжение.

Испытания на растяжение проводилось с использованием статической универсальной электромеханической машины Instron 5882 (100кН), специализированных опор на растяжение под образцы, выполняющие требования соосности между осью объекта испытания и осью нагружения испытательной машины.

Результаты испытаний образцов на растяжение в продольном направлении представлены на рисунке 4.

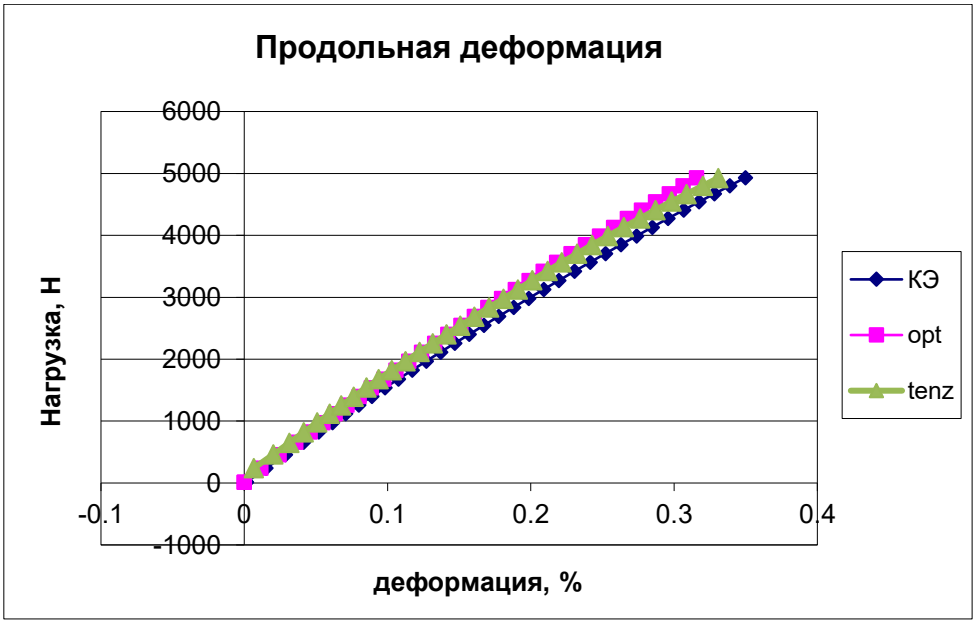


Рисунок 4. Результаты испытаний образцов на растяжение в продольном направлении

Испытания на растяжение проводились с использованием электромеханической машины ElectroPlus E 10000, специализированных фланцев.

Результаты испытаний образцов на растяжение в поперечном направлении представлены на рисунке 5.

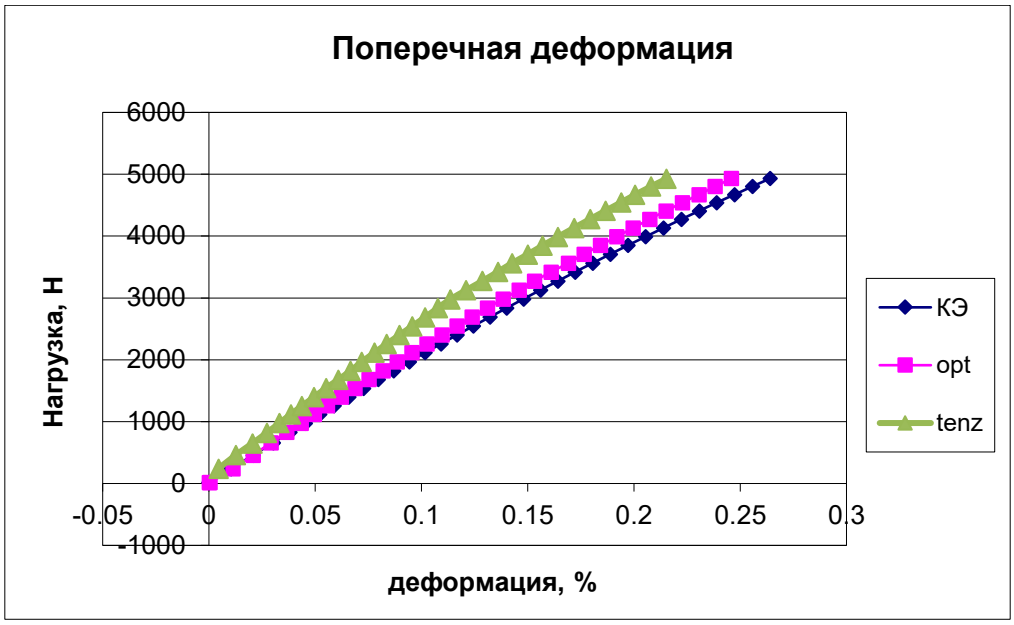


Рисунок 5. Результаты испытаний образцов на растяжение в поперечном направлении

Заключение

Результаты экспериментального исследования механического поведения оптоволокон и тензодатчиков с различной геометрией ячеек позволяют сформулировать следующие выводы. Количественные отличия по измеренным деформациям между различными датчиками составили чуть менее 5%. Данный факт может быть связан со способом закрепления датчиков на образце. При качественном анализе показаний с нескольких однотипных датчиков расположенных вдоль и поперек образца значение коэффициента Пуассона полностью совпали.

Статья подготовлена в рамках Передовой инженерной школы “Комплексная авиационная инженерия” (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Vasiliev V.V., Barynin V.A., Razin A.F.* Anisogrid composite lattice structures–Development and aerospace applications //Composite structures. – 2012. – Т. 94. – №. 3. – С. 1117-1127.

2. *Totaro G., Gürdal Z.* Optimal design of composite lattice shell structures for aerospace applications //Aerospace Science and Technology. – 2009. – Т. 13. – №. 4-5. – С. 157-164.

3. *Huybrechts S., Tsai S.W.* Analysis and behavior of grid structures //Composites science and technology. – 1996. – Т. 56. – №. 9. – С. 1001-1015.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR MEASURING DEFORMATION DURING MECHANICAL TESTS

Bubnov D.A.[1], Shevchenko V.O.[1], Sozonov N.S.[2]

Supervisor: Khamidulin O.L.[1], Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

([1]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, [2]i-sensor LLC, Kazan)

Abstract. The paper compares two methods for fixing deformations during mechanical tests of carbon composite, using strain gages and sensors based on fiber Bragg gratings (FBG). The results

of mechanical tensile tests with simultaneous operation of several strain detection sensors are presented.

УДК 629.5.081.22

РАСЧЕТ НА ЖЕСТКОСТЬ КАРКАСОВ СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Бурнашев К.В.
Научный руководитель: Сосов А.В., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

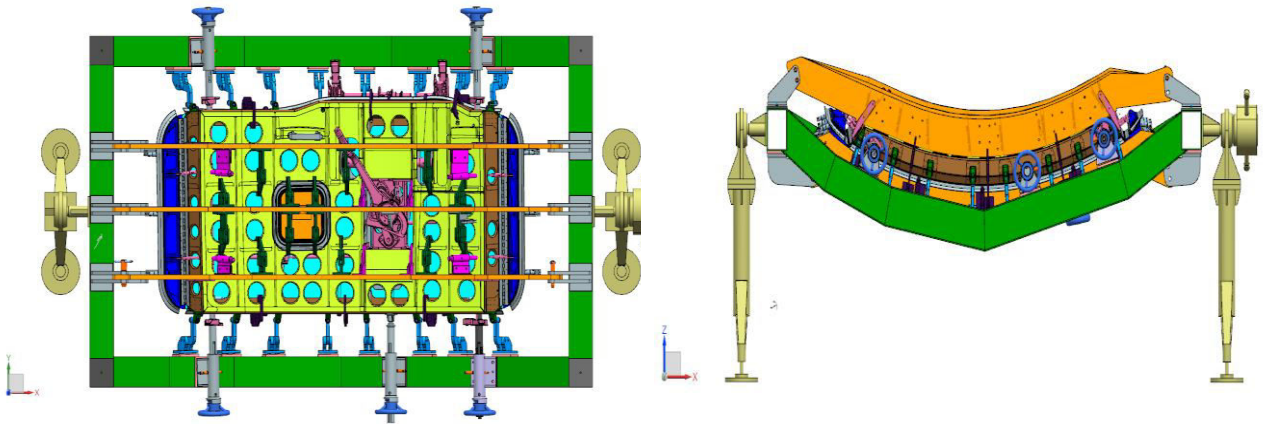
Аннотация. В работе рассмотрены типовые конструкции сборочных приспособлений, проведен анализ и выявлены основные элементы, влияющие на их жесткость. Разработана методика расчета стапеля на жесткость с использованием метода конечных элементов в программном обеспечении, используемом на предприятии. По разработанной методике проведен расчет на жесткость стапеля сборки двери самолета Ту-214.

Возрастающая сложность авиационной техники предъявляет всё более высокие требования к точности сборки, так как точность установки и сборки напрямую влияет на аэродинамические характеристики всего летательного аппарата [1]. В связи с этим возникает потребность в сборочных приспособлениях, обладающих высокой точностью и сохраняющей её в процессе всего технологического процесса сборки.

Одним из ключевых факторов, определяющих точность сборки, является жесткость сборочных приспособлений (СП). Согласно статистическим данным, вклад жесткости сборочного приспособления в общую погрешность сборки авиационных узлов составляет от 20 до 50% [2].

В рамках данного исследования была разработана методика расчета жесткости каркасов СП, применимая для различных типов конструкций. Методика основана на применении метода конечных элементов (МКЭ), который позволяет учитывать сложную геометрию, граничные условия, разнообразные варианты нагружения, а также получать подробную информацию о распределении деформаций и напряжений в конструкции.

В качестве объекта исследования выбрано СП двери самолёта Ту-214 в каркасе с поворотной рамой. Характерная особенности данного СП – работа в двух положениях: вертикальном и горизонтальном. Такое конструктивное решение позволяет значительно повысить удобство выполнения сборочных операций, но, одновременно, требует внимания к вопросу сохранения жесткости конструкции при различных положениях в пространстве. 3D-модель сборочного приспособления с дверью приведена на рисунке 1.



а *б*

а – вид сверху, *б* – вид спереди

Рисунок 1. 3D модель сборочного приспособления с дверью

На первом этапе исследования была выполнена подготовка расчетной модели: из 3D-модели удалены элементы, не влияющие на жёсткость СП, такие как крепежи, рубильники и шаблоны. Вместо них были заданы эквивалентные силы, моделирующие их вес и воздействие.

Особое внимание в работе было уделено определению оптимального размера конечного элемента. Для этого проведена серия из семи итерационных расчетов с размером элемента от 35 до 5 мм (таблица 1). Полученные данные показали, что начиная с размера 10 мм прирост точности становится незначительным, а рост количества элементов существенно увеличивает время решения задачи. Таким образом, сетка с размером 10 мм была признана подходящей для данной задачи по соотношению точности и вычислительных затрат.

Таблица 1

Зависимость перемещений и напряжений от размера элемента

Итерация	Размер эл-та, мм	Макс. перемещение, мм	Макс. напряжения по Мзесу, МПа	Количество элементов, шт	Приращение перемещений к предыдущей итерации, %	Приращение напряжений к предыдущей итерации, %	Время расчета, сек.
1	35	0,919	28,43	26976	–	–	9
2	30	0,927	31,81	36124	0,87	11,88	14
3	25	0,946	43,36	53101	2,05	36,31	25
4	20	0,963	43,29	82759	1,80	-0,16	48
5	15	0,978	48,54	144573	1,56	12,13	100
6	10	0,988	47,97	322343	1,02	-1,17	298
7	5	0,995	47,97	1286700	0,71	0	1870

На следующем этапе были рассмотрены восемь различных схем нагружения, отражающих реальные сценарии эксплуатации стапеля. Были проанализированы как симметричные, так и асимметричные схемы, с учетом действия веса сборочных элементов, массы оператора, а также гравитационных и монтажных нагрузок. Для каждой схемы определялись поля перемещений, деформаций и напряжений, с целью определения критических зон и значения исследуемых величин в этих зонах.

Полученные результаты показали, что максимальные деформации наблюдаются при асимметричном одностороннем нагружении и составляют около 1,4 мм. При этом максимальные напряжения достигают 220 МПа, что ниже предела текучести материала (295 МПа для стали 30). Это подтверждает достаточный запас прочности конструкции и отсутствие риска пластических деформаций в штатных режимах эксплуатации.

Помимо этого, был проведен расчет результирующих деформаций каркаса сборочного приспособления, так как сборочное приспособление (СП) функционирует в двух положениях: вертикальном (для монтажа и базовой установки элементов с помощью лазерного трекера) и горизонтальном (рабочее положение для сборки).

Деформации каркаса, возникающие под действием собственного веса и массы оборудования в вертикальном положении, суммируются с деформациями от сборочных нагрузок в горизонтальном положении, формируя суммарную погрешность. Для ее оценки определяется результирующая величина деформаций по формуле 1:

$$\Delta_{max} = \sqrt{(\Delta x_{max})^2 + (\Delta y_{max})^2}, \quad (1)$$

где Δ_{max} – результирующие деформации; Δx_{max} – величина максимальных деформаций в вертикальном положении; Δy_{max} – величина максимальных деформаций в горизонтальном положении.

Методом конечных элементов в вертикальном положении проведен анализ нагружения каркаса собственным весом и массой навесных элементов (342 кг). По результатам расчета максимальный прогиб составил 1,026 мм. С учетом смещения опоры на 0,202 мм, величина Δx_{max} равна 0,824 мм. Деформации в горизонтальном положении приняты равными наихудшему из рассмотренных случаев нагружения (схема 4), и составляют 1,393 мм.

Таким образом, подставив полученные значения в формулу 1 получаем, что результирующая деформация каркаса сборочного приспособления составляет 1,616 мм.

Также была рассмотрена рама с монтажными отверстиями. Анализ выполнен для наихудшего случая нагружения (схема 4) с равномерно распределенной нагрузкой 4720 Н, приложенной к левой стороне рамы в горизонтальном положении. В ходе анализа, полученного КЭ решения установлено, что максимальное перемещение составило 4,414 мм. После компенсации смещения опоры (2,622 мм) деформация рамы равна 1,492 мм. Максимальное эквивалентное напряжение по Мизесу достигло 235 МПа, что не превышает предела текучести материала.

Сопоставление с результатами для рамы с исходной геометрией (деформация 1,393 мм, напряжение 218,6 МПа) показывает, что введение монтажных отверстий привело к ожидаемому снижению жесткости: деформация увеличилась на 7,1%, а максимальное напряжение – на 7,5%.

На основе проведённого анализа была сформулирована универсальная пошаговая методика расчёта жёсткости СП, включающая:

- подготовку упрощённой геометрической модели;
- выбор параметров конечно-элементной сетки;
- задание корректных граничных условий и нагрузок;
- проведение численного моделирования;
- оценку результатов по заданным критериям жёсткости;
- формирование рекомендаций по изменению конструкции при необходимости.

Разработанная в ходе исследования методика расчета деформаций обладает значительным потенциалом. Ее применение носит универсальный характер: она может практически быть эффективно использована как на этапе проектирования новых сборочных приспособлений (СП) для оптимизации их жесткости, так и для проведения экспертной оценки уже эксплуатируемых конструкций на предмет их соответствия действующим технологическим требованиям.

Особую актуальность данная методика приобретает в контексте модернизации и автоматизации сборочного производства. Внедрение детерминированных алгоритмов анализа, основанных на численном моделировании, позволяет существенно минимизировать влияние человеческого фактора на этапе проектирования и валидации оснастки. Это является ключевым условием для достижения высокой повторяемости технологических операций и гарантированного.

Таким образом, проведенное исследование не только подтверждает высокую эффективность применения методов конечно-элементного анализа для решения задач проектирования сложной технологической оснастки, но и предлагает конкретный, верифицированный алгоритм оценки жесткости. Данный алгоритм представляет собой инструмент для целенаправленного обеспечения требуемой точности позиционирования и, как следствие, для достижения высоких показателей качества сборки конечного изделия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Федоров В.Б.* Технология сборки изделий авиационной техники: Текст лекций. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. — 50 с.

2. *Колганов И.М., Томов П.Б.* Технология сборки самолетов: Методические указания по проведению практических занятий. Часть 3. - 1 изд. - Ульяновск: УлГТУ, 1999. - 55 с.

CALCULATION OF THE RIGIDITY OF THE FRAMES OF ASSEMBLY DEVICES

Burnashev K.V.
Supervisor: Sosov A.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. The paper considers typical designs of assembly devices, analyzes and identifies the main elements affecting their rigidity. A method for calculating the slipway stiffness using the finite element method in the software used at the enterprise has been developed. According to the developed methodology, the calculation of the rigidity of the door assembly slipway of the Tu-214 aircraft was carried out.

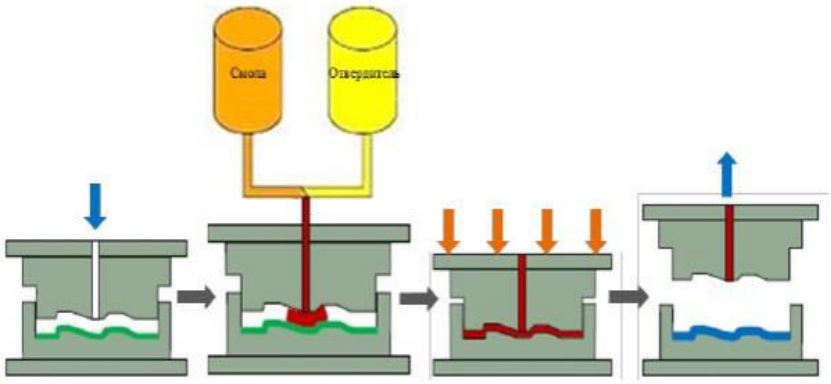
УДК 620.1:621.45:678.026

ПРОПИТКА КОМПОЗИТНОЙ РАБОЧЕЙ ЛОПАТКИ ВЕНТИЛЯТОРА ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Бухтулов А.В.
Научный руководитель: Константинов Д.Ю., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье представлены результаты разработки и экспериментального исследования технологии высоконапорного впрыска смолы с зазором для производства композитных рабочих лопаток вентилятора авиационных двигателей. Представлены и проанализированы экспериментальные данные, полученные при пропитке конструктивно подобных образцов, которые демонстрируют улучшенное качество поверхности, более эффективную пропитку и высокую степень отверждения материала по сравнению со стандартным методом RTM.

Метод Gap HP-RTM, или HP-RTM с зазором, предусматривает, что на начальном этапе оснастка смыкается не полностью, образуя определенный зазор между ее частями. Затем смола под высоким давлением впрыскивается в этот зазор. После того как смола начинает пропитывать преформу, оснастка полностью смыкается, что приводит к равномерному распределению смолы по всему объему армирующего материала (рисунок 1) [1].



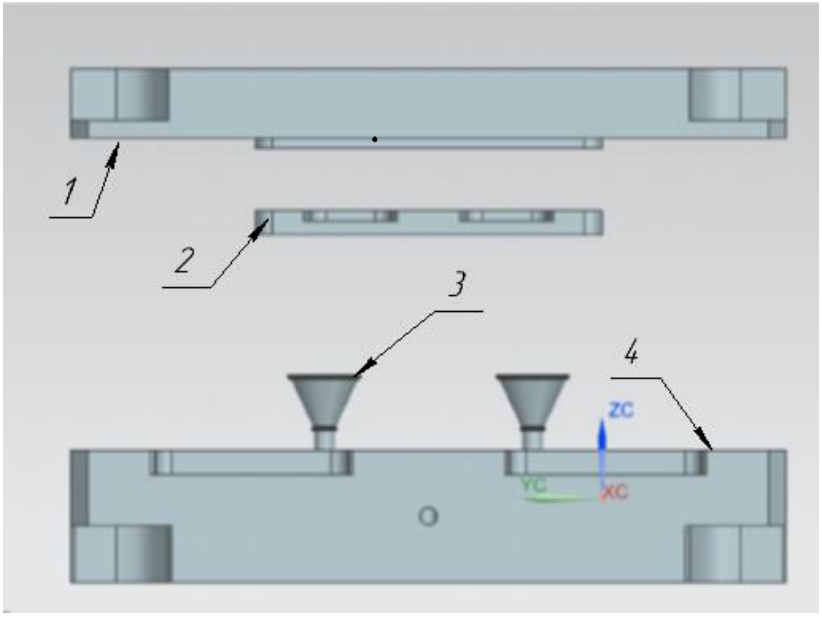
а *б* *в* *г*

а – смыкание формы с определенным зазором, *б* – впрыск связующего под давлением в пресс форму, *в* – уплотнение заготовки до расчетной толщины, *г* – извлечение из формы готового изделия

Рисунок 1. Последовательность действий при Gap HP-RTM процессе

Основными целями использования схемы с неполным смыканием оснастки являются улучшение смачиваемости волокон, снижение вероятности образования воздушных включений и сухих участков, а также потенциальное снижение необходимого давления впрыска. За счет подачи смолы в зазор обеспечивается более равномерное и контролируемое проникновение связующего в волокнистую структуру преформы, особенно в сложных геометрических участках или при использовании преформ с высокой плотностью укладки волокна. Ключевым отличием Gap HP-RTM от стандартного HP-RTM является именно наличие контролируемого зазора на этапе впрыска смолы. В стандартном процессе смола впрыскивается непосредственно в полностью замкнутую форму, что может создавать трудности с равномерным распределением смолы, особенно в крупных и сложных деталях.

Опираясь на опыт зарубежных исследователей, была спроектирована оснастка, отвечающая технологическому оснащению нашей лаборатории. Для удешевления был использован алюминий, как основной материал для изготовления (рисунок 2) [2-5].



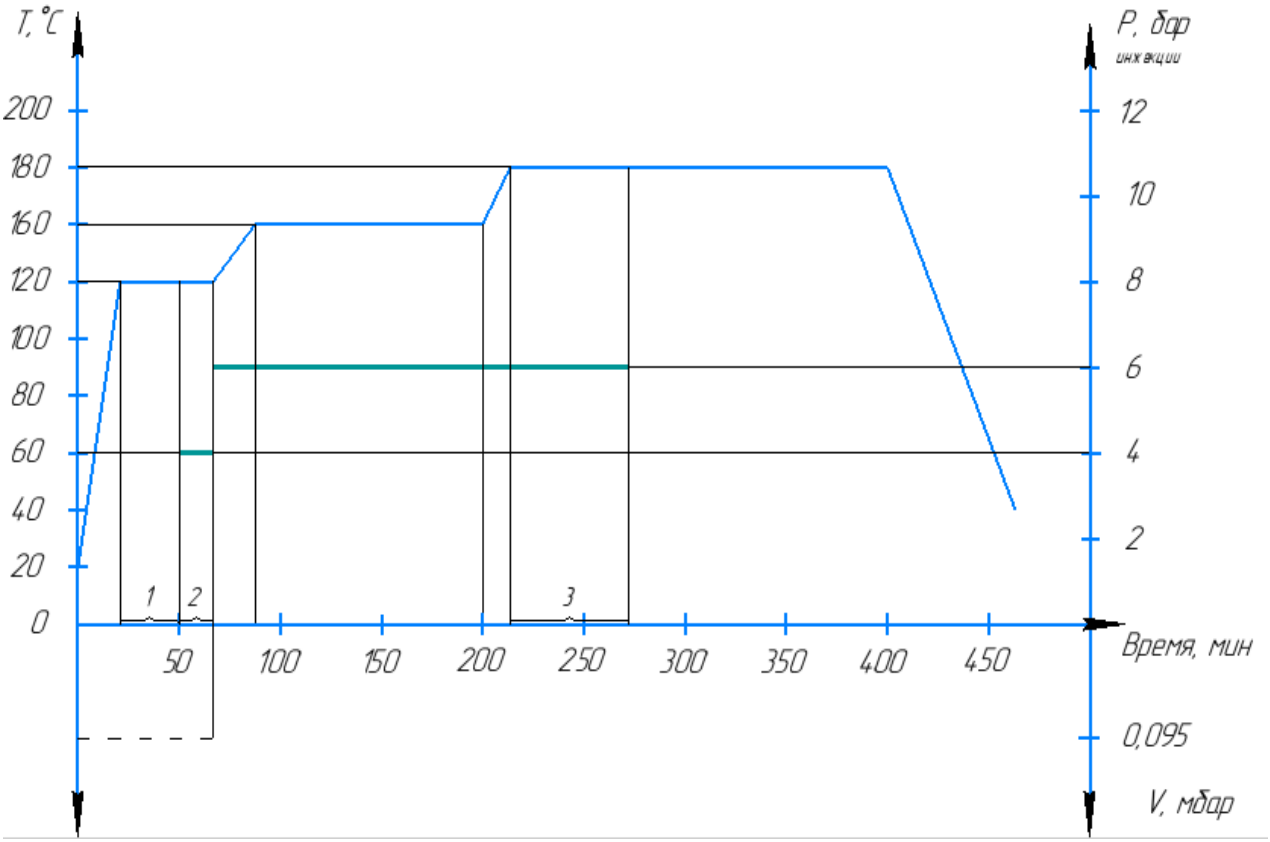
1 - верхняя плита*, 2* - плунжер*, 3* - толкатели*, 4* - нижняя плита

Рисунок 2. Взрыв схема оснастки для изготовления КПО

Верхняя плита включает в себя канал для подачи смолы, посадочное место под плунжер, вырезы и отверстия для стяжки оснастки болтами. К верхней плите крепится плунжер, для образцов разной толщины. Плунжеры подбираются индивидуально, предусмотрены вырезы для удобного разъема и замены плунжера. Его позиционирование осуществляется с помощью двух штифтов, расположенных по диагонали на плунжере и верхней плите соответственно.

Для проверки работоспособности разработанной технологии пропитки был проведён эксперимент с 3D-тканой углепластиковой преформой. Цель эксперимента заключалась в подтверждении эффективности метода HP-RTM с технологическим зазором при пропитке толстой 3D-тканой преформы и в выявлении возможных дефектов структуры полученного композита. Основное внимание уделялось выявлению раковин (пустот) и других дефектов, которые могут образовываться при данном процессе формования.

Первый эксперимент проводился по стандартному режиму, рекомендованному производителем эпоксидной смолы (рисунок 3). Исходного зазора в оснастке не было, то есть проводилась пропитка методом RTM.



1– время термостабилизации, *2* – время пропитки,
3 – время поддержки давления при постотверждении
Рисунок 3. Режим пропитки первого КПО

Технологический режим пропитки и отверждения включает в себя несколько термических этапов. Первый этап — пропитка заготовки при температуре смолы порядка 80 °C — обеспечивает оптимальную текучесть смолы за счёт снижения её вязкости. Это позволяет смоле равномерно проникнуть в структуру армирующего материала, минимизируя риск образования сухих участков и внутренних пор. Температура на этом этапе выбирается таким образом, чтобы избежать преждевременного гелеобразования.

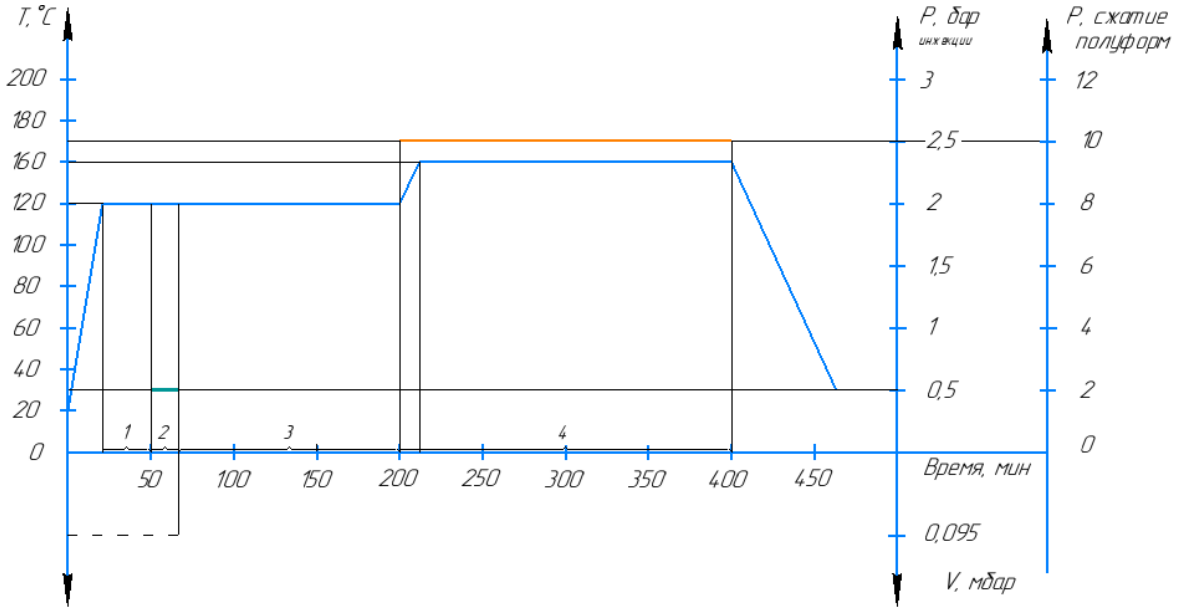
По завершении пропитки осуществляется постепенное повышение температуры до 160 °C и давления инжекции до 6 бар с последующей выдержкой на этом уровне. Данный этап играет роль переходного: он способствует началу реакции отверждения с контролируемой скоростью, обеспечивая равномерный прогрев всего объёма изделия и снижение градиентов температур. Это критически важно при формовании изделий сложной формы, где локальные перегревы могут привести к внутренним напряжениям и дефектам. Таким образом, выдержка при 160 °C стабилизирует термическое состояние материала и способствует равномерному развитию полимерной сетки.

Заключительный этап отверждения проводится при температуре 180 °C, на которой происходит завершение всех основных полимеризационных процессов. Длительная изотермическая выдержка на этом уровне (порядка двух часов) обеспечивает достижение максимально возможной степени сшивки полимера, что в свою очередь определяет высокие механические и термические характеристики полученного композита.

После завершения термообработки осуществляется контролируемое охлаждение до комнатной температуры, предотвращающее возникновение температурных напряжений и дефектов.

Ввиду неудовлетворительного качества полученного композита (рисунок 4), рекомендованный режим был модифицирован под процесс Gap HP-RTM (рисунок 5).

Рисунок 4. Дефекты на поверхности КПО №1



1– время термостабилизации, *2* – время пропитки, *3* – время выдержки, *4* – время выдержки сомкнутых полуформ

Рисунок 5. Режим пропитки второго КПО

Предварительно дегазированную при 80 °C смолу вводили в оснастку, которая была нагрета до 120 °C. После заполнения смолой пресс-форма оставалась в закрытом состоянии при поддержании повышенной температуры для инициирования отверждения связующего. Температуру в термошкафу установили на 120 °C, и образец выдерживали при этой температуре в течение 130 минут. За это время эпоксидная смола начала полимеризоваться. Расчетная степень конверсии эпоксидной системы составила примерно 40–45%. Частичная полимеризация увеличивает вязкость смолы и препятствует её вытеснению из преформы при последующей прессовке, но при этом смола ещё достаточно пластична, чтобы перераспределяться при уплотнении.

Спустя ~1,5 часа выдержки при 120 °C была проведена окончательная затяжка болтов пресс-формы до полного смыкания половин, ориентировочное давление составило 10 бар. В

ходе смыкания излишки смолы частично вытеснились в дренажные каналы, а преформа уплотнилась до своей проектной толщины. В этот момент внутри материала ещё сохранялась определённая доля гелеобразной смолы, способной перераспределяться и заполнять освободившийся объем по мере усадки.

После смыкания формы температура в шкафу была повышена до 160 °С, проводилась выдержка при этой температуре в течение 4 часов. За время выдержки смола полностью полимеризовалась. По завершении выдержки при 160 °С давление на пресс-форму было снято, система оставлена для контролируемого охлаждения внутри печи.

КПО №2 имеет более ровную поверхность за счет меньшей усадки смолы (рисунок 6). На это явным образом повлиял температурный режим и дополнительное давление при окончательной пропитке.

Рисунок 6. Поверхность КПО №2

Из этих пластин были изготовлены стандартные образцы для исследований. Для выяснения процента объемного наполнения было произведено гидростатическое взвешивание (таблица 1, 2).

Таблица 1

Характеристики образцов из КПО №1

№	Масса в воздухе, г	Масса в воде, г	Плотность образца, кг/м^3	Vf*, %
1	2,60517	0,88006	1506,4	58,7
2	2,61669	0,86988	1494,2	56,9
3	2,63265	0,89585	1512,0	59,6
4	2,59937	0,87304	1502,0	58,1
		Среднее	1503,6	58,3±0,8

Таблица 2

Характеристики образцов из КПО №2

№	Масса в воздухе, г	Масса в воде, г	Плотность образца, кг/м3	Vf*, %
1	4,40484	1,49838	1511,7	59,5
2	4,35397	1,46693	1504,3	58,4
3	4,45537	1,51976	1513,9	59,9
4	4,42704	1,52185	1520,0	60,8
Среднее			1512,5	59,6±0,7

*объемное наполнение рассчитано исходя из плотности матрицы равной 1116 кг/м^3, плотности волокна равной 1780 кг/м^3

Согласно полученным данным, образцы из КПО №2 демонстрируют незначительно более высокие значения как плотности, так и объемного содержания волокна по сравнению с образцами из КПО №1. Разница в объемной доле волокна составляет приблизительно 1,3%, что может свидетельствовать о более эффективной пропитке преформы смолой. Увеличение плотности материала и содержания волокна, как правило, положительно сказывается на механических характеристиках композиционного материала, таких как прочность и модуль упругости.

Так же была исследована смола из образцов на аппарате ДСК NETZSCH Photo-DSC 204 F1 Phoenix (рисунок 7). Это высокоточный дифференциальный фотокалориметр, предназначенный для анализа термических и фотохимических реакций.

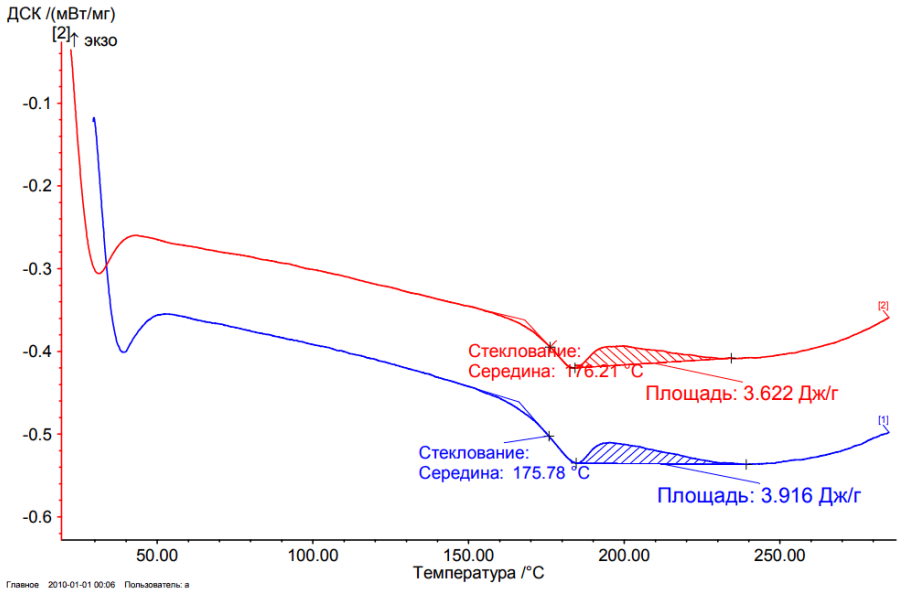


Рисунок 7. Графики анализа образцов на ДСК

На основе данных дифференциальной сканирующей калориметрии, полученных для двух образцов, можно установить, что оба материала демонстрируют близкие значения температуры стеклования, составляющие 175,78 °C и 176,21 °C соответственно. Незначительное повышение температуры стеклования у второго образца может свидетельствовать о более высокой степени термического отверждения, что положительно сказывается на термической стабильности материала.

При этом наблюдается различие в энтальпии стеклования: у первого образца она составляет 3,916 Дж/г, тогда как у второго — 3,622 Дж/г. Более высокая площадь теплового эффекта у первого образца, вероятно, связана с присутствием большего количества аморфной фазы либо частично неотверждённого связующего, принимающего участие в переходе. Это может указывать на меньшую степень завершённости процессов полимеризации.

Таким образом, несмотря на близкие значения температуры стеклования, второй образец характеризуется большей термической стабильностью и более полной реализацией процессов отверждения. Это делает его более предпочтительным для применения в условиях, предъявляющих повышенные требования к термостойкости и стабильности эксплуатационных характеристик.

Проведённый эксперимент по пропитке конструктивно подобного образца методом HP RTM с зазором подтвердил технологическую реализуемость предложенной схемы. Использование специально разработанной оснастки, обеспечивающей возможность контролируемого смыкания формы после начального этапа инжекции смолы, позволило достичь равномерного распределения связующего и высокого качества полученного ламината. Анализ плотности и объёмного содержания волокна по результатам

гидростатического взвешивания образцов продемонстрировал высокий уровень пропитки (до 59,6 %) и стабильность полученных параметров. Результаты термоанализа подтвердили достаточную степень отверждения смолы, характеризующуюся высокой температурой стеклования порядка 176 °C, что свидетельствует о высокой термостойкости материала.

Комплекс полученных данных позволяет сделать вывод о целесообразности использования схемы HP RTM с зазором для изготовления лопаток сложной геометрии. Данная технология обладает высоким потенциалом в контексте серийного производства авиационных композитных компонентов, обеспечивая требуемое качество при приемлемых затратах и контролируемом технологическом процессе. Полученные экспериментальные результаты послужили обоснованием для перехода к этапу разработки директивного технологического процесса изготовления лопатки вентилятора методом HP RTM.

Статья подготовлена в рамках Передовой инженерной школы "Комплексная авиационная инженерия" (Соглашение 075-152025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Борщев А.В., Гусев Ю.А.* Разработка и внедрение ПКМ в автомобильную промышленность. Разновидности HP-RTM процессов // Авиационные материалы и технологии. – 2014. – №4. – С. 48-52.

2. *Kim R.-W., Kim C.-M., Hwang K.-H., Kim S.-R*. Embedded based real time monitoring in the high pressure resin transfer molding process for CFRP // Applied Sciences. — 2019. — Vol. 9, № 9. — Art. 1795. — 15 p.]

3. *Dieffenbacher GmbH.* HP-RTM – High Pressure Resin Transfer Molding [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dieffenbacher.com/forming/composites/hp-rtm-high-pressure-resin-transfer-molding (дата обращения: 23.04.2025).

4. *Krauss-Maffei Group*. Fiber Composite Solutions. – Мюнхен: Krauss-Maffei, 2019. – 32 с. KraussMaffei.

5. *Glass, D. BMW Leipzig*: The Epicenter of i3 Production // CompositesWorld. – 2014. – URL: https://www.compositesworld.com/articles/bmw-leipzig-the-epicenter-of-i3-production compositesworld.com.

IMPREGNATION OF THE COMPOSITE FAN BLADE UNDER HIGH PRESSURE

Bukhtulov A.V.

Supervisor: Konstantinov D.Yu., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article presents the results of the development and experimental study of high-pressure resin injection technology with a gap for the production of composite fan blades for aircraft engines. Experimental data obtained during the impregnation of structurally similar samples are presented and analyzed, which demonstrate improved surface quality, more effective impregnation and a high degree of material curing compared to the standard RTM method.

УДК 678

ВЛИЯНИЕ НЕРАСТВОРИМЫХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ЧАСТИЦ В СОСТАВЕ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УГЛЕПЛАСТИКА

Васильчук Е.А., Клименко О.Н., Ткачук А.И.

Научный руководитель: Гуляев И.Н., заместитель начальника лаборатории по науке, к. т. н.

(НИЦ “Курчатовский институт” - ВИАМ, г. Москва)

Аннотация. Данное исследование посвящено изучению влияния нерастворимых термопластичных дисперсных наполнителей на прочностные характеристики углепластика,

такие как остаточная прочность при сжатии после удара, межслоевая прочность и трещиностойкость. Также в данной работе представлены результаты исследований влияния количества данного дисперсного наполнителя и сравнение импортного и отечественного нерастворимого термопластичного дисперсного наполнителя.

Применение композиционных материалов в авиационной отрасли возрастает с каждым годом. В зависимости от назначения композиционного материала, условий эксплуатации и т.д выбирается полимерная матрица и армирующий наполнитель. Широкое применение в силовых ответственных конструкциях летательных аппаратов находят полимерные композиционные материалы на основе углеродных волокон.

Углепластики обладают уникальным набором свойств: имеют низкий температурный коэффициент линейного расширения, который позволяет обеспечивать стабильность размеров изделий при температурных изменениях, обладают высоким уровнем упруго-прочностных характеристик, устойчивы к воздействию климатических факторов и к различным агрессивным средам (масла, жидкости и т.д.), имеют низкую плотность, что позволяет снизить массу в несколько раз. Обладая множеством преимуществ, углепластики имеют низкую стойкость к ударным воздействиям и подвержены внутренним расслоениям, которые могут быть не видны при визуальном осмотре. Повышение ударной стойкости углепластиков является актуальной задачей в настоящее время. При анализе научно-технической литературы можно выделить несколько преобладающих решений в данных исследованиях: добавление различных модификаторов, введение разномодульных материалов, а именно использование нетканых наполнителей (маты, вуали и т.д) в структуре углепластика и т.д. [1, 2].

В работе для повышения ударной стойкости слоистого композита было предложено вводить в расплав эпоксидной матрицы нерастворимый термопластичный дисперсный наполнитель, который остается в межслоевом пространстве и препятствует распространению трещин.

В качестве объектов исследования использовались:

– углепластики на основе равнопрочного тканого наполнителя саржевого переплетения и эпоксидной полимерной матрицы, содержащий нерастворимый термопластичный дисперсный наполнитель импортного и отечественного производства.

– углепластик на основе равнопрочного тканого наполнителя саржевого переплетения и эпоксидной полимерной матрицы, без добавления термопластичного дисперсного наполнителя (исходный состав).

Препрег углепластика изготавливался на горизонтальной пропиточной машине. Отверждение углепластика осуществлялось автоклавным методом формования по многоступенчатому режиму с конечной температурой формования 180°С с предварительным вакуумированием в течение 12 часов.

Изготовленные углепластики имели следующие характеристики: плотность 1,530-1,550 г/см^3, массовая доля связующего в углепластике от 33 до 37%, объемная пористость менее 2%, степень отверждения 99%.

Для оценки качества отформованного углепластика, для исключения внутренних дефектов и расслоений проводился ультразвуковой контроль теневым методом с использованием создания акустического контакта.

В качестве основных методов исследования углепластиков в работе были выбраны следующие характеристики [3]:

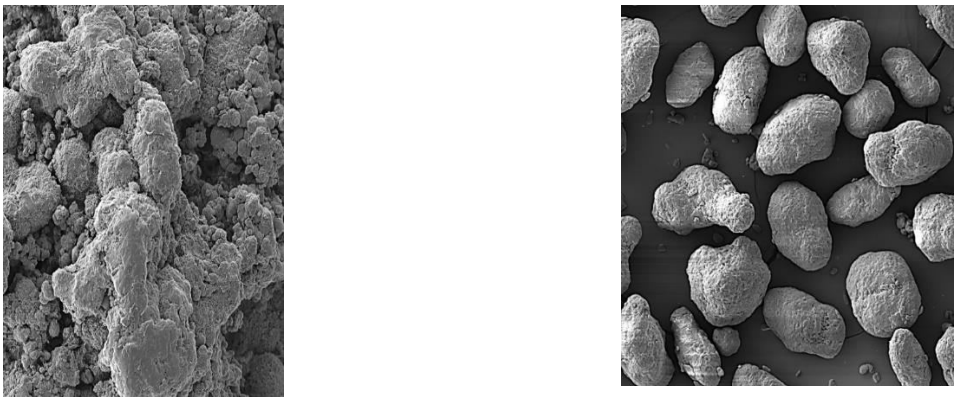
1. Определение прочности при межслоевом сдвиге по ASTM D 2344/D 2344M-16. Данная характеристика является одной из ключевых и позволяет получить информацию о прочности и деформации материала под действием напряжения сдвига.
2. Определение прочности при сжатии по ASTM D 6641/D 6641M-14. Данная характеристика помогает оценить работу и поведение полимерной матрицы в условиях осевых нагрузок. Знание данного показателя позволяет разработать конструкцию минимизируя риск разрушения.

3. Определение остаточной прочности при сжатии после ударного воздействия с удельной энергией 6,67 Дж/мм по ASTM D 7137/D 7137M-17. Любая конструкция при эксплуатации претерпевает механические повреждения (попадание града, камней и т.д), которые могут привести к внутренним расслоениям. Имея значение данной характеристики, можно предположить, как поведет себя материал после ударного воздействия, что критично для дальнейшего использования и безопасности.

4. Определение скорости высвобождения упругой энергии (по моде I) по ASTM D 5528/ D 5528M- 21. Данная характеристика помогает оценить поведение распространяющийся трещины под нагрузкой. Это помогает определить предельное состояние для материала и оценить их реакцию на динамические воздействия, такие как удары и вибрации.

Анализируя научно-техническую литературу и используя опыт, накопленный в институте, для повышения ударной стойкости при изготовлении расплава эпоксидной матрицы вводился нерастворимый термопластичный дисперсный наполнитель, в качестве которого был выбран полиамид. Термопластичная порошковая полимерная композиция на основе полиамида, благодаря распределению в межслоевом пространстве слоистого композиционного материала, создаёт препятствие на пути распространения трещины, возникающих при усталостных или ударных воздействиях. Распределение в межслоевом пространстве может приводить к увеличению как остаточной прочности при сжатии после ударного воздействия, так и к увеличению скорости высвобождения упругой энергии [4-6].

В работе использовались термопластичная порошковая полимерная композиция на основе полиамида импортного производства и отечественный аналог, разработанный НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ. Плотность импортной и отечественной порошковой композиции составляла 0,85 г/см^3. Несмотря на идентичную природу данные наполнители различны по своей структуре (рисунок 1).



а *б*

а - отечественный полиамид; *б* - импортный полиамид

Рисунок 1. Микроструктура агрегатов частиц полиамида с разрешением х1000

На рисунке 1, *б* представлен полиамид импортного производства. Частицы имеют шероховатую поверхность и неправильную форму. Средний размер частиц составлял 56 мкм. На рисунке 1, *а* представлен полиамид, разработанный в НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ. Частицы образуют крупные агрегаты и обладают развитой структурой. Средний размер частиц композиции составлял 30 мкм.

Для определения количественного значения доли наполнения расплава эпоксидной матрицы вводили нерастворимый термопластичный дисперсный наполнитель импортного производства в количестве 6, 7 и 8 % масс.

Установлено, что при введении от 6 до 7% масс. нерастворимого дисперсного наполнителя значение остаточной прочности при сжатии после воздействия удара возрастает до 10% относительно исходного состава (рисунок 2).

Рисунок 2. Зависимость значения остаточной прочности при сжатии после ударного воздействия от количества нерастворимого дисперсного термопластичного наполнителя

Также, при введении от 6 до 7% масс. нерастворимого дисперсного наполнителя увеличивается значение скорости высвобождения упругой энергии в 2 раза. Однако, при введении нерастворимого дисперсного термопластичного наполнителя более 7% масс межслоевая прочность начинает снижаться (рисунок 3).

Рисунок 3. Зависимость значения прочности при межслоевом сдвиге от количества нерастворимого дисперсного термопластичного наполнителя

Исходя из представленных данных, выбрано оптимальное количество нерастворимого дисперсного термопластичного наполнителя, при котором остаточная прочность при сжатии после удара повышается, а межслоевая прочность остается на исходном уровне.

После определения оптимального состава для композиции были проведены исследования с применением отечественного полиамида производства НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ. Установлено, что значение остаточной прочности после ударенного воздействия увеличивается на 5 % (рисунок 4), межслоевая прочность и скорость высвобождения упругой энергии остаются на исходном уровне относительно композиции с импортным полиамидом. Такое увеличение может быть связано с развитой структурой отечественного нерастворимого дисперсного наполнителя.

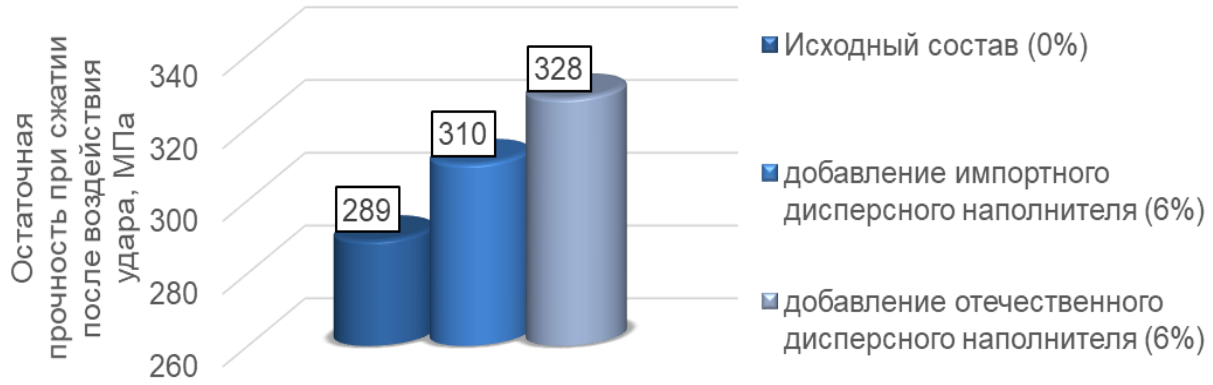


Рисунок 4. Значение остаточной прочности при сжатии после ударного воздействия при добавлении разного нерастворимого дисперсного наполнителя и без него

Основываясь на полученных результатах, можно сделать следующие выводы: оптимальное количество нерастворимых термопластичных дисперсных наполнителей, введенных в расплав эпоксидной матрицы, составляет 6 % массовых. Несмотря на идентичную природу импортного и отечественного полиамида, вероятнее всего из-за развитой структуры порошковой композиции термопластичного дисперсного наполнителя отечественного производства, получаемые значения исследуемых углепластиков - изменяются: показатели остаточной прочности после ударного воздействия и скорость высвобождения упругой энергии увеличивается, а межслоевая прочность остается на исходном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Костенко А.В., Ефимов И.Н.* Полимеры и композиты: свойства и применение М.: Наука. 2020.

2. *Смирнов П.А., Баранов В.Г.* Углеродные композиты: материалы и технологии. СПб.: Политехника, 2019.

3. *Иванов С.И.* Изменение механических свойств эпоксидных смол с добавлением наполнителей. Журнал полимеров, 2021.

4. *Старцев В.О., Антипов В.В., Славин А.В., Горбовец М.А.* Современные отечественные полимерные композиционные материалы для авиастроения (обзор) //Авиационные материалы и технологии: электрон. науч.-технич. журн., 2023. №2. Ст. 10. URL: http://www.journal.viam.ru (дата обращения 15.06.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-2-122-144.

5. *Железина Г.Ф., Соловьева Н.А., Кулагина Г.С., Шульдешова П.М.* Исследование возможности повышения стойкости к удару тонколистовых углепластиков за счет плакирования арамидным органопластиком//Авиационные материалы и технологии: электрон. науч.-технич. журн., 2021. №4. Ст. 04. URL: http://www.journal.viam.ru (дата обращения 11.07.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-35-42.

6. *Гуняева А.Г., Курносов А.О., Славин А.В.* Опыт применения полимерных композиционных материалов разработки НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в двигательных установках для самолетов гражданского назначения //Авиационные материалы и технологии: электрон. науч.-технич. журн., 2024. №4. Ст. 06. URL: http://www.journal.viam.ru (дата обращения 17.06.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-4-82-94.

THE EFFECT OF INSOLUBLE THERMOPLASTIC PARTICLES IN THE POLYMER MATRIX ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF CARBON FIBER

Vasilchuk E.A., Klimenko O.N., Tkachuk A.I.

Supervisor: Gulyaev I.N., Candidate of Engineering Sciences

(National Research Center "Kurchatov Institute"-VIAM, Moscow)

Abstract. This study is devoted to the study of the influence of insoluble thermoplastic dispersed fillers on the strength characteristics of carbon fiber, such as residual compressive strength after impact, interlayer strength and crack resistance. This paper also presents the results of studies of the influence of the amount of this dispersed filler and a comparison of imported and domestic insoluble thermoplastic dispersed filler.

УДК 629.78+691.175.3

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ТЕРМОПЛАСТИЧНОЙ МАТРИЦЕЙ В РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Газимов А.А.

Научный руководитель: Людоговский П.Л., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Применение термопластичных полимерных композиционных материалов (ТПКМ) в рамных конструкциях космических аппаратов позволяет снизить массу и повысить срок службы конструкций. В рамках программы NASA TDEA ведётся разработка технологии сварки (ультразвуковой, индукционной, резистивной) композитных конструкций, таких как ферменные элементы и фитинги, обеспечивающих прочные монолитные соединения без болтов и клея, а полученные ТПКМ-решения демонстрируют соответствие требованиям прочности и массовой эффективности.

Применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) с термопластичной матрицей в конструкциях космических аппаратов (КА) обусловлено стремлением снизить массу и повысить долговечность конструкций. Уже в первой половине 1970-х гг. в аэрокосмической технике начали использовать углеродные композиции: например, в 1974 г. для спутника связи ATS-6 фирма Fairchild изготовила углеродную (графит-эпоксидную) пространственную ферму [1], а в 1990 г. два ключевых узла космического телескопа «Хаббл» (труба-метеринг и структура фокальной плоскости) были выполнены из углепластика [2]. Эти примеры относятся к термореактивным (эпоксидным) системам. Термопластичные полимеры, такие как полиэфирэфиркетон PEEK, полифениленсульфид PPS, полиэфиримид PEI, обладают рядом преимуществ: их можно переплавлять и сваривать, отсутствует необходимость длительного отверждения, повышенная ударная вязкость конструкции. NASA в рамках программы TDEA активно исследует термопластичные композиты для крупногабаритных космических конструкций и развитых технологий сварки для них [3].

Современные рамные конструкции КА часто выполняют в виде пространственных ферм из труб. Круглая труба – привычный элемент фермы благодаря своей геометрической однородности и способности воспринимать нагрузки в любом направлении перпендикулярно оси. ПКМ позволяют значительно уменьшить массу рамы при сохранении прочности: ожидается, что массовая экономия может достигать десятков процентов по сравнению с металлическими аналогами. Это особенно важно для космических аппаратов, где каждый лишний килограмм увеличивает расход топлива и стоимость запуска. При этом композитные фермы обладают высокой термостойкостью и химической стойкостью, не подвержены коррозии и обеспечивают долгий срок службы.

К термопластичным ПКМ относят системы, где связующим служит термопласт (например, PEEK, PPS, поливинилиденфторид PVDF, полиамиды, карбонизованный полиимид и др.), армированные волокнами (обычно углеродными или стеклянными). Поскольку термопласты перерабатываются при нагреве, изделия на их основе могут переплавляться и, при необходимости, восстанавливаться. Ключевым преимуществом таких систем является возможность сварки их элементов без дополнительного склеивания.

Технологии компаундирования и формования ТПКМ развиваются: в авиации и космосе перспективны непрерывные волокна, пропитанные горячим термопластом (например, технология автоматизированной укладки ленты ATL). При использовании ТПКМ отсутствует проблема старения препрега вследствие фиксации годности заранее изготовленных заготовок, а процессы отверждения в изделии протекают очень быстро – материал «готов» сразу после охлаждения.

Материалы PEEK и PPS особенно распространены, так как имеют высокие прочностные характеристики и жесткость, а также достаточно высокие температуры плавления. Специальные добавки (другие полимеры, наноматериалы) позволяют оптимизировать вязкость расплава и адгезию между слоями. С учётом требований космической техники при низкой температуре эксплуатации, вакууме, радиации в изделиях подбирают легкие волокна, такие как углерод, арамид и термостабильные связующие. Например, в проекте TDEA рассматриваются термопластичные композиты на основе PPS и PEEK [3]. Важным качеством является малая склонность к выделению газов, что во многом зависит от чистоты и плотности материала.

С точки зрения прочности и надёжности, термопластичные композиты показывают схожие или лучшие характеристики по сравнению с термореактивными: они выдерживают большие удлинения при разрыве (высокая вязкость разрушения) и обладают высокой сопротивляемостью ударам. Одновременно, они значительно легче стали и алюминия. Например, композитные фитинги широко применяются как легкие и прочные компоненты: по сравнению с металлическими они демонстрируют существенно меньшую массу при более высоком уровне прочности и коррозионной стойкости. Аналогично, применение ПКМ в рамах позволяет «снизить вес конструкции, эксплуатационные расходы и расход топлива» космического аппарата.

В космических фермах и рамах обычно применяются трубы, а их круглое сечение обеспечивает инвариантность прочности при повороте вокруг оси и лёгкость обрамления при изготовлении (например, путём намотки или пултрузии). Трубы могут быть многослойными: тонкая полимерная стенка армируется наружной и внутренней сеткой или уложенным ленточным препрегом. После формообразования структура герметична и воспринимает в основном осевые и изгибающие нагрузки.

Основная сложность при сборке указанных систем – соединение труб в узлах. В традиционных металлических конструкциях стальные трубные фермы свариваются или стыкуются через накладки и болтовые соединения. В композитных ферменных конструкциях подобные методы не всегда применимы: сварка неприемлема для органопластиков (требует непрерывного расплава матрицы), а болты или заклёпки разрушают волокна и увеличивают концентрацию напряжений. Поэтому для ПКМ ищут особые фитинги – трёхмерные узловые элементы, передающие нагрузки от одной трубы к другим.

Термопластичные фитинги могут выполняться из того же или совместимого материала, что и трубы. Существуют методы изготовления узловых фитингов из композитов: намотка (winding) на оправке, вязка (braiding) волокон вокруг шаблона, плетение (3D weaving), способ формования при высокой температуре и давлении, а также сборно-склеиваемые конструкции. На практике в конструкциях ферм часто используют прецизионно изготовленные узлы («коннекторы»). Например, NASA разработало композитные шаровые соединители для тросовых систем, позволяющие соединять несколько труб под разными углами, минимизируя концентрацию напряжений [3]. Эти соединители выполнены из композита с непрерывным волокном через узел, что повышает прочность и устраняет необходимость в металлических болтах. Системы DragonPlate (комплектные алюминиевые втулки) также позволяют быстро собирать каркасы из углепластиковых труб, хотя они опираются на клеевые стыки трубы с металлом [4].

Большинство современных фитингов проектируется для соединения труб круглого сечения. Это связано с технологией намотки и плетения композита, а также с тем, что рамы КА традиционно собираются из труб одинакового диаметра. Следует отметить, что

трубопроводные фитинги (T- и Y-образные отводы, муфты и т.п.), применяемые в промышленности для магистралей, не подходят для рамных конструкций, так как их конструкции предназначены для восприятия внутреннего давления и герметичности, тогда как в пространственной ферме основной нагрузкой является продольное растяжение, сжатие и изгиб без внутреннего давления.

В настоящее время разрабатываются специальные усиленные узлы с направленным расположением волокон по каждой трубе (например, методом локальной нашивки лентой препрега). Одновременно многие из коммерческих плетеных или намотанных фитингов (Murata/Muratec, Ori Polytec и др.) изготавливаются по схожим методам: например, трехлучевой узел наматывают на оправке по каждой оси. Главной задачей является обеспечение высокой точности положения отверстий для труб и равномерного натяга материалов, что влияет на повторяемость свойств фитинга.

При индукционной сварке детали нагреваются за счёт вихревых токов, индуцированных переменным магнитным полем. Обычно в шов вводят металлическую проволоку или фольгу, которая быстро разогревается и плавит полимер вокруг. Индукция особенно эффективна для длинных сварных швов и относительно больших плоских поверхностей: она обеспечивает равномерный нагрев по длине и может включаться локально. Недостаток – нужна электропроводящая вставка и высокий первичный капитал оборудования. Как отмечено, «индукционная сварка особенно эффективна для сплошных швов на больших, плоских или умеренно изогнутых поверхностях CFRP, обеспечивая быстрое и равномерное нагревание» [5].

При ультразвуковой сварке соединяемые поверхности подвергаются давлению и высоким частотным механическим колебаниям (обычно 20–40 кГц). Трение расплавляет термопласт в зоне контакта. УЗ-сварка очень быстродействующая и хорошо подходит для коротких швов и небольших деталей. Минус – в традиционном виде она ограничена точечными или стыковыми соединениями, а работа с большими деталями требует значительной мощности и спецоборудования. Однако исследования в Технологическом университете Делфта показали, что можно вести непрерывную ультразвуковую сварку, что откроет возможность «длинных, непрерывных швов, пригодных для крупных структур» [6].

В соответствии с методом резистивной сварки между свариваемыми деталями помещается резистор (например, тонкая металлическая сетка, нить или плёнка). При подаче тока этот элемент нагревается по закону Джоуля–Ленца, плавит прилегающий термопласт, после чего детали сжимаются. Плюсы резистивной сварки – точечный локальный нагрев, высокий уровень контроля температуры и давления, возможность сваривания деталей разной толщины. Установлено, что этот метод позволяет получить прочный шов, пригодный для серийного производства: он был применён, например, при создании задней перегородки фюзеляжа самолёта Airbus A320, где требовались длинные непрерывные сварные швы [7]. Также отмечается, что резистивная сварка потребляет меньше электроэнергии, чем индукционная или ультразвуковая. Главный недостаток – оставшийся в шве металлический элемент (его придется учитывать при анализе тепловых деформаций), а также необходимость точного управления профилем нагрева (температурные резкие перепады могут повредить полимер). Тем не менее, благодаря возможности интеграции с автоматизированными линиями резистивная сварка считается наиболее перспективной для крупных композитных конструкций.

Преимущества и недостатки перечисленных методов представлена в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение преимуществ и недостатков методов сварки ТПКМ

Метод	Механизм нагрева	Преимущества	Недостатки
Индукционная	Нагрев за счёт вихревых токов в зоне смыкания свариваемых деталей	Быстрый, равномерный нагрев вдоль шва; подходит для длинных швов и плоских поверхностей	Требует металлической вставки; высокая стоимость оборудования
Ультразвуковая	Высокочастотные механические колебания	Очень быстрое соединение, без клея; хорошо подходит для малых деталей; не требуется дорогих присадок	Традиционно ограничена короткими швами/ точками; крупный узел и мощный генератор
Резистивная	Нагрев за счет сопротивления электрического проводника	Прецизионный нагрев, адаптивный к разной толщине; высокая прочность шва; низкое энергопотребление	Остаётся металлический элемент в шве; нужен точный контроль температуры-давления; сложнее при толстых слоях

Все перечисленные методы сварки требуют фрезерованных канавок или специальных вкладышей на торцах труб для оптимального распределения плавления полимера под давлением. Часто перед сваркой поверхности шлифуют, прогревают или заливают полимолекулярной плёнкой-адгезивом (например, PPS-плёнкой), чтобы обеспечить плотное схватывание при сварке. В аэрокосмических проектах (например, при изготовлении мотогондолы и обечаек двигателей) уже реализуются комплекты оборудования для индукционной и ультразвуковой сварки термопластов.

Кроме того, возможны и другие методы сварки: лазерное нагревание и кондуктивное (теплопроводное) сваривание, трение и т.д. Однако в современных технологиях активно отрабатывается сочетание индукции, ультразвука и резистивной сварки, поскольку эти технологии уже показали «значительный потенциал» для термопластов. Отметим, что традиционные адгезивные соединения (например, эпоксидный клей) в контексте больших рам уступают сварке по скорости сборки и возможности удешевления производства, особенно если речь идёт о серийных или крупногабаритных изделиях.

Полимерные композиционные материалы с термопластичной матрицей представляют собой перспективу для производства облегчённых и высокопрочных рамных конструкций космической техники. Их применение позволяет комбинировать малый вес и высокую структурную эффективность: композитные фермы превосходят по жесткости/массе цельные трубчатые металлические конструкции. Так, разрабатываются технологические фитинги, где волокна непрерывно проходят через узел, и сварные фитинги, позволяющие спаять трубы в узле прямо в сборке. Подобные подходы уже используются в проектах NASA (например, для опорных балок Телескопа Нэнси Грейс Роман) [8]. Хотя технологии еще дорабатываются, опыт показывает, что сварные соединения ТПКМ могут обеспечить требуемую прочность и снижение массы спутниковых рам.

Таким образом, сочетание новых композитных узлов и высокотемпературной сварки открывает перспективы для создания действительно «модульных» и высокопроизводительных космических ферм, что делает разработки в этой области актуальными и перспективными для научных публикаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. NASA NSSDCA. Spacecraft - Details [Электронный ресурс] / NASA. – [2025]. – URL: https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1974-039A (дата обращения: 06.07.2025).
2. Multi-Link Spherical Joint (MSC-TOPS-109). Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA). – Режим доступа: https://technology.nasa.gov/patent/MSC-TOPS-109 (дата обращения: 07.07.2025)
3. NASA TechPort. Project Data [Электронный ресурс] / NASA. – [2025]. – URL: https://techport.nasa.gov/view/146995 (дата обращения: 06.07.2025).
4. DragonPlate. Engineered Carbon Fiber Composite Sheets, Tubes and Structural Components [Электронный ресурс] / DragonPlate. – [2025]. – URL: https://dragonplate.com/ (дата обращения: 06.07.2025).
5. Welding thermoplastic composites [Электронный ресурс] / CompositesWorld. – 2018. – URL: https://www.compositesworld.com/articles/welding-thermoplastic-composites (дата обращения: 06.07.2025).
6. *Jongbloed B.C.P., Teuwen J.J.E., Palardy G., Villegas I.F.* Continuous ultrasonic welding of thermoplastic composites: Enhancing the weld uniformity by changing the energy director [Электронный ресурс] / TU Delft. – 2019. – URL: https://research.tudelft.nl/en/publications/continuous-ultrasonic-welding-of-thermoplastic-composites-an-expe (дата обращения: 06.07.2025).
7. Premium AEROTEC displays thermoplastic CFRP pressure bulkhead [Электронный ресурс] / CompositesWorld. – 2019. – URL: https://www.compositesworld.com/news/premium-aerotec-displays-thermoplastic-cfrp-pressure-bulkhead (дата обращения: 06.07.2025).
8. Roman - NASA Science [Электронный ресурс] / NASA. – [2025]. – URL: https://science.nasa.gov/mission/roman-space-telescope/ (дата обращения: 06.07.2025).

POLYMER COMPOSITE MATERIALS WITH THERMOPLASTIC MATRIX IN SPACE FRAMES

Gazimov A.A.

Supervisor: Lyudogovskiy P.L., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan*)

Abstract. The use of thermoplastic polymer composites (TPCs) in spacecraft framework enables mass reduction and prolonged structural lifespan. Within NASA's TDEA program, advanced welding techniques – ultrasonic, induction and resistance bonding – are being developed for large composite assemblies, including tubular truss members and connector nodes, delivering robust monolithic joints without fasteners or adhesives. The resulting TPC systems meet the mechanical strength and mass-efficiency demands of space applications.

УДК 620.22:620.17

СНИЖЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТВЕРЖДЕНИЯ ФТАЛОНИТРИЛ-БЕНЗОКСАЗИНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Гресь А.Е., Никитин В.С.

Научный руководитель: Амирова Л.М., профессор, д. х. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В рамках данного исследования разработана фталонитрил-бензоксазиновая композиция с пониженной температурой отверждения, которая была достигнута за счет подбора оптимальной концентрации бензоксазина. Проведено изучение воздействия различных катализаторов на процесс отверждения бензоксазина с последующим выбором наиболее эффективного.

Среди современных термореактивных связующих особый интерес представляют бензоксазиновые и фталонитрильные смолы, демонстрирующие уникальный комплекс эксплуатационных характеристик. Эти материалы сочетают исключительную термостабильность, огнестойкость, минимальную полимеризационную усадку и высокую химическую устойчивость. Благодаря указанным свойствам они нашли широкое применение в таких отраслях, как авиакосмическая промышленность, кораблестроение и производство электронных компонентов [1].

Несмотря на выдающиеся характеристики, практическое использование этих полимеров ограничивается технологическими сложностями, связанными с необходимостью высокотемпературного отверждения. Особенно остро эта проблема проявляется для фталонитрильных систем, требующих дополнительно значительных временных затрат на процесс полимеризации. Перспективным решением данной проблемы является создание гибридных композиций, где бензоксазиновые компоненты выступают в качестве технологических модификаторов, существенно улучшающих параметры отверждения фталонитрильных связующих [2].

Ключевой особенностью таких систем является реализация механизма "двойного" отверждения. Двойное отверждение — это метод получения термореактивных материалов путем объединения двух различных и совместимых реакций полимеризации, происходящих последовательно или одновременно. В данном процессе активные промежуточные соединения, образующиеся при термическом раскрытии бензоксазиновых циклов, выступают эффективными инициаторами полимеризации фталонитрильных групп [3]. Важно отметить, что подобная модификация не только оптимизирует технологические параметры отверждения, но и приводит к значительному упрочнению полимерной матрицы, что в конечном итоге существенно улучшает механические характеристики получаемых композиционных материалов [4].

Бензоксазиновые смолы представляют собой перспективный класс термореактивных мономеров, что обусловлено их характеристиками. Благодаря неплохой теплостойкости и низкой горючести, эти материалы являются идеальными кандидатами для создания композиционных материалов, используемых в экстремальных условиях. Особый интерес они представляют для аэрокосмической и автомобильной промышленности, где требования к термостабильности и пожаробезопасности материалов особенно высоки.

Однако ключевым ограничением широкого применения бензоксазиновых связующих является необходимость высокотемпературного отверждения. Этот технологический барьер существенно осложняет процесс изготовления композитов и зачастую приводит к ухудшению их конечных эксплуатационных характеристик. В связи с этим разработка методов ускорения полимеризации и снижения температуры отверждения бензоксазиновых смол остается одной из наиболее актуальных задач современного материаловедения.

Проведенные исследования [5] показали, что предварительная полимеризация бензоксазиновых мономеров не дает значимого эффекта в снижении температуры отверждения. Это обстоятельство стимулировало поиск альтернативных подходов к решению данной проблемы, среди которых наиболее перспективным представляется каталитический метод.

Особое внимание исследователей привлекают органические кислоты в качестве катализаторов процесса полимеризации. Среди многообразия изученных соединений галловая кислота (3,4,5-тригидроксибензойная кислота) продемонстрировала исключительную каталитическую активность [6]. Ее применение позволяет снизить температуру отверждения бензоксазинов до 130°C, что существенно расширяет технологические возможности применения этих материалов. Механизм действия галловой кислоты связан с ее способностью эффективно инициировать процесс раскрытия бензоксазинового цикла, обеспечивая при этом высокую степень конверсии при относительно низких температурах.

Перспективность данного подхода подтверждается не только значительным снижением температуры полимеризации, но и сохранением всех ключевых эксплуатационных

характеристик получаемых материалов. Это открывает новые возможности для создания композитов с улучшенными механическими свойствами и повышенной термостабильностью, а также позволяет значительно ускорить процесс отверждения фталонитрила.

Исследования проводились с использованием фталонитрильного связующего ФНИ350 производства ИТЕКМА (Москва) и бензоксазиновой смолы ВА-а, синтезированной из бисфенола А и анилина (БФАА). В работе применяли различные органические кислоты в качестве катализаторов. Для приготовления порошкообразных композиций исходные смолы подвергались измельчению, затем смешивались с катализаторами в заданных соотношениях и сплавлялись при повышенной температуре. После охлаждения полученные образцы повторно измельчали для достижения однородной порошковой структуры.

Процесс отверждения фталонитрил-бензоксазиновых композиций и подбор лучшего катализатора для ускорения отверждения бензоксазина исследовали методом ДСК с помощью дифференциального сканирующего калориметра теплового потока DSC Phoenix 204 F1 (Netzsch). Исследования на ДСК проводились при трех скоростях нагрева 2,5; 5 и 10°С/мин. Кинетический анализ проводился на основе данных ДСК с применением программного обеспечения Thermokinetics 3 (Netzsch, Germany).

Проведенные исследования позволили подтвердить значительное влияние бензоксазина на характеристики процесса отверждения фталонитрильной смолы. Анализ результатов дифференциальной сканирующей калориметрии показал, что введение бензоксазинового компонента приводит к выраженному снижению температуры отверждения фталонитрила. Состав с равной концентрацией фталонитрила и бензоксазина показывает максимальный сдвиг параметров отверждения в низкотемпературную область.

Для дополнительного снижения температуры отверждения фталонитрильного связующего без ухудшения его эксплуатационных характеристик был применен каталитический подход, основанный на ускорении отверждения бензоксазинового компонента органическими кислотами. В ходе исследования было изучено влияние различных кислот в концентрации 1% на температурные параметры отверждения бензоксазина.

Экспериментальные данные подтвердили гипотезу о значительном каталитическом эффекте - все изученные кислотные катализаторы сдвигали температуры начала и максимума экзотермы отверждения в низкотемпературную область. Наибольшую активность проявила 2,5-дигидроксибензойная кислота, обеспечившая снижение температуры начала отверждения бензоксазина на несколько десятков градусов. Этот результат свидетельствует о перспективности применения данного катализатора для оптимизации процесса отверждения фталонитрил-бензоксазиновых композиций.

Проведено исследование по определению оптимальной концентрации 2,5-дигидроксибензойной кислоты в качестве катализатора. Экспериментальные исследования проводили при трех различных концентрациях катализатора: 1%, 2% и 4%. Анализ полученных данных показал выраженную концентрационную зависимость параметров отверждения. Наблюдается значительное улучшение кинетических характеристик процесса при увеличении содержания катализатора от 1% до 2%, тогда как дальнейшее повышение концентрации до 4% не приводит к существенному изменению параметров отверждения.

Кинетические расчеты, выполненные с использованием программного обеспечения Thermokinetics 3 (Netzsch, Germany) на основе двухстадийной модели, подтвердили наличие оптимальной концентрации катализатора. Анализ значений энергии активации показал, что реакционная способность бензоксазина возрастает с увеличением содержания катализатора до 2%, достигая при этом концентрационного предела эффективности. Данный результат свидетельствует о том, что 2% содержание 2,5-дигидроксибензойной кислоты является оптимальным для данной каталитической системы.

Добавление катализатора в виде 2,5-дигидроксибензойной кислоты в концентрации 2% во фталонитрил-бензоксазиновую композицию привело к значительному улучшению её параметров отверждения. В результате введения данного катализатора было достигнуто

существенное снижение температуры, при которой происходит процесс отверждения, что делает систему более энергоэффективной и удобной в применении.

Кроме того, присутствие 2,5-дигидроксибензойной кислоты в указанной концентрации способствовало заметному ускорению кинетики отверждения. Это означает, что время, необходимое для полного завершения процесса, сократилось, что повышает производительность при использовании данной композиции в промышленных или лабораторных условиях. Таким образом, модификация состава катализатором не только оптимизирует температурные параметры, но и значительно улучшает скорость формирования полимерной структуры.

Исследования показали, что бензоксазин эффективно ускоряет отверждение фталонитрильных смол. Подобрана концентрация фталонитрила и бензоксазина, при которой максимально улучшаются параметры отверждения данной смеси. Использование кислотных катализаторов не только ускоряют процесс отверждения бензоксазина, но и позволяют уменьшить его количество во фталонитрил-бензоксазиновой композиции. Наиболее эффективным оказался катализатор - 2,5-дигидроксибензойная кислота в концентрации 2%. Ее применение позволило значительно снизить температуру отверждения и сократить время полимеризации фталонитрил-бензоксазиновой смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Li X. K. et al.* Progress on the simulation, synthesis, processing and application of high performance thermosetting polybenzoxazine resin and its composites: A review //Progress in Organic Coatings. – 2024. – Т. 192. – С. 108506.

2. *Xu M. et al.* Phthalonitrile-based resin for advanced composite materials: Curing behavior studies //Polymer Testing. – 2016. – Т. 55. – С.38-43.

3. *Li Q. et al.* Multiple catalytic polymerization of phthalonitrile resin bearing benzoxazine moiety: Greatly reduced curing temperature //European Polymer Journal. – 2022. – Т. 180. – С. 111472.

4. *Li Z. et al.* Preparation and characterization of a self-catalyzed fluorinated novolac-phthalonitrile resin //Polymers for Advanced Technologies. – 2018. – Т. 29. – №. 12. – С. 2936-2942.

5. *Zhang S. et al.* How does prepolymerization affect the curing and properties of the thermosetting resins–benzoxazine resin as an example //Progress in Organic Coatings. – 2024. – Т. 189. – С. 108291.

6. *Mydeen K. M. et al.* Studies on catalyst assisted low-temperature curing of benzoxazine //Polymer Engineering Laboratory, – 2024. – Т. 198. – С. 105880.

REDUCTION OF THE CURING TEMPERATURE OF PHTHALONITRILE-BENZOXAZINE COMPOSITIONS

Gres A.E., Nikitin V.S.

Supervisor: Amirova L.M., Full Professor, Doctor of Chemical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Within the framework of this study, a phthalonitrile-benzoxazine composition with a reduced curing temperature was developed, which was achieved by selecting the optimal concentration of benzoxazine. The catalytic effect on the benzoxazine curing process has been studied, followed by the selection of the most effective catalyst.

УДК 621.791.5:539.4

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕМОНТА ПОВРЕЖДЕНИЙ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

Догадкин В.Н.[1], Ракипов Т.И. [2]

Научный руководитель: Митряйкин В.И. [2], профессор, д. т. н.

([1]*Казанский федеральный университет, г. Казань,*
[2] *Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань*)

Аннотация. В работе исследуется влияние локальных повреждений в виде отверстий различных диаметров на критическую осевую нагрузку цилиндрических оболочек из ПКМ. Также проводится оценка эффективности восстановления несущей способности таких оболочек после ремонта с использованием накладок, имитирующих полевой ремонт.

Остаточная прочность конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) после воздействия низкоскоростных ударных нагрузок является одной из приоритетных проблем современного авиастроения. В соответствии с действующими нормативными требованиями по лётной годности, любые повреждения, приводящие к снижению прочности ниже уровня расчётной нагрузки, подлежат обязательному ремонту.

Обеспечение восстановления прочностных характеристик конструкции до уровня 80-95% от расчётного представляет собой сложную инженерную задачу, особенно при выполнении восстановительных работ в полевых условиях или в условиях ограниченного технического ресурса. Для обеспечения надёжности восстановленных участков требуется подтверждение эффективности выбранных ремонтных решений с применением расчётных методов, натурных испытаний и экспериментальных исследований. Разработка ремонтных технологий должна осуществляться параллельно с проектированием конструктивных элементов, с обязательным учётом опыта эксплуатации аналогичных изделий и последующей верификацией на конструктивно-подобных образцах.

Цель работы – определить, как повреждения в виде отверстий различных размеров снижают несущую способность цилиндрических оболочек при действии различных нагрузок и затем оценить влияние ремонта этих повреждений на её восстановление.

Образец для испытаний представляет собой цилиндрическую оболочку, изготовленную методом вакуумно-печного формования путем процесса ручной намотки материала АСМ 102-С130Р на специализированную формообразующую оснастку (рисунок 1).

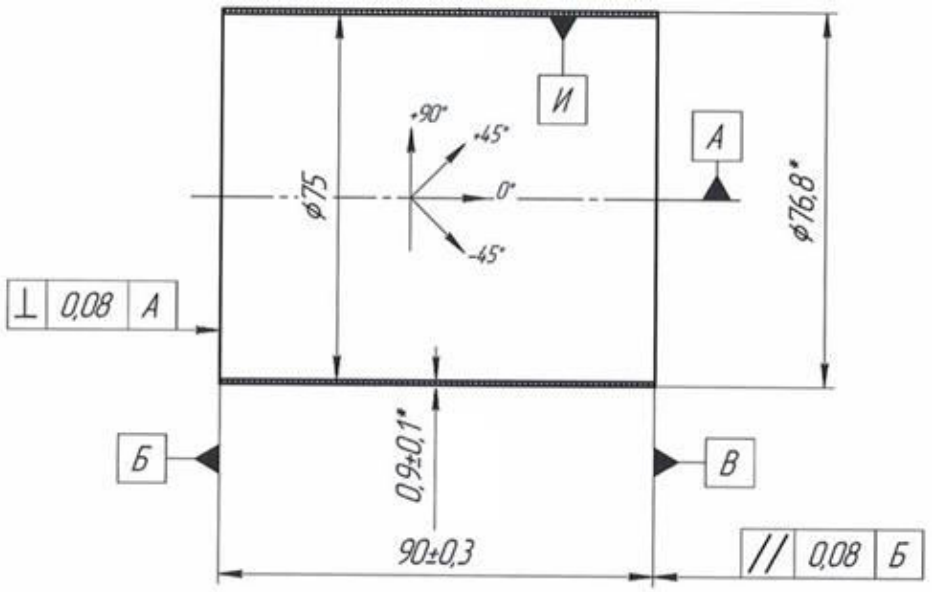


Рисунок 1. Геометрия образца для испытаний

Всего было изготовлено 12 образцов – 3 образца без повреждения и 9 образцов с отверстиями, имитирующими повреждение, диаметром 10 мм, 15 мм и 20 мм соответственно (рисунок 2).

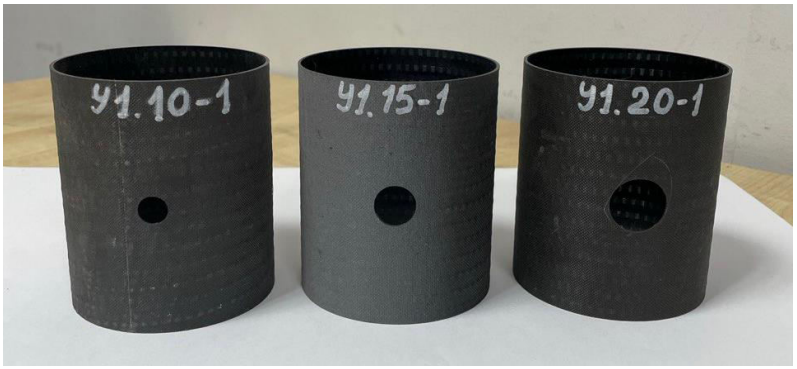


Рисунок 2. Образцы для испытаний с повреждением различного диаметра

Несмотря на наличие значительной базы знаний по теории и особенностям практического применения клеевых составов при ремонтных соединениях типа «композит-композит» [1-8] клеевые соединения при эксплуатации до сих пор применяются достаточно ограниченно. К преимуществам клеевых ремонтов композитными заплатами можно отнести высокую жесткость заплаты в заданном направлении – позволяет применять более тонкие заплаты и ориентировать их только в необходимом направлении действия нагрузки, высокую усталостную долговечность, малый удельный вес материала заплаты, технологичность материалов, позволяющую получать заплаты требуемых размеров и кривизны. [9] По принципу проведения ремонтной операции клеевые ремонты можно разбить на несколько категорий (рисунок 3).

Рисунок 3. Категории клеевых ремонтов

В работе [10] проведено сравнение технологий ремонта с установкой заплат, отформованных в процессе ремонта («мягкая заплата»), и заплат, отвержденных предварительно («жесткая заплата»). Установка мягкой заплаты предполагает поэтапную выкладку в ремонтную каверну слоев композиционного материала поверх клеевого слоя и их одновременное отверждение за одну технологическую операцию. Установка жесткой заплаты требует предварительного отверждения заплаты по форме, соответствующей форме ремонтной каверны в «материнской» конструкции. Оба метода обладают преимуществами и недостатками: мягкую заплату проще произвести и установить, но качество ремонтного соединения может оказаться недостаточным из-за возникновения пустот и непроклеев между слоями, а также из-за трудностей выдерживания заданной ориентации ремонтных слоев при ручной выкладке; жесткая заплата будет иметь более высокое качество межслойного

соединения и минимальную разориентацию слоев, но производство заплаты сложной формы вызывает появление дополнительных технологических операций.

Ступенчатое соединение в ремонтной процедуре будет иметь в основном те же преимущества, что и соединение «на ус», применение ступенчатого соединения имеет своей целью максимально снизить отрывные напряжения в зоне клеевого соединения. Однако, высокая эффективность ступенчатого соединения достигается в тех случаях, когда высота ступени близка к толщине слоя и, таким образом, выполнение такого соединения является довольно трудоемкой операцией [11].

Ремонт внешней усиливающей заплатой характеризуется как процесс установки ремонтной заплаты поверх «материнской» конструкции без удаления дефекта и образования каверны. Несмотря недостатки данной технологии из-за возникновения дополнительного изгибающего момента в соединении, дополнительных температурных напряжений по причине возможной разности в КЛТР материалов конструкции и заплаты, а также появления концентраторов напряжения из-за локального повышения жесткости конструкции, эта технология остается привлекательной за счет простоты своей реализации. В работе [12] приводятся данные по применению внешних ремонтных заплат для ремонта конструкций с использованием пластиков на основе стеклоэпоксидных, бороэпоксидных композиций с установкой заплат на эпоксидные клеевые составы.

Для исследования эффективности восстановления несущей способности поврежденных цилиндрических оболочек был выбран препреговый метод ремонта соединения «на ус», т.к. данный метод ремонта наиболее технологически прост и схож с методом изготовления «материнской» конструкции. Для данного метода был произведен раскрой заплат препрега диаметром, обеспечивающий нахлест в 10 мм от радиуса повреждения. Далее заплата была приформована и заполимеризована на образце согласно технологическому процессу материала образца и заплаты – препрега АСМ 102-С130Р (рисунок 4). Данный материал изготавливают путем пропитки армирующей волоконной основы равномерно распределенными системами полимерных смол. Используемый расплавный метод обеспечивает достижение максимальных физико-химических свойств армирующего материала. Подобная пропитка волокна улучшает качество материала на 30%. Данный материал был взят за основу, т.к. его физико-химические свойства в настоящий момент широко востребованы и имеют большое использование в авиастроении.

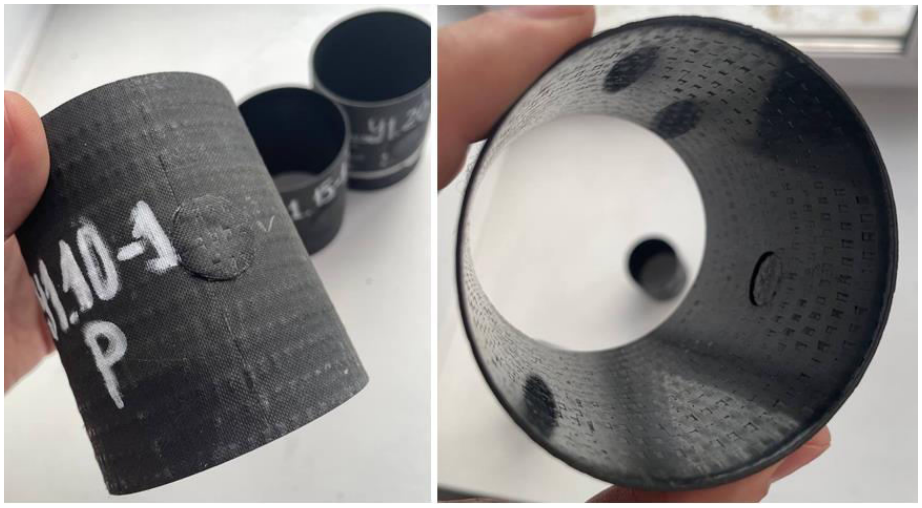
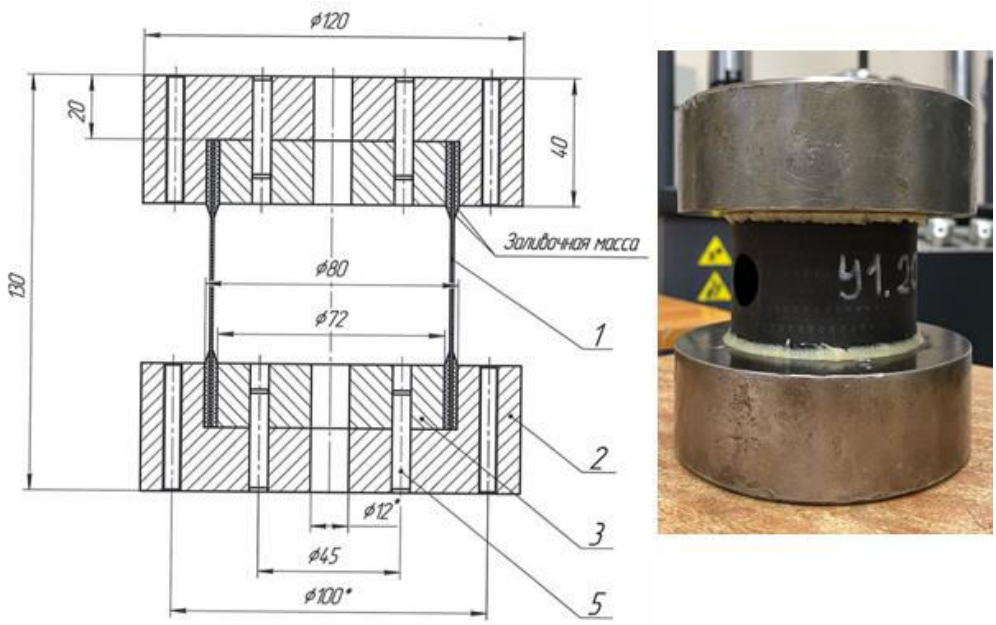


Рисунок 4. Образцы цилиндрических оболочек после ремонта

Испытания на потерю устойчивости проводятся в специализированном приспособлении для испытаний – на установке MTS Land-mark model 370, позволяющей создавать осевую сжимающую нагрузку. Образец фиксируется в приспособлении путем заполнения сплавом Вуда. Сборка приспособления и образца производится в соответствии со

схемой на рисунке 5. Приспособление фиксируется на испытательной машине через шпильки или центрирующим стержнем.



1 - образец, *2* - корпус, *3* - вставка, *5* – шпилька
Рисунок 5. Приспособление для испытаний

Позиционирование и фиксация приспособления для испытаний в испытательной машине должно обеспечивать надежное крепление образцов. Не допускается разрушение образца-свидетеля в месте крепления образца в приспособлении. Допустимая погрешность измерения нагрузок, прилагаемых к испытываемым агрегатам, напряжений и перемещений элементов конструкции составила не более ±2% в точках экстремумов и ±5% при переходах.

Было испытано три серии цилиндрических оболочек из углепластика диаметром *2R* и длины *L*. Первая серия представляла собой неповреждённые конструкции, вторая имела повреждения в виде отверстий круглой формы, которые находились на середине образующей. Третья серия состояла из оболочек, у которых отверстия, имитирующие повреждения, были заклеены круговой заплатой.

Потеря устойчивости происходила внезапно, у оболочек, ослабленных отверстием, при нагружении в районе отверстия происходила локальная потеря устойчивости (рисунок 6).

Рисунок 6. Разрушенный в ходе испытания образец с повреждением диаметром 10 мм с ремонтной заплатой и без

Значение корректирующей функции для оболочки с отверстием определяется по формуле:

$$f(r/R) = P_{kp}/P_{kr}^{0}, \quad (1)$$

где $f(r/R)$ – корректирующая функция, P_{kr}^{0} – осевая критическая сила для оболочки, ослабленной отверстием, P_{kp} – осевая критическая сила для оболочки без отверстия.

По результатам по методу наименьших квадратов получена зависимость:

$$f(r/R) = 0{,}949 \cdot \mathrm{e}^{-1{,}292(r/R)},\ R^2{=}0{,}9702 \quad (2)$$

Оболочки с подкрепляющими накладками несли нагрузку, в среднем, не менее 90% от критической нагрузки оболочек без отверстия, при этом отслаивания накладок не наблюдалось и материал накладки деформировался совместно с материалом оболочки.

Подобным образом были проведены испытания над 12 образцами из углепластика, где 3 образца были без повреждения, а 9 образцов с отверстиями, имитирующими повреждение, диаметром 10 мм, 15 мм и 20 мм соответственно.

В результате обработки результатов, была получена следующая зависимость:

$$P = 81{,}725 \cdot e^{-0{,}021d}, \quad (3)$$

где P – осевая критическая сила для оболочки, d – диаметр отверстия.

Согласно результатам, повреждение диаметром 10 мм сокращает устойчивость к осевой критической силе на 11%, повреждение диаметром 15 мм – на 19%, а 20 мм – на 37%.

Из полученных данных четко выявляется закономерность, согласно которой видно, что по мере увеличения диаметра дефекта максимальная нагрузка, при которой происходит потеря устойчивости, заметно уменьшается, особенно этот эффект проявляется при повреждении диаметром более 15 мм. Препреговый метод ремонта соединения «на ус» не обеспечил должного качества ремонтного соединения и не позволил достичь прочностных характеристик образцов до повреждения (рисунок 7).

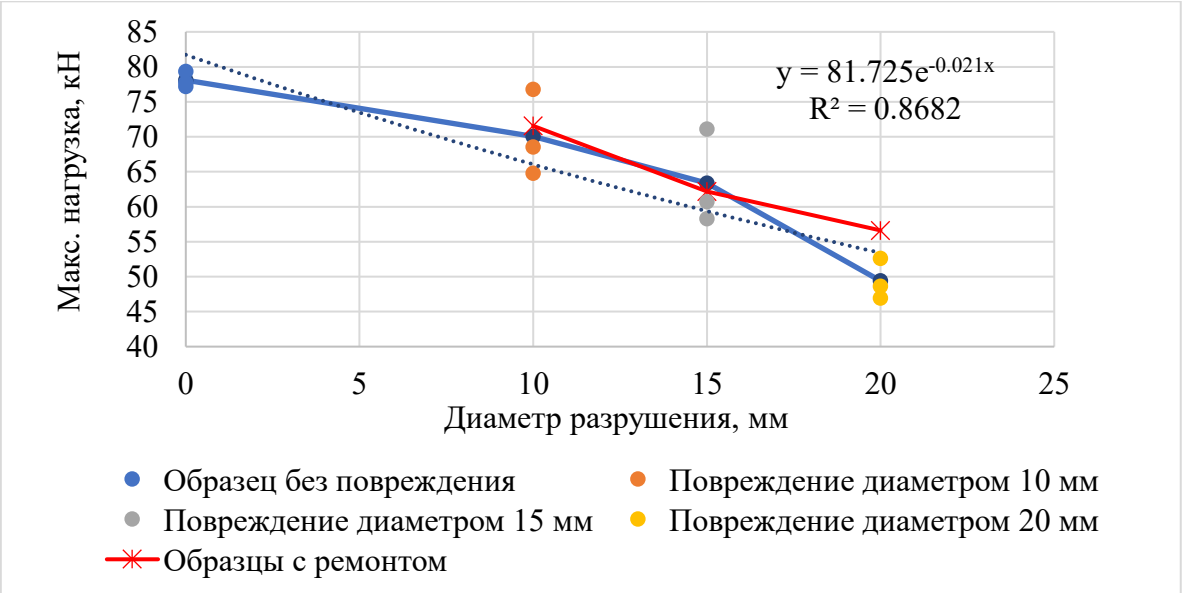


Рисунок 7. Препреговый метод ремонта соединения «на ус»

Низкая максимальная нагрузка, при которой конструкция теряет устойчивость, означает, что конструкция способна выдерживать меньшие внешние воздействия (силы, давление, вибрации и т.д.), прежде чем произойдёт её внезапное и часто катастрофическое разрушение (прогиб, сжатие, расслоение). Фактически это ведёт к снижению запаса прочности, а значит, при эксплуатации конструкция может не выдержать планируемых или случайных пиковых нагрузок. Это создаёт риск аварийной ситуации, выхода из строя важных элементов конструкции.

Следующим этапом изучения поставленной задачи является проведение новой серии испытаний углепластиковых тонкостенных оболочек после ремонта ступенчатым типом.

Дальнейший анализ результатов исследований устойчивости и свойств составных оболочек после ремонта поможет продлить ресурс и увеличить долговечных летательных аппаратов, восстановление которых способствует снижению затрат, поддержанию готовности, непрерывности эксплуатации и повышению безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Артюхин Ю.П. Напряжения в клеевых соединениях [Текст] / Ю.П. Артюхин // Исследования по теории пластин и оболочек. – 1973. – 23-28 с.

2. *Воробей В.В.,* Соединения элементов конструкций из композиционных материалов [Текст] / В.В. Воробей, О.С. Сироткин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 168 с.

3. *Кутьинов В.Ф.* Расчет клеевых соединений [Текст] / В.Ф. Кутьинов Проектирование, расчет и испытания конструкций из композиционных материалов. Руководящие технические материалы. М.: ЦАГИ. – 1979. – Вып. 7. – 14-31 с.

4. *Мельников И.В., Сидоров Д.К.* Устойчивость многослойных композитных оболочек: теория и приложения. – Казань: Казанский государственный университет, 2021. – 295 с.

5. *Петров С.В., Калашникова И.М.* Устойчивость и колебания сложных композитных оболочек. – М.: Издательство МАИ, 2017. – 255 с.

6. *Саченков А.В.* Теоретико-экспериментальный метод исследования устойчивости пластин и оболочек // В сб. Исследования по теории пластин и оболочек. Вып. 6-7. – Казань: Казанский государственный университет, 1970. – С. 391-433.

7. *Семин М.И.* Проектирование клеевых соединений [Текст]: Учеб. пособие для заоч. курсов повышения квалификации инженеров-конструкторов в машиностроении. / М.И.Семин. – М.: Машиностроение, 1982. – 28 с.

8. *Швечков, Е.И.* Анализ напряженно-деформированного состояния клеевого соединения [Текст] / Е.И. Швечков, А.Б. Кудряшов, А.М. Хватан // Проблемы прочности. – 1985. – №9. – 88-92 с.

9. *Baker A.A.* Repair of metallic airframe components using fibre-reinforced polymer (FRP) composites. / Vistasp M. Karbhari (editor). Rehabilitation of Metallic Civil Infrastructure Using Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites. – Woodhead Publishing Limited. 2014. – 11-59 p.

10. *Tomblin J.S., Salah L., Welch J.M., Borgman M.D.* Bonded Repair of Aircraft Composite Sandwich Structures. Report DOT/FAA/AR-03/74, 2004.

11. *Baker A.A.* Bonded composite repair of fatigue-cracked primary aircraft structure // Composite Structures. – 1999. – vol. 47. – 431-443 pp.

12. *Baker A.A.*, Rose L.R.F., Jones R. Advances in the Bonded Composite Repairs of Metallic Aircraft Structure. – Elsevier Ltd. 2002. – 1122 p.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF DAMAGE REPAIR ON THE LOAD-BEARING CAPACITY OF CYLINDRICAL SHELLS

Dogadkin V.N.[1], Rakipov T.I.[2]

Supervisor: Mitryaikin V.I.[2], Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

([1]Kazan Federal University, Kazan,

[2]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper studies the influence of local damage in the form of holes of different diameters on the critical axial load of cylindrical shells made of PCM. It also evaluates the efficiency of restoring the bearing capacity of such shells after repair using overlays simulating field repair.

УДК 677

ТЕХНОЛОГИЯ ВЯЗАНИЯ ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА ИЗ СТЕКЛОВОЛОКНА С ИНТЕГРИРОВАННЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОВОЛОКАМИ

Евдокимов Е.О., Ахмадулин Н.С.

Научный руководитель: Сахбутдинова В.Р., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В исследовании рассматривается технология создания трикотажного полотна из стекловолокна с интегрированными металлическими проволоками. Это придает материалу новые функциональные свойства: электропроводность и защита от электромагнитных помех, обогрев поверхности, усиление механических свойств, радиопрозрачность с управляемыми свойствами, датчики и «умные» структуры.

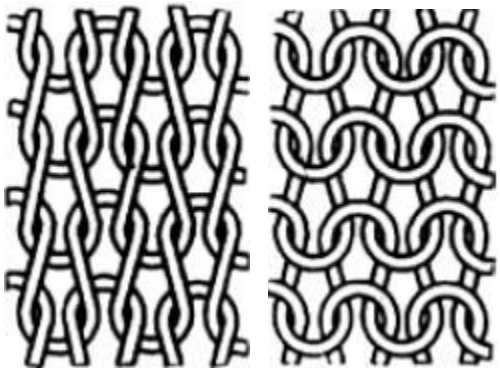
В настоящее время в промышленном производстве изделий широко используются разнообразные виды тканей, которые получили название «технический текстиль». Данные виды материалов имеют специфические характеристики для применения в разных сферах деятельности.

Само определение ткани подразумевает систему взаимно перпендикулярного переплетения нитей основы и утка между собой [1]. Таким образом понятие «трикотаж» нельзя систематизировать, как тканый материал. Трикотажное переплетение представляет собой переплетение петель одной системы нити в перпендикулярном направлении. Такой вид текстиля получил широкое распространение благодаря своим выдающимся свойствам и высокими показателями экономичности, скорости производства по сравнению с тканными материалами.

На современных вязальных машинах (рисунок 1) схема для вывязывания трикотажа вводится в систему CAD автоматизированного проектирования, предназначенной для промышленных вязальных машин. В ходе создания дизайна вводится количество определенных петель и их вид, что выводится на экране в виде схемы. Далее в программе обрабатываются и проверяются все технические программы вязания с помощью создания 2D и 3D имитационной модели ткани [2].

Рисунок 1. Промышленная вязальная машина

Главные переплетения поперечно-вязаного трикотажа: гладь, ластик. На рисунке 2 представлена схема трикотажа кулирная гладь.



а *б*

Рисунок 2. Схема кулирной глади: а- лицевая сторона; б – изнаночная сторона

В одном из патентов в области применения трикотажного армирования для пластиковых изделий (рисунок 3) дается описание трубчатого трикотажного изделия переменного профиля, состоящее из одного трубчатого полотна, выполненное одинарным переплетением кулирная гладь [3]. Такие изделия изготавливают из стеклонити и применяют в качестве многослойного армирующего наполнителя при производстве носовых частей ракет.

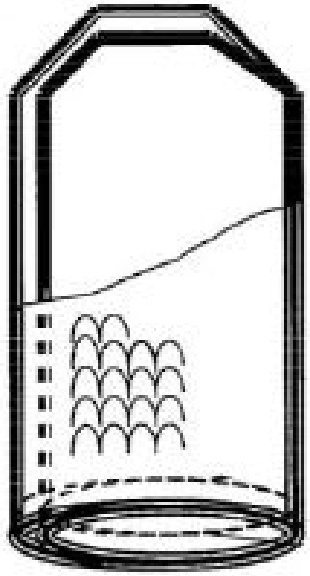


Рисунок 3. Трикотажный армирующий элемент

Интеграция металлических проволок в трикотажное стекловолоконное полотно придает материалу новые функциональные свойства:

- электропроводность и защита от электромагнитных помех;
- обогрев поверхности;
- усиление механических свойств;
- радиопрозрачность с управляемыми свойствами;
- датчики и «умные» структуры.

Для данных работ подойдут стальные, нихромовые и медные проволоки. Диаметр металлической проволоки зависит от класса вязальной машины.

Для указанных целей необходимо подобрать схему прокладывания металлической проволоки. Технология трикотажа позволяет прокладывать нити по данным схемам: горизонтальные и вертикальные параллельные полоски, зигзагообразные, диагональные, волнообразные, точечные расположения и частотно-селективные узоры.

На рисунке 4 представлена схема вязания трикотажного полотна с горизонтальным интегрированием металлической проволоки.

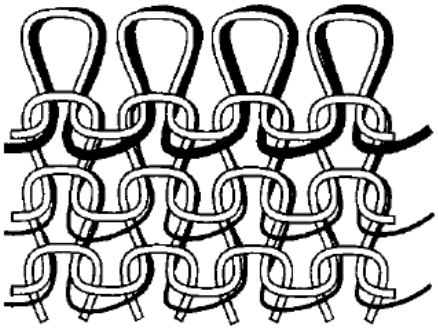


Рисунок 4. Горизонтальное интегрирование металлической проволоки в трикотажное полотно

На рисунке 5 представлено связанное трикотажное полотно из стекловолокна со стальной проволокой.

Рисунок 5. Связанное трикотажное полотно из стекловолокна со стальной проволокой

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета им. А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гуртовник И.Г., Соколов В.И., Трофимов Н.Н., Шалгунов С.Г.* Радиопрозрачные изделия из стеклопластиков. — М.: Мир, 2002. — 368 с.

2. *Диссертация The design of 3d shape knitted preforms Jenny Underwood.*

3. Патент RU 2391450 C1 Шленникова О.А., Зиновьева В.А., Курицын В.Я. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный текстильный университет имени А.Н. Косыгина».

TECHNOLOGY OF KNITTING GLASS FIBER FABRIC WITH INTEGRATED METALLIC WIRES

Evdokimov E.O., Ahmadulin N.S.
Supervisor: Sakhbutdinova V.R., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The research explores the technology of manufacturing fiberglass knitted fabric with integrated metallic wires. This gives the material new functional properties: electrical conductivity and protection from electromagnetic interference, surface heating, strengthening of mechanical properties, radio transparency with controlled properties, sensors and "smart" structures.

УДК 620.22

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПЕНОКАРТОНА ДЛЯ СВЕРХЛЕГКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Иванов Е.Г.
Научный руководитель: Константинов Д.Ю., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье представлены результаты комплексных исследований по разработке и оптимизации конструкционного материала на основе пенокартона для применения в сверхлегких летательных аппаратах. Проведен сравнительный анализ различных составов вспенивающихся композиций, определены оптимальные параметры технологического процесса.

Пенокартон — это композитный материал, состоящий из центрального слоя вспененного полимера, заключенного между двумя тонкими слоями бумаги. Вспененный полимер обычно представлен пенополистиролом или пенополиуретаном, что придает материалу легкость и жесткость.

При использовании в качестве конструкционного материала для изготовления СЛА можно отметить такие физико-механические и технологические качества:

— низкая плотность (30 до 100 кг/м³);
— прочность на изгиб (0.3-0.9 МПа);
— способность к механической обработке;
— способность к склеиванию.

Отрицательными сторонами пенокартона являются:

— горючесть;
— малая влагостойкость;
— низкая стойкость к химическим воздействиям.

При разработке оптимального состава пенокартона для изготовления сверхлегких ЛА необходимо проанализировать готовые вспенивающие составы.

Характеристики Синтерм-2315:

— внутреннее давление до 9 атм;
— плотность синтактного пенопласта от 55 кг/м^3;
— температура вспенивания 140 -150°С [1];

Характеристики состава на основе DU 120:

— плотность пенопласта от 55 кг/м$^{3;}$
— температура вспенивания 120°С.

Данный состав на основе сухой и жидкой фазы, также можно использовать для создания пенокартона методом термокомпресии [2].

Для полного сравнения двух составов были изготовлены образцы и проведены испытания.

Образец №1.

В роли внешнего слоя выступал электроизоляционный картон плотностью 1150 кг/м^3. Эксперимент проводился с использованием вспенивающегося состава на основе микросферы DU-120 (таблица 1).

Таблица 1

Процентное соотношение компонентов

Наименование компонента	Содержание компонента (%)
Микросферы DU 120	45
Высокомолекулярная смола DER-671	35
Эпоксидное связующее Т20-60 комп.А	10
Эпоксидное связующее Т20-60 комп.В	10

Для проведения эксперимента была выбрана алюминиевая герметичная оснастка (рисунок 1), состоящая из основания и крышки, а также сменной рамки, задающей толщину экспериментального образца, в данном случае - 5мм. Нагрев и выдержка осуществлялись в лабораторной печи при t=120°C в течение 40 минут.

Рисунок 1. Технологическая оснастка для изготовления образцов для испытания

В ходе 1-го эксперимента (рисунок 2, *а*) получен образец с ровными плоскостями, что свидетельствует о достаточном вспенивании материала. Толщина и плотность использованного картона оказались чрезмерными для создания авиационных конструкций из-за большой массы картона. Пробный изгиб выявил проблему расслоения внешних слоев картона от пены в связи низкой адгезии картона к пене. Сжимающие напряжение действующие на одной поверхности картона и пены, а растягивающие-на противоположной, вызывают расслоение сэндвич конструкции (рисунок 2, *б*). Пропорции вспенивающегося состава показали оптимальные характеристики плотности, жесткости и гибкости воздействии сжимающих и изгибающих напряжений. В дальнейших экспериментах пропорции состава меняться не будут.

а *б*

Рисунок 2. Образец №1

Образец №2.

Второй эксперимент проводился с использованием электроизоляционного картона предварительно зашлифованного со сторон контакта с пеной. Шлифовка проводилась с целью повышения адгезии и препятствования расслоению пенокартона (рисунок 3). Результатом эксперимента стало незначительное улучшение адгезии пены к картону, при изгибе образца по нанесенным концентратором расслоение было менее выраженным.

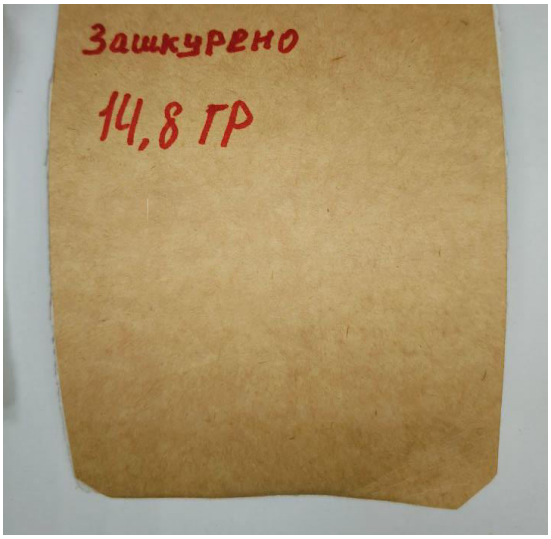


Рисунок 3. Образец №2

Образец №3.

Третий эксперимент проводился с использованием менее плотной (200 г/м^2) относительно предыдущего материала эскизной бумаги (рисунок 4). В результате эксперимента можно сделать вывод что использование крафтовой структуры бумаги более целесообразнее, так как отпадает необходимость в шлифовке поверхности из-за достаточно шероховатой поверхности крафт бумаги. При изгибе образа по концентраторам, имеют место быть расслоения.

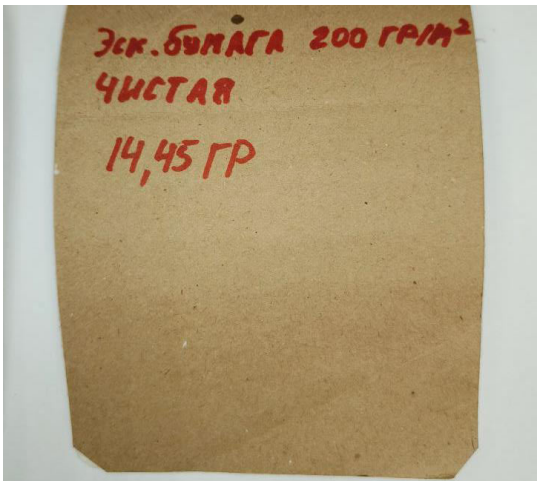
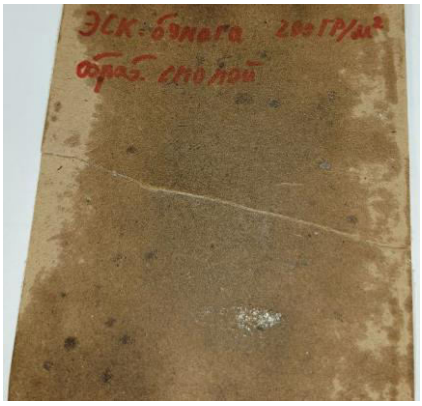


Рисунок 4. Сечение пенокартона

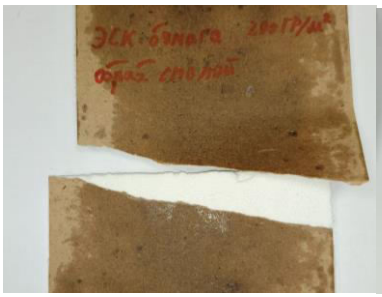
Образец № 4.

В четвёртом эксперименте для повышения адгезии бумаги к пене было применено нанесение тонкого слоя эпоксидного связующего Т20-60 на поверхность бумаги (рисунок 5, *а*). Режим выдерживания в печи и состав пены не менялся. Результатом четвертого эксперимента является достижение отличной адгезии бумаги к пене (рисунок 5, *б*), а также значительное увеличение массы образца и его жесткости, что в свою очередь влечет за собой

то, что материал становиться очень хрупок. При попытке создать концентратор для сгиба, образец лопнул пополам (рисунок 5, *в*).



а

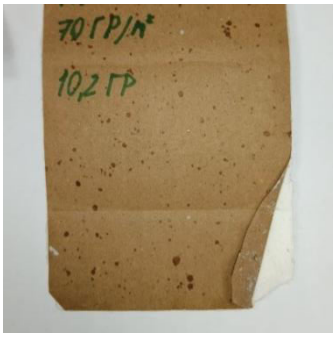


б *в*

Рисунок 5. Образец №4

Образец №5.

В пятом эксперименте была заменена бумага на более тонкую и менее плотную (70 г/м^2) с целью облегчения образца (рисунок 6, *а*). От нанесения связующего на бумагу было решено отказаться. Результатом стало значительное облегчение образца относительно предыдущих экспериментов. Снижение плотности бумаги создало необходимость контролировать усилия при нанесении концентраторов и изгибе материала, чтобы не порвать слой бумаги, что приведет к нарушению целостности сэндвич панели и вызовет ее разрушения (рисунок 6, *б*).



а *б*

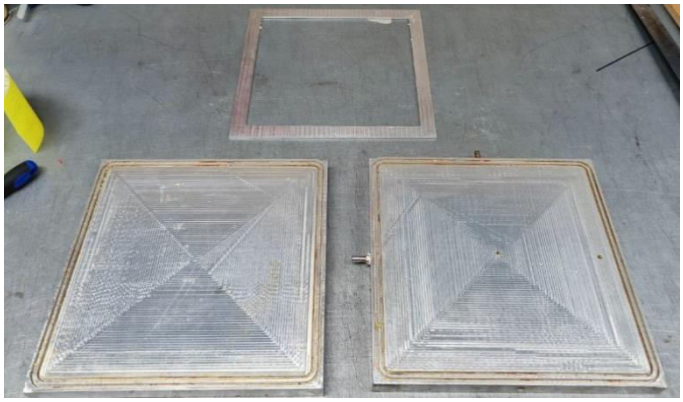
Рисунок 6. Образец №5

Образец №6

В ходе 6-го эксперимента были изменено оборудование и оснастка. Печь была заменена на термопресс, в качестве оснастки использовалась более крупная RTM оснастка со сменной рамкой 4,5 мм для изготовления пластин (рисунок 7, *а*).

Так же, для повышения адгезии слоя бумаги к пене был использован клей-спрей фирмы 3M. Клей спрей был нанесен лишь на один слой бумаги для наглядности сравнения результата с клеем и без.

Результатом эксперимента стало значительное увеличение адгезии к пене со стороны клей спрея. Готовый образец имеет недостаточно ровную поверхность, вспенивание состава прошло неравномерно (рисунок 7, *б*).



а

б

Рисунок 7. Образец №6

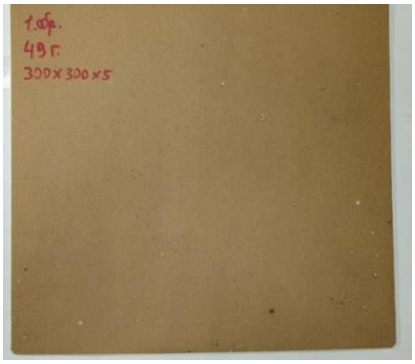
Образец №7.

Следующий эксперимент заключался в изменении режима выдержки состава под прессом при температуре 120°С, время выдержки составило 7-8 минут с последующим охлаждением до 50 градусов в течении 20 минут. Так же было нанесен клей-спрей на обе поверхности. В результате был получен образец, на поверхности которого остались некоторые неравномерности и рытвины (рисунок 8). Это связано с недостаточно качественным промешиванием подготавливаемого состава и некоторой потерей его на стенках тары в процессе перемешивания компонентов. Адгезия бумаги к пене достаточная для того, чтобы сгибать по концентраторам заготовку и не получать расслоений.

Рисунок 8. Образец №7

Образец №8.

Восьмой эксперимент проводился с заложенным упреждением на потерю в таре в 10% к прошлому объему вспенивающегося состава. Так же состав при перемешивании был разбит на две тары для более равномерного перемешивания. Результатом стала гладкая поверхность образца без кратеров и впадин, пригодная для изготовления СЛА (рисунок 9). При изгибе образца по линии биговки отслоений все так же не происходит, что говорит о том, что клей спрей обеспечивает надежное соединение между пеной и бумагой.



а

б

Рисунок 9. Образец №8

Образец №9.

Для проведения девятого эксперимента в качестве вспенивающегося материала был использован Синтерм 2315. Объем готового состава был взят с целью получения плотности 90 кг/м^3. Режим вспенивания: 150°С, выдержка 20 минут, охлаждение до 50°С. Для повышения адгезии между слоями, использовался клей-спрей. В результате проведения эксперимента образец получился без дефектов геометрии (рисунок 10). По сравнению с предыдущими образцами, вспененный Синтерм имеет меньшую жёсткость и большую демпфируемость. При изгибе образца по линии биговки, отслоений не было замечено.

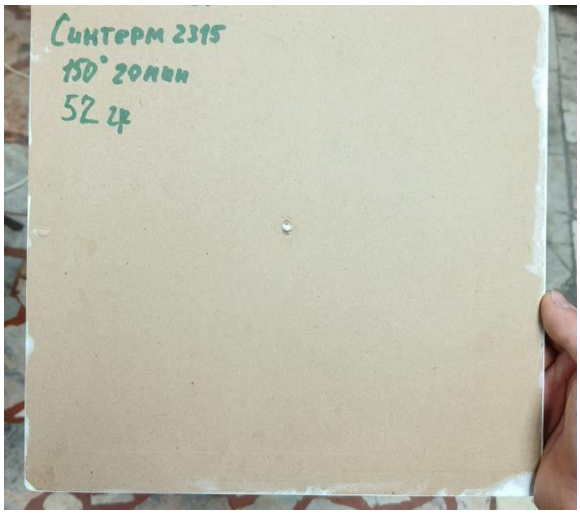


Рисунок 10. Образец №9

Проведенные комплексные исследования позволили разработать оптимальный состав пенокартона для изготовления сверхлегких летательных аппаратов. В качестве основного состава для изготовления пенокартона был выбран состав на основе DU 120. Данный состав имеет значительные преимущества в дешевизне (сравнительно с Синтерм 2315 - более чем в 5 раз), что немаловажно для создания доступного СЛА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Синтерм [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://synterm.ru/, свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус.

2. *Ушмарин Н.Ф., Егоров Е.Н., Сандалов С.И., Кольцов Н.И. Исследование* влияния полимерных микросфер на свойства резины для гуммирования металлических поверхностей. Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва). 2022. Т. LXVI. № 4. С. 19-25. DOI: 10.6060/rcj.2022664.3.

DEVELOPMENT OF STRUCTURAL MATERIAL BASED ON FOAM BOARD FOR ULTRALIGHT AERIAL VEHICLES

Ivanov E.G.
Supervisor: Konstantinov D.Yu., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents the results of comprehensive research on the development and optimization of structural material based on foam board for application in ultralight aerial vehicles. The comparative analysis of various compositions of foaming compositions is carried out, physical and mechanical characteristics of the obtained materials are investigated, optimal parameters of the technological process are determined.

УДК 539.37

ОЦЕНКА ДРАПИРУЕМОСТИ ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ

Кориненко К.В., Салихов Н.Ф.
Научный руководитель: Сахбутдинова В.Р., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе проведена оценка драпируемости трикотажного полотна из стекловолокна по сравнению со стеклотканью при формообразовании на сложных поверхностях. Полученные результаты показали, что трикотаж обладает значительно более высокими показателями драпируемости, что делает его перспективным материалом для армирования композитных изделий сложной формы.

Свойства трикотажа определяются формой, размерами, расположением петель в полотне. Но общей характеристикой для трикотажа, как армирующего компонента являются высокая способность к растяжимости в следствие легкого перемещения точек контакта и большой деформации волокон в следствие вывязывания петель [1].

Драпируемость ткани — это её способность принимать сложную форму без образования складок и разрывов. По данному параметру трикотаж опережает ткань, что делает его прекрасным материалом для создания цельных изделий с криволинейной поверхностью.

В данной работе рассматривается разница между показателем драпируемости трикотажа из стеклонити типа трико-трико и стеклотканью.

Оба вида материала закрепляются в квадратную рамку из алюминия размером 400х400 мм и фиксируются с помощью болтов (рисунок 1).

Рисунок 1. Закрепление трикотажного полотна

Затем данная конструкция устанавливается на металлическую полусферу и под тяжестью рамки растягивает материал, закрепленный в ней (рисунок 2).

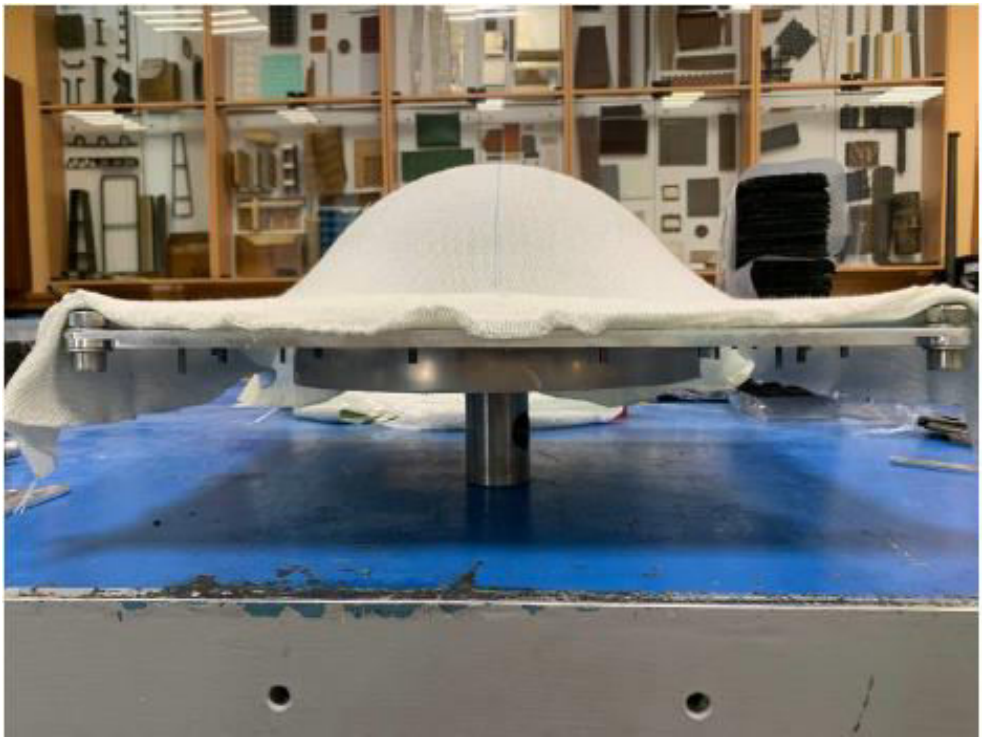


Рисунок 2. Натяжение трикотажа на полусферу

Замер параметра проводился с помощью уровня, установленного на вершину полусферы (рисунок 3). В варианте с трикотажем полотно опускается на 110 мм относительно выставленного уровня.

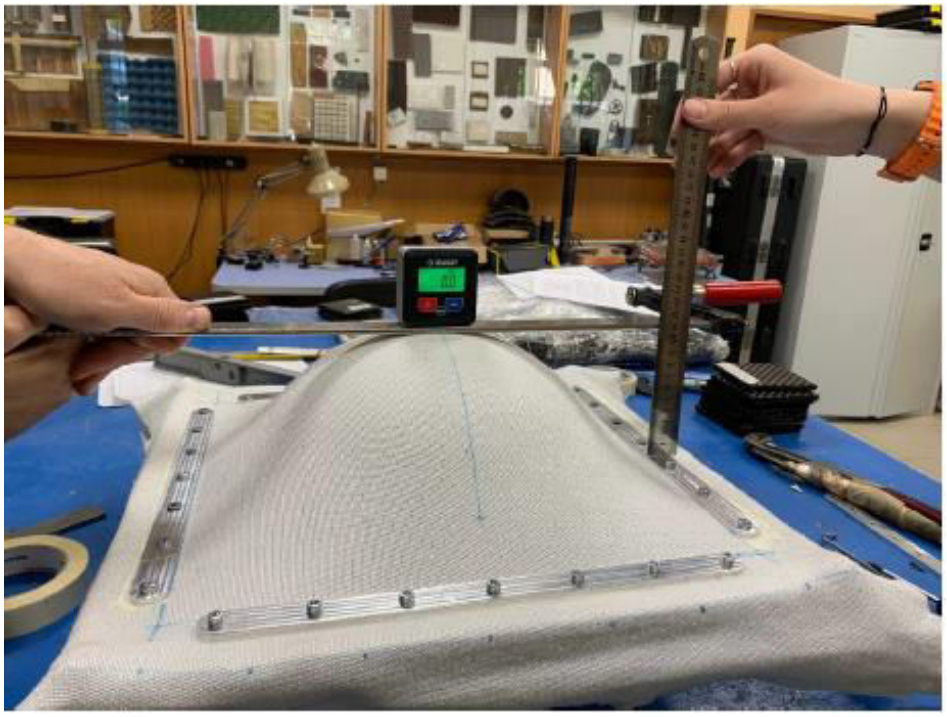


Рисунок 3. Измерение растяжения полотна относительно уровня вершины полусферы

Таким же образом на металлическую полусферу и под тяжестью рамки растягивалась стеклоткань, закрепленная в ней (рисунок 4).

Рисунок 4. Натяжение стеклоткани на полусферу

В варианте со стеклотканью замер параметра также проводился с помощью уровня, установленного на вершину полусферы, что показало результат равный 35 мм относительно выставленного уровня (рисунок 5) [2].

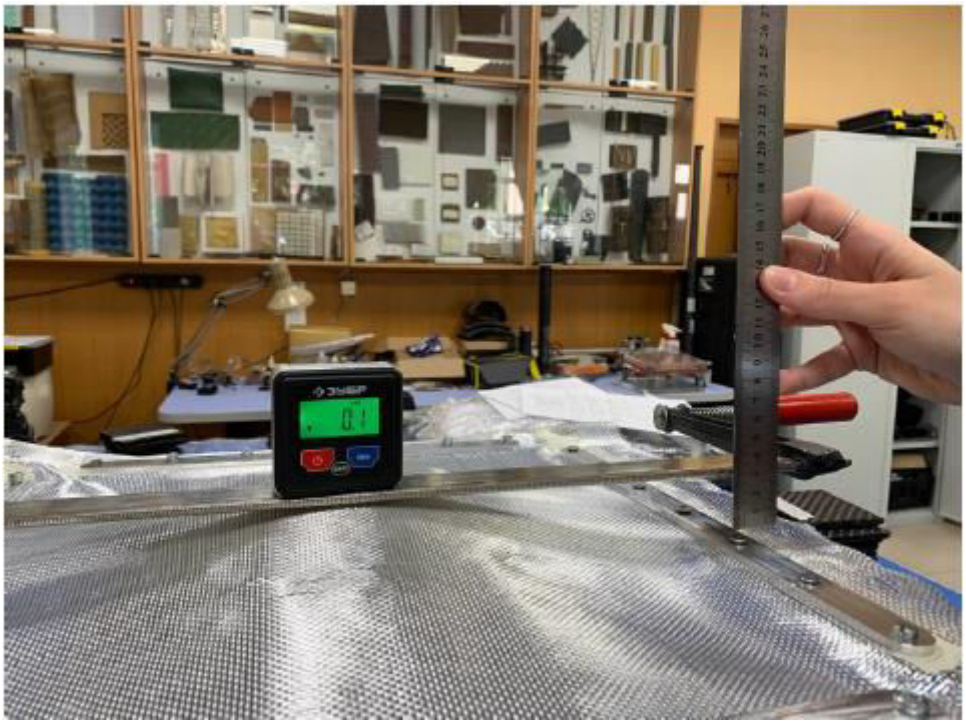


Рисунок 5. Измерение растяжения стеклоткани относительно уровня вершины полусферы

Полученные данные показывают, что трикотажное полотно действительно обладает очень высокими показателями драпируемости, что делает его идеальным материалом для создания изделий из композитов сферической, конусообразной и цилиндрической формы [3].

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Необходимая информация о Трикотажных полотнах. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://infourok.ru/lekciya-po-discipline-osnovi-materialovedeniya-trikotazhnie-polotna-2935730.html (дата обращения: 28.08.2025).

2. *Рогожина Е.А.* Проектирование конструкции и технологии изготовления носового обтекателя с трикотажным армированием // Магистерская диссертация. 2024. С. 58–61.

3. *Хабарова Е.Б.* Разработка технологии двухслойных структур кулирного трикотажа из высокомодульных нитей // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина. 2022. С. 50.

ASSESSMENT OF THE DRAPABILITY OF KNITTED FABRIC FOR REINFORCING COMPOSITE PRODUCTS

Korinenko K.V., Salikhov N.F.

Supervisor: Sakhbutdinova V.R., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The study evaluates the drapability of knitted fabric made of glass yarn in comparison with woven glass fabric when forming complex surfaces. The results showed that knitted fabric demonstrates significantly higher drapability, making it a promising material for reinforcing composite products of complex shapes.

УДК 620.22:620.17

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АРМИРУЮЩЕЙ ТКАНИ НА ПРОЧНОСТЬ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

Кориненко К.В.

Научный руководитель Андрианова К.А., доцент, к. т. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Аннотация. В статье рассматривается влияние поверхностной плотности тканей на величину прочности стеклопластиков. Приведены примеры испытаний нагружения образцов из стеклопластиков на растяжение и на трёхточечный изгиб.

Стеклопластики активно используются сегодня при производстве изделий для авиации, автомобильного транспорта и строительства. Хотя данные материалы и обладают некоторыми преимуществами по сравнению с металлами, керамикой, пластмассами, и они порой не могут удовлетворить всем предъявляемым требованиям, например, одновременно сочетать высокую жесткость и ударостойкость. На физико-механические свойства полимерных композитов оказывают большое влияние характеристики армирующих тканей [1]. Как показал анализ литературы, наибольшее влияние оказывает поверхностная плотность ткани (или толщина) [2]. Однако, в литературе не дается четкого ответа на вопрос о влиянии толщины ткани на различные механические свойства, и конкретно на ударостойкость композитов. В связи с этим целью данной работы является исследование влияния поверхностной плотности ткани армирующего наполнителя на физико-механические характеристики.

Для изготовления стеклопластиков были использованы стеклоткани разной поверхностной плотности: 62, 100, 200, 400 и 600 г/м^2 и двухкомпонентное эпоксидное связующее Т-20-60 (ITECMA), которое отличается низкой вязкостью при температурах пропитки (25 °С) и отверждается при комнатной температуре. В качестве методов исследования были использованы стандартные методы для определения физико-механических свойств композитов. Для определения физико-механических свойств стеклопластиков были изготовлены пластины размером 350×350×4 мм (рисунок 1).

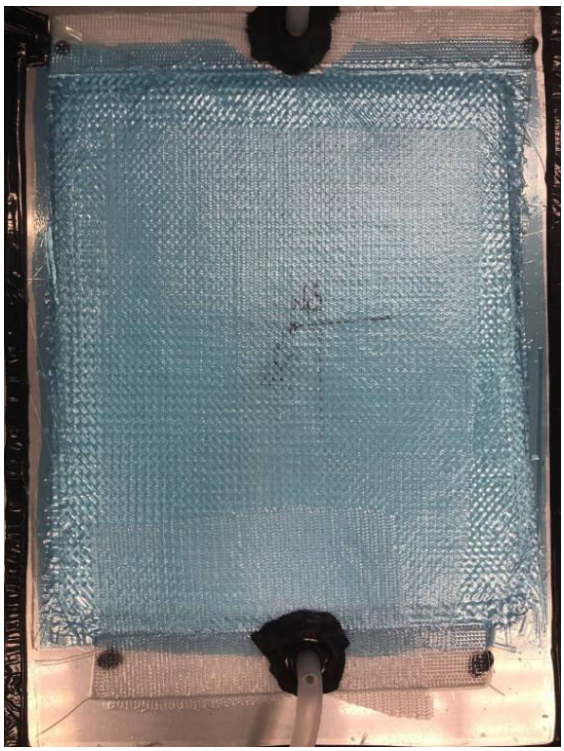


Рисунок 1. Стеклоткань под вакуумным мешком при проведении процесса пропитки связующим Т-20-60

Количество слоев ткани в образцах было рассчитано исходя из того, что все пластины должны иметь одинаковую толщину 4 мм. Этапы изготовления образцов методом вакуумной инфузии следующие: подготовка оснастки, раскрой ткани, укладка слоев, сборка вакуумного пакета, пропитка, отверждение и механическая обработка образцов. Для проведения испытаний из пластин были вырезаны образцы для исследования прочности при трёхточечном изгибе, ударе и при испытании на растяжение (рисунок 2).

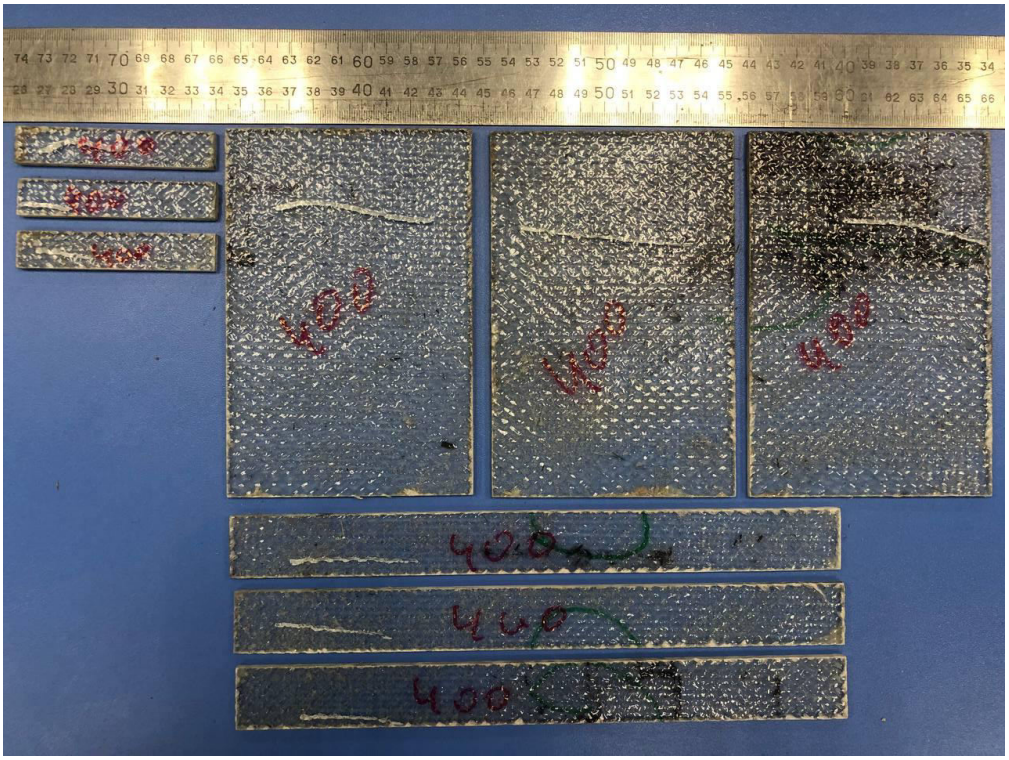


Рисунок 2. Образцы из стеклопластика, вырезанные из пластины, для проведения испытаний с целью получения механических характеристик стеклопластиков

Плотность стеклопластиков определялась методом гидростатического взвешивания, коэффициент объемного наполнения определяли методом выжигания матрицы. Показано, что плотность стеклопластиков и объемная доля наполнителя стеклопластиков увеличивались с увеличением толщины ткани.

Образцы стеклопластиков были испытаны на растяжение [3]. В результате испытаний на растяжение образцов стеклопластиковых ламинатов были получены диаграммы «напряжение-деформация». Было показано, что модуль упругости стеклопластика возрастает с увеличением поверхностной плотности армирующей ткани (рисунок 3).

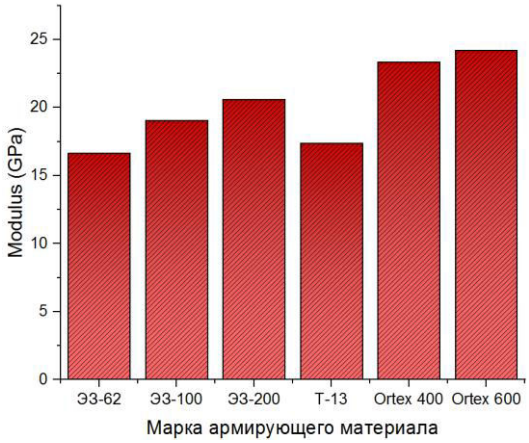


Рисунок 3. Результаты проведения разрушающих испытаний на растяжение образцов из стеклопластиков

Предел прочности стеклопластиков при растяжении не так сильно зависит от поверхностной плотности, линейной зависимости не наблюдается. Стеклопластики были испытаны также на трехточечный изгиб [4]. С увеличением поверхностной плотности ткани модуль упругости стеклопластика возрастает, так как растет степень наполнения. Максимальная прочность продемонстрирована для стеклопластика, армированного тканью с поверхностной плотностью 600 г/м^2.

Для оценки влияния поверхностной плотности ткани на ударостойкость образцы стеклопластиков подвергали удару падающим грузом с энергией 5, 15 и 25 Дж. По данным эксперимента построены диаграммы значений поглощенной энергии при ударе. Обнаружено, что максимальную величину поглощенной энергии имеет образец, армированный стеклотканью с самой низкой поверхностной плотностью 62 г/м^2.

Для оценки остаточной прочности образцы, испытанные на удар падающим грузом, подвергались сжатию. Было показано, что с увеличением поверхностной плотности ткани, остаточная прочность стеклопластиков сначала падает, потом возрастает, а у стеклопластика, армированного тканью с поверхностной плотностью 600 г/м^2, величина остаточной прочности после удара имеет самое высокое значение.

Была проведена оценка характера разрушения стеклопластиков. С увеличением энергии удара увеличивается площадь расслоения. У образцов, армированных тканями с поверхностной плотностью 100 и 200 г/м^2 наблюдается расслоение в осевом направлении, предположительно из-за разного вида аппретов.

Оценка ударной вязкости производилась по Шарпи, без надреза. Результаты испытаний показали увеличение ударной вязкости стеклопластика с увеличением поверхностной плотности армирующей ткани.

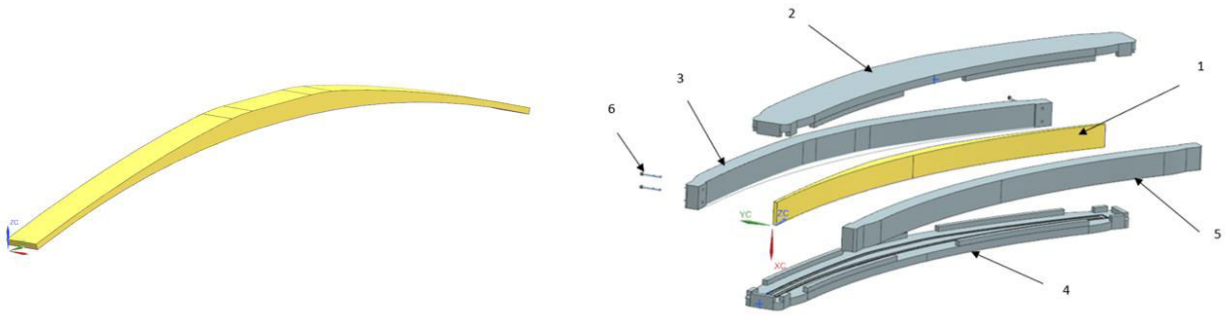
Таким образом, проведенные эксперименты говорят о том, что поверхностная плотность (или толщина) ткани по-разному влияет на величину жесткости и ударостойкости стеклопластика. Была предположена структура стеклопластика, в которой слои ткани располагаются таким образом, что в центре пластины находятся ткань с большей поверхностной плотностью, на поверхности пластины – ткани с минимальной поверхностной

плотностью. Переход от центра к поверхности осуществляется плавно, используя ткани разных марок.

Структура градиентного стеклопластика разработана на основе моделирования деформирования стеклопластиков при ударном нагружении. В данной работе моделирование проводилось в программном комплексе ANSYS. Кинетическая энергия в каждом расчёте соответствовала кинетической энергии в соответствующем натурном эксперименте. В качестве модели ударника смоделирована деталь, состоящая из цилиндра высотой 5 мм диаметром 16 мм и полусферы диаметром 16 мм. Модель композитной пластины создавалась с учетом толщины и количества монослоев в каждой пластине в зависимости от поверхностной плотности армирующей ткани. Приведены результаты расчетов величины перемещения пластины при ударе и для сравнения перемещение по данным эксперимента. Величина отклонения от экспериментальных данных составляет менее 20%, что говорит о хорошей сходимости результатов.

Сравнение механических свойств градиентного стеклопластика со свойствами стеклопластиков, армированных тканями одной толщины, показали, что создание градиентной структуры позволяет повысить ударостойкость и прочность при изгибе стеклопластиков с сохранением жесткости и степени объемного наполнения.

На следующем этапе был разработан технологический процесс для изготовления автомобильной рессоры из стеклопластика градиентной структуры (рисунок 4).



1- автомобильная рессора, 2,3,4,5-формообразующие части оснастки, 6 – стягивающие винты
Рисунок 4. Геометрическая модель автомобильной рессоры

Требования к свойствам стеклопластиковой рессоры: высокая жесткость, прочность и обеспечение плавности хода. В качестве метода придания формы рассматриваемому изделию – был выбран метод ручной выкладки, так как этот способ является простым по аппаратно-технологическому оформлению. Методом формования выбран RTM метод. Схема укладки слоев отличается тем, что на этапе выкладки для получения градиентной структуры, используются ткани разной толщины.

Таким образом, по данной работе можно сделать следующие выводы. Исследовано влияние поверхностной плотности армирующей ткани на механические свойства стеклопластиков. Показано, что с увеличением поверхностной плотности ткани модуль упругости стеклопластика при растяжении и изгибе увеличивается, так как растет степень наполнения. А максимальную величину поглощенной энергии при ударе показал образец, армированный стеклотканью с самой низкой поверхностной плотностью. В программе ANSYS смоделирована структура стеклопластика с градиентным армированием. Показано, что создание градиентной структуры позволяет повысить ударостойкость и прочность при изгибе стеклопластиков с сохранением жесткости и степени объемного наполнения. Разработан технологический процесс для изготовления автомобильной рессоры с градиентной схемой армирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Oh D. et al.* Effects of fabric combinations on the quality of glass fiber reinforced polymer hull structures // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. – 2022. – Т. 14. – С. 100462.
2. *Ansari M. T.A., Singh K.K., Azam M S.* Effect of fabric areal density on the mechanical behaviour of symmetric and asymmetric woven GFRP composite //Materials Today: Proceedings. – 2020. – Т. 33. – С. 5649-5652.
3. ГОСТ 32656-2017 Композиты полимерные. Методы испытаний. Испытания на растяжение.
4. ГОСТ Р 56810- 2015 Композиты полимерные. Метод испытания на изгиб плоских образцов.

INFLUENCE OF REINFORCING FABRIC CHARACTERISTICS ON THE STRENGTH OF FIBERGLASS

Korinenko K.V.

Supervisor: Andrianova K.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the effect of external fabric density on the significant strength of fiberglass. The results of loading tests on fiberglass samples by design and three-point bending are presented.

УДК 629.7

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПЕНОПЛАСТЫ

Крючкова А.Е., Шарипов Д.Р.

Научный руководитель: Андрианова К.А., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Целью данной работы являлось изучение процессов вспенивания фталонитрильных композиций с использованием терморасширяющихся микросфер для создания высокотемпературных конструкционных пеноматериалов. Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки материалов, способных одновременно сочетать малую плотность, высокую прочность, стабильность структуры при нагреве и устойчивость к открытому пламени. Подобные пеноматериалы востребованы в авиационной и космической промышленности, строительстве, энергетике и других областях, где предъявляются повышенные требования к пожарной безопасности и долговечности.

В работе использованы фталонитрильные смолы в сочетании с микросферами марки DU638, которые при нагреве выполняют роль порообразователя. Разработанная технология включала в себя последовательное измельчение смолы, введение микросфер, формование и контролируемый режим термообработки. Полученные образцы исследовались методами оптической микроскопии и испытаниями на огнестойкость.

Установлено, что сформированный пеноматериал обладает выраженными огнезащитными свойствами: при воздействии пламени он формирует плотный коксовый слой, эффективно изолирующий внутреннюю часть образца от разрушения. Новизна работы заключается в сочетании фталонитрильного связующего и выбранного типа микросфер, обеспечившего образование равномерной мелкоячеистой структуры при сохранении высоких эксплуатационных характеристик. Полученные результаты подтверждают перспективность применения данного материала в условиях эксплуатации, требующих высокой термостойкости и пожарной безопасности.

Одной из актуальных задач в области конструкционного материаловедения является изготовление прочных и жестких пеноматериалов для эксплуатации в условиях высоких температур. Фталонитрильные полимеры относятся к высокотемпературным материалам с широким спектром применения. Их химическая структура включает два фталонитрильных фрагмента, соединённых ароматическим мостиком [1]. Исторически фталонитрилы применялись в производстве красок, а с 1934 года, после открытия термостойкости фталоцианина [2], начались исследования по созданию термоустойчивых полимеров на его основе. В 1958 году были предприняты первые попытки включить фталоцианиновый фрагмент в полимер, что послужило основой для последующего синтеза множества новых фталонитрильных мономеров. Основой синтеза служит 4-нитрофталонитрил [3], который в реакциях нуклеофильного замещения с различными нуклеофилами позволяет получать разнообразные мономеры с разными связывающими мостиками — имиды, ароматические эфиры, бисфенол А и другие. Эти вариации влияют на свойства и характер отверждения полимеров.

Из литературы известно, что фталонитрильные композиционные пенопласты с полыми стеклянными микросферами изготавливаются двумя основными методами: метод «RTM» — плавление, погружение микросфер и отверждение, и метод BMC — смешивание, плавление и отверждение. Пенопласты, полученные методом BMC, обладают лучшими теплоизоляционными и огнезащитными свойствами при плотности около 0,47 г/см³, низкой теплопроводности и огнезащите класса UL94 V0 с общим значением HR 21,5 КДж/г [4]. Исследования показывают, что добавление микросфер в полимерные матрицы эффективно снижает плотность и повышает теплоизоляцию [5]. Также разработаны пены на основе бензоксазина-фталонитрила с использованием азодикарбонамида в качестве вспенивающего агента и твина-80 как стабилизатора. Полученные пены однородны, имеют крупный размер ячеек и перспективны для масштабного производства [6].

Получение фталонитрильных пен возможно путем введения терморасширяющихся микросфер. Терморасширяющиеся микросферы — это полые частицы с полимерной оболочкой и легкокипящим агентом внутри. При нагревании агент испаряется, вызывая расширение микросфер и снижение плотности материала.

Цель работы – разработка состава и технологии изготовления высокотемпературного пенного материала. Объектами исследования являются фталонитрильные композиции с микросферами, в состав которых входят: фталонитрильная смола ФНИ – 350 (ИТЕКМА, г.Москва ТУ 20.14.43-002-73047899-2020 от производителя АО «ИНУМиТ»), терморасширяющиеся микросферы марки DU638. Марка микросфер подбиралась экспериментально на основе данных о температуре начала и максимума вспенивания.

Технология изготовления пеноматериалов состояла из нескольких этапов. На первом этапе проводили измельчение фталонитрила в центробежной мельнице до получения однородного порошкообразного состояния. Затем в подготовленную массу вводятся микросферы DU638, выполняющие роль порообразователя, и тщательно перемешиваются для обеспечения равномерного распределения по всему объему. Полученную смесь аккуратно помещают в форму, где происходит ее формование. Перед применением алюминиевую форму трижды смазывают антиадгезивом с интервалом 5 минут, затем собирают и фиксируют болтами. Заключительным и наиболее ответственным этапом является термическая обработка в печи. Процесс начинается с медленного нагрева до 80°C, что позволяет избежать возникновения внутренних напряжений и дефектов структуры. Затем температура постепенно повышается до 185°C, при которой выдерживается материал в течение 45 минут - за это время происходит вспенивание и полное отверждение связующего. Методом оптической микроскопии исследована структура пен. Из рисунка 1 видно, что полученные образцы пен однородны и имеют мелкоячеистую структуру.

Рисунок 1. Микроструктура пены

Для оценки огнестойкости полученные пены подвергали воздействию горелки (рисунок 2).

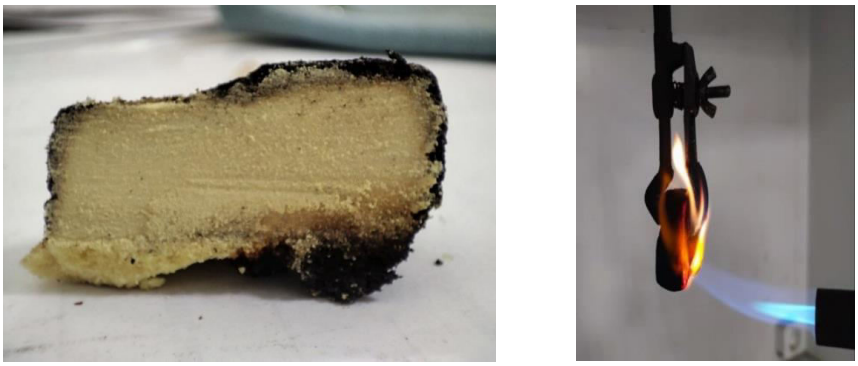


Рисунок 2. Испытание на огнестойкость фталонитрильных пен

При испытаниях на огнестойкость образца пеноматериала на основе фталонитрильного связующего с микросферами DU638 было зафиксировано характерное поведение при прямом воздействии защитных механизмов, присущих разработанному материалу при контакте с открытым пламенем. В ходе тестирования наблюдалось образование плотного слоя черной сажи на поверхности образца, в то время как его внутренняя структура сохранила целостность и не подверглась термическому разрушению. Поверхностный слой фталонитрильного полимера подвергается пиролизу с образованием углеродного коксового остатка. Этот процесс сопровождается выделением негорючих газов, что способствует самозатуханию материала. Образовавшийся коксовый слой выполняет роль термического барьера, эффективно изолируя внутренние слои от воздействия высокой температуры и препятствуя распространению пламени. Особенностью наблюдаемого явления стало сохранение структурной целостности внутренней части образца, что свидетельствует о высокой эффективности защитного коксового слоя. В ходе проведённого исследования разработан и апробирован состав фталонитрильного пеноматериала с использованием терморасширяющихся микросфер DU638, обладающий высокими показателями огнестойкости и структурной стабильности. Полученные образцы продемонстрировали однородную мелкоячеистую структуру, что подтверждает эффективность применённой технологии изготовления. Испытания показали, что при воздействии открытого пламени материал формирует плотный защитный коксовый слой, который препятствует распространению тепла и огня, сохраняя целостность внутренней структуры.

Особенностью разработанного пеноматериала является сочетание высокой термостойкости, низкой плотности и способности к самозатуханию. Эти качества обеспечиваются благодаря особенностям химической природы фталонитрильной матрицы и введению микросфер, выполняющих как роль порообразователя, так и дополнительного элемента теплоизоляции. Сочетание данных факторов делает материал перспективным для применения в сферах, где критически важны требования к пожарной безопасности, термостойкости и малому весу — в авиационно-космической отрасли, строительстве,

энергетике и транспортном машиностроении.

Таким образом, результаты работы подтверждают высокую эффективность предложенной рецептуры и технологии, открывая возможности для дальнейшей оптимизации свойств материала за счёт варьирования типов микросфер, режимов отверждения и добавления модифицирующих компонентов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на повышение механической прочности пен, масштабирование технологии для промышленного производства, а также расширение области применения разработанного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Чурсова Л.В.* Новые термостойкие гетероциклические связующие и экологически безопасные технологии получения композиционных материалов // Российский химический журнал. 2010. Т. 54. №1.

2. *Dent C.E., Linstead R.P. Copper Phthalocyanines. Part IV // J. Chem. Soc.* 1934. P. 1027–1031.

3. *Keller T.M., Price T.R., Foranski C.F.* Characterization of the Cure of Diether-Linked Phthalonitrile Resins // J. Am. Chem. Soc. 1982. V. 26. P.337-350.

4. *Yuan P.* et al. Preparation and physical properties of phthalonitrile composite foam filled with hollow glass microspheres //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2020. – Т. 213. – С. 02034.

5. Ву, *М.Х., Гайдадин, А., Каблов, В., Нилидин, Д., Сидоренко, Н. и Лыонг, Т.Т.* 2024. Исследование влияния полимерных микросфер на эффективность эластомерных огне- и теплозащитных покрытий. Журнал «Каучук и резина». 83, 6 (дек. 2024), С. 334–339.

6. *Lei W.* et al. Large-scale preparation of uniform millet bread-like durable benzoxazine-phthalonitrile foam with outstanding mechanical and thermal properties //Polymers. – 2022. – Т. 14. – №. 24. – С. 5410.

HIGH-TEMPERATURE FOAMS

Kryuchkova A.E., Sharipov D.R.

Supervisor: Andrianova K.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The aim of this work was to study the foaming of phthalonitrile compositions with microspheres to create high-temperature structural foam materials that are in demand in aviation, construction, and other industries. The developed foam material has pronounced fire-resistant properties, demonstrating the ability to form a protective coke layer when exposed to heat.

УДК 678

ВЛИЯНИЕ СОПОЛИМЕРА ЭТИЛЕНА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕНАПОЛНЕННОГО ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИДА

Ларионов И.С.[1,2], Газимов И.И.[1], Балькаев Д.А.[2]

Научный руководитель: Амирова Л.М.[1], профессор, д. х. н.

([1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань,

[2]Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань)

Аннотация. В исследовании изучено влияние сополимера этилена и глицидилметакрилата, на свойства композита ПФС, армированного 20% масс. углеродного волокна. Изучены механические, реологические и теплофизические свойства составов с содержанием добавки 0%, 5%, 10%. Также изучено влияние термообработки изделий на свойства полученных композиций. Показано, что добавление сополимера этилена и глицидилметакрилата повышает пластичность материала, однако понижает его прочность и

жесткость. При этом значительно замедляется процесс термоокислительной сшивки ПФС.

1. Введение

Полифениленсульфид (ПФС) является полукристаллическим термопластичным полимером с уникальными характеристиками, делающими его востребованным в различных отраслях. Он состоит из ароматических колец, соединенных сульфидными мостиками, что обеспечивает ему высокую термическую стабильность, устойчивость к химическому воздействию, истиранию и термическому окислению. Благодаря этим свойствам, ПФС находит применение в автомобильной и аэрокосмической промышленности, а также в производстве электронных приборов и фильтрационного оборудования. Важное преимущество ПФС — его огнестойкость и размерная стабильность при высоких температурах, что делает его хорошим материалом для производства изделий, работающих в условиях высоких температур и агрессивных сред [1,2].

Введение углеродного волокна (УВ) в ПФС значительно расширяет его функциональные возможности. Композиты ПФС/УВ сочетают в себе преимущества обоих материалов: высокая прочность и модуль упругости, низкая плотность и высокая химическая стойкость [3]. Эти композиты обладают повышенной ударной вязкостью и пригодностью к вторичной переработке, что выгодно отличает их от композитов на основе термореактивных смол. Углеволокно придает композитам ПФС дополнительные механические и термические преимущества, такие как повышенная прочность на растяжение и улучшенные теплораспределительные свойства. Это делает композиты ПФС/УВ выгодным материалом для использования в высоконагруженных конструкциях, таких как элементы самолетов и автомобилей, а также в нефтегазовой промышленности [4].

Среди множества различных способов модификации свойств композитов, выделяется введение в матрицу пластификаторов, позволяющих изменять вязкость расплава, увеличивать ударную вязкость и предельные деформации, управлять структурой материала за счет изменения межмолекулярных взаимодействий [5].

2. Объекты исследования

Объектом исследования являлся порошок полифениленсульфида линейного строения с показателем текучести расплава (ПТР) 200 г/10 мин производства ООО «НТЦ «Ахмадуллины»». Основные характеристики ПФС представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики полифениленсульфида

Характеристика	Значение
Показатель текучести расплава (при 5 кг/316°С), г/10 мин, в пределах	190-220
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	140
Модуль упругости при изгибе, МПа, не менее	3500
Относительное удлинение при разрыве	3%
Плотность, г/см³	1,34–1,35

В качестве армирующего материала использовано рубленное углеволокно длиной 3 мм. Основные характеристики волокна показаны в таблице 2.

Таблица 2

Основные характеристики рубленого углеволокна

Характеристика	Значение
Тип волокна	12К
Тип нити	рубленое волокно
Предел прочности при растяжении	3.6 - 3.8 ГПа
Модуль упругости при растяжении	240 – 280 ГПа
Плотность	1.6-1.76 г/см3
Содержание углерода	95%

В качестве модифицирующей добавки применялся пластификатор применялся сополимер этилена и глицидилметакрилата AX8840 производства LOTADER, который широко используется для улучшения пластичности стеклонаполненных композитов ПФС (таблица 3).

Таблица 3

Основные характеристики пластификатора

Характеристика	Значение
Содержание глицидилметакрилата	8 %
Показатель текучести расплава (190°C / 2,16 кг)	5 г/10 мин
Модуль упругости при изгибе	85 МПа
Температура размягчения по Вика (VST)	87 °C
Температура плавления	104 °C

3. Методы исследования

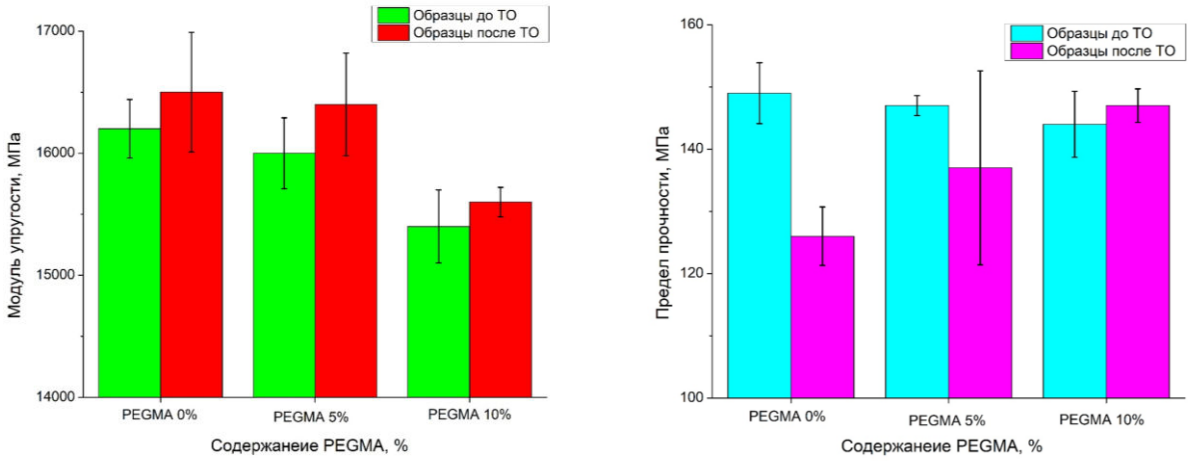
Компаундирование проводилось на двухшнековом экструдере Scientific LTE 16 – 40 с водяным с водяным охлаждением стренги. Образцы для физико-механических и теплофизических испытаний были получены на термопластавтомате Tederic NEO·E85II. Перед испытаниями для части образцов была проведена термообработка (ТО), в ходе которой образцы выдерживались при 220 ºС в течение 1 часа для снятия внутренних напряжений и докристаллизации. Испытания на растяжение полученных образцов проводились на универсальной испытательной электромеханической машине УТС-111 («Тест системы») в соответствии с ISO 527 и со скоростью деформации 5 мм/мин и 1 мм/мин, соответственно. Реологические характеристики полученных композиций были изучены на ротационном реометре DHR 2 (TA Instruments) в режиме осцилляции при частоте вращения 1 Гц и постоянной температуре 320 °C в течение 30 минут. Теплофизические свойства определялись методом дифференциально сканирующей калориметрии (ДСК) на DSC 214 Polyma со скоростью нагрева 10 °C /мин.

4. Обсуждение результатов

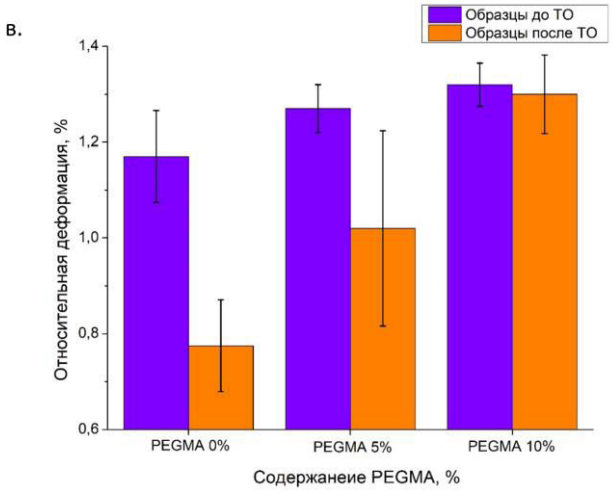
Согласно результатам испытаний на растяжение, представленным на рисунке 1 композиты на основе полифениленсульфида (ПФС) с содержанием 20% углеволокна демонстрируют незначительное снижение механических характеристик при введении полиэтиленглицедилметакрилата (PEGMA). Немодифицированный ПФС с 20% углеволокна характеризуется максимальными значениями предела прочности и модуля упругости 149 МПА и 16200 МПа соответственно (рисунки 1, *а* и 1, *б*). Добавление 5% PEGMA приводит к уменьшению этих параметров на 2%. Дальнейшее повышение содержания PEGMA до 10% усиливает данную тенденцию: наблюдается дополнительное снижение прочности и модуля упругости на 4,5%.

Измерения относительной деформации (рисунок 1, *в*) показывают, что введение PEGMA приводит к увеличению пластичности материала на 1-1,5%. Рост относительной деформации в модифицированных образцах связан с увеличением доли аморфной фазы и эластичности молекулярных цепей в полимерной матрице, вызванный введением PEGMA.

Аналогичные испытания, проведенные для образцов того же состава, но предварительно подвергнутых температурной обработке, показали другие результаты. Отличия результатов связаны с образованием большей доли кристаллической фазы, которая, согласно литературе, повышает жесткость материала, но может снижать его прочность и пластичность из-за охрупчивания. В данном случае предел прочности композитов увеличивался с ростом содержания модификатора, так как он значительно снизил влияние повышения степени кристалличности на хрупкость композита. При 10% содержании PEGMA удалось достичь предела прочности как у исходного нетермобработанного композита. При этом модуль упругости и относительная деформация продолжили падать с увеличением содержания модификатора, как и у исходных образцов.



а *б*



в

Рисунок 1. Результаты испытаний на растяжение образцов до термообработки (ТО) и после

Анализ результатов реологических испытаний (рисунок 2) показал, что концентрация пластификатора существенно влияет на комплексную вязкость композита. Для образца композита без содержания пластификатора зафиксирован значительный рост вязкости в процессе испытаний — в 3,2 раза, что свидетельствует о высокой скорости термоокислительной сшивки материала при длительном термомеханическом воздействии и контакте с кислородом. Введение 5% PEGMA снизило динамику роста вязкости до 1,23 раза, а при увеличении содержания добавки до 10% данный показатель составил 1,13 раза, что указывает на повышение стабильности системы с ростом концентрации модификатора.

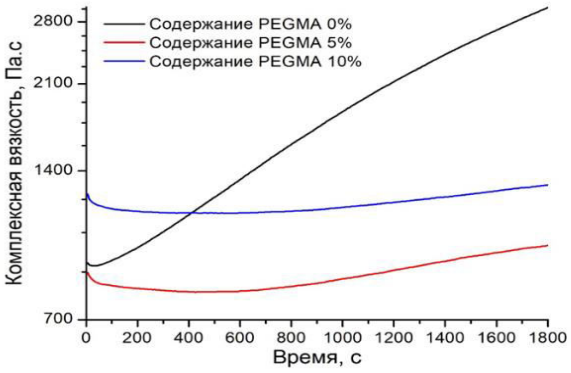


Рисунок 2. Результат определения вязкости реологическими испытаниями

Анализ результатов ДСК испытаний (рисунок 3) выявил зависимость кристалличности материалов от содержания PEGMA. Для немодифицированного ПФС температура плавления составила 278,7°C, а температура кристаллизации — 232,3°C. При введении PEGMA, температура плавления которого равна 98°C, привело к снижению площади пика на графике нагрева, что свидетельствует об уменьшении доли кристаллической фазы в композитах.

Полученные данные согласуются с результатами механических и реологических испытаний, где введение PEGMA способствовало росту аморфной фазы и снижению жесткости композитов. Ухудшение кристалличности при добавлении пластификатора указывает на необходимость оптимизации его содержания для достижения баланса между технологичностью переработки материала и сохранением эксплуатационных характеристик.

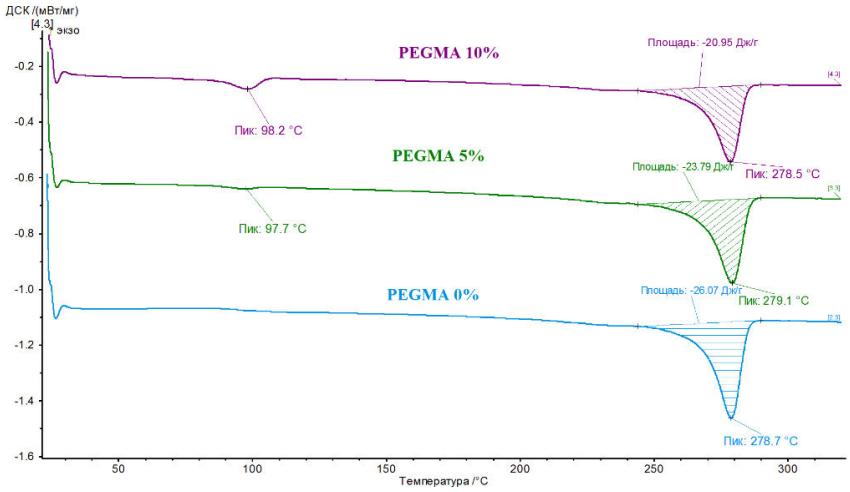


Рисунок 3. График зависимости сигнала ДСК от температуры при нагреве

5. Заключение

Таким образом, введение сополимера этилена и глицидилметакрилата в угленаполненный композит ПФС незначительно снижает его прочность и жесткость, но повышает пластичность материала за счет увеличения содержания аморфной фазы и улучшения эластичности молекулярных цепей. При этом проведение термической обработки готовых изделий при температуре выше температуры стеклования ПФС может сократить или убрать негативный эффект от модификатора на механические свойства композита. Также введение данного пластификатора улучшает термостабильность ПФС, значительно замедляя процесс термоокислительной сшивки и позволяя полимеру дольше сохранять свои структуру и свойства при воздействии высоких температур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Rahate A.S., Nemade K.R., Waghuley S.A.* Polyphenylene sulfide (PPS): state of the art and applications //Reviews in Chemical Engineering. – 2013. – Т. 29. – №. 6. – С. 471-489.

2. *Montagna L.S.* et al. A review on research, application, processing, and recycling of PPS based materials //Polímeros. – 2022. – Т. 32. – №. 1.

3. *Khan S.M.* et al. Polyphenylene sulphide/carbon fiber composites: study on their thermal, mechanical and microscopic properties //Iranian Polymer Journal. – 2016. – Т. 25. – С. 475-485.

4. *Stoeffler K.* et al. Polyphenylene sulfide (PPS) composites reinforced with recycled carbon fiber //Composites Science and Technology. – 2013. – Т. 84. – С. 65-71.

5. *Mustafa L.M.* et al. Study of the effect of plasticizers and thermoplastics on the mechanical properties of epoxy and carbon fiber reinforced plastic // Complex use of mineral resources. – 2019. – Т. 311. – №. 4. – С. 48-56.

EFFECT OF ETHYLENE COPOLYMER ON MECHANICAL PROPERTIES OF CARBON-FILLED POLYPHENYLENE SULFIDE

Larionov I.S.[1,2], Gazimov I.I.[1], Balkaev D.A.[2]

Supervisor: Amirova L.M.[1], Full Professor, Doctor of Chemical Sciences

([1]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, [2]Kazan Federal University, Kazan)

Abstract. The study examined the effect of ethylene-glycidyl methacrylate copolymer on the properties of PPS composite reinforced with 20% by weight of carbon fiber. Mechanical, rheological and thermal properties of compositions with additive content of 0%, 5%, 10% were studied. The effect of heat treatment of products on the properties of the obtained compositions was also studied. It was shown that the addition of ethylene-glycidyl methacrylate copolymer increases the plasticity of the material, but reduces its strength and rigidity. At the same time, the process of thermo-oxidative crosslinking of PPS is significantly slowed down.

УДК 621.7.07

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВСТРАИВАНИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА В ФОРМООБРАЗУЮЩУЮ ОСНАСТКУ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Нигматуллин А.М., Бубнов Д.А.

Научный руководитель: Константинов Д.Ю., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье представлен метод встраивания нагревательного элемента в формообразующую оснастку их полимерных композиционных материалов. Были проведены выбор и обоснование технологии изготовления оснастки с интегрированным нагревательным элементом, разработка методики расчета и проектирования нагревательного элемента, выбор и проведение экспериментов нагревательного элемента, разработка технологии изготовления оснастки.

Использование автоклава является наиболее эффективным способом изготовления композиционных элементов авиационно-космической промышленности высокого качества, однако высокая стоимость эксплуатации ограничивает её доступность для малых предприятий [1,2].

В последнее время на рынке материалов широко используются нитевидные, тканевые, плетеные или вязаные нагревательные элементы, способные приобретать необходимую форму [3].

Одним из критериев для выбора типа материала будет значение коэффициента линейного температурного расширения (КЛТР) (таблица 1). Данные взяты из отрытых источников и усреднены.

Таблица 1

Коэффициенты линейного температурного расширения различных материалов

Материал	$(1/(^{o}\,K))*10^{-6} = (1/(\,^{o}\,C))*\,10^{-6}$
Алюминий	23
Сталь	13
Дерево	4
Полиуретан (PUR), жесткий	58
Стеклопластик (на эпоксидном связующем)	15
Эпоксидная смола	50
Углепластик (на эпоксидном связующем)	1
Инвар	1

Выбор типа оснастки был сделан в пользу тонкостенных композитных оснасток, армирующим материалом которого является стекловолокно. Главными характеристиками для выбора стекловолокна стали долговечность, хорошие электроизоляционные свойства и высокая экономическая эффективность, заключающаяся в низкой стоимости сырья [4].

В качестве связующего была выбрана двухкомпонентная эпоксидная смола для инфузии марки «Итекма»: связующее ТО-29-2 и отвердитель ТО-29-1 (пропорции смешивания по весу 100:58,3 соответственно). Ключевыми характеристиками для выбора стали хорошая смачиваемость, хорошая текучесть, низкая температура преотверждения, низкая влагонасыщение, термоустойчивость (до 220 °С) и хорошая совместимость со стекловолокном.

Способом нагрева выбран омический поверхностный электронагрев – заизолированный от основного тела оснастки электронагревательный элемент с заданными характеристиками, вмонтированный в тело формообразующей оснастки [5].

В рамках исследования для нагревательного элемента были выбраны следующие материалы:

- углеродный греющий кабель с изолирующим слоем (от компании Suzhou Sute Electronics Technology);
- нихромовая нить (Х20Н80, d = 0,2мм).

В качестве исходных данных для расчета теплопередачи в процессе формования принимаются следующие теплофизические характеристики материалов: стеклопластик с плотностью 1900 кг/м3 и теплоемкостью 1,2 кДж/кгК (справочные значения 0,84-1,46кДж/кгК). Расчетная толщина детали составляет 7 мм, а максимальная рабочая температура формования детали равна 150 С. Для расчета теплоты по каждой позиции используется соответствующая формула (1):

$$Q=G*C*(t_к-t_н), \quad (1)$$

где G – масса нагреваемого объекта, кг;
С – теплоемкость материала тележки (сталь), кДж/кг*К;
$t_к$ – температура, до которой нагревается объект, К;
$t_н$ – начальная температура объекта, К.

Мощность (потребная) по каждой позиции рассчитывалась по формуле (2):

$$P_{тр}= Q /\tau, \quad (2)$$

где $P_{тр}$ – потребна мощность, кВт;
Q – необходимая теплота, кДж;
τ – время, за которое необходимо выделить теплоту Q, *с.*

В расчет принимаем, что для нормального функционирования оснастки согласно заданных условий необходим обогреватель с удельной мощностью $Р_{уд}$=2 кВт/м^2. Этим условно компенсируем потери тепла тепловыделением и конвекцией (таблица 2).

Таблица 2

Расчет потребной мощности для расчета нагревателя

Исходные данные	Расчет-ная темпера-тура,°С	Толщи-на, мм	Мас-са, кг	Необходимое количество теплоты, кДж	Время нагрева (при 5 °С/мин) от 25 °С), °С	Потребная мощность, кВт/м^2
Деталь стеклопластик	80	7	5,7	344,85	660	0,52
Матрица основной слой, стеклопластик	90	10	0,807	608,4	720	0,845
Технологичес-кий пакет, 30% от детали	80					0,171
Потребная мощность, кВт/м^2						1,536

Следующие расчеты проведены для полноценной формообразующей оснастки для интенсивного формования деталей сверхлегкого ЛА. Используя данные результаты, будут отформованы экспериментальные оснастки для разработки метода интегрирования нагревательного элемента.

Площадь всей поверхности формообразующей части оснастки составляет 687358,22 мм^2. Площадь зоны обогрева одной четверти оснастки составляет: S_1= 171839,555 мм^2 ≈0,171839555м^2. В таблице 3 представленные расчетные данные электрической цепи.

Таблица 3

Расчетные данные электрической цепи

Мощность одного нагревателя, кВт	Сила тока в цепи, А	Рабочее напряжение, В	Сопротивление одного нагревателя, Ом
0,3436	1,56	220	141,03

Для обеспечения необходимого сопротивления был выбран вариант нагревателя, состоящий из нескольких одинаковых параллельных линий, что позволит снизить величину тока в каждой отдельной линии, и повысит отказоустойчивость системы в случае выхода из строя отдельной нити.

В таблице 4 представлены расчетные значения параметров отдельных ветвей цепи для каждого нагревателя, которые были получены при условии одинакового сопротивления и параллельного подключения. Нагреватель имеет форму «змейки» из углеродного материала, подключенного к двум концам «змейки».

Предварительные испытания углеродного кабеля показали удельной сопротивление $R_{уд}$=33,4 Ом/м, а нихромовой проволоки – $R_{уд}$=34,4 Ом/м.

Таблица 4

Расчетные данные электрической цепи для одного нагревателя из N параллельных равных ветвей

Кол-во N витков	Сопротивление одного, Ом	Длина одного, м		Ток одного, А		Суммарная длина всей цепи, м	
		Углеродный кабель	Нихромовая проволока	Углеродный кабель	Нихромовая проволока	Углеродный кабель	Нихромовая проволока
5	705,15	21,11	20,5	0,31	0,31	105,55	102,5
4	564,12	16,89	16,4	0,39	0,39	67,56	65,6
3	423,09	12,66	12,3	0,52	0,52	37,98	36,9
2	282,06	8,45	8,2	0,78	0,78	16,9	16,4

При данном расстоянии теоретический максимум длины нагревателя четверти оснастки $L_{1\ сум.теор5}$, помещаемую в зону обогрева при заданном зазоре в 4,5 мм, составляет 38,17 м. При других величинах зазора между витками (от 4 до 8 мм с шагом 0,5 мм) аналогичные максимальные теоретические длины нагревателя приведены в таблице 5.

Таблица 5

Теоретическая максимальная длина нагревателя на первой половине оснастки при различной величине зазора между витками

Величина зазора между витками, мм	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
Теоретическая длина нагревателя одной половинки, м	2,95	8,17	4,36	1,24	8,63	26,43	24,54	2,9	1,48

При анализе таблиц 4 и 5 было отмечено, что при использовании трех параллельных ветвей в нагревателе с одинаковой длиной, суммарная длина для углеродного кабеля

составляет 37,98 м, а для нихромовой проволоки – 36,9 м, что близко к теоретически максимальной длине нагревателя при зазоре 4,5 мм между витками, равной 38,17 м. На основании этого был принят базовый вариант конструкции нагревателя – три равные параллельные линии с зазором между витками в 4,5 мм.

Первый вариант нагревателя представлен на рисунке 1. Так как кабель толщиной 3 мм, разработан второй вариант траектории укладки нагревательного элемента (рисунок 2). Траектория укладки нагревателя для нихромовой проволоки представлена на рисунке 3.

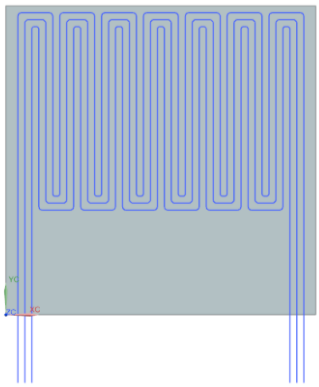


Рисунок 1. Первый вариант размещения нагревателя для углеродного кабеля

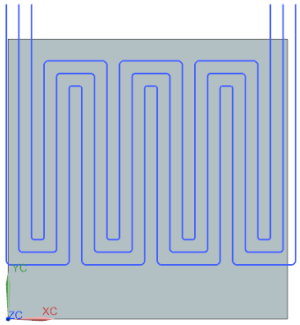


Рисунок 2. Второй вариант размещения нагревателя для углеродного кабеля

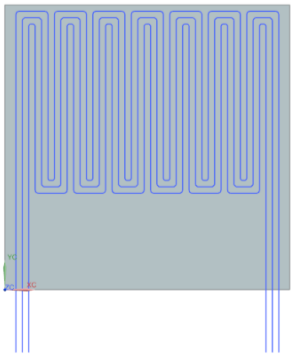
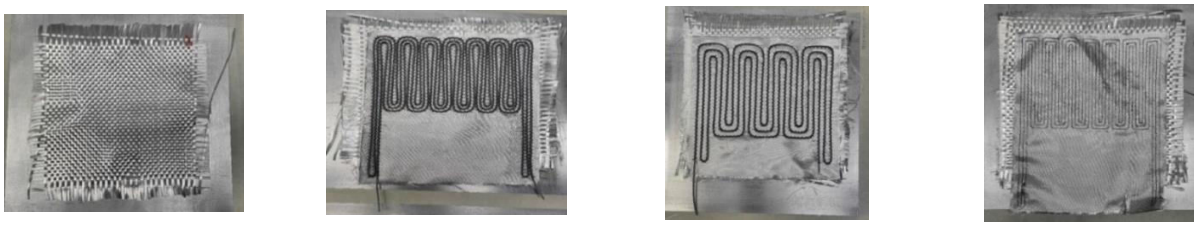


Рисунок 3. Траектория укладки нагревателя для нихрома

Данные компоновки нагревателя были представлены для обеспечения минимальной разницы в размерах витков нагревательного элемента для достижения одинакового сопротивления в каждом витке.

Для эксперимента были вырезаны двадцать слоёв (шестьдесят слоёв на три экспериментальные оснастки) стеклоткани Т10-500 размером 25х25 см для набора толщины оснастки, равной 7 мм (рисунок 4, *а*). Десять слоев выкладываются взаимно перпендикулярно на алюминиевую плиту, на которую предварительно было нанесено пять слоев разделительной жидкости. Далее располагается нагревательный элемент (рисунок 4, *б, в, г*).

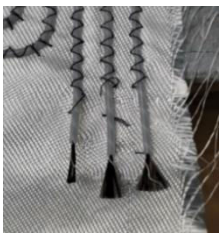


а *б* *в* *г*

а – слои стеклоткани, *б* – нагревательный элемент из углеродного кабеля с узким расположением витков, *в* – нагревательный элемент из углеродного кабеля с широким расположением витков, *г* – нагревательный элемент из нихромовой проволоки

Рисунок 4. Размещение нагревательного элемента

Далее кабель зачищается по краям для соединения углеродных волокон с медным проводом (рисунок 5, *а*) толщиной 2,5 мм. Для фиксации соединения углеродного волокна с проводом были использованы обжимные гильзы, для нихромовой проволоки – клеммные колодки (рисунок 5, *б, в*).



а *б* *в*

а – зачистка греющего кабеля, *б* – соединение нихромовой проволоки с проводом с использованием клеммной колодки, *в* – соединение углеродного кабеля с проводом с использованием обжимной гильзы

Рисунок 5. Фиксация соединения кабеля и нихрома с медным проводом

Для мониторинга и контроля температуры оснастки используется термопара типа j, которая встраивается на уровень с нагревательным элементом. Рабочий диапазон температур от -210 °С до 1200 °С (рисунок 6).

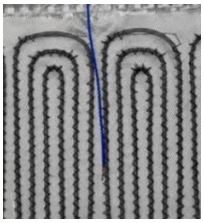
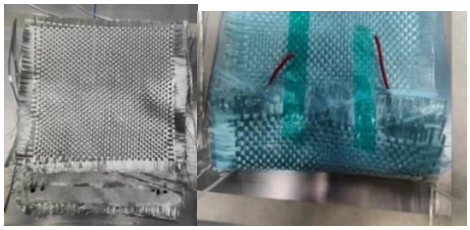


Рисунок 6. Расположение термопары

Оставшиеся десять слоев выкладываются поверх нагревательного элемента со смещением в сторону, противоположную от соединения нагревательного элемента с медным проводом на 5 см (рисунок 7, *а*), для изоляции соединения путем сгибания нижних слоев стеклоткани (рисунок 7, *б,* 8).



а *б*

а – положение слоев стеклоткани поверх нагревательного элемента, *б* – изоляция соединения нагревательного элемента с медным проводом

Рисунок 7. Изоляция соединения нагревателя с медным проводом

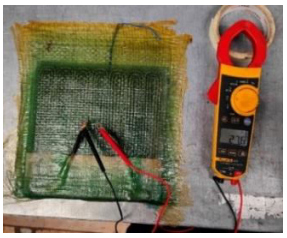


Рисунок 8. Измерение сопротивления в цепи

Каждая из оснасток была нагрета до 150 °С для оценки состояния смолы после температурного режима.

В таблице 6 представлены данные зависимости напряжения и силы тока от температуры технологической оснастки.

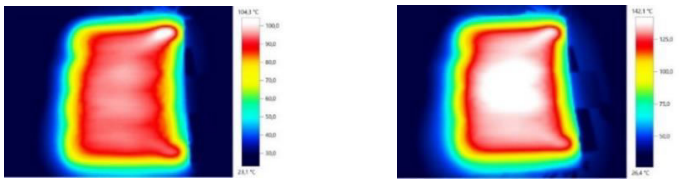
Таблица 6

Зависимость напряжения и силы тока от температуры технологической оснастки

Материал нагревательного элемента	Сопротивление в цепи, Ом	Напряжение, В				Сила тока, А				Время нагрева от 20 °С до 100 °С, (при 110 Вт)
		20°С	50° С	100° С	150° С	20° С	50° С	100° С	150° С	
Кабель с узким расположением витков	27,6	72,8	72,6	72,8	72,1	2,88	2,91	2,95	2,97	14 мин 51 сек
Кабель с широким расположением витков	17,0	55,1	56,1	56,2	55,6	3,6	3,64	3,7	3,78	35 мин 20 сек
Нихромовая проволока	29,7	79,7	79,9	82,8	81,8	2,59	2,61	2,63	2,63	10 мин 48 сек

Для оценки равномерности нагрева поверхности оснастки был использован тепловизор Testo 865.

На рисунке 9 изображены фотографии тепловой сигнатуры оснастки с кабелем с широким расположением витков.

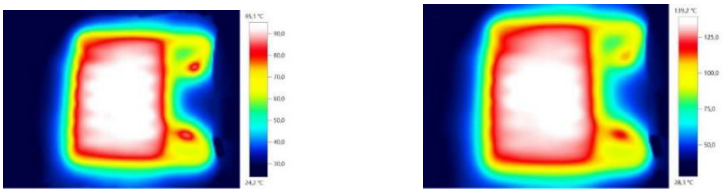


а *б*

а – температура оснастки 100 °С, *б* – температура оснастки 150 °С

Рисунок 9. Тепловая сигнатура оснастки с кабелем с широким расположением витков при разных температурных режимах

На рисунке 10 изображены фотографии тепловой сигнатуры оснастки с кабелем с узким расположением витков.

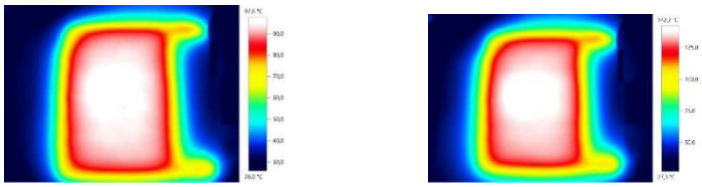


а *б*

а – температура оснастки 100 °С, *б* – температура оснастки 150 °С

Рисунок 10. Тепловая сигнатура оснастки с кабелем с узким расположением витков при разных температурных режимах

На рисунке 11 изображены фотографии тепловой сигнатуры оснастки с нихромовой проволокой.



а *б*

а – температура оснастки 100 °С, *б* – температура оснастки 150 °С

Рисунок 11. Тепловая сигнатура оснастки с кабелем с нихромовой проволокой при разных температурных режимах

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

– наибольшей скоростью нагрева обладает оснастка с нихромовой проволокой;

– наилучшая равномерность нагрева поверхности среди всех экземпляров у оснастки с узким расположением кабеля (этот параметр является решающим);

– самой экономной в плане энергопотребления является оснастка с нихрмовой проволокой, однако оснастка с кабелем с узким расположением витков не сильно уступает в этом параметре.

Самым оптимальным выбором для полноценной оснастки является траектория из кабеля с узким расположением витков, ввиду большей безопасности, в сравнении с нихромовой проволокой, и наилучшим распределением температуры поверхности.

Статья подготовлена в рамках Передовой инженерной школы "Комплексная авиационная инженерия" (Соглашение 075-152025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Санитарные нормы и правила при работе с источниками электромагнитных полей высоких, ультравысоких и сверхвысоких частот. Научно-исследовательский институт технологии и организации производства НИАТ (Казанский филиал) -Казань, 1976.

2. Статья "Обеспечение качества изделий методами технической диагностики" (Гладышева Н.А. и др., 2019), http://www.sohim.by/ru/catalog/carbon/ (Дата обращения 17.02.2014).

3. Технология производства изделий и интегральных конструкция из композиционных материалов в машиностроении/научные редакторы А.Г. Братухин, В.С. Боголюбов, О.С. Сироткин. - М.: Готика, 2003.

4. Выбор конструкции, расчет и испытания низкотемпературных поверхностных электронагревателей. Методические указания. Научно-исследовательский институт технологии и организации производства НИАТ (Казанский филиал) /В.С. Ионкин, Г.Я. Кириллов,- Казань: Филиал полиграфического комбината им. К. Якуба, 1981.

5. *Глуханов Н.П., Федорова И.Г.* Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов в машиностроении. -Л.: Машиностроение, 1972.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR EMBEDDING A HEATING ELEMENT IN FORMING EQUIPMENT MADE OF COMPOSITE MATERIALS

Nigmatullin A.M., Bubnov D.A.

Supervisor: Konstantinov D.Yu., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article presents a method for embedding a heating element in the forming equipment of their polymer composite materials. The selection and justification of the technology for manufacturing equipment with an integrated heating element, the development of a methodology for

calculating and designing a heating element, the selection and experimentation of a heating element, and the development of a technology for manufacturing equipment were carried out.

УДК 539.422.52

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИБРИДНОГО МПКМ С УЧЕТОМ ЗАКРИТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ

Петров П.А., Яблонский А.Н.

Научный руководитель: Халиулин В.И., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлены результаты экспериментального и численного исследования механических характеристик гибридного металло-полимерного композиционного материала (МПКМ) с учётом его поведения в закритических режимах нагружения. С помощью многомасштабного подхода разработана модель материала гибридного МПКМ на микро и мезоуровнях. Проведены виртуальные испытания образцов на статическое нагружение, особое внимание уделено анализу нелинейных деформаций, микроповреждений и эффектов накопления повреждений. Полученные данные могут быть использованы при проектировании конструкций из гибридного МПКМ.

Введение

Гибридный металло-полимерный композиционный материал совмещает в себе компоненты разной природы. Матрица представляет из себя условно изотропное тело с хрупким поведением. Углеродное волокно представляет из себя ортотропное тело с поперечной плоскостью изотропии, также с хрупким поведением. Металлическое волокно представляет из себя условно изотропное тело с упругопластичным поведением, причем пластическая деформация может достигать более 10%.

Часто получается так, что характеристики композита в одном из направлений или при одном из типов нагружений чрезмерно избыточны. Однако в других направлениях и при других типах нагружений механические характеристики оставляют желать лучшего. В таком случае в первую очередь меняется укладка волокон, но, если этого недостаточно, прибегают к изменению структуры композита, а именно созданию гибридной структуры.

В работе [1] приводятся механические характеристики гибридного МПКМ на растяжение. Установлено, что при увеличении процентного содержания проволоки предел прочности на растяжение гибрида снижается. Однако материал разрушается не так катастрофически, как углепластик, материал приобретает некоторое закритическое поведение, которое открывает возможность использования такого материала в конструкциях, которым необходимо обеспечить некоторую несущую способность после главного разрушения.

Таким образом вызывает интерес определение физико-механических характеристик гибридного МПКМ для основных типов нагружения – растяжение, сжатие и сдвиг с учетом закритического поведения материала.

Для определения данных характеристик в работе применен многомасштабный подход, заключающийся в определении механических характеристик материала на разных масштабных уровнях. Структуру материала на этих уровнях описывает выделенный представительный объём материала (RVE). Целесообразность применения данного подхода объясняется сокращением временных и материальных издержек, связанных с изготовлением и испытанием образцов.

Постановка задачи

В рамках решения задачи определения механических характеристик было принято решение выделить два основных уровня гибридного МПКМ для моделирования. Одной из основных задач этого раздела работ являлось определение и изучение характера и механизма

разрушения структуры материала, поэтому для проведения расчетов использовался неявный решать LS-Dyna, позволяющий использовать разрушающиеся модели материалов.

Как известно углеродное волокно представляет из себя пучок филаментов диаметром до 5 мкм, поэтому первым уровнем был выбран микроуровень или филаметный уровень. На этом уровне необходимо оценить прочность пропитанного пучка волокна, филаменты которого непрерывны и уложены в одном направлении. В качестве филаментов использовалось углеродное волокно марки UMT49, в качестве матрицы использовалась термореактивная эпоксидная смола Т26.

Следующим является мезоуровень или уровень монослоя. В данной постановке задачи рассматривался однонаправленный монослой гибридного МПКМ с непрерывными металлической проволокой и углеродным волокном в процентном соотношении 1/3 между армирующими компонентами. Выбор однонаправленной структуры для моделирования основан на технологии получения преформы методом TFP. Характеристики пропитанного углеродного жгута в данном случае принимались из предыдущего уровня представительного объёма.

Целью данного многомасштабного моделирования являлось получение гомогенизированных характеристик монослоя гибридного МПКМ с учетом закритического поведения.

Разработка и анализ ячейки периодичности микроуровня

Тип ячейки был выбран Unidirectional (однонаправленный). Диаметр филаментов был принят равным 5 мкм, коэффициент наполнения исходя из экспериментальных данных был принят 0,736. Размеры ячейки составили 7,3x7,3x14,6 мкм (рисунок 1).

В рамках данной задачи было сделано допущение, что филаменты находятся в неразрушаемой связи с матрицей, поэтому 5 контактных интерфейсов были заданы как склеенные, без возможности проскальзывания и разрушения (рисунок 2).

Конечно-элементная сетка была построена тетра-элементами линейного порядка. Размер элемента был установлен 0,5 мкм. Обязательным условием корректной работы модели было наличие сшитых узлов в контактной области, поэтому сетка между компонентами ячейки была сшита (рисунок 3).

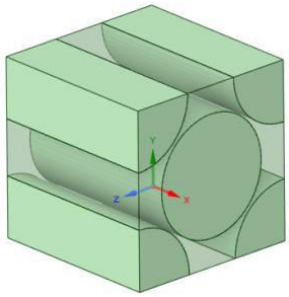


Рисунок 1. Геометрия ячейки представительного объёма микроуровня

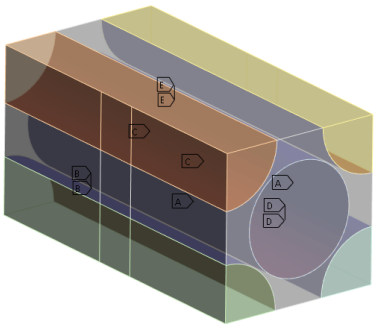


Рисунок 2. Контактные взаимодействия для представительного объёма микроуровня

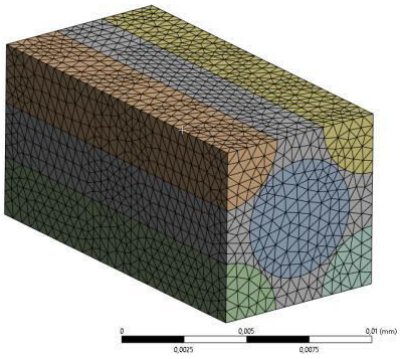
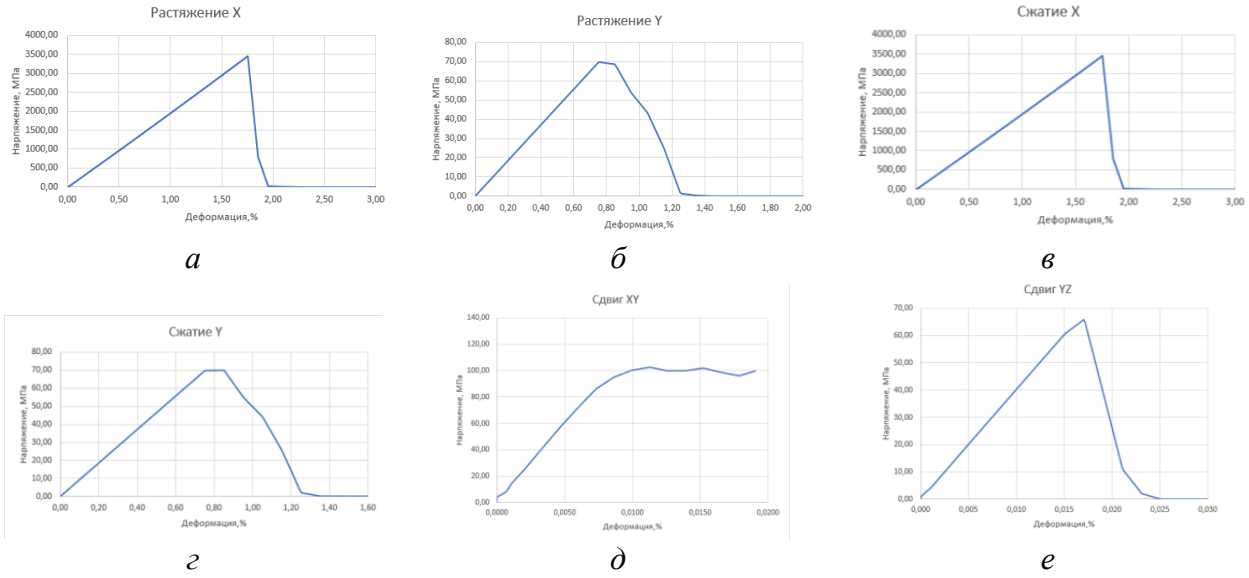


Рисунок 3. Конечно-элементная сетка ячейки представительного объёма микроуровня

В качестве граничных условий использовалось ограничение перемещений узлов на одной из сторон и перемещение узлов противоположной стороны. Так как ячейка являлась симметричной в плоскости, перпендикулярной оси армирования, были рассмотрены случаи нагружения на растяжение в X, Y направлениях, сжатия в X, Y направлениях, сдвига в плоскостях XY, YZ.

В результате проведения виртуальных испытаний ячейки представительного объёма микроуровня на растяжение в направлениях X, Y были получены следующие зависимости (рисунок 4 *а, б*). В данной постановке задачи характеристики в направлении Y совпадают с характеристиками в направлении Z.



а *б* *в*

г *д* *е*

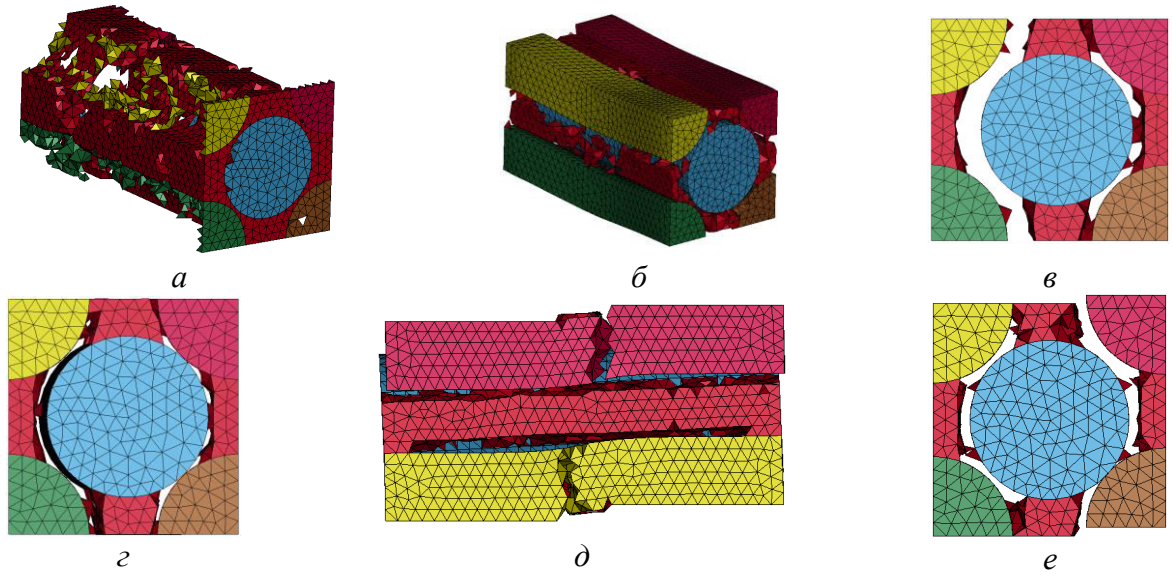
а – растяжение в направлении X, *б* – растяжение в направлении Y, *в* - сжатие в направлении X, *г* - сжатие в направлении Y, *д* – сдвиг в XY, *е* - сдвиг в YZ

Рисунок 4. Диаграммы растяжения ячейки представительного объёма микроуровня

В результате анализа диаграммы растяжения ячейки представительного объёма микроуровня в направлении X был определен предел прочности равный 3456,36 МПа при деформации 1,75%, модуль упругости составил 192 ГПа. Характер разрушения образца хрупкий, вызванный разрушением волокон (рисунок 5, *а*). При растяжении в направлении Y предел прочности равен 69,76 МПа при деформации 0,76%, модуль упругости составил 9,25 ГПа. Характер разрушения образца хрупкий, вызванный разрушением матрицы (рисунок 5, *б*).

В результате проведения виртуальных испытаний образцов на сжатие в направлениях X, Y, были получены следующие зависимости (рисунок 4 *в*, *г*). Анализ диаграммы сжатия ячейки представительного объёма микроуровня в направлении X показал предел прочности равный 3456,36 МПа при деформации 1,75%. Характер разрушения образца хрупкий, в результате потери устойчивости волокон. (рисунок 5, *в*). Сжатие в направлении Y показало, что предел прочности равен 69,76 МПа при деформации 0,85%. Характер разрушения образца хрупкий, вызванный разрушением матрицы (рисунок 5, *г*).

В результате проведения виртуальных испытаний ячейки представительного объёма микроуровня на сдвиг в плоскостях XY, YZ были получены следующие зависимости (Рисунок 4 *д, е*). В результате анализа диаграммы сдвига ячейки представительного объёма микроуровня в плоскости XY был определен предел прочности равный 102,71 МПа при деформации 1,13%, модуль сдвига равен 12,72 ГПа. Характер разрушения образца вязкий, что может объясняться вытягиванием волокон при сдвиге (рисунок 5, *д*). Сдвиг ячейки представительного объёма микроуровня в плоскости YZ показал, что предел прочности равен 65,85 МПа при деформации 1,7%, модуль сдвига равен 4,04 ГПа. Характер разрушения образца хрупкий, вызванный разрушением матрицы (рисунок 5, *е*).



а – растяжение в направлении X, *б* – растяжение в направлении Y, *в* – сжатие в направлении X, *г* – сжатие в направлении Y, *д* – сдвиг в плоскости XY, *е* – сдвиг в плоскости YZ

Рисунок 5. Ячейки представительного объёма микроуровня после разрушения

Разработка и анализ ячейки периодичности мезоуровня

Разработка ячейки мезоуровня заключалась в определении количественного состава поперечного сечения RVE.

Определение площади поперечного сечения волокна UMT49-12K

1 текс – масса волокна в граммах, отнесенная к 1 км, таким образом 1 текс=1кг/км. В техническом паспорте линейная плотность волокна равняется 760 текс, то есть 760 кг/км=0,76 г/м. В то же время, объёмная плотность волокна, исходя из паспорта волокна, равняется 1,78 г/см3=1780000 г/м^3. Найдём отношение линейной плотности к объёмной плотности, определим таким образом площадь поперечного сечения волокна: S=1780000/0,76=4,27e-7 м^2= 0,426 мм^2. Данная площадь соответствует 100% наполнению, однако учитывая то, что коэффициент наполнения жгута равен 0,736, то общая площадь поперечного сечения пропитанного жгута будет равняться 0,579 мм^2. Волокно будет иметь форму эллипса.

Определение площади поперечного сечения металлической проволоки.

Известно, что проволока в сечении имеет форму круга. Таким образом площадь поперечного сечения проволоки находится как площадь круга S=p*d^2/4. Таким образом площадь поперечного сечения проволоки с диаметром 0,3 мм будет равняться S=3,14*0,3^2/4=0,07 мм^2.

Определение количественного состава поперечного сечения RVE

Условно примем, что коэффициент наполнения нашего материала будет равен 0,55. Таким образом 0,45 частей объёма будет приходится на смолу. 0,55 частей объёма будет распределяться между металлической проволокой и волокном. Из предварительно выбранной технологии изготовления гибридов методом TFP известно, что в состав одного ровинга входит от 1 до 3 проволок и 1 волокно. Возьмем вариант с 3 проволоками и 1 волокном. Суммарная площадь поперечного сечения, армирующего составит 3*0,07+0,579=0,789 мм^2, 0,789 мм^2 составляет 0,55 частей от общей площади поперечного сечения, тогда 0,45 частей поперечного сечения будет равняться 0,645 мм^2. Сложим вместе обе части, получим общую площадь поперечного сечения, равную 1,434 мм2. Геометрия полученной ячейки мезоуровня представлена на рисунке 6. Размеры ячейки составили 1,317x0,878x1,317 мм.

В рамках данной задачи было также сделано допущение, что волокна находятся в не разрушаемой связи с матрицей, поэтому 7 контактных интерфейсов были заданы как склеенные, без возможности проскальзывания и разрушения (рисунок 7).

Конечно-элементная сетка была построена гекса-элементами линейного порядка. Размер элемента был установлен 0,05 мм. Обязательным условием корректной работы модели

было наличие сшитых узлов в контактной области, поэтому сетка между компонентами ячейки была сшита (рисунок 8).

В качестве граничных условий использовалась ограничение перемещений узлов на одной из сторон и перемещение узлов противоположной стороны. Были рассмотрены случаи нагружения на растяжение в X, Y, Z направлениях, сжатия в X, Y, Z направлениях, сдвига в плоскостях XY, YZ, XZ.

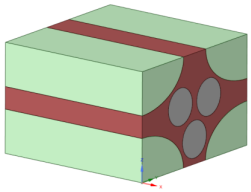


Рисунок 6. Геометрия ячейки мезоуровня

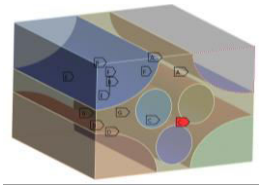


Рисунок 7. Контактные взаимодействия для представительного объёма мезоуровня

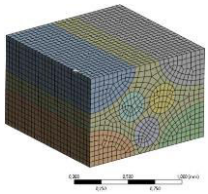
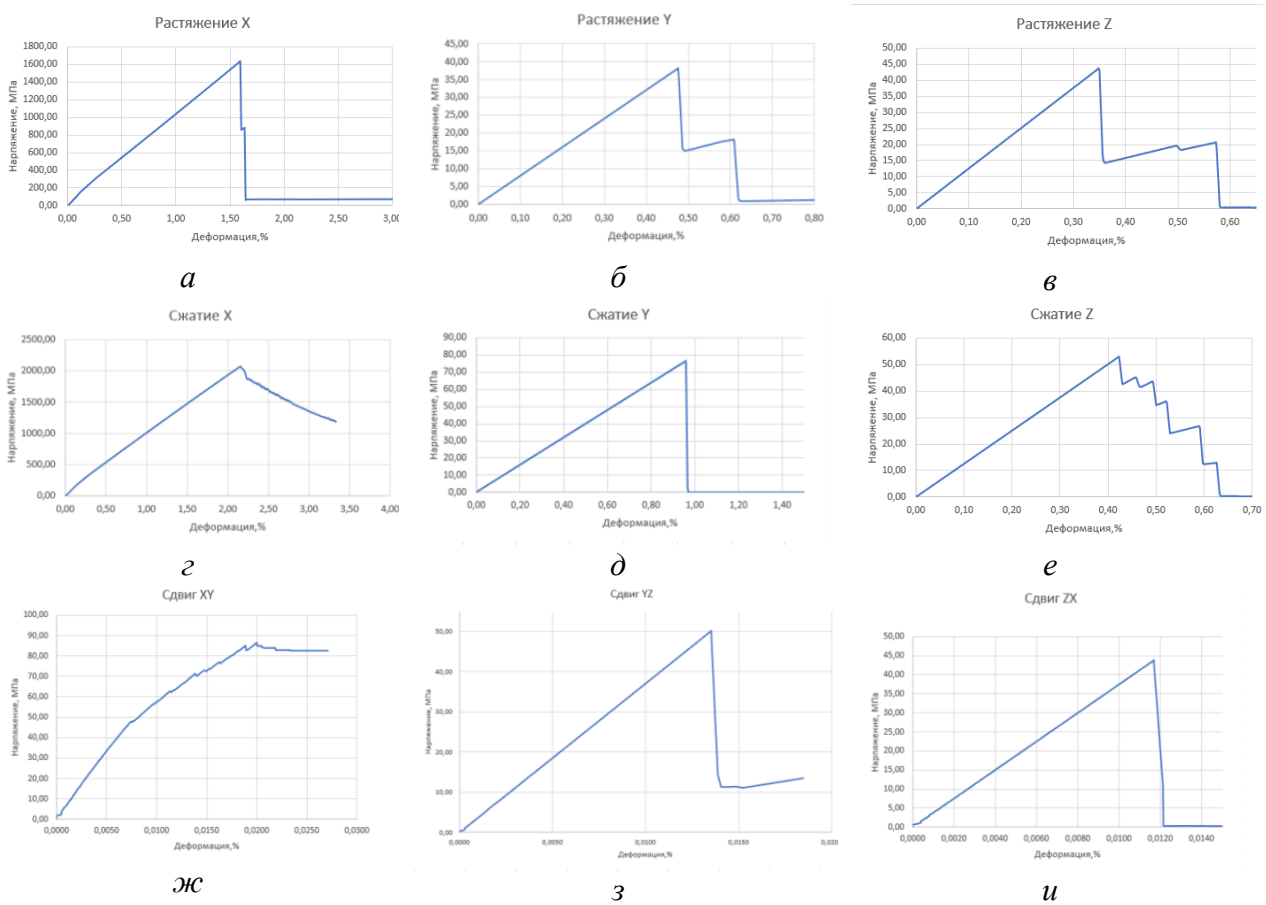


Рисунок 8. Конечно-элементная сетка ячейки представительного объёма мезоуровня

В результате проведения виртуальных испытаний ячейки представительного объёма мезоуровня на растяжение в направлениях X, Y, Z были получены следующие зависимости (рисунок 9, *а, б, в*).



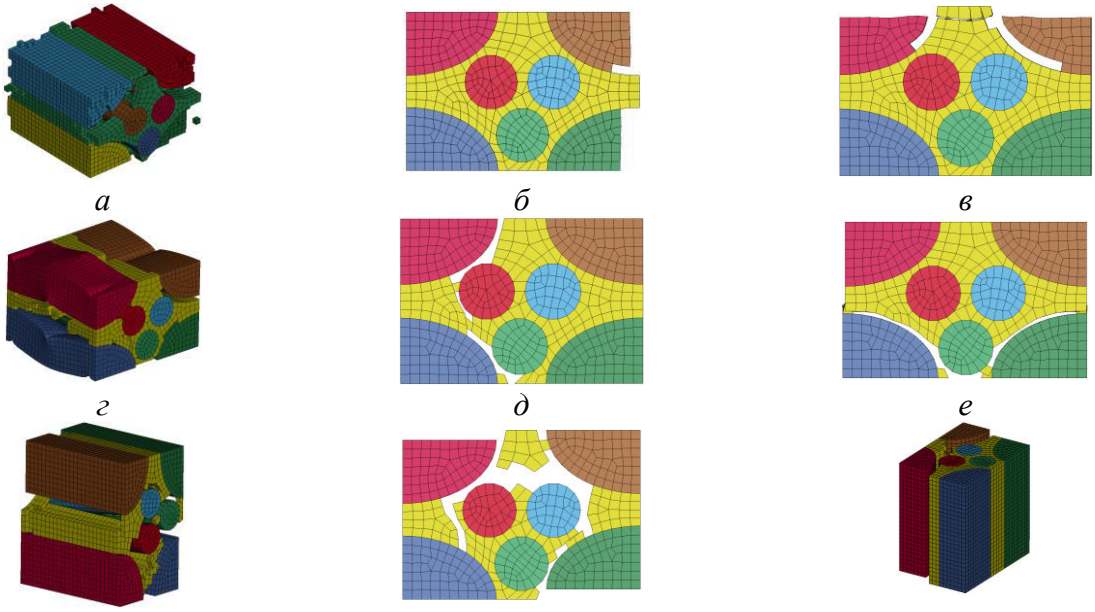
а – растяжение в направлении X, *б* – растяжение в направлении Y, *в* - растяжение в направлении Z, *г* – сжатие в направлении X, *д* – сжатие в направлении Y, *е* – сжатие в направлении Z, *ж* – сдвиг в XY, *з* – сдвиг в YZ, *и* - сдвиг в XZ

Рисунок 9. Диаграммы растяжения ячейки представительного объёма мезоуровня

В результате анализа диаграммы растяжения ячейки представительного объёма мезоуровня в направлении X был определен предел прочности равный 1636 МПа при деформации 1,59%, модуль упругости составил 132 ГПа. Характер разрушения образца вязкий

с остаточной прочностью после главного разрушения волокон (рисунок 10, *а*). Растяжение ячейки представительного объёма мезоуровня в направлении Y показало, что предел прочности равен 38 МПа при деформации 0,5%, модуль упругости составил 7,99 ГПа. Характер разрушения образца вязкий, вызванный поэтапным разрушением пропитанного волокна и матрицы (рисунок 10, *б*). Растяжение ячейки представительного объёма мезоуровня в направлении Z показало, что предел прочности равен 43,6 МПа при деформации 0,35%, модуль упругости составил 12,5 ГПа. Характер разрушения образца вязкий, вызванный поэтапным разрушением пропитанного волокна и матрицы (Рисунок 10, *в*).

В результате проведения виртуальных испытаний ячейки представительного объёма мезоуровня на сжатие в направлениях X, Y, Z были получены следующие зависимости (рисунок 9, *г, д, е*). Сжатие ячейки представительного объёма мезоуровня в направлении X показало предел прочности равный 2068 МПа при деформации 2,15%. Характер разрушения образца вязкий, в результате потери устойчивости волокон с последующим разрушением матрицы (рисунок 10, *г*). Сжатие ячейки представительного объёма мезоуровня в направлении Y показало, что предел прочности равен 76,6 МПа при деформации 0,96%. Характер разрушения образца хрупкий, вызванный разрушением матрицы (Рисунок 10, *д*). Сжатие ячейки представительного объёма мезоуровня в направлении Z показало, что предел прочности равен 53,07 МПа при деформации 0,42%. Характер разрушения образца хрупкий, вызванный разрушением матрицы (Рисунок 10, *е*).



а – растяжение в направлении X, *б* – растяжение в направлении Y, *в* – растяжение в направлении Z, *г* – сжатие в направлении X, *д* – сжатие в направлении Y, *е* – сжатие в направлении Z, *ж* – сдвиг в плоскости XY, *з* – сдвиг в плоскости YZ, *и* – сдвиг в плоскости ZX

Рисунок 10. Ячейки представительного объёма микроуровня после разрушения

В результате проведения виртуальных испытаний ячейки представительного объёма мезоуровня на сдвиг в плоскостях XY, YZ, XZ были получены следующие зависимости (рисунок 9, *ж, з, и*). В результате анализа диаграммы сдвига ячейки представительного объёма мезоуровня в плоскости XY был определен предел прочности равный 86,5 МПа при деформации 2%. Модуль сдвига составил 6,79 ГПа. Предел текучести составил 47,98 МПа, при деформации 0,075%. Характер разрушения образца вязкий, что может объясняться вытягиванием волокон при сдвиге (рисунок 10, *ж*). Сдвиг ячейки представительного объёма мезоуровня в плоскости YZ показал, что предел прочности равен 50,14 МПа при деформации 1,35%. Модуль сдвига составил 3,68 ГПа. Характер разрушения образца вязкий, вызванный

поэтапным разрушением матрицы (рисунок 10, *з*). Сдвиг ячейки представительного объёма мезоуровня в плоскости ZX показал, что предел прочности равен 43,75 МПа при деформации 1,17%. Модуль сдвига составил 3,65 ГПа. Характер разрушения образца вязкий, вызванный поэтапным разрушением матрицы (рисунок 10, *и*).

Выводы

С помощью применения многомасштабного подхода для определения механических характеристик было проведено моделирование микро и мезо-механики гибридного металло-полимерного композиционного материала на основе углеродных волокон, металлической проволоки и полимерной матрицы. В результате проведённых расчетных исследований установлены физико-механические характеристики гибридного МПКМ с учётом его закритического поведения. Расчётные данные показали наличие выраженных нелинейных эффектов на стадиях разрушения. Полученные диаграммы имели несколько не характерный для стандартных углепластиков вид. Отличие проявлялось в присутствии некоторого закритического поведения, другими словами, материал после первого разрушения, в некоторой степени сохранял свою несущую способность. Это позволяет выдвинуть гипотезу о том, что применение представленного гибридного МПКМ можно рассмотреть в конструкциях, которым необходимо обеспечить кратковременную живучесть или ударостойкость.

Статья подготовлена в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Халиулин В.И.* и др. Поисковый анализ структур гибридного полимерного металлокомпозита //VESTNIK of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering. – 2023. – Т. 22. – №. 3. – С. 160-175.

DETERMINATION OF THE PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF A HYBRID MPCM, TAKING INTO ACCOUNT THE SUPERCRITICAL BEHAVIOR

Petrov P.A., Yablonsky A.N.

Supervisor: Khaliulin V.I., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents the results of an experimental and numerical study of the mechanical characteristics of a hybrid metal-polymer composite material (MPCM), taking into account its behavior in supercritical loading conditions. A model of hybrid MPCM material at the micro and meso levels has been developed using a multiscale approach. Virtual tests of samples for static loading were carried out, special attention was paid to the analysis of nonlinear deformations, micro-damages and effects of damage accumulation. The data obtained can be used in the design of structures made of hybrid MPCM.

УДК 658.512.22

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 3-D СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТАЛЛОВ

Покровский А.В.

Научный руководитель: Левшонков Н.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье исследуются возможности применения технологии 3D-сканирования для производства деталей из композитных материалов и металлов.

Рассматриваются ключевые аспекты использования трехмерного сканирования в сочетании с аддитивными и традиционными методами обработки, включая контроль геометрии, минимизацию погрешностей и повышение эффективности производства. Особое внимание уделено сравнению точности и производительности при работе с различными материалами, а также перспективам внедрения данной технологии в промышленные процессы. Приводятся экспериментальные данные, подтверждающие преимущества интеграции 3D-сканирования в производственные циклы.

В текущее время в производство внедряется все больше и больше новых технологий, которые позволяют упростить и ускорить все этапы производства и контроля. Широкое применение нашли технологии с использованием 3-D сканеров, например, реверс-инжиниринг [1-4]. Реверс-инжиниринг (обратная разработка) — это процесс анализа существующего объекта для воссоздания его конструкции, принципов работы и технологий производства. В машиностроении, особенно в авиационной отрасли, он играет важную роль в проектировании, модернизации и ремонте сложных технических систем. Процесс реверс-инжиниринга представляет собой обработку исходных данных об объекте в системах автоматизированного проектирования (САПР), так же известные как Computer Aided Design (CAD). Это специальное программное обеспечение для компьютерного проектирования объектов. Для данного метода обычно применяют 3-D сканеры, которые обеспечивают быстрое и точное получения облака точек, которое потом используется для создания CAD модели. Основными преимуществами реверс-инжиниринга являются:

1. Восстановление и модернизация устаревших деталей:

Многие самолёты (например, советские Ан-2 или Ту-154) эксплуатируются десятилетиями, но оригинальная документация и оснастка для производства запчастей утеряны. Реверс-инжиниринг позволяет:

- восстанавливать геометрию изношенных компонентов (лопатки турбин, элементы шасси);
- модернизировать конструкции с применением современных материалов (композиты вместо металлов), что позволит пересмотреть старые машины.

2. Контроль качества и сертификация:

Сравнение изготовленных деталей с эталонными 3D-моделями позволяет:

- выявлять отклонения на ранних стадиях производства, например, при механообработке на станке. Рабочий на месте сможет понять сколько осталось убрать материала и корректировать процесс;
- сокращать время сертификации новых компонентов.

3. Ускорение разработки новых моделей

Использование цифровых двойников и реверс-инжиниринга сокращает цикл проектирования на 30–50%. Примеры:

- создание гибридных металлокомпозитных конструкций;
- виртуальные испытания (CFD-анализ, прочностные расчёты).

Все эти преимущества могут сыграть большую роль в разработке новой конструкции. Возможен пересмотр уже имеющихся образцов для их анализа и улучшения.

Одно из главных преимуществ метода реверс-инжиниринга — это его гибкость и возможность изготовления уже существующих металлических и других деталей сложной конфигурации (лопатки, элементы с двойной кривизной) с помощью аддитивных технологий (3-D печать), а также другими способами из композитных материалов. Далее будет разобран процесс производства детали с помощью данного метода, будет подобран оптимальный материал и метод изготовления, также полученная деталь будет проверена на точность.

Имеем образец втулки (рисунок 1) диаметром 30 мм, изготовленный из дюралюминия. Предположим, что мы не имеем чертежей и оснастки для производства данных деталей. С помощью сканирования была получена 3-D модель, которая является точным цифровым

двойником металлической втулки (рисунок 2), с помощью которой может быть подготовлена соответствующая документация, а также изготовлена технологическая оснастка.

Рисунок 1. Образец втулки для сканирования

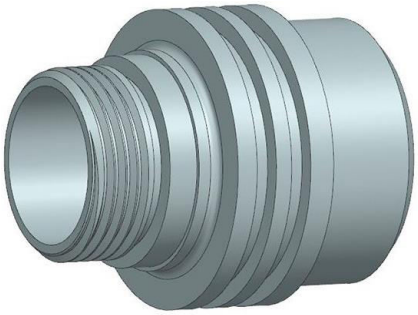


Рисунок 2. 3-D модель втулки, полученная методом реверс-инжиниринга

Изготовление возможно с помощью методов аддитивного производства или другими различными методами из композитных материалов:

Методы аддитивного производства:

- FDM (Fused Deposition Modeling) – послойное наплавление полимерной нити.
- SLS (Selective Laser Sintering) – спекание порошков (полимеры, металлы).
- SLM/DMLS – полное плавление металлических порошков.
- SLA/DLP – фотополимеризация жидких смол.
- BJ (Binder Jetting) – склеивание порошков связующим.
- EBM (Electron Beam Melting) – плавление металлов электронным лучом.

Методы изготовления:

- Ручная выкладка – смола и ткань укладываются вручную.
- Вакуумная инфузия – смола втягивается в материал под вакуумом.
- Автоклавное формование – формование при высоком давлении и температуре.
- Намотка волокна – используется для труб и цилиндров.
- RTM – смола закачивается в закрытую форму.
- Препреги – предварительно пропитанные волокна, запекаемые в печи.

Проанализировав вышеперечисленные способы изготовления, была составлена сводная таблица для сравнения (таблица 1).

Таблица 1

Характеристики для сравнения методов

Критерий	Аддитивные технологии	Композитные материалы
Материалы	Полимеры, металлы, керамика, композиты	Угле-/стекловолокно, кевлар, эпоксидные смолы
Скорость	Быстрое прототипирование	Длительный процесс (особенно ручная выкладка)
Сложность форм	Подходит для сложных геометрий	Ограничено формой оснастки
Прочность	Зависит от материала	Высокая удельная прочность
Себестоимость	Дорогие металлы и композиты	Дорогие армирующие материалы
Масштабирование	Для мелких и средних деталей	Подходит для крупных конструкций

Для данной детали лучше всего подойдет использование 3-D печати, так как она является деталью вращения, не имеет особых технологических требований и имеет довольно маленький размер. Для прототипов печать будет производиться из полимерных пластиков, далее печать может выполняться из специальных металлов (при наличии специального

оборудования). Сам процесс печати занимает относительно немного времени по сравнению с другими методами. После изготовления детали она была проверена на точность на КИМ (контрольно-измерительная машина). Результаты проверки представлены на рисунке 3.

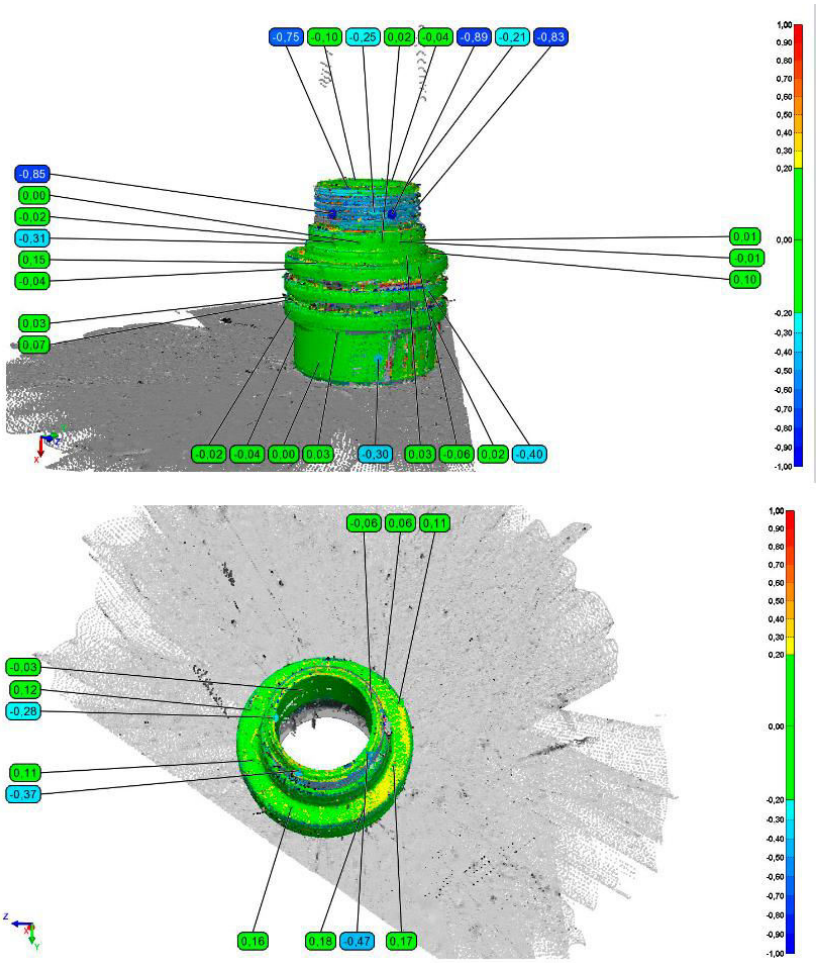


Рисунок 3. Результаты проверки на КИМ

Из отчета ясно, что в основном отклонения довольно малы, но имеются большие расхождения с эталонной моделью в районе резьбы. Это может быть связано с усадкой пластика и неточностью печати.

Можно отметить, что использование 3-D сканирования в совокупности с новыми методами изготовления существенно позволяет ускорить время изготовления образца, а также время на его проверку с эталоном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Обзор: что такое реверс-инжиниринг с применением 3D-технологий // ScanU: [сайт]. – 2024. – URL: https://top3dshop.ru/blog/chto-takoe-revers-inzhiniring.html (дата обращения 14.06.2025).

2. *Ермаков М.А., Тоньшина А.О.* Методика реверс-инжиниринга рабочего колеса центробежного насоса // Актуальные проблемы авиации и космонавтики – Том 1 – Красноярск, 2020. – С. 234 – 236.

3. *Зеленко М.А., Попович А.А., Мулытина И.Н.* Аддитивные технологии в машиностроении. СПб.: СПбПУ, 2013. 200 - 223 с.

4. *Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б.* Технологии аддитивного производства. Трехмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2020. – 648 стр.

APPLICATION OF 3D SCANNING TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING COMPOSITE AND METAL PARTS

Pokrovskiy A.V.

Supervisor: Levshonkov N.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article explores the potential applications of 3D scanning technology for manufacturing parts from composite materials and metals. Key aspects of integrating 3D scanning with additive and traditional manufacturing methods are examined, including geometry control, error minimization, and production efficiency improvement. Special attention is given to comparing accuracy and productivity when processing different materials, as well as prospects for implementing this technology in industrial processes. Experimental data confirming the advantages of incorporating 3D scanning into production cycles are presented.

УДК 621.791.5:677.7

ГОФРИРОВАНО ЛИНЕЙНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СОТ С КОНФИГУРАЦИЕЙ «ЛАСТОЧКИН ХВОСТ»

Рожков В.А.

Научный руководитель: Халиулин В.И., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена разработке и применению инновационных технологий в судостроении, в частности, созданию гофрировано-линейного стенда для производства сотовых структур с конфигурацией "Ласточкин хвост". Рассматриваются конструктивные особенности стенда, принципы его работы и преимущества использования в судостроительной отрасли. Особое внимание уделено роли легких ячеистых заполнителей в снижении веса и повышении прочности судов, а также влиянию данной технологии на экономичность и безопасность морской техники.

Введение

Судостроительная отрасль постоянно развивается, внедряя новейшие подходы и технологии для создания эффективных и надежных конструкций судов и сопутствующих технических систем. Одной из важных задач в этой области является создание новых конструкций позволяющих уменьшить вес конструкции с сохранением прочностных свойств [1]. Одним из решений может являться создание легких ячеистых заполнителей, которые могут использоваться в многослойных конструкциях судов [2]. Рассмотрим подробнее процесс конструирования и изготовления одного из таких устройств — гофрировано линейного стенда для производства сот с конфигурацией "Ласточкин хвост".

Основные требования к техническим системам в судостроении

Современные суда должны соответствовать высоким стандартам безопасности, долговечности и эффективности эксплуатации. Для достижения этих целей применяются сложные технические системы, такие как легкие ячеистые заполнители, обеспечивающие высокую удельную прочность и жесткость конструкции. Эти материалы используются в многослойных панелях, например, палубах и переборках, где важно сочетание легкости и прочности [3-5].

Применение легких ячеистых заполнителей позволяет существенно уменьшить общий вес судна, что напрямую влияет на его экономичность и эксплуатационные характеристики. Легкие конструкции обеспечивают снижение расхода топлива, увеличение грузоподъемности и улучшение маневренности судна. Также они способствуют повышению устойчивости к нагрузкам и вибрациям, что особенно важно в условиях морского плавания.

Гофрированно-линейный стенд: принцип работы и конструкция

Одним из наиболее перспективных решений для производства легких ячеистых заполнителей является гофрировано линейный стенд, разработанный на базе имеющихся станков. Этот стенд предназначен для непрерывного производства сотовых структур с конфигурацией "Ласточкин хвост", которые обладают возможностью их применения на цилиндрической поверхности без образования седловидности (рисунок 1, 2).

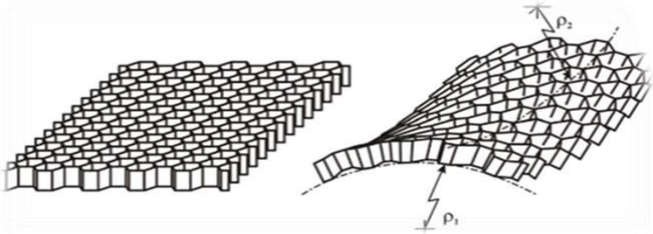


Рисунок 1. Проявление седловидности при изгибе сотового блока

Рисунок 2. Сотовый наполнитель на цилиндрической поверхности

Конструкция стенда

Основой устройства является металлический корпус, выполненный из прочного профиля, обеспечивающего устойчивость и надежность всей конструкции (таблица 1). На корпусе установлены валики для гофрирования, изготовленные из пластика методом 3D-печати. Использование пластиков позволяет снизить массу стенда и упростить процесс его обслуживания.

Система регулировки валов дает возможность изменять параметры процесса гофрирования, адаптируя стенд под разные типы сотовых структур. Важной особенностью конструкции является наличие системы шестеренок и шпилек, которые передают механическую энергию от рукояти на валики, обеспечивая последовательное воздействие на обрабатываемый материал (рисунок 3).

Таблица 1

Спецификация

№	Наименования	№	Наименования
1	Корпус	10	Переходники
2	Рукоять	11	Втулки регулировки валиков
3	Шестерни	12	Опора
4	Шпильки	13	Регулятор валиков
5	Шпильки удлиненные	14	Направляющие
6	Валики конечного гофрирования	15	Перекладины
7	Болт	16	Трубка
8	Регулятор	17	Валики
9	Валики гофрирования	18	Резина

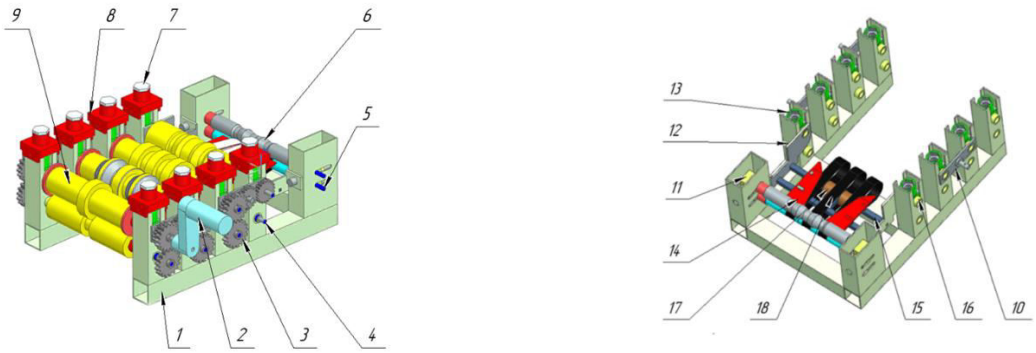


Рисунок 3. Схема с проставленными позициями

Принцип работы

Процесс начинается с подачи листа материала (например, бумаги) на первый ряд валиков, где ему придается начальная форма. Далее лист проходит через второй и третий ряды валиков, постепенно приобретая требуемую конфигурацию. Специальный ремень, установленный между крайними рядами валиков, обеспечивает передачу крутящего момента и синхронизацию движений.

Окончательная форма изделия формируется на последних рядах валиков, после чего оно выходит из стенда готовым к использованию. Такая технология позволяет создавать сотовые структуры с высокой точностью и стабильностью параметров (рисунок 4, 5).

Преимущества и перспективы использования

Использование гофрировано линейного стенда имеет множество преимуществ:

1. **Универсальность**: Возможность замены валиков и других сборочных элементов позволяет адаптировать стенд под производство различных типов сотовых структур, включая нестандартные формы, такие как "Ласточкин хвост" обеспечивающие возможность укладки сотовых панелей на цилиндрическую поверхность.
2. **Экономичность**: Пластиковые детали, изготовленные методом 3D-печати, снижают стоимость производства и обслуживания стенда, делая его доступным для широкого круга предприятий.
3. **Высокая производительность**: Непрерывный процесс производства позволяет значительно увеличить объемы выпускаемой продукции, что особенно важно в условиях массового производства.
4. **Экологичность**: Использование экологически чистых материалов и технологий минимизирует негативное влияние на окружающую среду.

Зачем и для чего эта технология нужна в судостроительной отрасли?

Технология производства сотовых структур с использованием гофрировано линейного стенда играет важную роль в судостроении по нескольким причинам:

- **Снижение веса судна**: Легкие ячеистые заполнители позволяют уменьшить общую массу конструкции, что улучшает экономические показатели эксплуатации судна.
- **Повышение прочности и жесткости**: Сотовые структуры с конфигурацией "Ласточкин хвост" обладают высокими значениями удельной прочности и жесткости, что критически важно для обеспечения безопасности и долговечности судов.
- **Улучшение эксплуатационных характеристик**: Снижение веса и повышение прочности способствуют улучшению маневренности, увеличению грузоподъемности и снижению расхода топлива.
- **Устойчивость к внешним воздействиям**: Легкие конструкции с сотовыми структурами лучше противостоят вибрационным и ударным нагрузкам, что повышает надежность и долговечность судна.

Таким образом, применение данной технологии в судостроении позволяет создавать сотовые наполнители для их применения в современных судах, отвечающие всем требованиям безопасности, экономичности и экологичности.

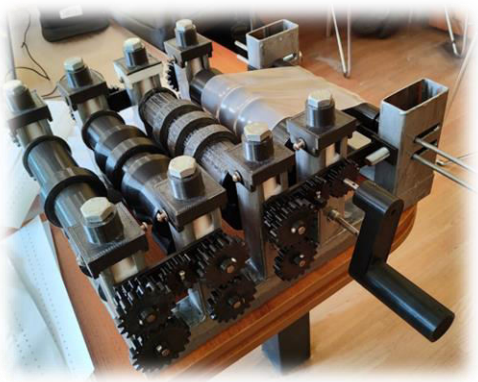


Рисунок 4. Гофрировано линейный стенд

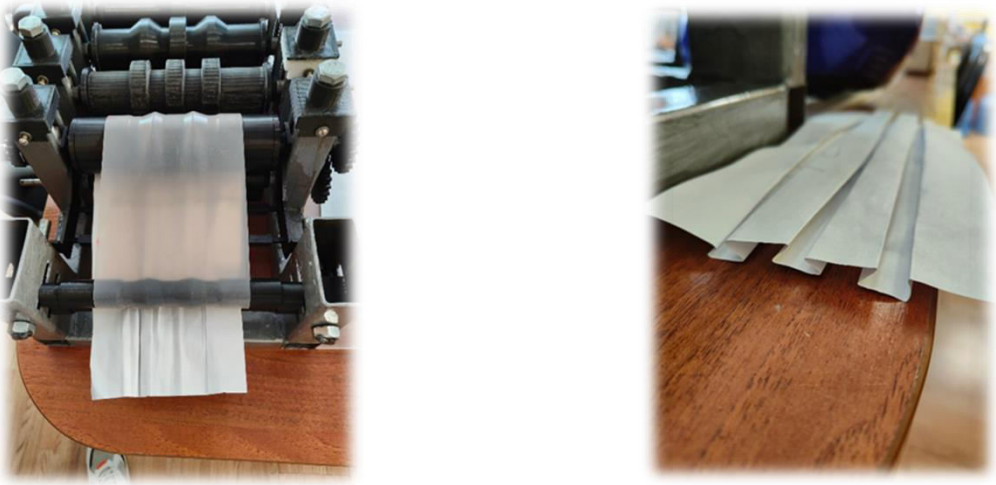


Рисунок 5. Демонстрационные образцы

Заключение

Инновационное решение в виде гофрировано линейного стенда демонстрирует потенциал применения современных технологий в судостроительной отрасли. Такое оборудование открывает новые горизонты в создании легких и прочных конструкций, необходимых для повышения эффективности и безопасности морских судов. Продолжающееся развитие этого направления позволит создать еще более совершенные технические системы и устройства, соответствующие самым строгим требованиям современного судостроения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гребеньков О.А.* Конструкция самолетов. Учебное пособие. Изд-во Машиностроение – 1984, 240 с.

2. *Добровольский В.Д., Малицкий А.Н., Ципко А.А.* Устройство для непрерывного формования профильных изделий из листовой заготовки // Патент СССР №859186, 1981. Бюл. №32. – Режим доступа: [http://patents.su/3- 859186-ustrojjstvo-dlya-nepreryvnogo-formovaniyaprofilnykh-izdelijj-iz-listovojjzagotovki.html.].

3. Конспект лекций по дисциплине «Технологии интегральных и многослойных конструкций», Казань. – 2017 г.

4. *Халиулин В.И., Шапаев И.И.* Технология производства композитных конструкций. Издательство КНИТУ-КАИ, 2004.

5. *Дэн Гордон Джадж-младший* Патент: Honey comb core machine and method No 3,493,450 Feb. 1965 – Режим доступа: [https://patents.google.com/patent/US3493450A/en.].

A CORRUGATED LINEAR STAND FOR THE PRODUCTION OF HONEYCOMBS WITH A "DOVETAIL" CONFIGURATION

Rozhkov V.A.

Supervisor: Khaliulin V.I., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article focuses on the development and application of innovative technologies in shipbuilding, specifically the creation of a corrugated-linear stand for producing honeycomb structures with a "Swallowtail" configuration. The design features of the stand, its operating principles, and advantages in the shipbuilding industry are discussed. Particular attention is paid to the role of lightweight cellular fillers in reducing weight and increasing the strength of ships, as well as the impact of this technology on the economy and safety of marine equipment.

УДК 620.18

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ПЕЧАТИ НА ПОРИСТОСТЬ ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

Савинов Д.В., Казанцева К.В.

Научный руководитель: Шабалин Л.П., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данном исследовании описывается процесса нахождения коэффициента корреляции между параметрами режима печати и пористости получаемых образцов. По результатам исследования получено, что наибольшее влияние на пористость оказывает коэффициент подачи материала, чем он больше, тем пористость меньше, и скорость печати, чем она больше, тем пористость выше.

На сегодняшний день, аддитивные технологии занимают значительное место в промышленности, в частности 3D-печать, работающая по технологии послойного наплавления (FDM). В основном, это связано с тем, что аддитивное производство нашло применение в различных сферах профессиональной деятельности, в том числе, в области авиа - и двигателестроения [1]. Одна из проблем напечатанных изделий — это высокая пористость.

В общем на качество детали, получаемой методом FDM, влияет целый комплекс технологических параметров: объёмный расход расплава через сопло экструдера (коэффициент подачи материала), линейная скорость экструдера, высота слоя, температура камеры и т.д. Оптимизация этих параметров позволит контролировать пористость, а также улучшать физико-механические характеристики, напечатанных изделий.

В зависимости от природы и механизмов образования, в аддитивных технологиях, поры делятся на два типа: отсутствие расплава и газовые поры [2]. Отсутствие расплава – вид пористости, представляющий собой участки в напечатанных деталях куда не затекает расплав, зачастую образующейся между экструзионными нитями. Размер таких пор более 100 микрометров. Возникает из-за высокой вязкости расплава или шероховатостей поверхности. Подбор температуры расплава и его расход через сопло экструдера позволит минимизировать пористость этого вида. Большая газовая пористость в напечатанных деталях обусловлена наличием газа или воды внутри или на поверхности гранул. Размер газовых пор обычно менее 50 микрометров. Подобные поры возникают внутри экструзионных нитей. Уменьшить газовую пористость можно предварительно просушив материал для печати.

Для определения параметров технологического процесса печати, наиболее сильно влияющих на пористость напечатанных изделий, необходимо получить серию образцов, напечатанных при различных режимах из одного материала, определить пористость каждого полученного образца и провести корреляционный анализ.

В качестве формы опытного образца выбрано кольцо с серединным диаметром 25 мм, высотой 5 мм и толщиной стенки 0,5 мм. Образцы данной формы имеют малое время печати (в среднем 3 минуты), и позволяет проводить дальнейшие исследования без дополнительной механической обработки.

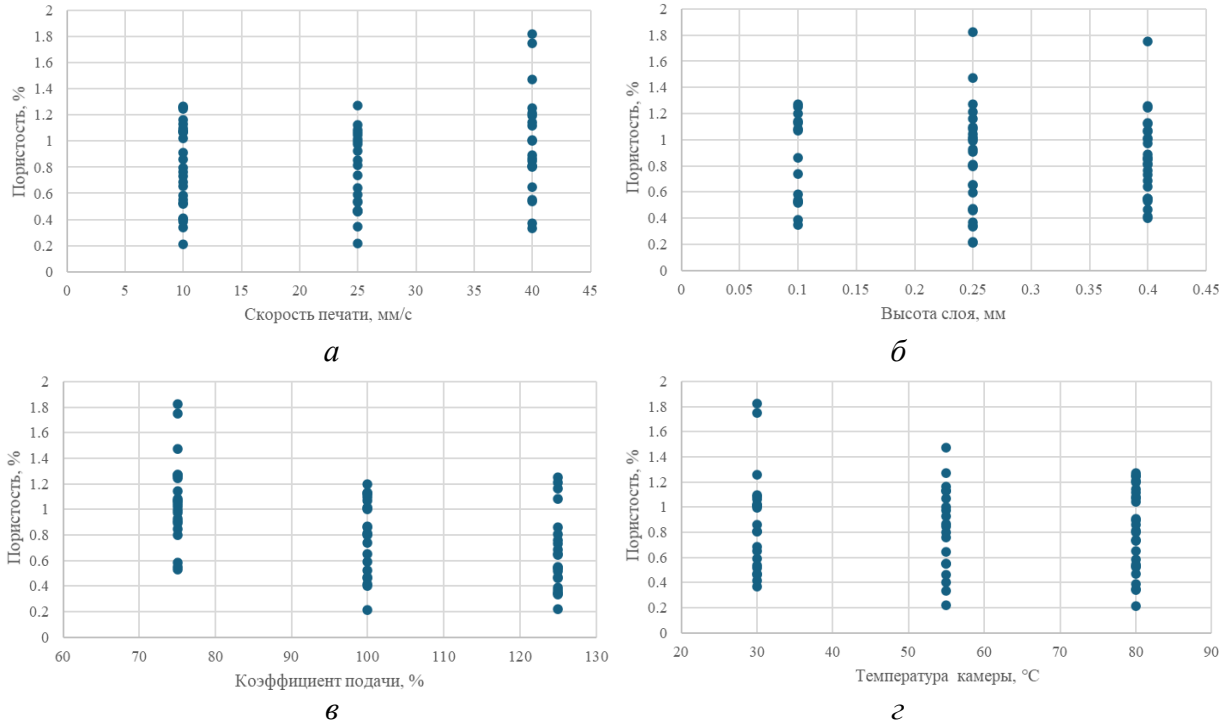
Материал для печати – АБС, обладает высокой прочностью на растяжение и ударной вязкостью, что делает его устойчивым к механическим деформациям; имеет минимальную усадку при охлаждении, что снижает риск возникновения деформации при печати крупных серий; существует возможность постобработки; обладает низкой себестоимостью; подходит для печати большинству принтеров.

Для построения матрицы эксперимента был выбран базовый режим печати, включающий: скорость печати 25 мм/с, высоту слоя 0,25 мм, коэффициент подачи 100%, и температуру камеры 55 ^{0}C. От этого базового режима в сторону увеличения и уменьшения на 25% взяты дополнительные точки. Далее методом перебора всех возможных комбинаций

разных параметров печати, получилась матрица испытаний содержащая 81 режим для печати. Определившись с матрицей испытаний, проводилась печать всех образцов.

Для определения кажущейся плотности образцов применялся метод гидростатического взвешивания (ГОСТ 15139-69). В основе этого метода лежит сравнение масс испытуемого образца и жидкости с известной плотностью одинаковых объемов. Для повышения точности измерения плотность жидкости должно быть меньше, чем плотность образца, и каждый образец должен проходить испытания не менее пяти раз, причем после каждого раза образец в течение суток оставлялся на открытом воздухе, для сушки.

Проведя измерение пористости всех образцов, была построена серия графиков зависимости пористости образцов от технологических параметров, представленных на рисунке 1.



а *б* *в* *г*

а - зависимость пористости от скорости печати; *б* - зависимость пористости от высоты слоя; *в* - зависимость пористости от коэффициента подачи; *г* - зависимость пористости от температуры камеры

Рисунок 1. Графики зависимости пористости от режима печати

Так же анализ полученных результатов проводился с помощью статистического метода. В науке о данных обычно используются корреляции «Спирмана и Пирсона». Разница между Спирманом и Пирсоном заключается в том, что Спирман использует ранговые переменные, а Пирсон — интервальные или количественные переменные [3]. Выбор того, какой из них использовать, зависит от рассматриваемых параметров: Коэффициент корреляции Пирсона показывает, насколько две непрерывные величины связаны между собой по прямой. Предполагается, что данные распределены нормально и связь между ними прямая, а не криволинейная. В отличие от корреляции Пирсона, коэффициент корреляции Спирмана измеряет степень связи между двумя объектами на основе их ранга или порядка. Он проверяет, движется ли связь между ними в одном направлении, даже если она не прямая. В отличие от Пирсона, Спирман не требует, чтобы данные подчинялись нормальному распределению, и хорошо работает с ранжированными или упорядоченными данными. Результаты анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1

Значения коэффициента корреляции

Параметр режима печати	Коэффициент корреляции по Пирсану	Коэффициент корреляции по Спирману
Скорости печати	0,200	0,183
Высоты слоя	0,016	0,009
Коэффициента подачи	-0,495	-0,437
Температуры стола и камеры	-0,075	-0,065

Исходя из данных исследования можно заметить, что наибольшее влияние на пористость в первую очередь оказывает коэффициент подачи, степень корреляции оказалась отрицательной, то есть зависимость обратного типа. Это значит, что для увеличения пористости необходимо уменьшить коэффициент подачи и наоборот, для уменьшения – увеличить.

Следующий параметр, оказывающий влияние на пористость – скорость печати, он имеет малую положительную корреляцию (r=0,2), то есть при росте скорости, незначительно увеличивается значение пористости. Кроме того, в процессе печати, при большой скорости возможно возникновение областей на детали с отсутствием расплава, что в свою очередь может привести к уменьшению физико-механических характеристик, таких как потеря прочности и жесткости, кроме того, это влияет и на качество поверхности изделия (рисунок 2).

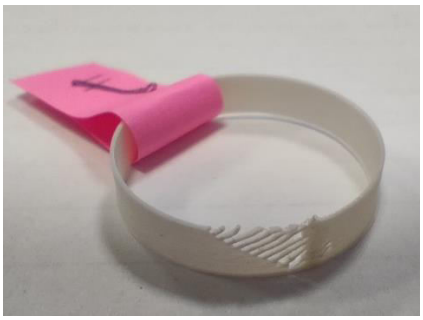


Рисунок 2. Дефект при печати на больших скоростях

Температура значительно не влияет на порообразование в напечатанных изделиях. Однако, как выяснилось, этот параметр оказывает значительное влияние на адгезию между рабочим столиком и образцом: низкие температуры рабочего поля приводит к низкому взаимодействию с печатающейся на нем деталью и последующим возможным отрывом её в процессе печати.

Последним по значимости оказалась высота слоя – у нее значение близкое к нулю, а значит в данном исследовании этот параметр никак не влияет на пористость. Но как было замечено в данном исследовании при высоте слоя 0,1 мм и низких температурах рабочего поля происходит отрыв образцов от столика во время печати.

Статья подготовлена в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Киршина А.А., Киршин А.Ю., Побелянский А.В.* Исследование влияния режимов печати на пористость поверхности образцов, изготовленных методом аддитивного производства. 2019.

2. *Wang S.* et al. Role of porosity defects in metal 3D printing: Formation mechanisms, impacts on properties and mitigation strategies //Materials Today. – 2022. – Т. 59. – С. 133-160.

3. Pearson vs Spearman Correlation Coefficients – Difference and Applications // The IoT Academy URL: https://www.theiotacademy.co/blog/pearson-vs-spearman-correlation/ (дата обращения: 16.04.2025).

CORRELATION ANALYSIS OF THE EFFECT OF THE PRINTING MODE ON THE POROSITY OF THE RESULTING PRODUCTS

Savinov D.V., Kazantseva K.V.
Supervisor: Shabalin L.P., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. This study describes the process of finding the correlation coefficient between the parameters of the printing mode and the porosity of the resulting samples. According to the results of the study, the material feed rate has the greatest effect on porosity, the higher it is, the lower the porosity, and the printing speed, the higher it is, the higher the porosity.

УДК 629.7.01

СБОРКА И КОНТРОЛЬ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Салихов Н.Ф., Пузырецкий Е.А.
Научный руководитель: Шабалин Л.П., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данном исследовании описывается процесс применения технологий виртуальной и дополненной реальности для сборки и контроля авиационных конструкций. По результатам исследования установлено, что использование AR упрощает проверку правильности установки и комплектности деталей за счёт наложения цифровых моделей на реальное изделие, а VR позволяет создавать обучающие сценарии и моделировать процесс сборки без использования физических прототипов.

На сегодняшний день технологии виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) активно внедряются в авиационной промышленности. Это связано с необходимостью повышения эффективности процессов проектирования, сборки и технического обслуживания, а также с переходом к цифровым производственным моделям [1]. Внедрение VR и AR позволяет сократить время выполнения операций, снизить количество ошибок и обеспечить более высокую наглядность инструкций. Особенно востребованы эти технологии в условиях ограниченного доступа к реальным объектам и необходимости обучения персонала.

Применение дополненной реальности активно развивается в сфере технического обслуживания авиационной техники. В частности, исследование показывает, что использование AR-инструкций при обучении обслуживанию авиационного двигателя позволяет сократить время выполнения задач до 38%, а количество ошибок снизить на 57% [1]. Основой такой системы является интеграция 3D-модели оборудования в реальное пространство с наложением пошаговых инструкций и визуальных подсказок.

Для задач сборки и контроля особый интерес представляют системы виртуальной сборки, такие как HAMS [2]. Эта система позволяет пользователю взаимодействовать с цифровыми моделями в виртуальной среде с обратной тактильной связью. Использование динамических ограничений (DAC) даёт возможность имитировать реальные процессы сборки, проверять последовательность операций и выявлять потенциальные ошибки ещё на этапе технологической подготовки.

Особое внимание уделяется выбору между использованием VR и AR в зависимости от специфики задачи. В исследовании [3] отмечено, что VR лучше подходит для обучения и

предварительного планирования операций, тогда как AR эффективнее на реальных производственных участках, где требуется наложение цифровых подсказок на физические объекты. Примеры внедрения AR включают поддержку наземных испытаний самолётов, программирование траекторий роботов и сопровождение ручных ремонтных операций.

Для целей обучения и моделирования технологических процессов активно используются платформы VR Concept, позволяющие быстро создавать виртуальные тренажёры без необходимости программирования [4]. Такие системы позволяют на основе CAD-моделей разрабатывать сценарии сборки, контролировать действия пользователя и обеспечивать коллективную работу в виртуальной среде. Это значительно снижает затраты на подготовку специалистов и повышает безопасность выполнения операций.

Использование технологий виртуальной реальности (VR) в авиационной промышленности позволяет эффективно решать задачи подготовки производства, обучения персонала и оптимизации сборочных процессов. Разработка виртуального симулятора стапельной сборки панели фюзеляжа самолёта выполнена в программной среде VR Concept (рисунок 1).

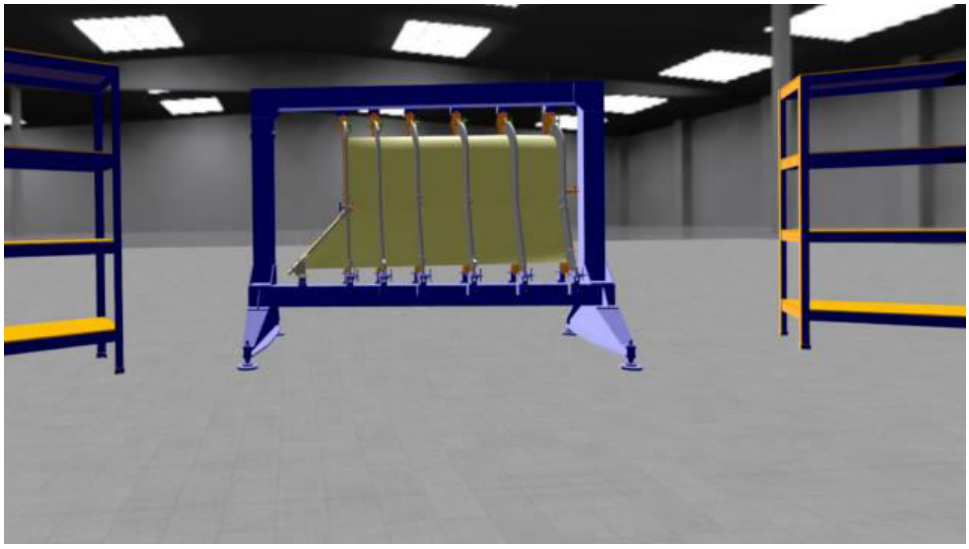


Рисунок 1. Сборочное приспособление и сборочная единица

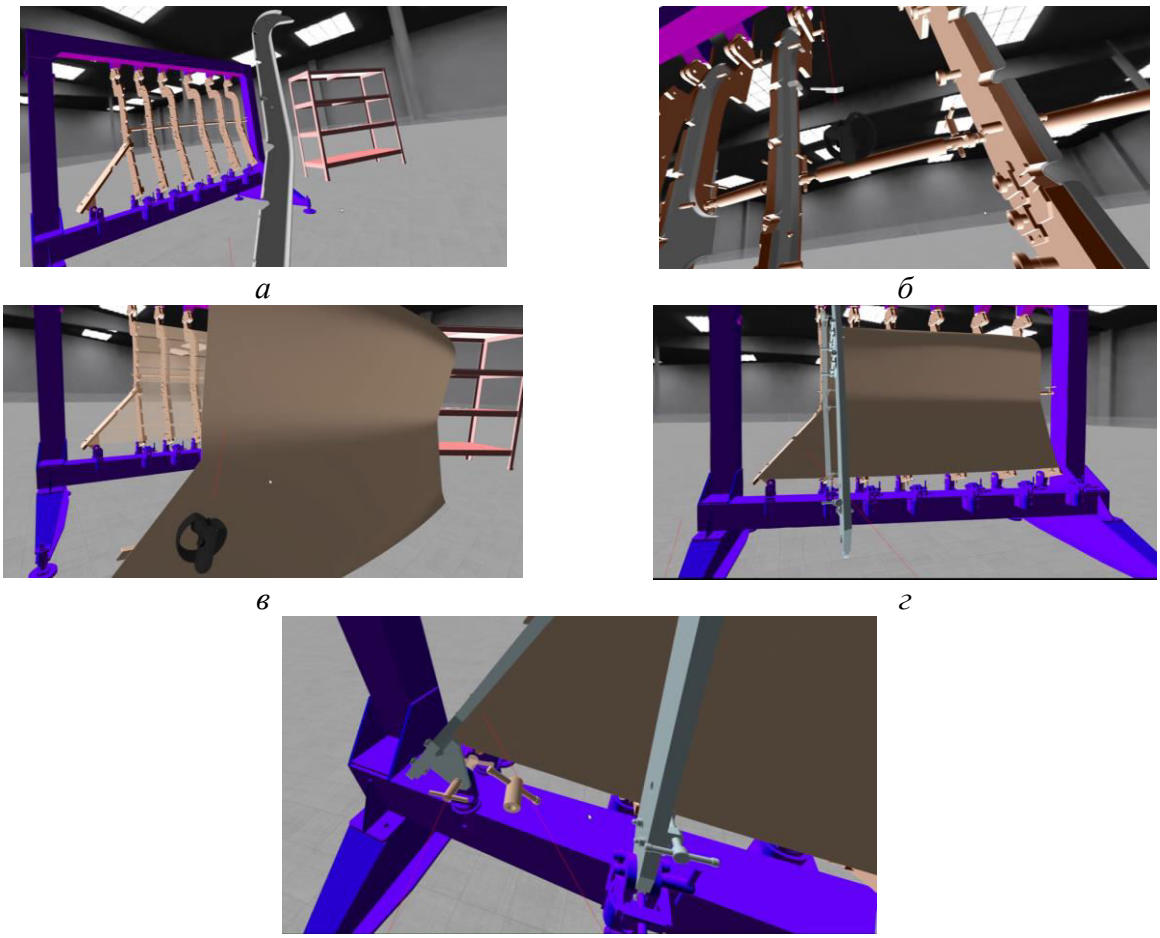
Этот инструмент обеспечивает возможность работы с крупными инженерными сборками, поддерживает отечественные форматы CAD и позволяет создавать интерактивные технологические сценарии без необходимости программирования.

Для создания цифрового производственного процесса в VR Concept была импортирована модель панели фюзеляжа, включая стапель, нервюры, рубильники, штифты и элементы крепежа.

Модели были предварительно оптимизированы для уменьшения нагрузки на оборудование и повышения производительности сцены.

Сценарий стапельной сборки включает следующие этапы:

- установка нервюр (рисунок 2, *а*);
- фиксация нервюр Г-образными прижимами (рисунок 2, *б*);
- установка панели фюзеляжа со стрингерами в сборочное приспособление (рисунок 2, *в*);
- установка рубильников (рисунок 2, *г*);
- фиксация рубильников штифтами (рисунок 2, *д*).



а *б* *в* *г* *д*

Рисунок 2. Последовательность сборки в VR Concept

В процессе работы реализована пространственная привязка всех компонентов к координатной системе стапеля (рисунок 3), что позволяет точно позиционировать детали и организовать их взаимодействие. Пользователь в виртуальной среде поэтапно выполняет операции сборки, используя систему подсказок и визуальных указаний.

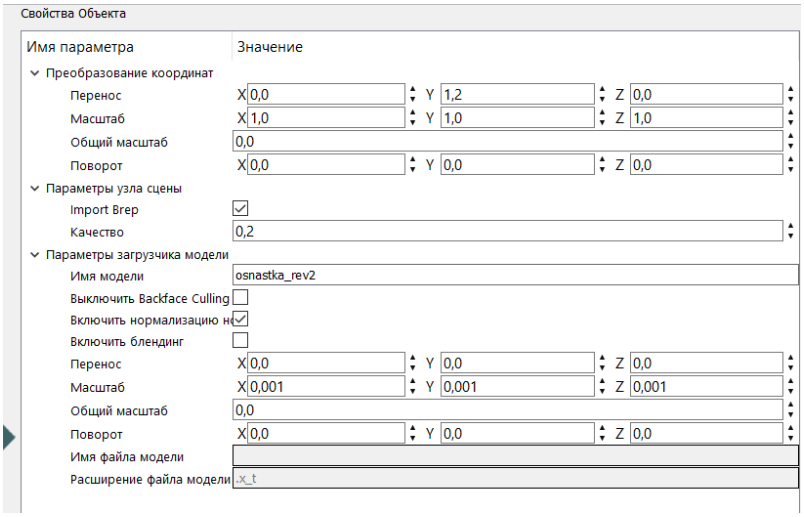


Рисунок 3. Свойства объекта

Встроенный механизм «Прилипание» обеспечивает правильное размещение компонентов при взаимодействии, позволяя проверять корректность выполнения операций и фиксировать ошибки пользователя (рисунок 4).

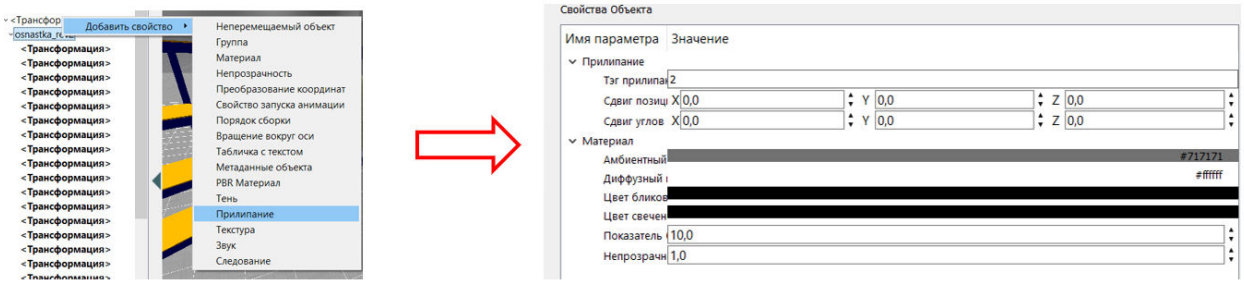


Рисунок 4. Задание свойства «Прилипание»

Такой подход обеспечивает быстрое освоение последовательности сборки без риска повреждения реальных деталей.

Преимущества VR-модели заключаются в возможности детально изучить конструкцию, отработать правильную последовательность действий, а также выявить возможные ошибки на этапе проектирования. При этом отсутствует необходимость использования физических макетов или проведения дорогостоящих тренировок на реальном оборудовании.

Контроль сборки с использованием дополненной реальности

Для задач контроля правильности установки элементов конструкции разработана методика применения дополненной реальности (AR) с использованием программной платформы EV Toolbox. Этот инструмент позволяет создавать AR-сцены без необходимости программирования и ориентирован на производственные и учебные задачи.

В основу AR-контроля положено сопоставление реального объекта с его цифровым двойником. Цифровая 3D-модель панели фюзеляжа самолёта была экспортирована из CAD-системы и разделена на отдельные элементы, соответствующие шагам технологического процесса сборки.

Привязка AR-сцены к реальному объекту осуществляется с помощью AR-маркеров (рисунок 5). На экране устройства с камерой отображается виртуальная модель, точно совмещённая с физическим изделием. Система пошагово показывает, какой элемент необходимо установить, где он должен располагаться и как его правильно закрепить.

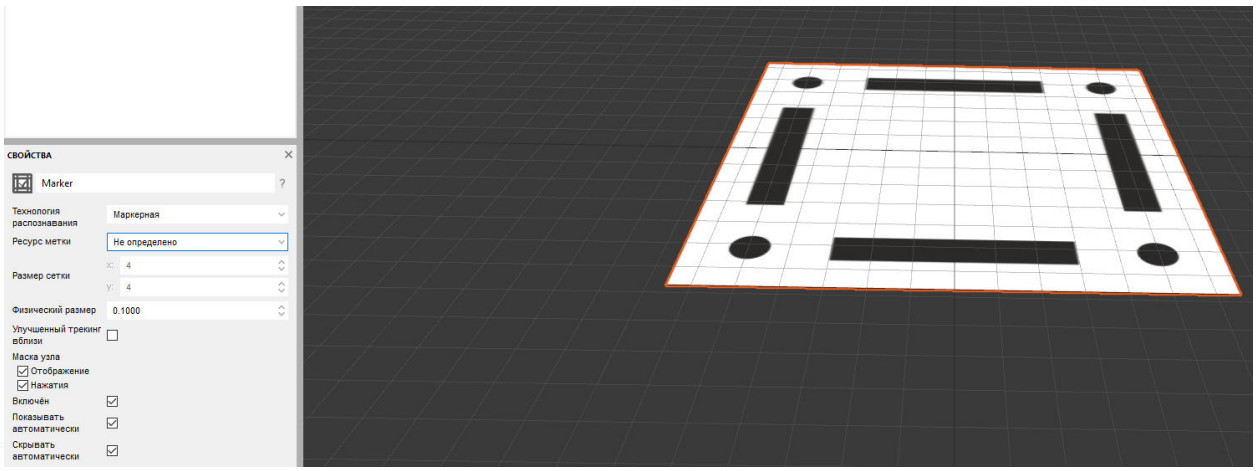
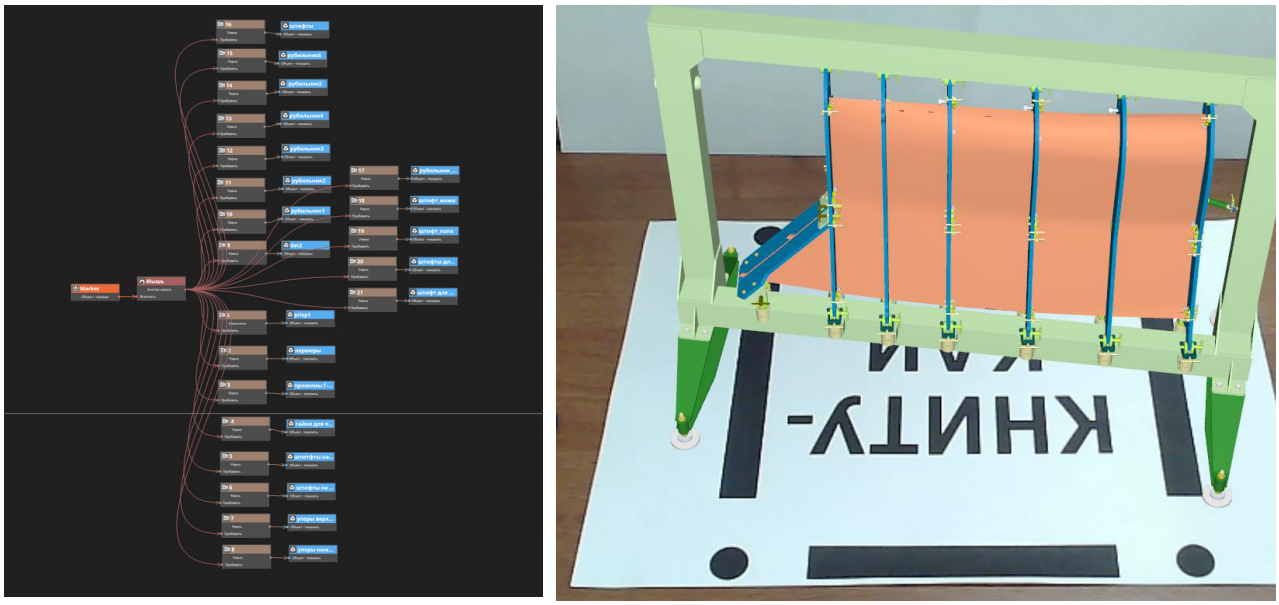


Рисунок 5. Маркер отслеживания

В процессе выполнения сборочных операций пользователь подтверждает выполнение каждого шага через интерфейс AR-приложения. При правильной установке детали система позволяет перейти к следующему этапу. При допущении ошибки — отображает предупреждение и предлагает исправить действие.

Разработка AR-сценария включает:

- импорт 3D-моделей и их позиционирование в соответствии с координатами рабочего места;
- настройку логики отображения деталей в зависимости от этапа сборки (рисунок 6);



а *б*

а - сценарий сборки панели фюзеляжа; *б* - тестирование AR

Рисунок 6. Разработка AR сценария и тестирование

- создание интерфейсных элементов (подсказки, счётчики этапов, уведомления);
- тестирование на устойчивость отслеживания и корректность сценариев (рисунок 6).

Дополненная реальность обеспечивает наглядный контроль правильности сборки, упрощает обучение и минимизирует вероятность ошибок. Система позволяет отказаться от бумажных инструкций и облегчает проверку соответствия фактической сборки цифровой модели.

Применение VR и AR-технологий для задач сборки и контроля авиационных конструкций позволяет:

- сократить затраты на обучение и технологическую подготовку;
- повысить качество сборочных работ за счёт визуального контроля;
- минимизировать количество ошибок при установке компонентов;
- повысить уровень вовлечённости обучающихся и сотрудников;
- упростить внедрение цифровых производственных процессов.

Таким образом, использование виртуальной и дополненной реальности становится эффективным инструментом в обеспечении качества и точности выполнения сборочных операций в авиационной промышленности.

Статья подготовлена в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Евтодьева М.Г.* Аддитивное производство и дополненная реальность как новые производственные технологии в авиационной отрасли // Вестник МГИМО. 2020. №5 (74). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/additivnoe-proizvodstvo-i-dopolnennaya-realnost-kak-novye-proizvodstvennye-tehnologii-v-aviatsionnoy-otrasli.

2. *Gonzalez-Badillo, Germanico & Medellín-Castillo, Hugo & Lim, T. & Ritchie, James & Garbaya, Samir*. (2014). The development of a physics and constraint-based haptic virtual assembly system. Assembly Automation. 34. 10.1108/AA-03-2013-023.

3. *Henrik E., Tobias K., Rebecca R., Martin H., Thorsten S.* Augmented and Virtual Reality for Inspection and Maintenance Processes in the Aviation Industry, Procedia Manufacturing, Volume 19, 2018, Pages 156-163, ISSN 2351-9789.

4. *Жабицкий М.Г., Кулак С.А., Новикова А.С.* Проблема разработки VR тренажеров сборки/разборки, и вариант высокопроизводительного решения на базе технологии VR Concept // International Journal of Open Information Technologies. 2022. №8. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/problema-razrabotki-vr-trenazherov-sborki-razborki-i-variant-vysokoproizvoditelnogo-resheniya-na-baze-tehnologii-vr-concept.

ASSEMBLY AND CONTROL OF AIRCRAFT STRUCTURES USING VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY

Salikhov N.F., Puzyretsky E.A.

Supervisor: Shabalin L.P., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This study describes the process of using virtual and augmented reality technologies for the assembly and control of aircraft structures. According to the results of the study, the use of AR simplifies the verification of the correct installation and completeness of parts by superimposing digital models on a real product, and VR allows you to create training scenarios and simulate the assembly process without using physical prototypes.

УДК 620.178.4/.6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СЕТЧАТОЙ СТРУКТУРЫ ТРУБ

Сафиуллин Д.Р., Маричева Е.А.

Научный руководитель: Халиулин В.И., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассмотрены перспективные сетчатые конструкции. Представлены объекты исследования с тремя конфигурациями сетчатой структуры, описан способ их изготовления, приведены результаты механических испытаний на сжатие, кручение и изгиб.

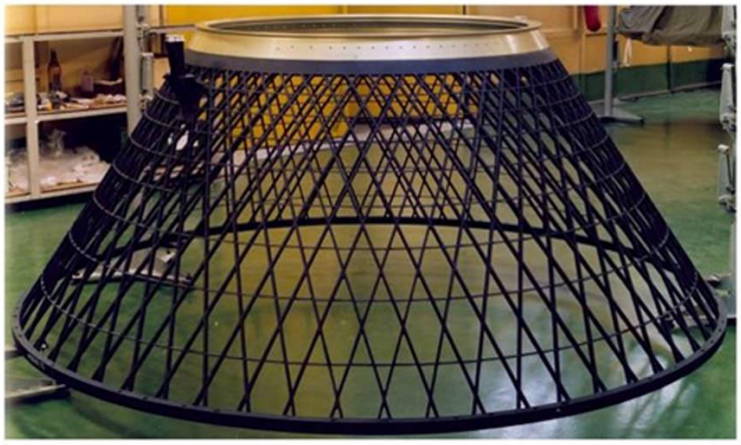
Введение

Сетчатые конструкции, благодаря своей высокой удельной прочности, жесткости и эффективному распределению нагрузки, широко используются в аэрокосмической промышленности. Их использование позволяет значительно снизить массу летательных аппаратов и космических систем без потери несущей способности, что критически важно для повышения топливной экономичности и полезной нагрузки [1, 2].

В последние годы особый интерес вызывают анизорешеточные сетчатые конструкции, демонстрирующие превосходные механические свойства при сжатии, кручении и изгибе. Такие конструкции уже успешно используются в ступенях ракет, космических аппаратах и конструктивных элементах самолетов [3]. Однако, несмотря на их преимущества, выбор оптимальной конфигурации сетчатой структуры остается сложной инженерной задачей, требующей экспериментального и численного анализа.

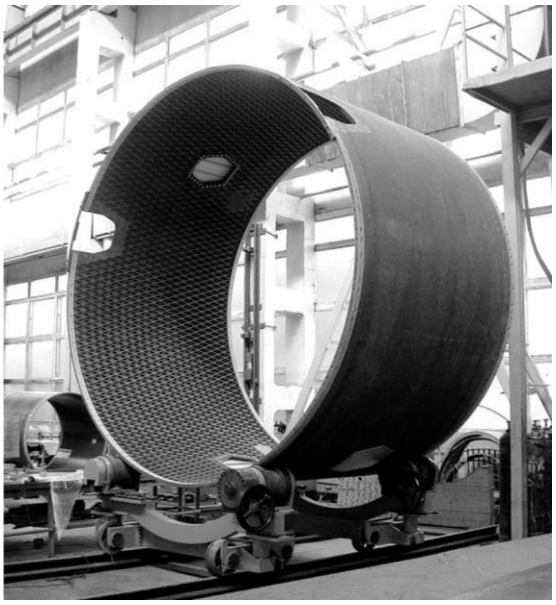
В этой статье исследуются три конфигурации сетчатой структуры, изготовленной с помощью лазерной обработки. Проводятся экспериментальные испытания на сжатие, кручение и изгиб для определения оптимальной геометрии, обеспечивающей наилучшие прочностные характеристики. Полученные результаты позволят усовершенствовать методы проектирования сетчатых конструкций и расширить сферу их применения в аэрокосмической технике.

В конструкции ракеты-носителя “Протон” широкое применение нашли сетчатые композитные конструкции. К ним относятся переходный отсек (адаптер), а также верхний и нижний отсеки (рисунок 1). Данные элементы выполнены в виде углепластикового силового набора (ребер) с обшивкой из органического композита.



а

б



в

а – сетчатый композитный адаптер, *б* – общий вид верхнего отсека,
в – общий вид нижнего отсека

Рисунок 1. Элементы сетчатых конструкции в ракете-носителе “Протон”

Объекты исследования

Объекты исследования для определения оптимальной сетчатой структуры на трёх схемах нагружения были выбраны треугольная, гексагональная, прямоугольная структура (Рисунок 2).

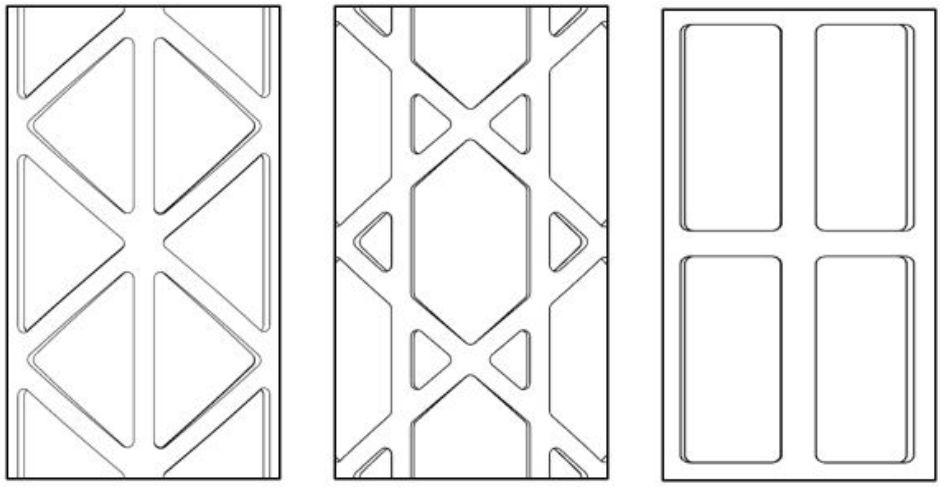


Рисунок 2. Объекты исследования (треугольная, гексагональная, прямоугольная)

Одно из требований для получения достоверных результатов является общие габаритные геометрические параметры. На рисунке 3 представлен эскиз образца на испытания сжатие и кручения, на рисунке 4 – эскиз образца на испытания изгиб.

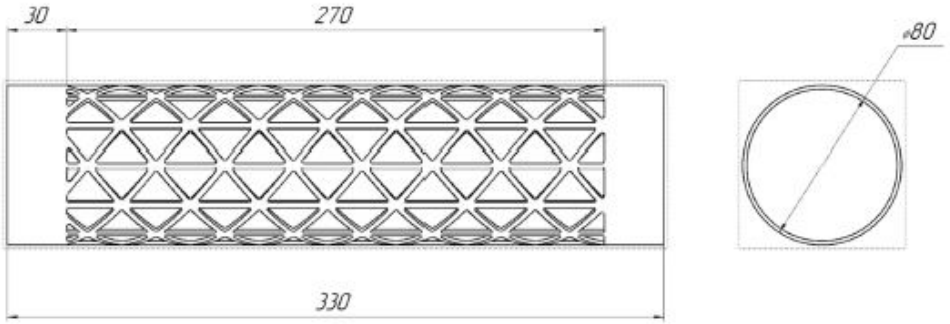


Рисунок 3. Эскиз образца для испытания на сжатие и кручение

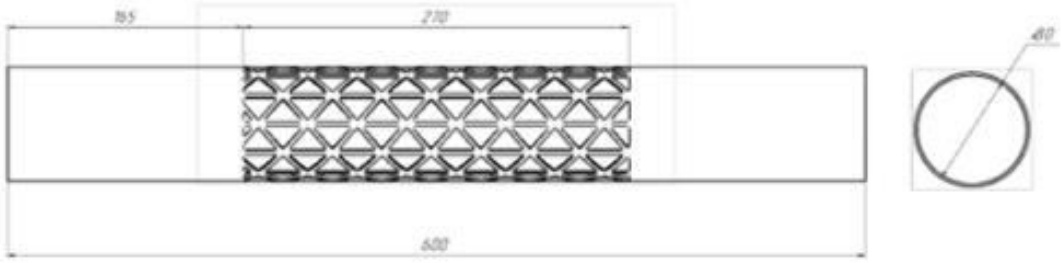


Рисунок 4. Эскиз образца для испытания на изгиб

Изготовление сетчатых конструкции

Изготовление образцов трех типов сетчатых конструкций (треугольная, гексагональная, прямоугольная) для испытаний на сжатие, кручение и изгиб начинается с подготовки заготовок. Листовой препрег КМКС делится на пластины строго определенных размеров - 960х1350 мм. Размеры выбираются в зависимости от длины используемой оправки и требуемой толщины упаковки.

Ключевым этапом является формирование трубчатой заготовки. Для обеспечения адгезии оправку предварительно нагревают до 70°С. Разогретую оправку прокатывают по разрезанному листу препрега специальным роликом. Это обеспечивает плотное прилегание материала без попадания воздуха. Затем на заготовку, закрепленную на оправке, наматывается термостойкая изоляционная лента. Эта лента критически важна для создания равномерно распределенного давления при последующем отверждении в печи в соответствии с заданным температурным и временным режимом, обеспечивая уплотнение материала и устранение микропор.

После отверждения полученная монолитная трубчатая заготовка подготавливается к резке. На расстоянии 620 мм от кромки наносится кольцевая метка. Заготовка разрезается по этой линии: часть длиной 620 мм предназначена для образцов на изгиб, остальная часть - для образцов на сжатие и кручение.

Параллельно на лазерном станке изготавливаются технологические фланцы для крепления труб во вращающемся устройстве. Перед тем как прикрепить фланцы саморезами к концам труб, внутрь каждой трубы в месте крепления вставляется алюминиевая фольга, чтобы защитить внутреннюю стенку от прожига лазером при вырезании ячеек.

Подготовка лазерного станка включает в себя демонтаж стандартного стола и установку поворотного устройства. Для обеспечения центровки и строгой горизонтальности поворотное устройство тщательно настраивается относительно лазерной головки с помощью лазерного трекера “Альтаир 630” и активной метки. Важным последующим этапом является точная регулировка фокусного расстояния лазера по всей длине заготовки для предотвращения дефектов резания (подрезов или прожогов). Первоначально фокус устанавливается на одном конце трубы, а отклонение измеряется на противоположном конце, и положение заготовки регулируется таким образом, чтобы обеспечить равномерное расстояние до лазерной головки по всей площади обработки.

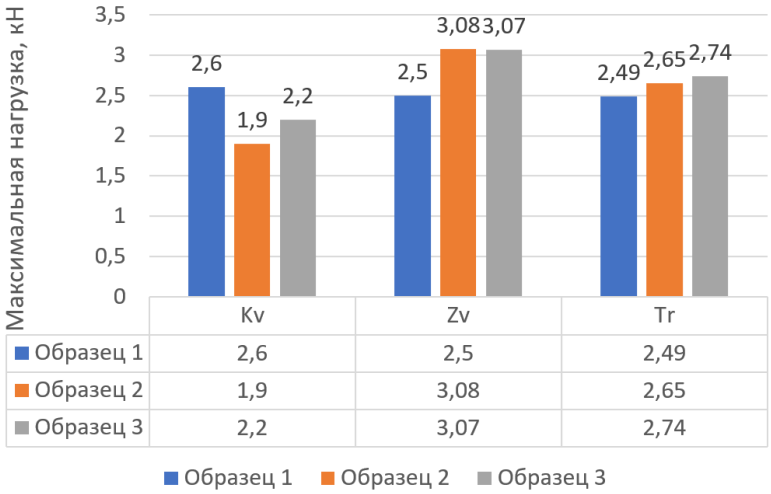
Завершающей операцией является лазерная резка ячеек сетки. Движения моделируются в SolidWorks, а траектория и параметры резки оптимизируются в RDWorksV8. В результате получаются изогнутые композитные конструкции заданной геометрии со средним весом 73 грамма, готовые к механическим испытаниям (рисунок 5).

Рисунок 5. Результаты взвешивания сетчатых конструкции (треугольная, гексагональная, прямоугольная)

Испытание образцов

Основной задачей данного раздела работа являлось определение оптимальной геометрии сетчатой структуры путём анализ механических характеристик на три вида нагружения.

Испытания на сжатие, изгиб проводилось с использованием статической универсальной электромеханической машины Instron 5882 (100кН), специализированных опор на сжатие под образцы, выполняющие требования соосности между осью объекта испытания и осью нагружения испытательной машины, и двухкомпонентной оснастки на испытания на четырёхточечный изгиб. На рисунках 6-7 представлены результаты испытаний.



	Kv	Zv	Tr
Образец 1	2,6	2,5	2,49
Образец 2	1,9	3,08	2,65
Образец 3	2,2	3,07	2,74

Рисунок 6. Результаты испытаний образцов на сжатие

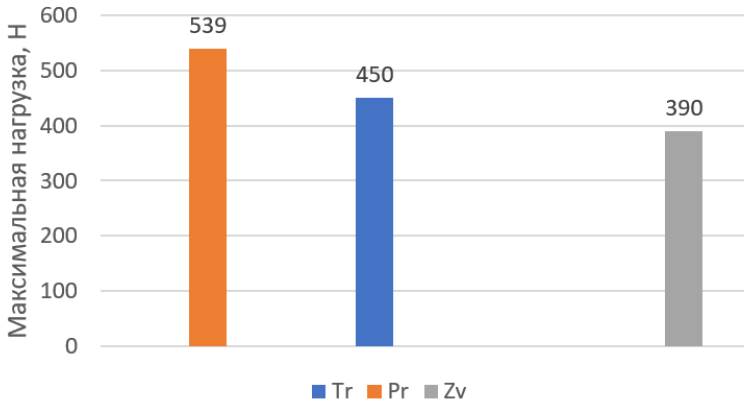
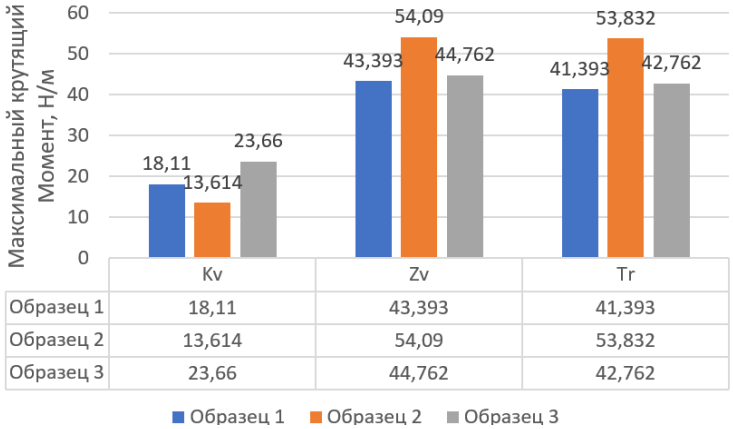


Рисунок 7. Результаты испытаний образцов на изгиб

Испытания на кручение проводилось с использованием электромеханической машины ElectroPlus E 10000, специализированных фланцев, которые крепились к торцам образцам с помощью клея ВК-9. Результаты испытаний на кручение представлены на рисунке 8.



	Kv	Zv	Tr
Образец 1	18,11	43,393	41,393
Образец 2	13,614	54,09	53,832
Образец 3	23,66	44,762	42,762

Рисунок 8. Результаты испытаний образцов на кручение

Заключение

Результаты экспериментального исследования механического поведения сетчатых конструкций с различной геометрией ячеек позволяют сформулировать следующие выводы. Конструкции с гексагональной формой ячеек продемонстрировали наибольшую эффективность при комбинированном нагружении сжатием и кручением. Количественный анализ подтверждает их превосходство: по сравнению с треугольными ячейками, шестиугольные ячейки обеспечивают на 13% более высокую прочность при сжатии и на 3% более высокую прочность при кручении. Преимущество шестиугольной конфигурации перед прямоугольной еще более выражено – на 23% при сжатии и на 61% при кручении.

При статическом изгибе наблюдается принципиально иная картина: в этих условиях максимальное сопротивление изгибу достигается в конструкциях с прямоугольной формой ячеек. Прямоугольная конфигурация превосходит шестиугольную на 28% и треугольную на 17% по ключевым характеристикам.

Статья подготовлена в рамках Передовой инженерной школы “Комплексная авиационная инженерия” (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Vasiliev V.V., Barynin V.A., Razin A.F.* Anisogrid composite lattice structures– Development and aerospace applications //Composite structures. – 2012. – Т. 94. – №. 3. – С. 1117-1127.

2. *Totaro G., Gürdal Z.* Optimal design of composite lattice shell structures for aerospace applications //Aerospace Science and Technology. – 2009. – Т. 13. – №. 4-5. – С. 157-164.

3. *Huybrechts S., Tsai S.W.* Analysis and behavior of grid structures //Composites science and technology. – 1996. – Т. 56. – №. 9. – С. 1001-1015.

DETERMINATION OF THE OPTIMAL MESH STRUCTURE OF PIPES

Safiullin D.R., Maricheva E.A.

Supervisor: Khaliullin V.I., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper discusses promising mesh structures. It presents research objects with three mesh structure configurations, describes the method of their production, and provides the results of mechanical tests for compression, torsion, and bending.

УДК678.072-419(075.8)

МЕТОДЫ НАНЕСЕНИЯ СВЯЗУЮЩЕГО ПРИ ФОРМОВАНИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО РАДИОПРОЗРАЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Сёмин Н.А., Исаева С.А.

Научный руководитель: Файзуллина Н.М., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Аннотация. На базе Казанского национального технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ была проделана научно-исследовательская, опытно-конструкторская и технологическая работа на тему «разработка и испытания высокотемпературного радиопрозрачного композиционного материала (ВКРМ) для его серийного производства». В данной работе широко поднимается тема технологий формования ВКРМ, но не объясняются принципы выбора нанесения связующего материала. Исходя из этого, в ниже представленной работе будут более подробно рассмотрены методы нанесения связующего при композитном формовании и выбраны наиболее подходящие методы для формования ВРКМ.

Введение

Высокотемпературные радиопрозрачные композиты — важные составляющие авиационной промышленности, которые должны быть термостойкими, иметь определенные диэлектрические свойства и высокую прочность. Обеспечить подобные характеристики позволит определенная технология нанесения связующего материала. В работе были проанализированы различные методы нанесения связующего материала, и сделаны выводы о максимально приемлемых методах [1, 2].

Роль связующего и требования к его распределению

При обеспечении тех функций, которые должно обеспечить связующее, таких как связывание волокон друг с другом, передача воздействующих напряжений, создание определенной геометрической формы изделия и т.д., связующее должно обладать определенными свойствами. Это минимальная величина диэлектрических потерь и стабильная диэлектрическая проницаемость [2, 3].

Стоит учесть тот факт, что нанесен связующий материал должен быть равномерно, так как при нарушении равномерности могут возникать определенные изменения свойств изделия, например диэлектрическая проводимость, отношение объёма волокна к объёму матрицы (обычно 50-65% по объему волокна). Также может быть нарушена термостойкость готового изделия, либо могут образоваться определенные дефекты в изделии, такие как пузыри, участки, непропитанные связующим материалом, что может дополнительно снизить прочность, радиопрозрачность изделия и т.д.

Пропитка из раствора

Суть метода: армирующая ткань пропускается через ванну со связующим, предварительно растворенным в летучем растворителе, после чего следует сушка для удаления растворителя [3].

Плюсы: простота реализации, низкая стоимость оборудования, возможность работы с широким спектром связующих [3].

Минусы: токсичность и взрывоопасность процесса; трудности контроля равномерности пропитки и содержания связующего; высокий риск образования пор из-за испарения растворителя; ограничения по работе с высоковязкими связующими [4, 5, 6].

Применимость для ВРКМ: в чистом виде используется редко из-за проблем с контролем качества и пористостью. Может применяться как начальная стадия для производства препрегов, но не рекомендован для ответственных изделий с высокими требованиями к радиопрозрачности [7].

Предварительно пропитанные материалы (препреги)

Суть метода: армирующий материал (ткань, лента) на специализированном оборудовании предварительно пропитывается строго дозированным количеством связующего (чаще всего термореактивного). Полученный материал (препрег) хранится в охлажденном состоянии до момента использования [7, 8].

Плюсы: высокая и воспроизводимая точность содержания и распределения связующего; гарантированная пропитка каждого слоя; легкость укладки сложных слоистых структур; низкая исходная пористость; возможность использования высоковязких связующих [7, 9].

Минусы: высокая стоимость самого препрега и оборудования для его производства; необходимость холодильного хранения и ограниченный срок годности; как правило, требует дорогостоящего автоклавного отверждения для достижения наилучших свойств [3, 7].

Применимость для ВРКМ: наиболее распространенный и предпочтительный метод для производства ответственных высококачественных изделий сложной формы. Широко используется с высокотемпературными связующими (БМИ, ПИ, фенольные, фталонитрильные смолы) [9, 10].

Методы жидкого формования (LCM - Liquid Composite Molding)

Суть метода: сухой армирующий преформ помещается в закрытую форму, в которую под давлением или вакуумом закачивается жидкое связующее. Основные разновидности: вакуумная инфузия, инжекция смолы (RTM), инфузия под давлением (HP-RTM) [8, 11].

Плюсы: возможность изготовления крупногабаритных изделий (вакуумная инфузия); высокое качество поверхности (RTM); относительно низкая стоимость оснастки (вакуумная инфузия); потенциально низкая пористость [8, 11].

Минусы: критическая зависимость от вязкости связующего; риск образования «сухих пятен» в сложных преформах; необходимость точного расчета объема связующего; связующее не должно содержать летучих компонентов [4, 5].

Применимость для ВРКМ: активно развивающееся направление, особенно для крупногабаритных деталей. Требует тщательной разработки технологического процесса и использования специально разработанных связующих с низкой вязкостью и длительным жизненным циклом [11, 12].

Порошковые методы

Суть метода: порошок матрицы (полимерный или керамический) наносится на волокна или смешивается с ними перед формованием. Способы нанесения: пропитка суспензией, напыление покрытий (CVD, плазменное), механическое смешивание (таблица 1) [3].

Плюсы: позволяют создавать материалы с экстремальной термостойкостью (>1000°C); применимы для керамических и гибридных матриц; исключают использование растворителей [3].

Минусы: сложность достижения полной и равномерной пропитки толстых сечений; высокая вероятность пористости, требующая последующего горячего прессования; высокая стоимость и сложность процесса; трудности обеспечения радиопрозрачности керамических матриц [3].

Применимость для ВРКМ: применим для наиболее термонагруженных узлов (гиперзвуковые аппараты), где полимерные матрицы неработоспособны. Для радиопрозрачных применений требует высочайшего контроля чистоты и микроструктуры материала [3].

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов нанесения связующего для ВРКМ

Критерий	Пропитка из раствора	Препреги	Методы LCM	Порошковые методы
Равномерность пропитки	Низкая	Высокая	Высокая	Низкая
Контроль содержания	Низкий	Высокий	Средний	Средний
Риск пористости	Высокий	Низкий	Средний	Высокий
Производительность	Высокая	Средняя	Высокая	Низкая
Стоимость оснастки	Низкая	Высокая	Средняя	Высокая
Годность связующего	-	Ограничена	Длительная	Длительная
Пригодность для сложных изделий	Низкая	Высокая	Высокая	Средняя
Термостойкость итогового материала	Средняя	Высокая	Высокая	Высокая
Применимость для серийного производства	Да	Да	Да	Ограничено

Анализ выбранного метода для серийного производства ВРКМ

В работе КНИТУ-КАИ был выбран и применен метод ручного послойного нанесения порошкового связующего. Связующее (фталонитрильный порошок ФНИ350/ФНИ350А) вручную распределялось между слоями армирующей кремнезёмной ткани непосредственно перед формованием (таблица 2). Данная методика была интегрирована в три технологии:

1. Автоклавное формование: Послойная укладка ткани и порошка с последующей пропиткой при нагреве в автоклаве.

2. Формование высоким давлением: Укладка пакета в оснастку с последующим прессованием под давлением 9 бар при 200°C.

3. Вакуумное формование: Герметизация пакета в вакуумном мешке и температурный цикл для расплавления и пропитки.

Данный метод является модификацией порошковой технологии, адаптированной для конкретного связующего.

Таблица 2

Сравнительный анализ преимуществ и недостатков выбранного метода нанесения связующего для серийного производства ВРКМ

Плюсы	Минусы
Исключение токсичных растворителей, что улучшает экологичность и безопасность производства	Риск неравномерного распределения: нивелирован использованием калиброванной сетчатой оснастки для ручного рассеивания порошка
Сведение к минимуму пористости (<3%), так как отсутствует этап испарения летучих компонентов	Трудоемкость ручного труда: признана приемлемой для серийного производства, особенно при вакуумном формовании, где трудозатраты были снижены на 40% по сравнению с автоклавным
Возможность работы с высоковязкими и тугоплавкими связующими (фталонитрилами), которые сложно применять в жидкостных методах	Необходимость сложного двухэтапного температурного цикла (плавление + полимеризация) для активации связующего
Прямой контроль содержания связующего (55-60% от массы)	-
Отказ от дорогостоящих препрегов и необходимости их холодильного хранения	-

Вывод по выбору метода: для конкретного материала на основе фталонитрильного связующего ручное послойное нанесение порошка оказалось оптимальным компромиссом между стоимостью, воспроизводимостью свойств ($\varepsilon' = 2.7–3.3$, $tg\delta = 0.001–0.002$) и пригодностью для серийного производства. Он позволил обойти фундаментальные ограничения других методов: высокую стоимость препрегов и сложность работы с высоковязкими смолами в методах LCM.

Вывод

Таким образом, был проведен сравнительный анализ различных существующих методов нанесения связующего материала, который показывает, что определенного универсального метода не существует, и при выборе технологии необходимо отталкиваться от тех требований, которые были заданы для обеспечения определенной геометрии и свойств изделия.

Для серийного производства ВРКМ на основе фталонитрильного связующего, разработанного в КНИТУ-КАИ, классические методы (пропитка из раствора, препреги, LCM) оказались менее предпочтительными из-за технологических ограничений и высокой стоимости. Выбранный метод ручного послойного нанесения порошка, хотя и является трудоемким, доказал свою эффективность. Он позволил добиться высоких и стабильных

диэлектрических и механических характеристик материала, исключить использование растворителей и избежать затрат на производство и хранение препрегов, что в целом соответствует задачам серийного производства [13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Мовчан Б.П., Лопатко К.Г.* Полимерные композиционные материалы для радиопрозрачных конструкций. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2011. – 288 с.

2. *Каблов Е.Н.* (ред.) Композиционные материалы России: Справочник. В 4 т. Т. 1. Полимерные композиционные материалы. – М.: ВИАМ, 2012.

3. *Лукин В.И., Ступаченко Е.В.* Технология изделий из композиционных материалов: Учебное пособие. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 255 с.

4. *Крысин В.Н., Крысина М.В.* Фталонитрильные полимеры – связующие нового поколения для композитов // Пластические массы. – 2013. – № 3-4. – С. 40-45.

5. *Гуняев А.Ф., Зиновьева Т.В.* Кремнийорганические связующие для высокотемпературных композитов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. "Машиностроение". – 2010. – № S2. – С. 128-138.

6. *Sastri S.B.* Phthalonitrile Resins // Thermosetting Polymers. – Marcel Dekker, 2010. – P. 355–380.

7. ГОСТ Р ИСО 1268-11-2013 "Пластмассы. Методы изготовления испытательных образцов из армированного волокном пластика. Часть 11. Формование препрегов".

8. *Campbell F.C.* (ed.) Manufacturing Processes for Advanced Composites. – Elsevier, 2004. – 584 p. (Главы по Prepreg Technology, Liquid Molding).

9. *Nair C.P. Rajendran G.* Bismaleimides in polymer science and technology: synthesis, properties and applications // Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews. – 2003. – Vol. 43, No. 3. – P. 335-423.

10. *Wang, C.S., Lei C.H.* Phenolic resins for high-temperature applications // Handbook of Thermoset Plastics / ed. by S.H. Goodman. – 3rd ed. – William Andrew, 2014. – P. 161-188.

11. Advanced Composites Manufacturing / ed. by T.G. Gutowski. – New York: Wiley-Interscience, 1997. – 488 p. (Глава 7 - Resin Transfer Molding).

12. *Li C., Potter K., Wisnom M.R.* In-process monitoring and control of resin flow in composites RTM: a review // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2004. – Vol. 35, No. 6. – P. 665-674. (Обзор методов контроля процесса RTM).

13. Высокотермостойкий радиопрозрачный композиционный материал: пат. 2830745 Рос. Федерация. № 2023130260/05; заявл. 04.10.2023; опубл. 28.02.2024. Бюл. № 6.

METHODS OF APPLYING A BINDER WHEN FORMING A HIGH-TEMPERATURE RADIOTRANSPARENT COMPOSITE MATERIAL

Semin N.A., Isaeva S.A.

Supervisor: Faizullina N.M., Associate Professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. At the Kazan National Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, a research, development, and technological project was carried out on the topic of "Development and Testing of a High-Temperature Radio-Transparent Composite Material (HTRCM) for Its Mass Production." This work extensively covers the topic of HTRCM molding techniques, but does not explain the principles of selecting the binding material. Based on this, the following work will provide a more detailed review of the methods for applying binders during composite molding and select the most suitable methods for molding FRP.

УДК 669.017.4:629.19

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА (ВКМ) ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Сёмин Н.А., Низамутдинов Р.И.

Научный руководитель: Людоговский П.Л., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье представлены результаты исследования прочностных характеристик высокотемпературного композиционного материала (ВКМ), предназначенного для конструкций авиационной и космической техники. Испытания на растяжение и изгиб при ориентации волокон 0° и 90° сопоставлены с данными для стеклопластика, что позволило выявить анизотропию свойств и определить преимущества ВКМ для применения в элементах летательных аппаратов.

В современных летательных аппаратах различного назначения всё более широкое применение находят полимерные композиционные материалы (ПКМ). Их использование обусловлено сочетанием малой массы, высокой удельной прочности и возможности направленного формирования свойств.

Особое место среди таких материалов занимают высокотемпературные композиционные материалы (ВКМ), которые применяются для изготовления конструктивных элементов, совмещающих несущие и функциональные свойства. Рассматриваемый ВКМ был разработан в КНИТУ-КАИ в рамках работ, направленных на создание новых композиционных материалов для авиационных и космических конструкций [1]. В отличие от традиционного стеклопластика ВКМ обеспечивает сохранение своих характеристик при значительно более высоких температурах эксплуатации. Данные материалы способны сочетать радиотехническую эффективность с высокой термостойкостью, что расширяет область их применения в авиационной и космической технике. Подобные выводы согласуются с результатами исследований, представленных в [2].

При этом ключевой проблемой остаётся выраженная анизотропия механических свойств ПКМ, связанная с ориентацией армирующих волокон. Прочностные характеристики в направлениях 0° (вдоль волокон) и 90° (поперёк волокон) существенно различаются. Для корректного проектирования элементов конструкций авиационной и космической техники необходима экспериментальная база данных, включающая результаты испытаний на растяжение и изгиб в указанных направлениях.

Для проведения исследований были изготовлены опытные образцы высокотемпературного композиционного материала (ВКМ). В качестве армирующего наполнителя применялись: ткань кремнеземная КТ-240, тонкий трикотаж 07oooB12.995, толстый трикотаж 07form12.995, тонкий плотный трикотаж 12oooB12.995; в качестве связующего использовался состав ФНИ350. Образцы формовались по трём технологиям: высокое давление, вакуум с высоким коэффициентом армирования и вакуум с низким коэффициентом армирования.

Для наглядности общая схема распределения исследованных вариантов ВКМ представлена на рисунке 1. На схеме показаны применяемые виды армирующих наполнителей, технология формования и связь с дальнейшими испытаниями.

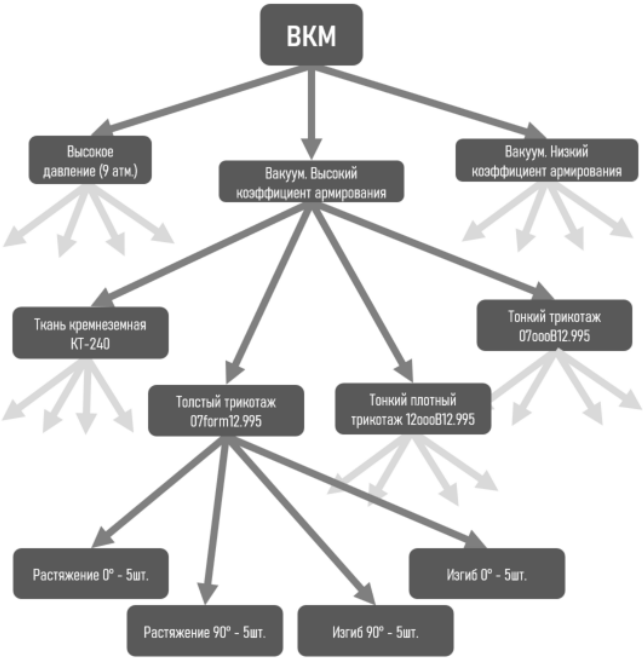


Рисунок 1. Схема вариантов ВКМ и направлений исследований

Внешний вид использованных армирующих наполнителей приведён на рисунке 2.

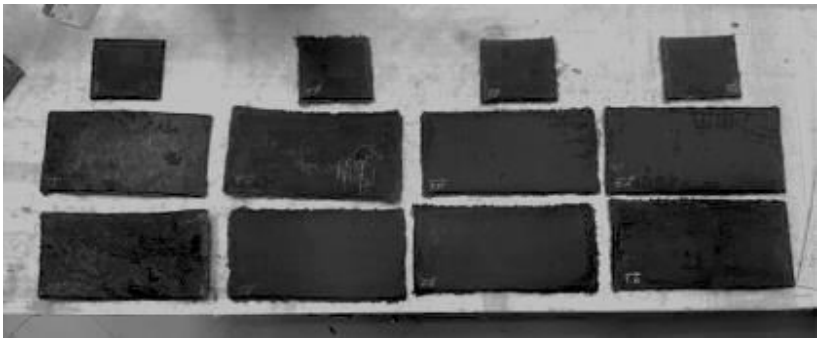


Рисунок 2. Армирующие наполнители, использованные для изготовления образцов ВКМ (12 вариантов)

Испытания опытных образцов высокотемпературного композиционного материала проводились по действующим нормативным документам: растяжение — по ГОСТ Р 56785–2015 [3]; изгиб — по ГОСТ Р 56805–2015 [4]. Всего было подготовлено и испытано 100 образцов на растяжение и 100 образцов на изгиб. Подготовленные к испытаниям образцы показаны на рисунке 3.

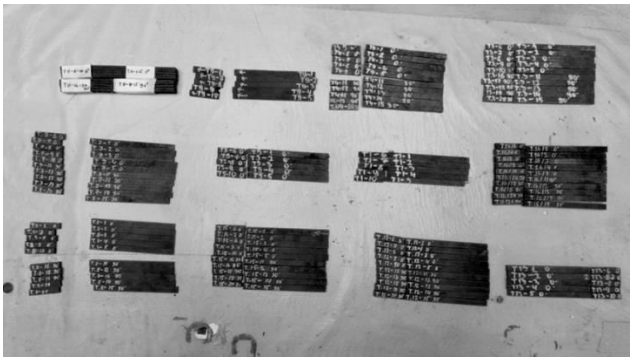


Рисунок 3. Подготовленные образцы для испытаний на растяжение и изгиб (200 шт.)

Для наглядности в основной части статьи представлены сравнительные диаграммы, включающие данные не только по ВКМ, но и по аналогичному материалу (стеклопластик).

Сравнительная диаграмма предела прочности при растяжении показана на рисунке 4. Из диаграммы видно, что ВКМ демонстрирует более высокие значения прочности по сравнению со стеклопластиком и базовыми материалами. Образцы, ориентированные по 0°, характеризуются значительно более высокими показателями, чем образцы с армированием по 90°.

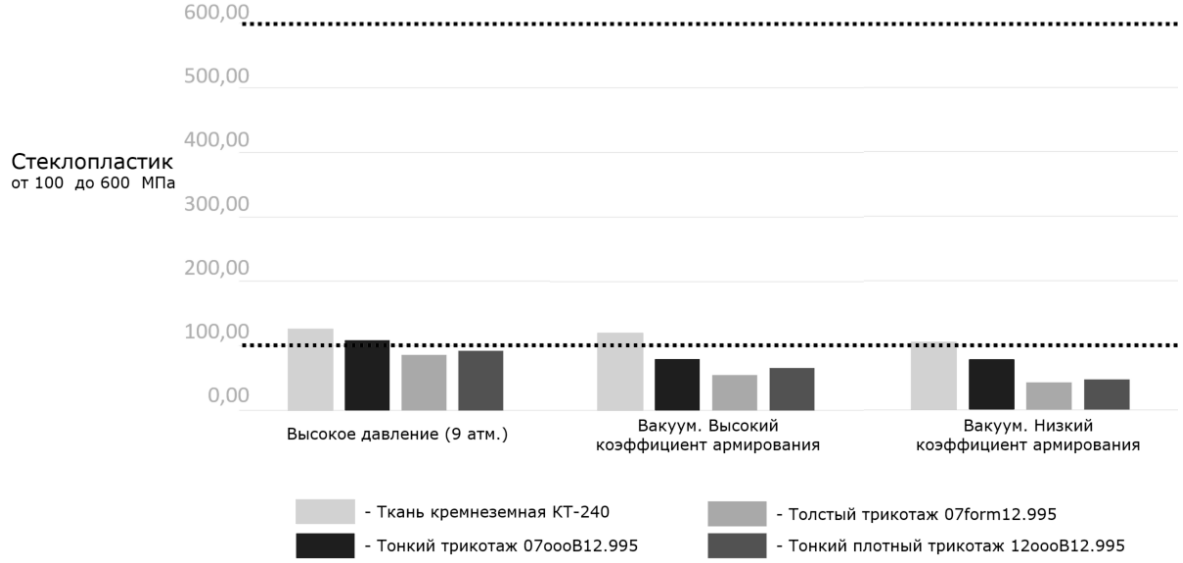


Рисунок 4. Сравнение предела прочности при растяжении ВКМ и аналогичных материалов

Аналогично, результаты сравнительных испытаний на изгиб представлены на рисунке 5. ВКМ показывает более высокие значения предела прочности и модуля упругости в направлении 0°, тогда как в направлении 90° характеристики снижаются.

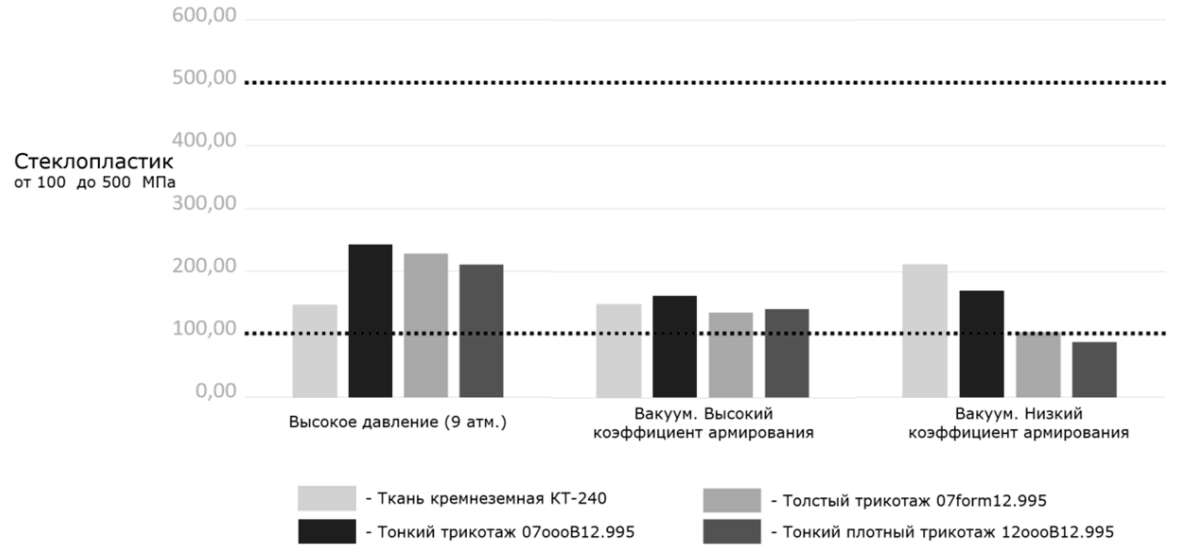


Рисунок 5. Сравнение предела прочности при изгибе ВКМ и аналогичных материалов

Полученные результаты подтверждают выраженную анизотропию механических свойств ВКМ. В направлении армирования (0°) предел прочности и модуль упругости при растяжении и изгибе существенно выше, чем при испытаниях по 90°. Важным фактором, влияющим на свойства материала, является также технология формования: образцы, изготовленные при повышенном давлении, показали более высокие показатели прочности и жёсткости по сравнению с образцами, сформованными при вакуумном формовании.

Ключевым преимуществом разработанного ВКМ является уникальное сочетание свойств, характерных для классических конструкционных стеклопластиков – высоких прочностных характеристик – со способностью длительно работать в экстремальных температурных условиях, что недостижимо для традиционных полимерных композитов на основе эпоксидных смол. Как показано в статье [2], данный материал успешно прошел комплекс испытаний на термостойкость, подтвердив сохранение целостности и функциональных свойств после воздействия пламени температурой 1200 °С в течение 15 минут.

Таким образом, сравнительный анализ с традиционными материалами показывает, что исследуемый ВКМ обладает преимуществами по прочностным характеристикам и может быть рекомендован для применения в конструкционных элементах авиационной и космической техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Пат. 2830745 Российская Федерация, СПК C08L 61/00, C08K 7/00, C09K 21/14, H01Q 1/42. Высокотермостойкий радиопрозрачный композиционный материал // ПАО "Машиностроительный завод им. М.И. Калинина, г. Екатеринбург", КНИТУ-КАИ, АО "Институт новых углеродных материалов и технологий"; заявл. 11.08.2023; опубл. 25.11.2024 Бюл. № 33 (дата обращения 21.08.2025).

2. *Людоговский П.Л., Наумов А.В., Семин Н.В.* Реализация технологии вакуумного формования в производстве тонкостенных высокотемпературных радиопрозрачных композиционных изделий // Изв. вузов. Авиационная техника. – 2025. №2 – С. 24.

3. ГОСТ Р 56785–2015. Пластики. Метод испытания на растяжение. – М.: Стандартинформ, 2016. – 20 с.

4. ГОСТ Р 56805–2015. Пластики. Метод испытания на изгиб. – М.: Стандартинформ, 2016. – 16 с.

STUDY OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF HIGH-TEMPERATURE COMPOSITE MATERIAL (HTCM) FOR AIRCRAFT AND AEROSPACE VEHICLES

Semin N.A., Nizamutdinov R.I.

Supervisor: Lyudogovsky P.L., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article presents the results of a study on the strength characteristics of a high-temperature composite material (HTCM) designed for aircraft and aerospace vehicle structures. Tensile and flexural tests with fiber orientations of 0° and 90° were compared with data for fiberglass. This comparison revealed the anisotropy of the material's properties and identified the advantages of HTCM for use in components of aircraft and spacecraft.

УДК 621.74:621.37

ВАЛ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ФЛАНЦАМИ ГИБРИДНОГО ТИПА

Усмонов Р.С., Ибрагимов М.Р.

Научный руководитель: Батраков В.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе описывается технология изготовления промежуточного вала из композиционного материала с интегральным фланцем гибридного типа. Целью данного исследования является уменьшение стоимости готового изделия за счет сокращения количества технологических операций в процессе изготовления.

Известен способ изготовления приводного вала из КМ [1]. Данное изобретение описывает способ изготовления приводного вала с использованием метода создания преформы «мокрая намотка». В патенте описываются два исполнения композитного приводного вала. В первом исполнении на поверхности технологической оправки создается необходимое количество слоев из армирующего материала в виде угле-, стеклоровинга. После завершения процесса полимеризации технологическую оправку удаляют. Далее подготавливают поверхности металлических фланцев (муфт) и композитной вставки, затем склеивают их вместе, образуя тем самым клеевое соединение, либо клее-механическое соединение, где в роли механического соединения выступает болтовое или клепочное соединение. Во втором исполнении металлические фланцы представляют из себя тонкостенную технологическую оправку, на поверхности которой создается пакет из армирующего материала в виде полуфабриката, после полимеризации которого получается приводной вал с утолщением в виде композитной вставки.

Недостатками этого способа являются концентраторы напряжения в виде отверстий в композитном теле в зоне сопряжения фланца и композитной вставки. Наличие металлических вставок в виде фланцев усложняют технологический процесс сборки приводного вала, что существенно влияет на конечную стоимость изделия.

Известен способ изготовления композитного вала с интегральным фланцем, изготовленным из композиционного материала [2]. Данное изобретение описывает изготовление композитного вала с интегрированным фланцем методом намотки. Согласно этому способу, на технологическую оправку закрепляют распределительное кольцо со сбегом, с помощью которого в дальнейшем формируется фланец. Далее формируется слой армирующего материала методом намотки, что приводит к образованию конического перехода между распределительным кольцом и технологической оправкой. После этого на поверхности конического сбега методом ручной выкладки формируют утолщение из армирующего материала, таким образом, точно регулируется будущая толщина фланца. Далее с помощью дополнительного приспособления формируется геометрия фланца.

Известен способ формирования композитной конструкции с фланцем из КМ [3]. Согласно способу на поверхности технологической оправки формируется пакет из армирующего материала. Далее с помощью специального приспособления трансформируют пакет из армирующего материала и предают ему форму будущего фланца. После пропитки и полимеризации получается изделие с интегральным фланцем.

Недостатком способа является искажение углов армирования в процессе трансформирования пакета из армирующего материала при формировании геометрии фланцев.

Известен способ изготовления композитного вала с металлическими фланцами [4]. Данное изобретение описывает соединение композитного вала с металлическими вставками в виде фланцев. Согласно способу, на технологическую оправку устанавливают металлические вставки в виде фланцев. На фланце предусмотрены отверстия под штифты, необходимые для передачи усилий от композитной вставки к металлическим фланцам. Далее поверх технологической оправки и металлических фланцев формируют преформу методом мокрой или сухой намотки. После этого поверх сформированного пакета из армирующего материала устанавливают втулку, параллельно совмещая их с фланцами. Убедившись в том, что отверстия в втулках и фланцах совпадают, с помощью штифтов протыкают преформу. После пропитки в случае сухой намотки и полимеризации изделие считается готовым.

Недостатком в данном случает является сложность в выставление металлической втулки и сопряжения ее с отверстиями на фланце. В ходе протыкания преформы есть вероятность образования концентраторов напряжения в виде насмоления в зоне вокруг штифта.

Известен способ изготовления металлического вала с интегральным фланцем в гибридном исполнении [5]. Согласно способу, концы металлической заготовки промежуточного вала имеют слоистую структуру, которая напоминает форму радиатора. В

зазоры между металлическими пластинами закладывают армирующий материал, а после пропитывают. Полученную гибридную заготовку отправляют на механическую обработку, по завершению которой на заготовке появляются прорези. Полученные лепестки трансформируют и получают форму фланца.

Недостатком этого способа является масса металлической части приводного вала.

Данный способ формования близок к заявляемому и принят за прототип.

Промежуточный вал из композиционных материалов с интегральными фланцами гибридного типа (рисунок 1) изготавливают следующим образом.

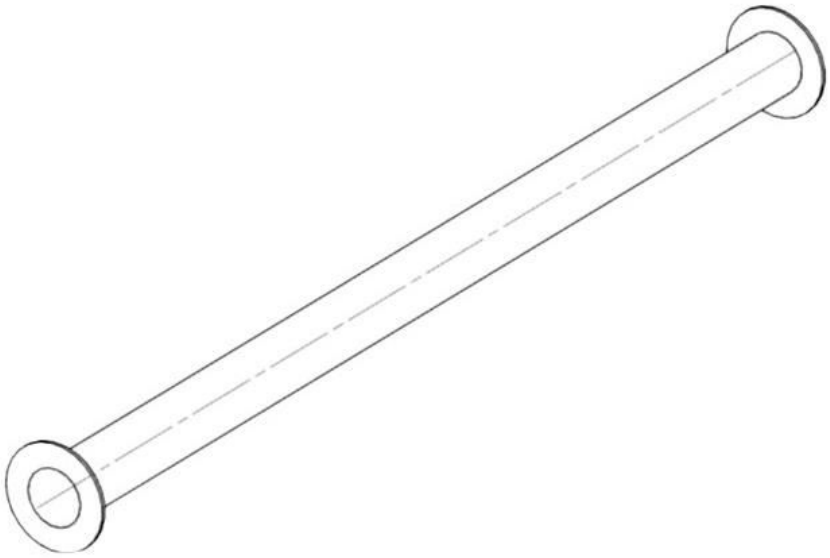
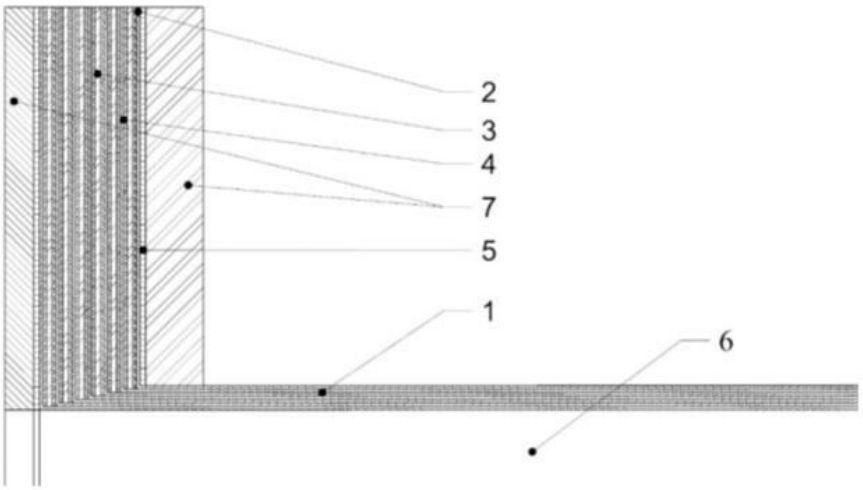


Рисунок 1. Общий вид промежуточного вала

Жесткую технологическую оправку (рисунок 2) устанавливают на специальное приспособление. Затем поверх технологической оснастки создают преформу методом радиального плетения. После этого поверх полученной преформы устанавливают цулаги, которые задают положение фланцев.



1 – преформа с плетеной структурой армирования; *2* – веерообразные слои преформы с плетеной структурой армирования; *3* – металлические диски;
4 – слои стекловолокна в виде дисков; *5* – слои армирующего материала со спиральной структурой армирования; *6* – технологическая оправка, *7* – цулага

Рисунок 2. Сечение гибридного фланца

После того как цулаги установлены, на поверхность цулаги выкладывают слой со спиральной структурой армирования (рисунок 3).

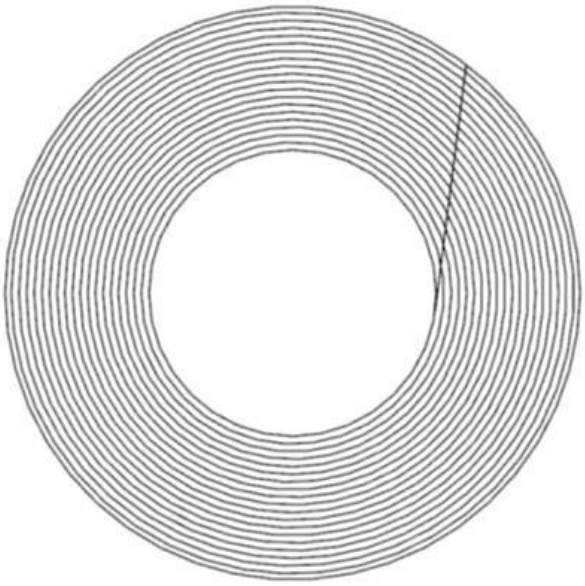


Рисунок 3. Кольца со спиральным армированием

Далее слой преформы с плетеной структурой армирования трансформируют, в веерообразные слой преформы с плетеной структурой армирования (рисунок 4).

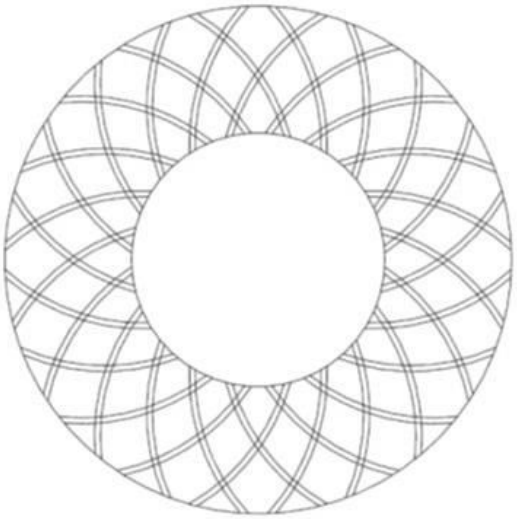


Рисунок 4. Структура армирования веерообразного типа

Затем поверх веерообразного слоя преформы выкладывают слой стекловолокна в виде диска во избежание эффекта гальванической пары.

После этого поверх слоя из стекловолокна в виде диска устанавливают дренированный металлический диск. Дренированность диска необходима для улучшения пропитки фланца по толщине.

Далее операции, связанные с выкладкой слоя стекловолокна в виде диска, трансформации преформы в веерообразный слой преформы с плетенной структурой армирования и установкой металлического диска, повторяются до трансформации последнего слоя с плетенной структурой армирования.

После этого собирается технологический мешок, который предназначен для пропитки преформы методом вакуумной инфузии. Технологический мешок состоит из следующих

элементов: лавсан, который наматывается с перекрытием ½ на поверхность преформы; распределительная сетка, наматывается стык в стык поверх жертвенной ткани (лавсана); разделительная пленка, наматывается поверх распределительной сетки с перекрытием ½. Намотка осуществляется таким образом, чтобы зоны подачи связующего не было закрыта разделительной сеткой. Распределительная линия устанавливается в точках подачи связующего и должна напрямую контактировать с распределительной сеткой штуцера, которая устанавливается поверх распределительной линии. Герметизирующая лента приклеивается на поверхность технологической оправки. Вакуумная пленка устанавливается поверх всех слоев с герметизацией по контуру герметизирующей ленты.

Готовый мешок проверяется на герметичность с дальнейшей пропиткой связующим преформы промежуточного вала. Общий вид готового изделия представлен на рисунке 5.

Рисунок 5. Общий вид готового изделия

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *McLain P.H., Shrontz R.J., Tringali D.* Drive shaft assembly and method for making same: пат. 4248062 США. 1981.

2. *Geislinger C., Geislinger M., Sigle C.* Method for manufacturing a hollow shaft with at least one integral flange made of fiber composite : пат. 8813335 США. 2014.

3. *Moram J.P. et al.* Method of forming a composite structure comprising a flange: пат. 9517613 США. 2016.

4. *Yates D.N., Presta J.C.* Fiber reinforced composite shaft with metallic connector sleeves mounted by radial pin interlock: пат. 4185472 США. 1980.

5. *Pfaller R., Buesing M.* Drive shaft with an integrated flange: пат. 11732746 США. 2023.

SHAFT MADE OF COMPOSITE MATERIALS WITH HYBRID TYPE FLANGES

Usmonov R., Ibragimov M.

Supervisor: Batrakov V.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper describes the technology of manufacturing an intermediate shaft from a composite material with an integral flange of a hybrid type. The purpose of this study is to reduce the cost of the finished product by reducing the number of technological operations during the manufacturing process.

УДК 620.172

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ ТРИКОТАЖНЫХ ОБРАЗЦОВ НА ПРОЧНОСТЬ

Хайруллин Д.Р., Савинов Д.В.

Научный руководитель: Сахбутдинова В.Р., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлены результаты экспериментальных исследований прочностных характеристик трикотажного полотна, изготовленного на плосковязальной машине. Приведен анализ влияния структуры петель на процесс растяжения и разрушения образцов.

Трикотажное полотно обладает очень высокими показателями драпируемости, что делает его идеальным материалом для создания изделий сферической, конусообразной и цилиндрической формы [1].

В работе было изучено полотно, связанное на плосковязальной двухфантурной машине (рисунок 1). Вязание осуществлялось двойной нитью стекловолокна марки ЕС6 28х2 Z 100-78.

Рисунок 1. Полотно, связанное на плосковязальной двухфантурной машине

Петли трикотажного полотна взаимосвязаны между собой, и процесс деформации материала при растяжении осуществляется за счёт удлинения изогнутой нити до предельного состояния, а также последующего вытягивания её прямолинейных участков. После достижения этого порога прочность материала возрастает скачкообразно. На рисунке 2 представлены: а) структура петель кулирного трикотажа, б) элементы петли, подвергающиеся внешней нагрузке (выделены чёрным цветом), в) пространственная ориентация элементов петли, г) упрощённая модель «квазинепрерывного армирования» короткими однонаправленными волокнами [2].

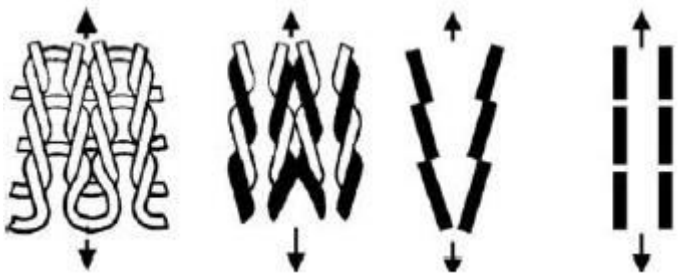
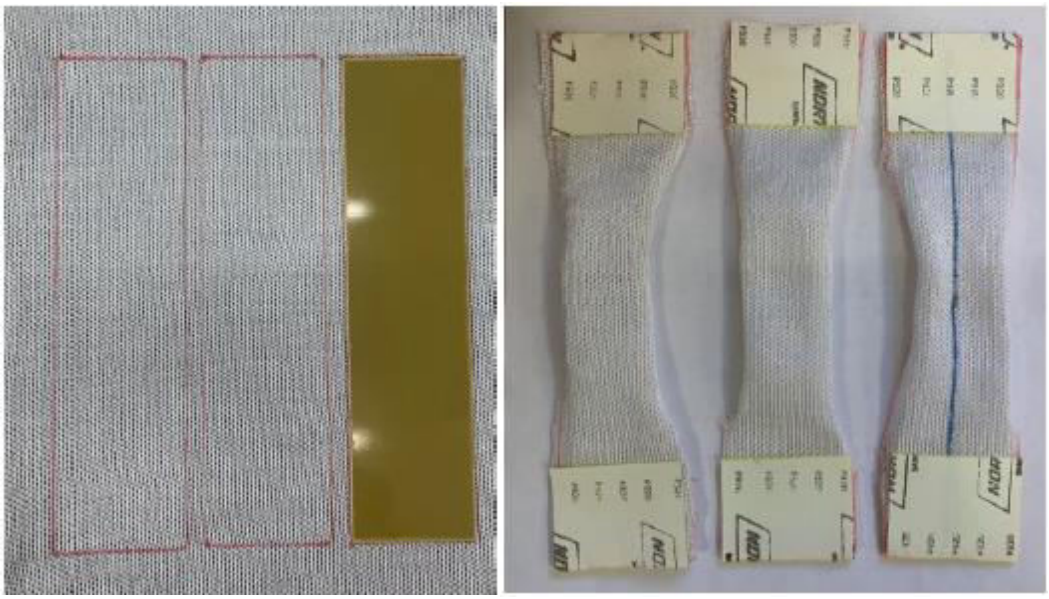


Рисунок 2. Плетельная структура кулирного трикотажа с перемещением элементов петли

Следовательно, образцы изготавливались в продольном направлении вдоль плетельных столбиков.

Образцы в количестве трёх штук изготавливались из трикотажного полотна с использованием шаблона из стеклотекстолита заданных размеров, расположенного на материале вдоль плетельных столбиков (рисунок 3). После разметки по контуру шаблона края заготовок дополнительно фиксировались канцелярским клеем, что предотвращало преждевременное распускание петель.

В ходе испытания необходимо надежно зафиксировать образцы в зажимах испытательного оборудования с помощью накладок из мелкозернистой наждачной бумаги для препятствия выскальзыванию образцов в процессе растяжения.



а *б*

Рисунок 3. Изготовление трикотажных образцов: а – разметка образца по шаблону; б – фиксация образцов с помощью накладок

Разрывные характеристики композитов были получены на измерительном комплексе Instron-5882. Скорость движения верхнего зажима разрывной машины – 50 мм/мин при испытании 1-го образца и 100 мм/мин у 2-го и 3-го. Начальная нагрузка 3Н у всех образцов.

Также была определена поверхностная плотность данного типа трикотажа, которая равна 437,49 г/м2.

В таблице 1 указаны параметры образцов и их прочностные характеристики [3].

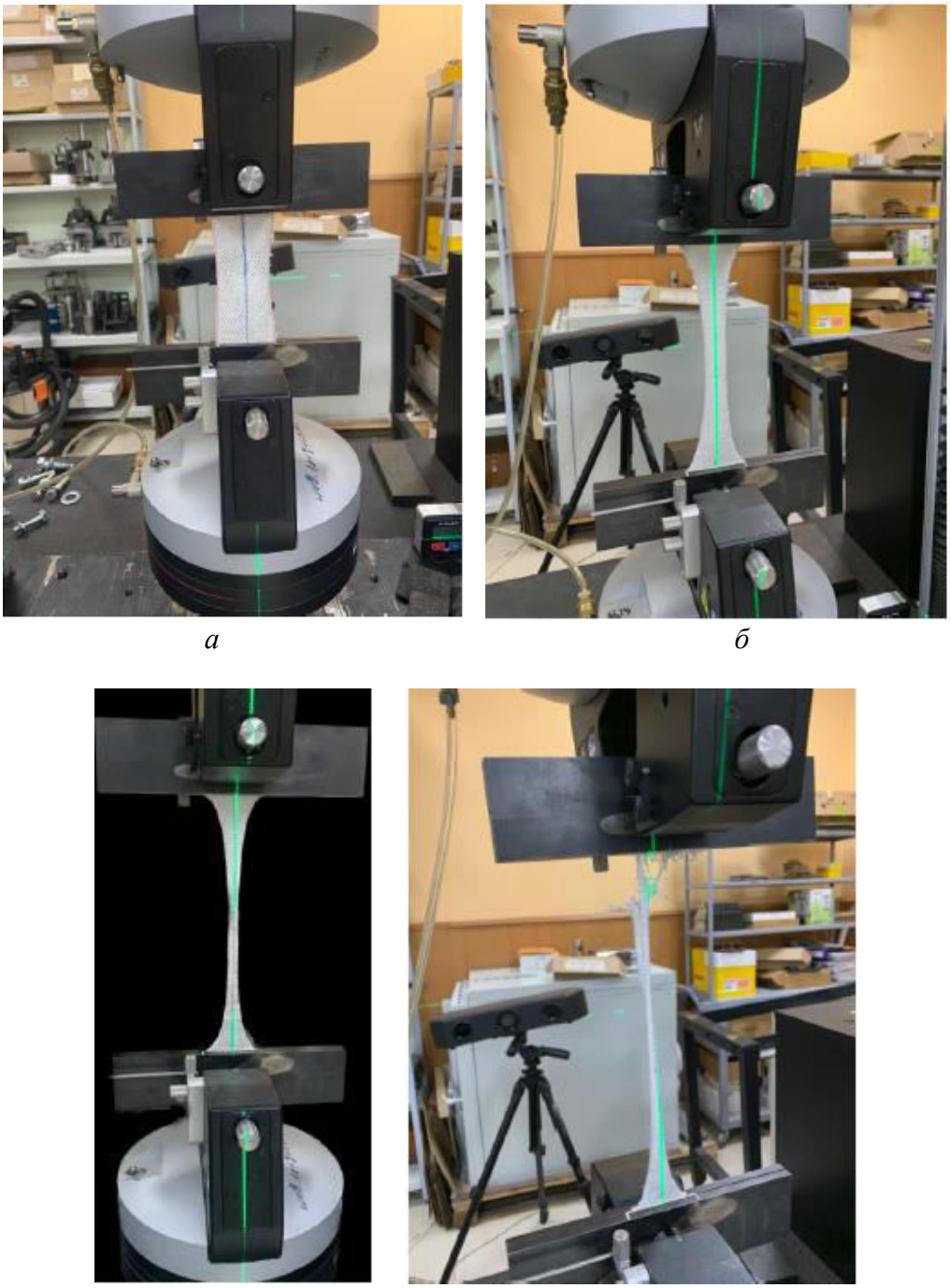
Таблица 1

Прочностные характеристики

	Метка образца	Толщина (мм)	Ширина (мм)	Длина (мм)	Максимальная нагрузка (N)
10	01-GL_trico-1	0,620	50,000	113,00	688,156
11	02-GL_trico-1	0,620	50,000	133,00	761,159
12	03-GL_trico-1	0,620	50,000	135,00	736,238
Среднее	-	0,620	50,000	127,00	728,518
Медиана	-	0,620	50,000	133,00	736,238
Коэффициент вариации	-	0,000	0,000	9,579	5,094
Минимум	-	0,620	50,000	113,00	688,156

Максимум	-	0,620	50,000	135,00	761,159
Диапазон	-	0,000	0,000	22,00	73,002
Стандартное отклонение	-	0,000	0,000	12,166	37,108

На первом этапе растяжения в структуре трикотажа происходит упорядочивание петель, затем их форма и размер изменяются. При экспериментальном изучении растяжения образцы трикотажа доводились до разрушения (рисунок 4). Максимальная нагрузка составила 761,159 Н.



а *б*

в *г*

а – закрепление образца в зажимах; *б, в* – промежуточные результаты растяжения; *г* – разрушение образца

Рисунок 4. Процесс испытания образцов

На рисунке 5 представлены образцы после испытания.

Рисунок 5. Образцы после испытания

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательского технического университета имени А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Халиулин В.И., Батраков В.В.* «Технология производства изделий из композитов». Издательство КНИТУ-КАИ, 2018-192 с.

2. *Панин М.И., Панин И.Н.* Разработка новых текстильных технологий для создания материалов нового поколения. Международная научно-техническая конференция «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности», 2018 – 51 с.

3. *Рогожина Е.А.* Проектирование конструкции и технологии изготовления носового обтекателя с трикотажным армированием // Магистерская диссертация. 2024. С. 61–66.

MANUFACTURING AND TESTING OF KNITTED SAMPLES FOR STRENGTH

Khayrullin D.R., Savinov D.V.

Supervisor: Sakhbutdinova V.R., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. This study presents the results of experimental investigations of the tensile properties of knitted fabric produced on a flat knitting machine. An analysis of the influence of the loop structure on the process of stretching and destruction of samples is given.

УДК 629.7.021.3

КОМПОЗИТНАЯ ФЕРМЕННАЯ КОНСТРУКЦИЯ С ПЕРЕСЕКАЮЩИМИСЯ ТРУБАМИ

Хайруллин Д.Р.

Научный руководитель: Халиулин В.И., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Работа направлена на поиск новых конструкторско-технологических решений в области соединения стержней трубчатого сечения в зонах их пересечения в

ферменных конструкциях. В работе представлены результаты проведенного исследования по разработке нового конструктивного варианта исполнения композитной ферменной конструкции с пересекающимися трубами, а также представлено описание технологии изготовления.

Ферменные конструкции из композиционных материалов представляют собой пространственные структуры, состоящие из соединенных между собой композитных стержней (труб), образующих пространственную сетку. Стержни конструкции работают, преимущественно, на растяжение и сжатие, что позволяет эффективно распределять действующую нагрузку по всей конструкции. Ключевой особенностью стержневых конструкций являются высокая прочность и жесткость при малом весе, что достигается путем оптимального распределения материала и использования пространственной геометрии для повышения устойчивости конструкции. Разработка и создание крупногабаритных композитных ферменных конструкций является сложной задачей, требующей поиска инновационных решений. Одним из важных подходов, направленных на оптимизацию конструкции, является разработка новых способов соединения и крепления элементов фермы.

Соединение стержней конструкции является критически важной проблемой при создании подобных конструкций. В зависимости от габаритных размеров конструкции, ее назначения и самих стержней, могут быть предложены различные способы соединения. Узлы пересечения стержней могут быть отформованы непосредственно в процессе изготовления стержней, что позволит создать монолитную конструкцию с высокими прочностными характеристиками. Также конструкция может быть образована за счет клеевого соединения в узловых зонах – это возможно благодаря тому, что конструкция становится многосоставной, имеющей отдельные элементы для узлового соединения [1] (рисунок 1).

Рисунок 1. Существующая ферменная конструкция, состоящая из труб и фитингов

Помимо представленной конструкции, взятой за прототип, также существуют и иные технологии изготовления. В работе над созданием каркаса главного зеркала телескопа «Миллиметрон» принимали участие разработчики Астрокосмического центра Физического института им. П.Н.Лебедева РАН, создавшие фитинги для соединения перекрещивающихся труб с помощью технологии 3D-печати из ABS-пластика [2]. Данный фитинг изготавливается за одну операцию, однако недостатком является отсутствие армирования, что в свою очередь резко снижает прочность конструкции.

Также, в работе [3] представлен способ изготовления каркасных конструкций из композитов, отличающийся тем, что трубчатые элементы каркаса и монолитные фитинга для соединения перекрещивающихся труб выполнены из углепластика и каркас отформован одновременно с фитингами за одну операцию. Такая технология подразумевает работу со

сборочным приспособлением, а также использование габаритного оборудования для последующей полимеризации. Крупногабаритное оборудование, дополнительные сборочные приспособления отрицательно отражаются на производительности и трудозатратах, а также снижается весовая эффективность в виду наличия большого количества деталей.

Конструкция прототипа имеет фитинг для соединения труб [1], состоящий из трех и более трубчатых элементов, соединенных между собой одним из торцов в монолитный узел и выполненных из композита с волокнистым армированием, отличается тем, что зоны сопряжения трубчатых элементов имеют седловидную форму с поверхностью гиперболического параболоида и армированы прямолинейными волокнами, располагающимися на поверхности гиперболического параболоида. Недостатком представленной конструкции является необходимость клее-механического соединения фитинга с трубчатыми элементами фермы, что негативно сказывается на весовых характеристиках, а также технологичности изготовления сборной конструкции. Также точность сборки зависит от изготовления фитинга и труб из композиционных материалов, для сборки одного узла необходимо использование фитинга и четырех труб, что также снижает точность сборки и влечет за собой увеличение веса конструкции.

В рамках выполнения работы была создана конструкция с повышенной точностью, прочностью, минимальной массой и минимальной трудоемкостью изготовления, подтверждаемая патентом на полезную модель [4]. Снижение веса конструкции обеспечивается за счет снижения количества деталей, исключения фитинга. При этом, увеличивается прочность конструкции благодаря целостности труб, образующих ферму, а также возрастает точность сборки, исключаются стыки и снижается трудоемкость изготовления ферменной конструкции. Обеспечение целостности труб достигается благодаря наличию утолщения с отверстия в одной из пересекающихся труб конструкции, через которое проходит другая труба, при этом обе трубы цельные и не имеют разъемов и стыков [4] (рисунок 2).

Рисунок 2. Пересекающиеся трубы разработанной ферменной конструкции

Получение такого соединения пересекающихся труб возможно благодаря разработанному способу изготовления. Оплетение специальных формообразующих оправок методом радиального плетения позволяется получить паз в одной из труб с плавно-огибающей структурой армирования за счет наличия специальных технологических вкладышей, а также боковые лучи оправки под формирование отверстия и преформы (рисунок 3) с последующим формованием для образования пересекающихся труб ферменной конструкции.

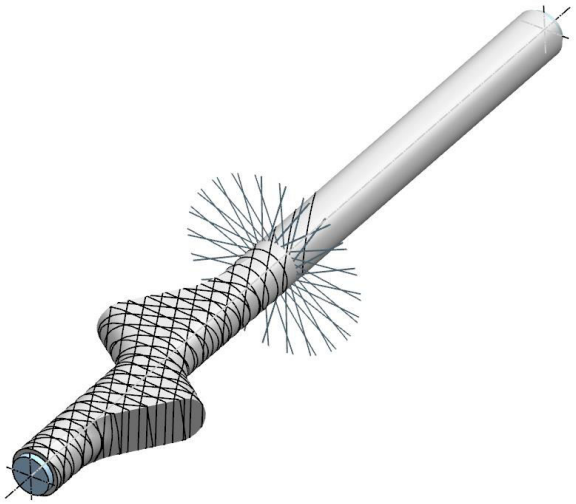


Рисунок 3. Моделирование процесса оплетения оправки с пазами

Представленная работа была направлена на поиск нового конструктивного решения традиционной ферменной конструкции с сохранением имеющихся преимуществ, таких как: высокая удельная жесткость и прочность, эффективное распределение действующей нагрузки и устойчивость к повреждениям. Представленная работа позволяет снизить трудоемкость изготовления, минимизировать риск возникновения концентраторов напряжений в узловых зонах пересекающихся элементов, а также обеспечить простоту и повысить точность сборки. Оптимизация и поиск новых конструктивных решений позволят повысить эффективность внедрения и использования ферменных конструкций в существующих областях науки и техники – авиастроении и исследовании космоса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Халиулин В.И.* Фитинг для соединения труб из композиционных материалов [Электронный ресурс]: пат. 196398 Рос. Федерация: МПК F16L 25/00; F16B 7/00 / Халиулин В.И., Савицкий В.В., Худова А.А.; ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ». – №2019140708; заявл. 09.12.2019; опубл. 28.02.2020. – Электрон. версия печ. публ. – Доступ с сайта ФГУ ФИПС.

2. «Успешный «космический» опыт 3D-печати». – Текст: электронный. – 2017. – URL: http://3dtoday.ru/blogs/3dmall/successful-cosmic-experience-of-3d-printing- (дата обращения: 09.08.2024).

3. *Урмансов Ф.Ф.* Конструкция каркасов солнечных батарей и способ изготовления каркаса [Электронный ресурс]: пат. 2352024 Рос. Федерация: МПК H01L 31/18 / Урмансов Ф.Ф., Щепалин В.И., Воронин А.А., Денисов А.В.; ОАО «Пластик». - №2007111602; заявл. 29.03.2007; опубл. 10.10.2008. – Электрон. Версия пес. Публ. – Доступ с сайта ФГУ ФИПС.

4. *Халиулин В.И.* Фрагмент фермы с перекрещивающимися трубами [Электронный ресурс]: пат. 234037 Рос. Федерация: МПК E04B 1/58; E04C 3/28 / Халиулин В.И., Хайруллин Д.Р., Усмонов Р.С.; ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ». – №2024130346; заявл. 08.10.2024; опубл. 16.05.2025. – Электрон. версия печ. публ. – Доступ с сайта ФГУ ФИПС.

COMPOSITE TRUSS CONSTRUCTION WITH CROSSING PIPES

Khayrullin D.R.

Supervisor: Khaliulin V.I., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The work is aimed at finding new design and technological solutions for connecting tubular rods in the areas of their intersection in truss structures. The paper presents the results of a

study on the development of a new design for a composite truss structure with intersecting pipes and also a description of the manufacturing process.

УДК 629.7: 678

РАЗРАБОТКА СВЯЗУЮЩЕГО С ПОВЫШЕННОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТЬЮ

Халиков А.А., Ханина Ю.А.
Научный руководитель: Хамидуллин О.Л., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Одним из ключевых параметров, определяющих надежность и долговечность изделий из полимерных композиционных материалов, является деформационная способность матрицы – способность воспринимать упругие и пластические деформации без разрушения. Повышение этого показателя критически важно для материалов, работающих в условиях ударных нагрузок, вибраций, термоциклов или наличии концентраторов напряжений (трещин, отверстий). Статья посвящена подходам и стратегиям разработки связующего с повышенной деформационной способностью.

Введение

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) благодаря комплексу уникальных свойств находят широкое применение в разнообразных отраслях современной техники и индустрии. Проблема повышения их физико-механических характеристик и придания дополнительных функциональных свойств является актуальной задачей современного материаловедения и имеет важнейшее значение для реализации крупномасштабных проектов в области авиации, ракетно-космической техники и т.п.

На рисунке 1 отражены стратегии повышения деформационных характеристик ПКМ. Центральное место в повышении прочности композитов занимает исследование матрицы, так как именно ее прочностные и упругие свойства в значительной степени диктуют кинетику разрушения материала. Из этого следует, что изучение способности матричного связующего противостоять разрушению является критически важной задачей.

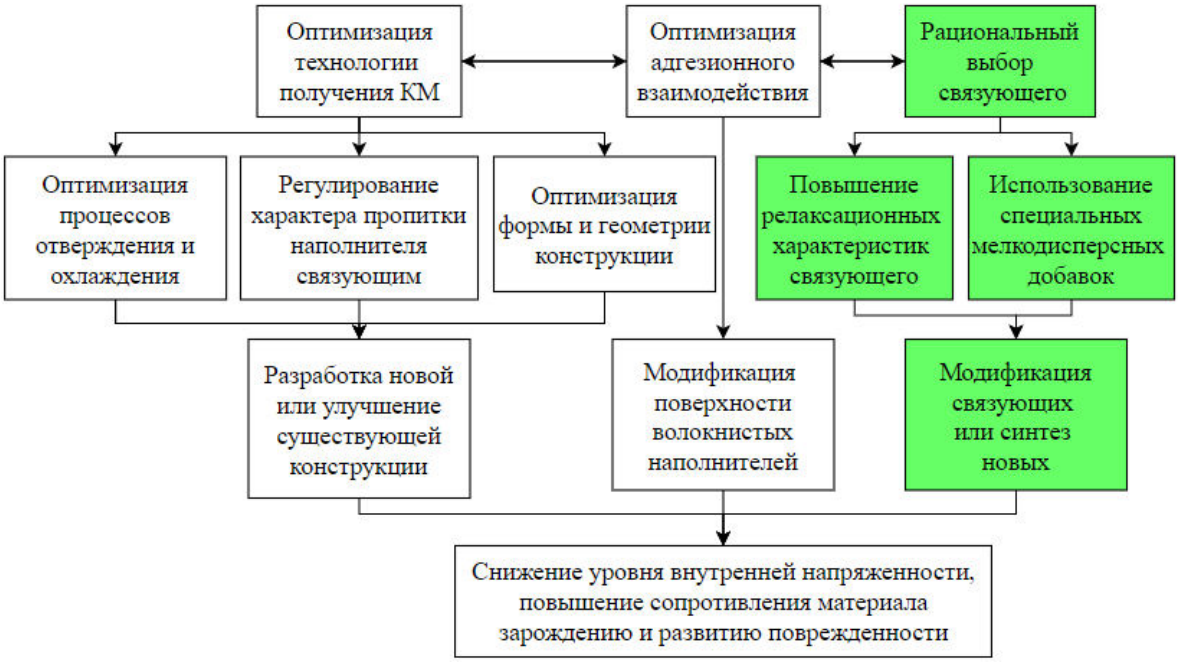


Рисунок 1. Пути повышения деформационных характеристик ПКМ

Современные научные исследования убедительно демонстрируют: модификаторы стали ключевым инструментом в арсенале материаловедов для целенаправленного улучшения свойств ПКМ. В частности, модификаторы позволяют повысить конструкционную прочность. При этом повышение конструкционной прочности, как правило, связано с повышением межслоевой прочности ПКМ, что является чрезвычайно важным при создании авиационных конструкций. Речь о геометрически сложных, многокомпонентных узлах с зонами переменного армирования, технологическими вырезами и встроенными элементами, испытывающих экстремальные нагрузки.

Таким образом, внедрение модифицирующих добавок придает полимерным композиционным материалам столь необходимую многофункциональность, позволяя одновременно решать ключевые задачи авиационного назначения: повышать конструкционную прочность геометрически сложных элементов [1].

Несмотря на обширные фундаментальные исследования, применение модифицирующих добавок в серийном производстве композитных конструкций характеризуется рядом ограничений. Ключевым барьером для трансфера технологий в серию является недостаточная изученность влияния технологических параметров изготовления на эксплуатационные характеристики ПКМ. Совместное формирование материала и конструкции в едином технологическом цикле требует анализа модификации ПКМ на нескольких структурных уровнях: матричное связующее, армирующий слой, многослойный пакет.

Данная работа посвящена разработке эпоксидного связующего, обладающего улучшенным комплексом деформационно-прочностных свойств, и анализу его перспектив его применения в качестве матричной основы для ПКМ.

Композиционные материалы, сочетающие прочные волокна и полимерную матрицу, обладают выдающейся удельной прочностью и жесткостью. Однако основной недостаток традиционных термореактивных связующих – их хрупкость и низкая деформационная способность. Это приводит к:

1. Низкой ударной вязкости – легкое образование и распространение трещин при ударе;
2. Плохому сопротивлению усталости – рост трещин при циклических нагрузках;
3. Слабой устойчивости к концентраторам напряжений – чувствительность к отверстиям, надрезам, дефектам;
4. Проблемам расслоения – основной механизм разрушения слоистых КМ, связанный с низкой межслоевой прочностью и деформационной способностью матрицы.

Современные исследования подтверждают особую значимость реакционноспособных каучуков в качестве высокоэффективных модификаторов эпоксидных матриц. Их функциональные группы (карбоксильные, гидроксильные, эпоксидные) обеспечивают химическое взаимодействие с матрицей. К стратегически важным модификаторам данного класса относятся карбоксилированные (CTBN), амино- (ATBN) и карбоксил-терминированные (HTBN) акрилонитрил-бутадиеновые каучуки, а также ряд термопластичных эластомеров [2].

Один из самых эффективных путей кардинального повышения деформационной способности и ударной вязкости связующего для КМ является введение реакционноспособных жидких каучуков, прежде всего CTBN.

CTBN – бутадиен-нитрильный каучук с карбоксильными (-COOH) группами на концах цепей. Каждая из групп выполняет определенную функцию:

- Карбоксильные группы (-COOH) химически реагируют как с эпоксидными группами смолы, так и с аминогруппами отвердителя. Эта реакция прочно пришивает молекулы каучука к формирующейся полимерной сети во время отверждения;
- Нитрильные группы (-CN) придают каучуковой части молекулы полярность, схожую с полярностью эпоксидной смолы. Это обеспечивает хорошее начальное перемешивание и

однородное распределение CTBN в жидкой смоле до отверждения, предотвращая расслаивание.

Сам процесс взаимодействия CTBN с эпоксидной смолой выглядит следующим образом:

1. На начальном этапе отверждения CTBN совместим с эпоксидной смолой, образуя гомогенный раствор.
2. По мере роста молекулярной массы эпоксидной сетки происходит фазовое разделение, то есть CTBN выделяется в виде дисперсных сферических частиц (доменов) размером обычно 0.1-5 мкм, равномерно распределенных в эпоксидной матрице.
3. Ключевое значение имеет химическая связь на границе раздела фаз между каучуковой частицей и эпоксидной матрицей, обеспечиваемая реакцией концевых -COOH групп.

Модификация эпоксидных смол каучуком CTBN — это многостадийный процесс, начинающийся уже при смешивании компонентов. Его ключевые этапы:

- Во время перемешивания карбоксильные группы (-COOH) CTBN частично реагируют с эпоксидными группами смолы. Эта ранняя реакция улучшает совместимость компонентов и усиливает адгезию между будущими фазами.
- Основные структурные изменения происходят во время отверждения (полимеризации). По мере роста молекул эпоксидного полимера, его термодинамическая несовместимость с каучуковой фазой усиливается. Это приводит к фазовому расслоению — выделению каучука в виде отдельных микрочастиц или капель внутри матрицы.
- Формирование окончательной структуры: Размер, форма и распределение этих каучуковых частиц определяются скоростью химических реакций отверждения и условиями обработки (температура, время отверждения, скорость охлаждения) [3].

Еще одним важным аспектом применения CTBN является его влияние на кинетику отверждения эпоксидных композиций. Карбоксильные группы (-COOH) каучука выступают в роли дополнительного катализатора, ускоряя реакции полимеризации на начальных стадиях. Это подтверждается данными дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и ИК-спектроскопии. Однако, несмотря на ускорение стартового этапа, введение CTBN может приводить к снижению степени завершенности реакций отверждения в системе [4].

Введение CTBN в связующее приводит к:

- Увеличению ударной вязкости;
- Повышению относительного удлинения при разрыве;
- Повышению межслоевой прочности;
- Снижению чувствительности к концентраторам напряжений.

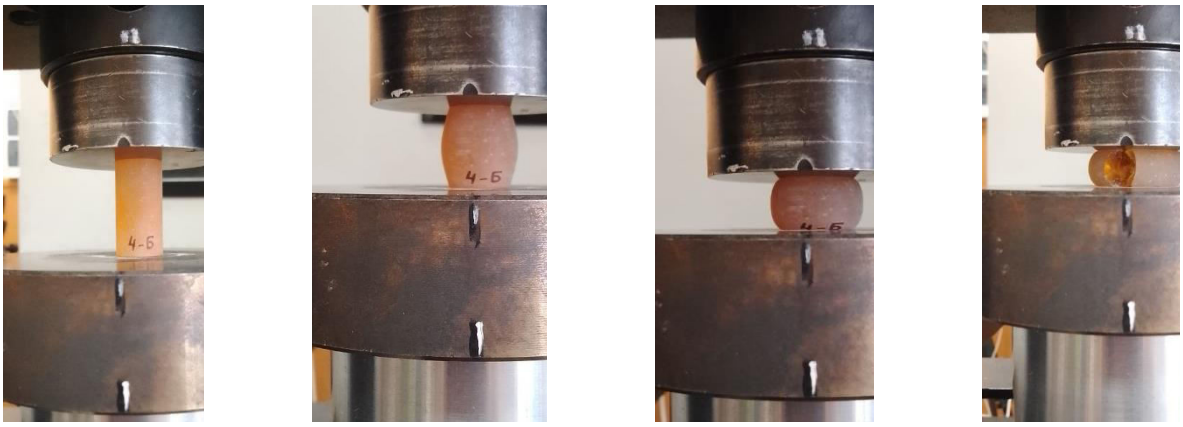
К ключевому моменту при создании композиции, модифицированной CTBN, можно отнести оптимальное содержание модификатора. Оно должно быть 5-20% от массы смолы. Поскольку при меньшом количестве – эффект незначителен, а при большей концентрации происходит резкое падение модуля упругости, прочности, вязкость системы может стать слишком высокой. Из этого следует, что необходимо тщательно подбирать составляющие и их соотношения, во избежание резкого увеличения вязкости, что может повлечь за собой проблемы в процессе пропитки [5].

Для синтеза модифицированных матричных систем был использован комплексный подход, в рамках которого целенаправленно варьировались ключевые параметры смешения компонентов. Основными объектами исследования при этом выступали стехиометрическое соотношение и последовательность введения реагентов в реакционную среду.

Для оценки влияния карбоксилсодержащего жидкого каучука (CTBN) на механические свойства эпоксидных матриц были изготовлены композиции на основе эпоксидианового олигомера типа DEGBA отвержденного изометилтетрагидрофталиевым ангидридом в присутствии фосфониевого ускорителя отверждения [6].

Образцы цилиндрической формы для проведения испытания отливали в металлических пресс-формах в соответствии со стандартными методиками.

Механические свойства оценивали испытанием на сжатие на универсальном электромеханическом испытательном стенде Instron 5882 (рисунок 2).



а *б* *в* *г*

а – начальное положение образца в захватах; *б, в* – деформация образца в процессе испытания; *г* – разрушение образца

Рисунок 2. Процесс испытания образца на сжатие

При нагружении модифицированных CTBN эпоксидных композитов сопротивление распространению трещины обеспечивается совокупностью взаимосвязанных механизмов:

- Сшивание трещин – растяжение каучуковых частиц, пересекаемых растущей трещиной, создающее замыкающее напряжение и замедляющее рост распространения трещин;
- Образование полостей – деформация каучуковых частиц впереди вершины трещины, возникшей под действием растягивающих напряжений, влекущая за собой образование микроскопических полостей внутри себя или на границе раздела;
- Образование сдвиговых полос - образование полостей снимает объемные ограничения в окружающей матрице, позволяя ей пластически деформироваться через образование множественных сдвиговых полос;
- Отклонение трещины – огибание трещиной более мягких каучуковых частиц, увеличивая свой путь и поглощая больше энергии.

Совместное действие указанных механизмов значительно повышает энергоёмкость разрушения, увеличивая прочность материала в 3–5 раз относительно промышленно-выпускаемых эпоксидных смол [7].

Типовая кривая нагружения для термореактивной матрицы, модифицированной CTBN представлена на рисунке 3.

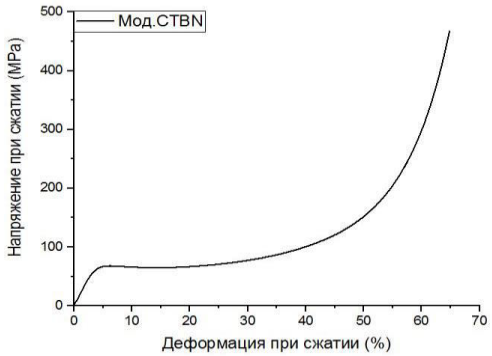


Рисунок 3. Типовая кривая нагружения эпоксидного полимера при сжатии

После проведений механических испытаний образец полимера был помещен в печь при температуре выше температуры стеклования на 10 минут, что привело возвращение образца в

свою первоначальную форму, что свидетельствует о выраженном эффекте памяти формы (ЭПФ) (рисунок 4). Восстанавливаемость исходной формы составила более 98%.

а *б*

а – деформированный образец, *б* – восстановленный образец

Рисунок 4. Эффект памяти формы

Эффект механической памяти формы представляет большой интерес, так как при задании временной формы не требует применения температуры. Температурой активации для возвращения исходной формы является температура стеклования.

Заключение

В результате анализа актуальности исследований композиционных материалов на основе модифицированного связующего установлено, что потребность подобных испытаний растет с каждым годом, в связи с появлением новых составов синтетических полимеров.

Проведенное исследование демонстрирует высокую эффективность структурной модификации эпоксидных связующих, в частности с использованием функционализированных каучуков CTBN, для улучшения деформационных характеристик полимерных композитов. Оптимизация состава и технологии синтеза позволила создать материал с улучшенными механическими характеристиками и выраженной памятью формы, что подтверждено экспериментально. Использование CTBN как модификатора является эффективной и технологичной стратегией для разработки связующих с повышенной деформационной способностью специально для композиционных материалов. Успешная разработка модифицированного связующего доказывает практическую применимость полученных результатов.

Дальнейшее развитие этого направления, особенно в области гибридных модифицированных систем, открывает значительные перспективы для создания нового поколения высокопрочных, ударопрочных и надежных полимерных композиционных материалов, способных обеспечить прогресс в авиационной и космической технике, отвечая требованиям эффективности, безопасности и экологичности.

Публикация получена в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кисельков Д.М.* Разработка высокопрочного электропроводящего эпоксидного связующего с температурой стеклования выше 200°С / Д.М. Кисельков, А.И. Слободинюк // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2020. – №3. – С. 23-30.

2. *Thomas R.* Advances in toughening strategies for structural adhesives / R. Thomas, J.T. Kim // Advances in Structural Adhesive Bonding. - 2010. - P. 55-93.

3. *Коротков В.Н.* Структурные аспекты модификации эпоксидных олигомеров жидкими каучуками / В.Н. Коротков, Л.М. Богданова, А.С. Фролов // Пластические массы. – 2020. – № 5-6. – С. 34-39.

4. *Thomas R.* Cure kinetics and morphology of CTBN-toughened epoxy nanocomposites / R. Thomas, J.T. Kim, H.J. Maria // Thermochimica Acta. - 2022. - Vol. 707. - P. 179092-179104.

5. *Мейірбеков М.Н.* Влияние каучука на механические свойства эпоксидной смолы и углепластика (Обзор) / М.Н. Мейірбеков, М.Б. Исмаилов // Complex Use of Mineral Resources. – 2020. – №3. – С. 11-21.

6. *Amirova L.R.* et al. Thermal properties of epoxy–anhydride formulations cured using phosphonium accelerators //Polymer Bulletin. – 2018. – Т. 75. – С. 5253-5267.

7. *Баулин А.А*. Влияние структуры CTBN на ударную вязкость модифицированных эпоксидных композитов / А.А. Баулин, С.В. Корчагин, И.Н. Андреева // Вестник Казанского технологического университета. – 2019. – Т. 22, № 3. – С. 45-51.

DEVELOPMENT OF A BINDER WITH INCREASED DEFORMABILITY

Khalikov A.A., Khanina Yu.A.

Supervisor: Khamidullin O.L, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. One of the key parameters determining the reliability and durability of the final product is the deformability of the binder – its ability to accept elastic and plastic deformations without destruction. Increasing this indicator is critically important for materials operating under shock loads, vibrations, thermal stresses, or in the presence of stress concentrators (cracks, holes). The article is devoted to approaches and strategies for the development of binders with increased deformability.

УДК 678.05

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ ОСНАСТКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОДНООБРАЗНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ ВАКУУМНОЙ ИНФУЗИИ

Харрасов А.Ф.

Научный руководитель: Константинов Д.Ю., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье представлена разработка адаптивной модели оснастки для изготовления однообразных композитных заготовок методом вакуумной инфузии. Для уменьшения времени на разработку оснастки достаточно изменить геометрию заготовки для изменения параметров формообразующей оснастки. В статье описаны все ассоциативные связи между элементами оснастки и композитной заготовкой.

В качестве детали для инфузионного и автоклавного метода формования была выбрана стрингерная панель летательного аппарата (рисунок 1). Стрингерная панель имеет два стрингера, которые вместе с обшивкой составляют интегральную конструкцию. Материал панели – углепластик.

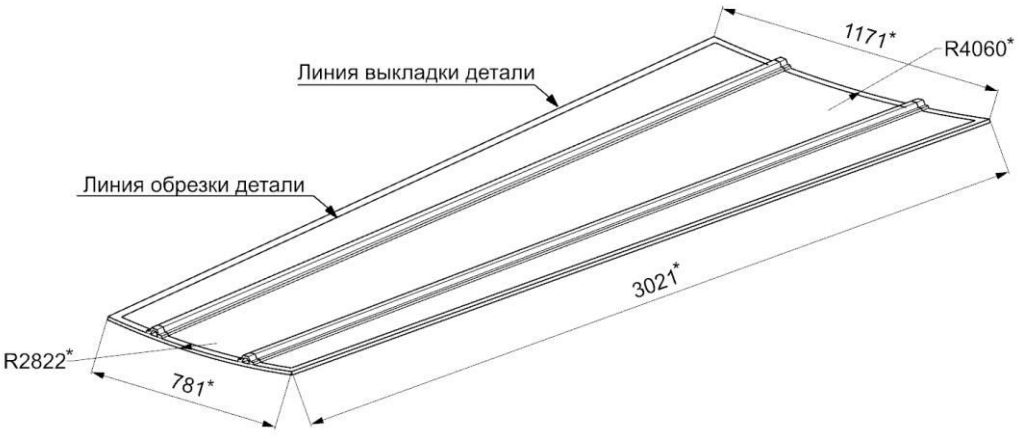


Рисунок 1. Стрингерная панель

Трехмерная модель является мастер-деталью. Формообразующая оснастка адаптируется на изменение геометрических параметров обозначенных *. Сечение представлено на рисунке 2.

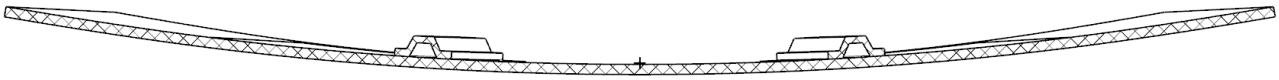


Рисунок 2. Сечение панели

Стрингер имеет П-образное сечение с площадками крепления к обшивке. Размеры сечения представлены на рисунке 3.

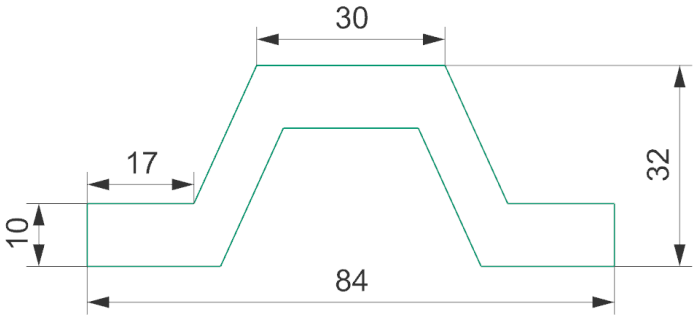


Рисунок 3. Размеры стрингера

Изменение размеров стрингера не влияет на формообразующую оснастку. Формообразующая оснастка состоит из композитной формообразующей части, поддерживающего каркаса, крепежных элементов и нагревательного элемента [1]. Для регулирования геометрии формообразующей части предусмотрены регулирующие элементы.

Для изготовления формообразующей части оснастки предполагается применение стеклопластика и/или углепластика. На формообразующей части нанесены линия выкладки и линия обрезки детали (рисунок 4). Для базирования оснастки, сделаны площадки для отражателей лазерного проектора (рисунок 5), площадки выведены в горизонтальное положение. Толщина формообразующей части – 16 мм.

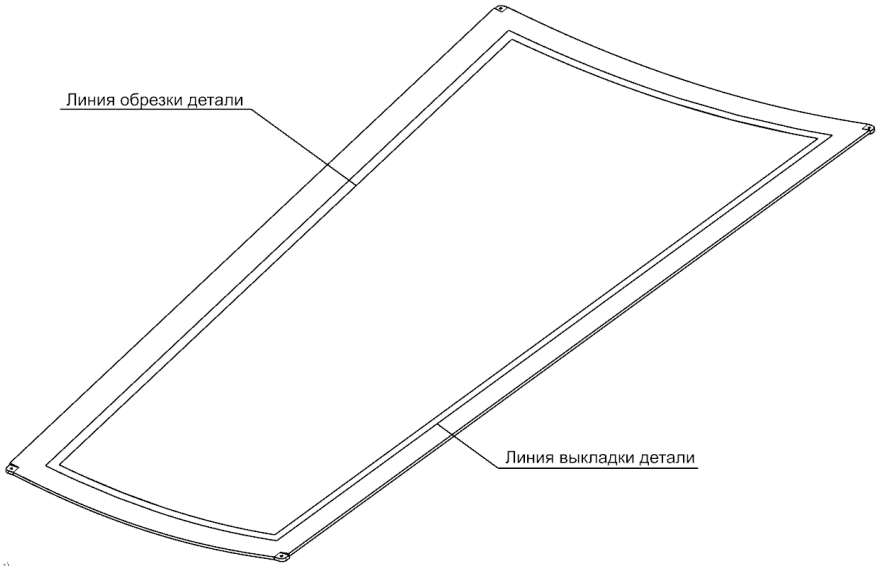


Рисунок 4. Линии выкладки и обрезки детали

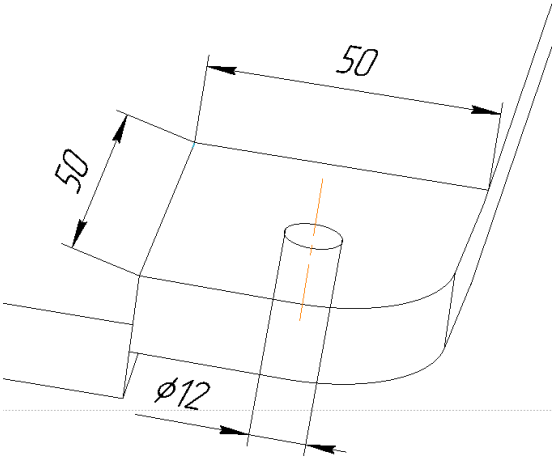


Рисунок 5. Площадка под отражатель лазерного проектора

Рабочая поверхность формообразующей части ассоциативно привязана к аэродинамическому обводу мастер-детали. Технологический припуск формообразующей части задан расширением ассоциативной грани, при необходимости технологический припуск можно изменить в дереве построения. При изменении геометрических параметров мастер-детали, размеры формообразующей части изменяются автоматически.

Линия обрезки и линия выкладки детали ассоциативно связаны с внешними ребрами аэродинамического обвода мастер-детали. Расстояние между линией обрезки и линией выкладки составляет 50 мм. При необходимости припуск можно изменить в дереве построения. При изменении геометрических параметров мастер-детали, положение линии выкладки и линии обрезки детали изменяются автоматически.

Для выкладки формообразующей части оснастки была спроектирована мастер-модель (рисунок 6) [1]. Мастер-модель ассоциативно связана с рабочей поверхностью формообразующей части. Для возможности сборки технологического пакета были заданы припуски по 100 мм с каждой стороны.

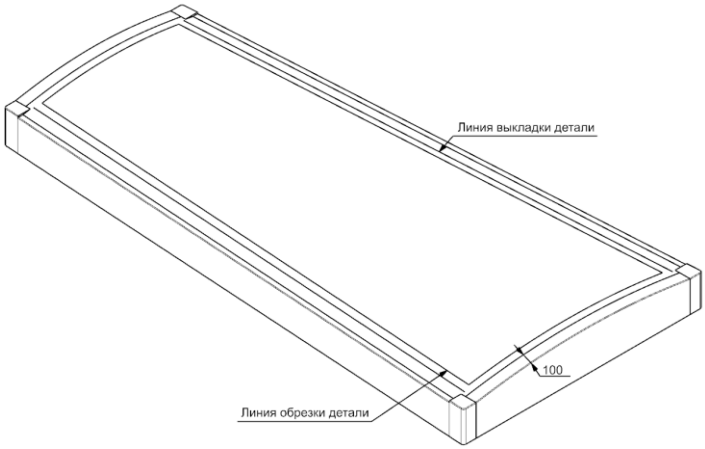
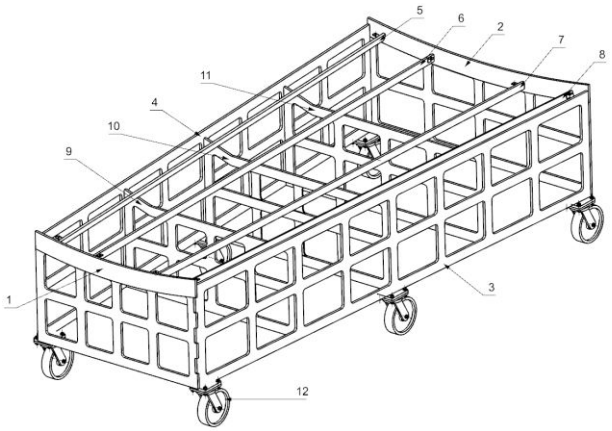


Рисунок 6. Мастер-модель

Формообразующая часть оснастки изготавливается методом вакуумной инфузии. Слои ткани формообразующей ткани выкладываются на мастер-модель.

Поддерживающий каркас представляет собой ячеистую пространственную раму из металлических пластин (рисунок 7) [2], для перемещения рама оснащена поворотными колесами.



1, 2 – поперечные внешние плиты; *3, 4* – продольные внешние плиты; *5, 6, 7, 8* – пластины для крепления регулировочных элементов; *9, 10, 11* – внутренние поперечные плиты; *12* – поворотные колеса

Рисунок 7. Поддерживающий каркас

Поперечные внешние плиты имеют ассоциативную связь с формообразующей частью оснастки [3]. Продольные внешние плиты и пластины для крепления регулировочных элементов имеют ассоциативную связь с внешними поперечными плитами. Внутренний поперечный набор и поворотные колеса имеют ассоциативную связь с внешними продольными плитами.

Пластины между собой скрепляются при помощи соединения шип-паз (рисунок 8).

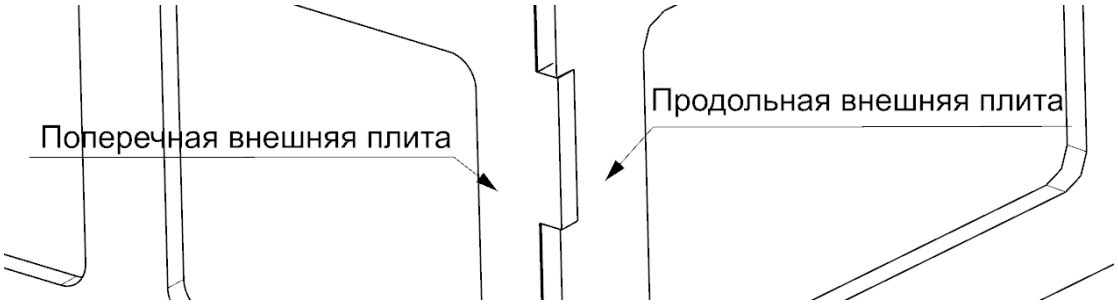
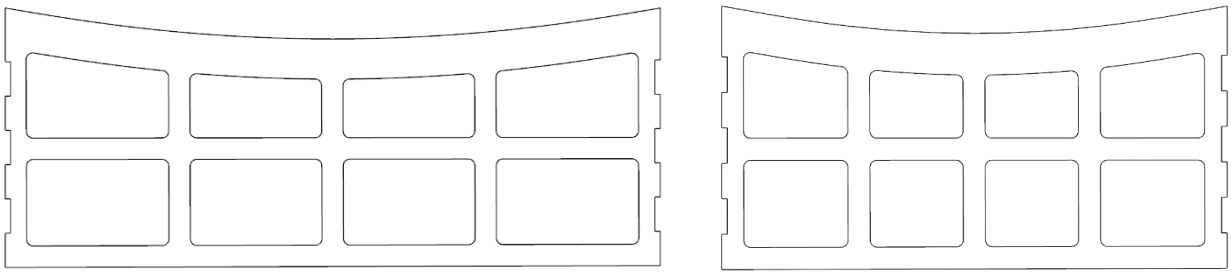


Рисунок 8. Соединение шип-паз

Основными пластинами для модели являются две торцевые пластины (рисунок 9), все остальные части рамы имеют ассоциативную связь от этих пластин.



а *б*

а – задняя торцевая пластина*; б* – передняя торцевая пластина

Рисунок 9. Торцевые пластины

Кривизна верхней части данных пластин имеет ассоциативную связь с формообразующей частью оснастки. Зазор между верхней частью пластины и формообразующей частью составляет 150 мм. Высота данных пластин подобрана для удобства работы с композитной заготовкой.

Продольные пластины имеют ассоциативную связь с торцевыми пластинами. Они привязаны к их боковым граням.

Отверстия не имеют конкретных размеров ширины и высоты, они зависят от размеров самой пластины. Ширина получающихся стоек 80 мм, их положение имеет зависимость от длины самой пластины, так как зависимость задана как процентное отношение от кривой. Данные отверстия необходимы для уменьшения тепловой массы конструкции и для ее облегчения.

Соединение с формообразующей частью происходит через регулировочные элементы, для их крепления на раме расположены продольные пластины (рисунок 10). Они имеют ассоциативную связь с уголками регулирующего элемента и торцевыми пластинами.

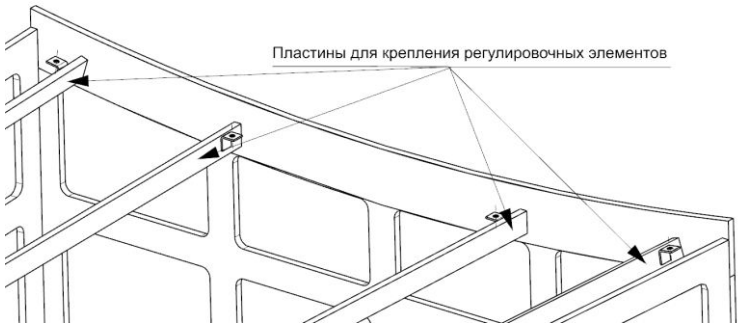


Рисунок 10. Пластины для крепления

Для придания жесткости каркасу и поддержке пластин крепления, спроектированы три поперечные пластины (рисунок 11).

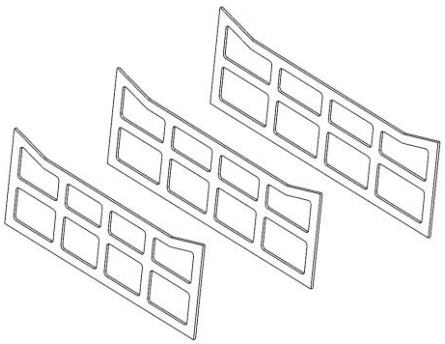


Рисунок 11. Поперечные пластины

Данные поперечные пластины имеют ассоциативную связь с продольными пластинами и пластинами для крепления регулирующих элементов.

Для возможности крепления формообразующей части к каркасу, на ее нижней поверхности предусмотрены закладные элементы (рисунок 12).

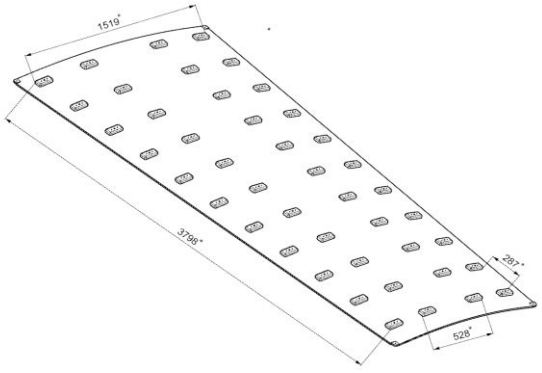
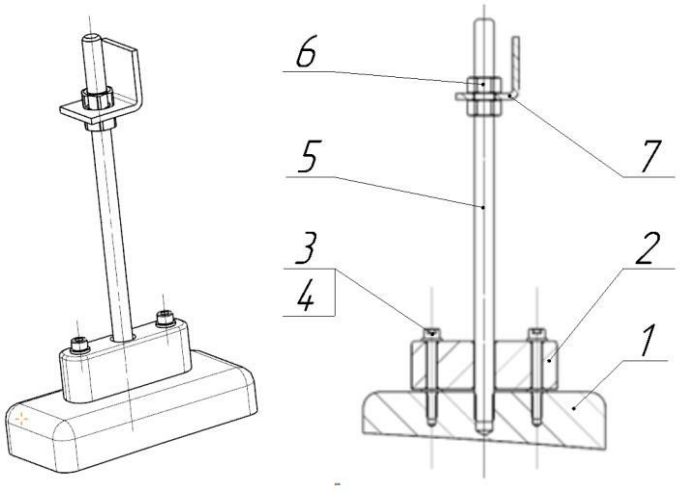


Рисунок 12. Закладные элементы

Размеры со * меняют свое значение автоматически.

Так как формообразующая часть выполнена из композита, для нее свойственно коробление. Для возможности корректировки геометрии формообразующей части, были спроектированы регулирующие элементы [2]. Регулирующий элемент состоит из шпильки, уголка и крепежных элементов. Уголок закрепляется на шпильке двумя гайками, подкручивая которые можно регулировать геометрию формообразующей часть. Регулирующий элемент изображен на рисунке 13, *а*, сечение изображено на рисунке 13, *б*. Контроль геометрии производится при помощи контрольно-измерительной машины.



а *б*

а – регулирующий элемент; *б* - сечение
1 – закладной элемент; *2* – регулирующий элемент; *3* – шайба; *4* – винт;
5 – шпилька; *6* – гайка; *7* – уголок
Рисунок 13. Регулирующий элемент

Так как оснастка крупногабаритная и не на всех предприятиях есть печи крупных размеров, была разработана система жидкостного нагрева (рисунок 14) [2].

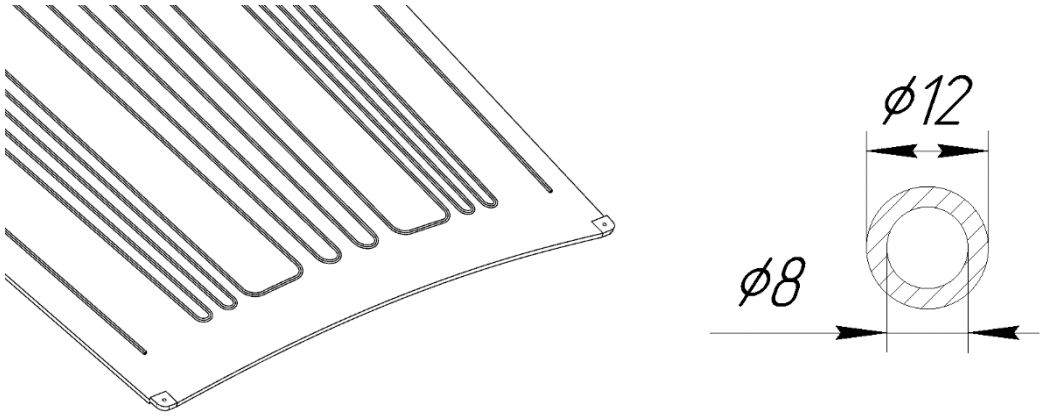


Рисунок 14. Нагревательный элемент

Нагревательный элемент представляет собой металлическую трубу, изогнутую по траектории с сечением Ø12х2 мм. Траектория нагревательного элемента покрывает всю рабочую поверхность формообразующей части. Для того чтобы при изменении геометрии композитной заготовки траектория нагревательного элемента не пересекалась с закладными элементами, траектория имеет ассоциативную связь с закладными элементами [3]. Траектория нагревательного элемента построена в плоскости, после чего спроецирована на нижнюю грань

формообразующей части. Такое решение нужно для корректной работы адаптации траектории нагревательного элемента при изменении кривизны композитной заготовки.

Статья подготовлена в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-152025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Computer Aided Process Planning, Strategy, and Models in the Aircraft Industry [Электронный ресурс] // – URL: https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1243/095440505X32887.

2. Презентация Precision Tooling for Composite Processes, Weber, Канада – 42 с.: ил.

3. Optimization of Computer Aided Industrial Design System for Passenger Aircraft Cabin // Computer-Aided Design & Applications, 19(1). – 2022. – P. 54-64.

DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE TOOLING MODEL FOR THE MANUFACTURE OF UNIFORM COMPOSITE PREFORMS BY VACUUM INFUSION

Kharrasov A.F.

Supervisor: Konstantinov D.Yu., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. The article presents the development of an adaptive tooling model for the production of uniform composite blanks using the vacuum infusion method. To reduce the time required for tooling development, it is sufficient to change the geometry of the blank to modify the parameters of the forming tooling. The article describes all the associative relationships between the tooling elements and the composite blank.

УДК 629.7

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ

Хусаинов Д.И.

Научный руководитель: Андрианова К.А., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Разработка оптимального состава и эффективной технологии производства алюмосиликатных пенопластов, обладающих заданными характеристиками. Разработанные составы рекомендованы для использования в качестве заполнителей многослойных конструкций, таких как сэндвич-панели с повышенной пожаробезопасностью.

Современные алюмосиликатные пеноматериалы, сочетающие в себе лёгкость, отличную теплоизоляцию, негорючесть и экономичность, открывают новые перспективы в создании многослойных конструкций. Геополимерные материалы представляют сегодня большой интерес как новые теплостойкие изоляционные материалы, благодаря стойкости к высоким температурам, химической коррозии, низкой усадке, а также доступности сырья [1-5]. Геополимерные пены производят в щелочных условиях путем химического или физического вспенивания метакаолина, летучей золы или промышленных твердых отходов [6]. В качестве альтернативы традиционным материалам, они производятся из доступного минерального сырья (глины, золы, шлаков) методом вспенивания, что позволяет избежать многих недостатков. Особенно привлекательны геополимерные пеноматериалы на основе алюмосиликатных связующих, обладающие огнестойкостью, экологичностью и низкой себестоимостью благодаря использованию промышленных отходов.

В рамках данной работы была поставлена цель: разработать состав и технологию получения пенопластов на основе алюмосиликатных связующих. В качестве компонентов

использовались различные марки метакаолина (ВМК-45, ВМК-ВВу, МК 1000) и щелочные растворы силиката натрия и калия. Азодикарбонамид был выбран в качестве вспенивающего агента, а акрилсодержащий водорастворимый полимер Flopaan 5115 стабилизировал пену. В качестве облицовки для изготовления сэндвич-панелей использовали жаростойкий слюдопласт. Плотность пеноматериалов определялась в соответствии с ГОСТ Р 56654-2015, а механические испытания проводились на универсальной испытательной машине Instron 5882. Содержание компонентов и режимы вспенивания подбирались для достижения оптимального сочетания свойств пеноматериала.

На первом этапе необходимо было подготовить порошковые составы. Измельчение материалов проводили в центробежной мельнице. На начальном этапе исследований особое внимание уделялось подготовке порошковых составов, от однородности и качества которых во многом зависят конечные характеристики получаемых пеноматериалов. Процесс начинался с точного дозирования исходных компонентов, включающих алюмосиликатное связующее, наполнители и вспенивающие агенты. Для достижения оптимальной дисперсности и увеличения площади контакта между частицами, измельчение материалов осуществлялось в центробежной мельнице, позволяющей эффективно разрушать агломераты и получать порошки с заданным размером частиц.

Следующим важным этапом являлось смешение компонентов. Для обеспечения максимальной однородности смеси использовалась верхнеприводная мешалка, позволяющая плавно и равномерно перемешивать порошкообразные материалы, предотвращая образование комков и расслоение. Контроль времени и скорости перемешивания осуществлялся с высокой точностью для достижения оптимального распределения компонентов и получения однородной массы.

Традиционным методом получения неорганических пен является вспенивание под действием температуры. В данном исследовании вспенивание алюмосиликатных композиций проводилось при строго контролируемой температуре вспенивания, составляющей 250°С, в течение 7 минут. Точное соблюдение температурного режима и времени выдержки позволяло добиться оптимальной степени вспенивания и формирования равномерной пористой структуры материала.

Альтернативным способом получения алюмосиликатных пен является вспенивание под действием микроволнового излучения. Преимуществом этого метода является значительно более высокая скорость процесса, что обусловлено быстрым и равномерным нагревом материала по всему объему. Подготовка и смешивание компонентов для вспенивания под действием микроволнового излучения проводилось аналогичным образом, что и для традиционного термического метода. Полученную смесь тщательно помещали в силиконовую форму, обеспечивающую необходимую конфигурацию и размеры будущего пеноматериала, и далее отправляли в микроволновую печь на короткое время (15-20 секунд) (рисунок 1).

Сочетание традиционных и инновационных методов вспенивания позволило детально изучить влияние различных технологических параметров на структуру и свойства алюмосиликатных пеноматериалов, открывая перспективы для создания новых материалов с заданными характеристиками.

Методом оптической микроскопии показано, что микроструктура получаемых пен в печи и под действием микроволнового излучения примерно одинакова: пены, характеризируются равномерной мелкопористой структурой, средний размер пор составляет 800-1000 мкм (рисунок 2). Добавление вспенивающего агента приводит к значительному увеличению кратности вспенивания, при этом наиболее эффективной концентрацией вспенивающего агента является концентрация до 1,5-2 мас.%.

Рисунок 1. Внешний вид пены

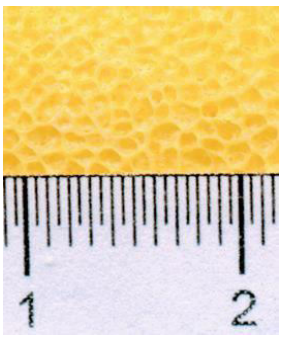


Рисунок 2. Микроструктура

Для определения механических свойств пен были проведены испытания на сжатие. Показано, что значения прочности на сжатие алюмосиликатных пен находятся в интервале от 0,9 до 2,8 МПа в зависимости от плотности пен. Также приведены значения прочности, рассчитанные на основе модели Гибсона-Эшби. Полученные значения прочности алюмосиликатных пен лежат между верхним и нижним теоретическими пределами, ближе к верхнему пределу. Согласно теории Эшби это объясняется тем, что структура пен имеет мелкоячеистое строение с достаточно большой толщиной стенки.

Термическая стабильность алюмосиликатных пен была исследована методом термогравиметрического анализа. Было показано, что потеря массы пены происходит в несколько этапов в основном из-за удаления воды и термодеструкции органических компонентов. Алюмосиликатные пены стабильны до температуры 1000°C. Износостойкость алюмосиликатных пен оценивалась путем определения коэффициента истирания с помощью шлифовальной машины. Показано, что полученные пены имеют высокую износостойкость, концентрация вспенивающего агента практически не оказывает влияния на коэффициент истирания.

Алюмосиликатные пеноматериалы заслуженно привлекают внимание как перспективное решение для многослойных конструкций, в частности, благодаря своей исключительной огнестойкости, превосходящей многие традиционные материалы. Наши исследования подтвердили это преимущество: образцы алюмосиликатных пен, подвергнутые воздействию открытого пламени в течение пяти минут, не показали признаков возгорания и не выделяли дым. Это свидетельствует о высокой стабильности материала при экстремальных температурах и его способности сохранять свои свойства в условиях пожара.

Преимуществом геополимерных пен является их высокая огнестойкость по сравнению с другими материалами. Для подтверждения этого факта образцы алюмосиликатных пен подвергались воздействию пламени в течение 5 минут. При этом видно, что возгорание образцов и выделение дыма не происходит.

Особый интерес представляла оценка возможности применения этих пен в качестве заполнителя для сэндвич-структур, что обусловлено потребностью в легких и огнестойких материалах для различных отраслей промышленности. Для реализации этой цели была разработана технология создания сэндвич-панелей с сердечником из алюмосиликатного пеноматериала и облицовкой из слюдопласта. Процесс включал установку ограничителей на листы слюдопласта для контроля высоты вспенивания, нанесение алюмосиликатной суспензии на поверхность облицовочных листов, последующее складывание двух листов с суспензией внутрь и проведение вспенивания с использованием теплового или микроволнового воздействия.

Для оценки теплоизоляционных свойств сэндвич-панели был проведен эксперимент с воздействием сверхвысоких температур пламени горелки. Анализ распределения температуры на обратной поверхности сэндвич-панели, выполненный с помощью инфракрасной термографии, показал, что разработанные конструкции обладают высокой огнестойкостью и отличными теплоизоляционными свойствами. Это позволяет сделать вывод о возможности их применения в качестве эффективной противопожарной защиты в различных областях.

Проведённые исследования подтвердили перспективность использования неорганических компонентов для создания материалов с низкой плотностью, высокой огнестойкостью, механической прочностью и долговечностью.

Сделан вывод о том, что сэндвич-панели, состоящие из облицовочных листов слюдопласта и заполнителя из алюмосиликатной пены, демонстрируют высокую огнестойкость и теплоизоляционные свойства.

В результате проведённых исследований было установлено, что использование неорганических компонентов позволяет получить материалы с низкой плотностью, высокой огнестойкостью, механической прочностью и долговечностью. Полученные результаты позволяют сформулировать следующие ключевые выводы:

1. Разработан эффективный состав и технология производства негорючих пенопластов на основе неорганических полимеров, открывающие новые возможности для создания безопасных и долговечных строительных материалов.
2. Подтверждена возможность эффективного вспенивания алюмосиликатных составов как в традиционной печи, так и с использованием инновационного метода микроволнового излучения, что расширяет возможности технологического процесса и позволяет оптимизировать параметры производства.
3. Варьирование содержания вспенивающего агента позволило получить образцы алюмосиликатных пен с широким диапазоном плотности от 160 до 380 кг/м³ и прочности на сжатие от 0,9 до 2,8 МПа, что дает возможность адаптировать материал под конкретные требования различных применений.
4. Благодаря высокой термической стабильности (до 600°C) и огнестойкости, разработанные составы рекомендованы для использования в качестве заполнителей многослойных конструкций, таких как сэндвич-панели с повышенной пожаробезопасностью.
5. Предложена и успешно протестирована технология изготовления сэндвич-панелей с сердечником из алюмосиликатного пеноматериала и облицовкой из слюдопласта, продемонстрировавшая высокие теплоизоляционные и огнестойкие свойства, что делает их перспективным решением для применения в строительстве и других отраслях, где важны эти характеристики.

В целом, проведенные исследования не только подтверждают перспективность алюмосиликатных пеноматериалов, но и открывают новые возможности для создания инновационных строительных и конструкционных материалов, сочетающих в себе высокие эксплуатационные характеристики и повышенную пожарную безопасность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Novais R.M., Pullar R.C., Labrincha J.A.* Geopolymer foams: An overview of recent advancements. *Progress in Materials Science*, 2020, vol. 109, art. 100621.
2. *Dhasindrakrishna K.* et al. Progress, current thinking and challenges in geopolymer foam concrete technology. *Cement and Concrete Composites*, 2021, vol. 116, art. 103886.
3. *Kočí V., Černý R.* Directly foamed geopolymers: A review of recent studies. *Cement and Concrete Composites*, 2022, vol. 130, art. 104530.
4. Yu H. et al. A review on the porous geopolymer preparation for structural and functional materials applications. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 2022, vol. 19, no. 4, pp. 1793-1813.
5. *Song Y.* et al. Foamed geopolymer insulation materials: Research progress on insulation performance and durability. *Journal of Cleaner Production*, 2024, vol.444, art.140991.
6. *Chen S.* et al. Pore structure of geopolymer materials and its correlations to engineering properties: A review. *Construction and Building Materials*, 2022, vol. 328, art.127064.

DEVELOPMENT OF COMPOSITION AND PRODUCTION TECHNOLOGY OF ALUMINOSILICATE FOAM PLASTICS

Khusainov D.I.
Supervisor: Andrianova K.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Development of an optimal composition and efficient technology for the production of aluminosilicate foams with specified characteristics. The developed formulations are recommended for use as fillers for multilayer structures, such as sandwich panels with increased fire safety.

УДК 533.662

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВИНТА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Яблонский А.Н., Петров П.А.
Научный руководитель: Шабалин Л.П., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлены результаты численного исследования модели винта, выполненного из композиционных материалов с выкладкой слоев равнопрочной ткани по всей высоте. Определена оптимальная укладка, позволяющая минимизировать перемещения с сохранением минимального запаса прочности при изгибающей нагрузке. Проведены сравнительные расчеты с моделью пустотелого металлического винта, имеющего аналогичную массу. Полученные данные могут быть использованы при проектировании винтов из полимерных композиционных материалов в авиационной, судостроительной и беспилотной авиационной промышленностях.

Введение

В современной авиационной промышленности находят широкое применение изготовление различных элементов конструкции и силовой установки из композиционных материалов. Изготовление воздушных винтов из подобных материалов, благодаря своим уникальным механическим свойствам и снижению веса готового изделия, является перспективной областью развития [1]. При их изготовлении следует брать в расчёт сложное напряженно-деформированное состояние внутри композита, возникающее при эксплуатационных нагрузках. С анализом прочности данных изделий важным условием является анализ вида испытываемых нагрузок при эксплуатации, из которого в дальнейшем формируются требования по виду укладки монослоев ткани в изделии [2, 3].

Одной из важнейших проблем при проектировании подобных элементов является изгибная жесткость и прочность [4]. В мировых трудах представлены изобретения, посвященные способам изготовления винтов как формирование пустотелого тела [5], так и с закладыванием внутри сердечника из углепластика и углепластиковой оболочки [6]. Отличительными чертой данных изобретений является высокая прочность получаемого изделия, однако они имеют повышенную трудоемкость изготовления.

1. Цели и задачи исследования. Используемые методы.

Целью данного исследования является проведение численных экспериментов, позволяющие оценить распределение напряжений и деформаций в зависимости от укладки. Определение наивыгоднейшей выкладки монослоев ткани внутри композиционного винта при действии изгибающей нагрузки используя метод конечно-элементного моделирования [7, 8]. При этом отвечающего значению запаса прочности не менее 3-х. За основу была взята аэродинамическая модель винта (рисунок 1).

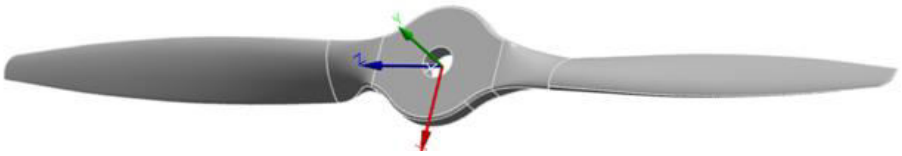


Рисунок 1. Вид в изометрии геометрическая модель винта с локальной системой координат в центре

2. Описание модели материала и его характеристик.

Для модели материала равнопрочной ткани UMT 42 толщиною 0,2 мм были заданы два однонаправленных слоя UMT 42 толщиною 0,1 мм с углом выкладки в 90° относительно друг друга. Характеристики модели материала однонаправленного слоя приведены в таблице 1.

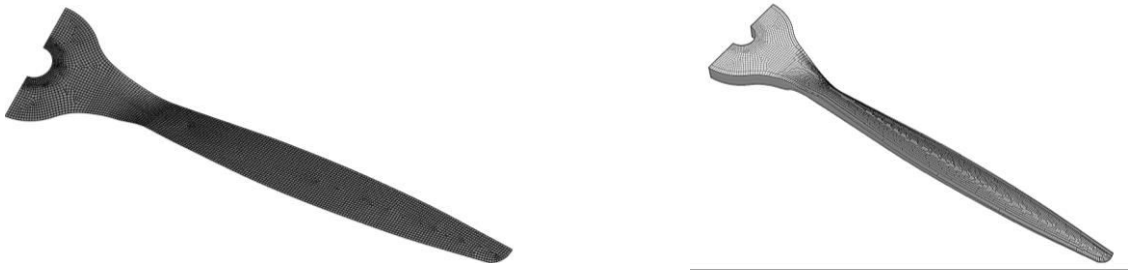
Таблица 1

Характеристики модели материала однонаправленного UMT 42

Параметр	Направление	Величина
Плотность ρ, [г/см^3]		1,5
Модуль Юнга E, [ГПа]	X	127
	Y	7,78
	Z	7,78
Коэффициент Пуассона μ	XY	0,3
	YZ	0,4
	ZX	0,3
Модуль сдвига G, [МПа]	XY	5000
	YZ	3846
	ZX	5000
Предел прочности на растяжении, [МПа]	X	1560
	Y	70
	Z	70
Предел прочности на сжатии [МПа]	X	970
	Y	80
	Z	80
Предел прочности на сдвиг [МПа]	XY	69
	YZ	50
	ZX	69

3. Построение конечно-элементной модели.

Для статического расчета была построена конечно элементная модель срединной плоскости винта с гексагональной формой элементов, в дальнейшем используемой при построении слоевой модели. Размер элементов сетки всей модели 2 мм с измельчением в районе посадочного отверстия до 1 мм. Общее количество элементов в модели – 4 575. Общее количество узлов – 14 184 (рисунок 2).



а *б*

а – срединная поверхность; *б* – твердое тело

Рисунок 2. Конечно-элементная модель

Для создания трехмерной конечно-элементной модели преформы лопасти выкладка слоев ткани производилась от срединной поверхности в две стороны с ориентацией слоев под 0° и/или 45°относительно продольной оси винта с толщиной монослоя 0,2 мм (рисунок 2.). В дальнейшем слои были обрезаны верхней и нижней поверхностью геометрической модели винта.

Ниже представлены таблицы со схемами выкладки для трех расчетных случаев, на основе которых были созданы конечно-элементные модели и проведены расчеты. По их результатам были определены наилучшей схемы выкладки, удовлетворяющей условиям минимального запаса прочности равного 3-м (таблица 2-4).

Таблица 2

Схема выкладки первого расчётного случая

Номер слоя	Угол выкладки, α°
1-36	0
0	0
(-1) – (-36)	0

Таблица 3

Схема выкладки второго расчётного случая

Номер слоя	Угол выкладки, α°
15-36	0
1-14	45
0	45
(-1) – (-14)	45
(-15) – (-36)	0

Таблица 4

Схема выкладки третьего расчётного случая

Номер слоя	Угол выкладки, α°
22-36	0
11-21	45
6-10	0
1-5	45
0	45
(-1) – (-5)	45
(-6) – (-10)	0
(-11) – (-21)	45
(-22) – (-36)	0

4. Постановка граничных условий

Граничные условия представляют собой жесткую заделку в месте посадки винта на ось и нагрузку равную 19 кгс (186 Н) на плече 210 мм от опасного сечения лопасти, или 260 мм от локальной системы координат, расположенной на оси вращения винта (рисунок 3).

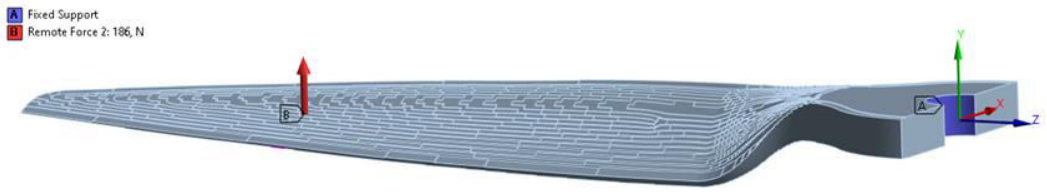


Рисунок 3. 3D модель винта с граничными условиями

5. Анализ результатов расчетов

В результате расчетов были получены картины распределения запасов прочности и перемещений модели всех расчетных случаев и проведен анализ с последующим сопоставлением и сравнением результатов.

5.1 Анализ результатов первого расчетного случая

Для первого расчетного случая, с выкладкой слоев ткани в соответствии с таблицей 2, ниже представлены картины: распределения запасов прочности с видом на модель сверху, в сечении и максимальных перемещений (рисунок 4-6).

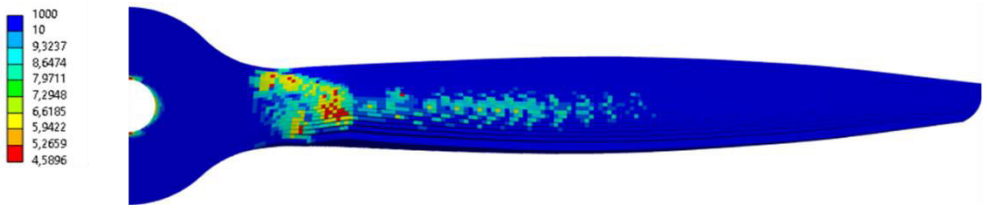


Рисунок 4. Распределение запаса прочности первого расчетного случая вид сверху

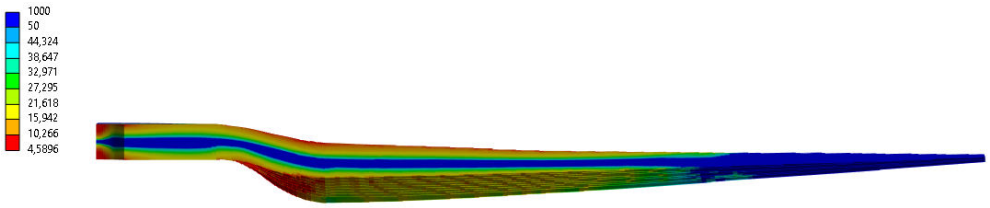


Рисунок 5. Распределения запаса прочности первого расчетного случая, вид спереди в сечении

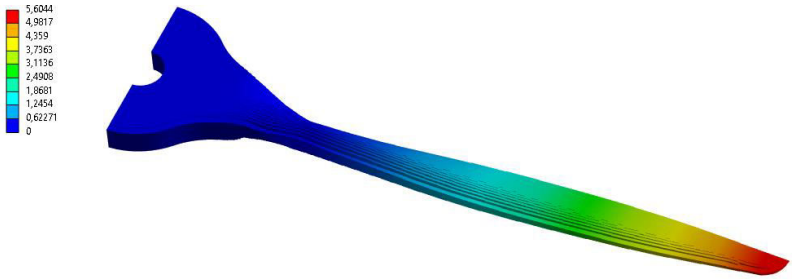


Рисунок 6. Распределение максимальных перемещений первого расчетного случая

По результатам расчетов первого случая было получено, что минимальный запас прочности составил 4,5 с концентрацией на внешних слоях корневого участка лопасти. Максимальные перемещения наблюдались на законцовке лопасти и составили 5,6 мм.

Данная схема укладки обеспечивает минимальный запас прочности 4,5 (более 3), однако не может быть использована при создании винта, поскольку будет не эффективна при воздействии других силовых факторов, таких как: осевой крутящий момент закрутки лопасти.

Представленная схема укладки позволяет определить возможную максимальную величину минимального запаса прочности и минимальные возможные перемещения при данной постановке граничных условий и на основе полученных данных проводить сравнительный анализ при подборе схем укладки отталкиваясь от данных показателей.

5.2 Анализ результатов второго расчетного случая

Для второго расчетного случая, с выкладкой слоев ткани в соответствии с таблицей 3, ниже представлены картины: распределения запасов прочности с видом на модель сверху, в сечении и максимальных перемещений (рисунок 7-9).

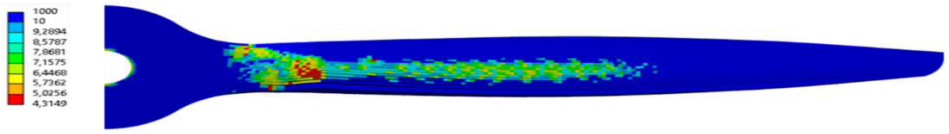


Рисунок 7. Распределение запаса прочности второго расчетного случая вид сверху

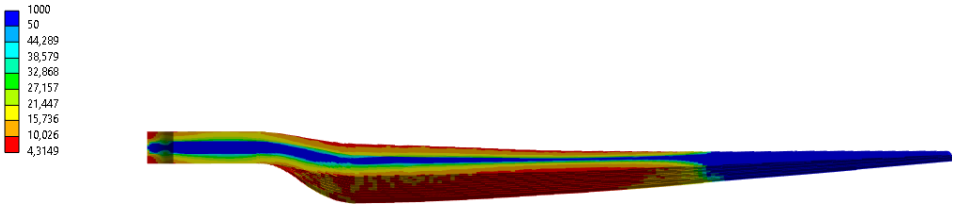


Рисунок 8. Распределение запаса прочности второго расчетного случая,
вид спереди в сечении

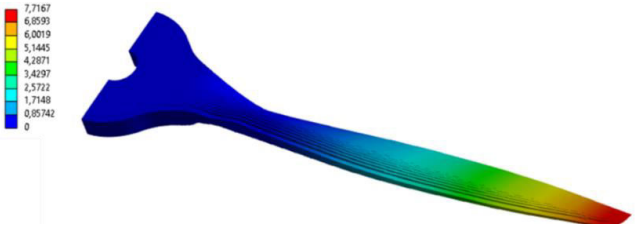


Рисунок 9. Распределение максимальных перемещений второго расчетного случая

По результатам расчетов второго случая было получено, что минимальный запас прочности составил 4,31 с концентрацией на внешних слоях корневого и среднего участка центрального. Максимальные перемещения наблюдались на законцовке лопасти и составили 7,71 мм.

Данная схема укладки обеспечивает минимальный запас прочности 4,31 (более 3).

5.3 Анализ результатов третьего расчетного случая.

Для третьего расчетного случая, с выкладкой слоев ткани в соответствии с таблицей 4, ниже представлены картины: распределения запасов прочности с видом на модель сверху, в сечении и максимальных перемещений (рисунок 10-12).

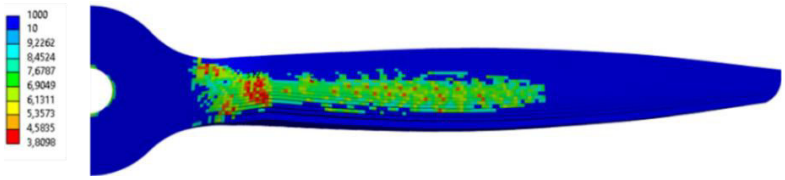


Рисунок 10. Распределение запаса прочности третьего расчетного случая вид сверху

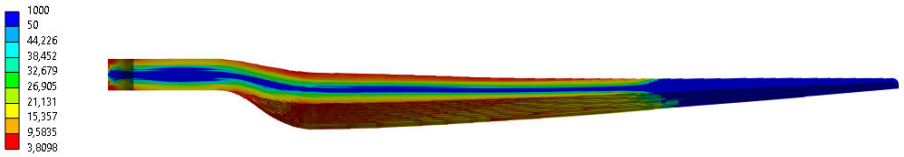


Рисунок 11. Распределение запаса прочности третьего расчетного случая,
вид спереди в сечении

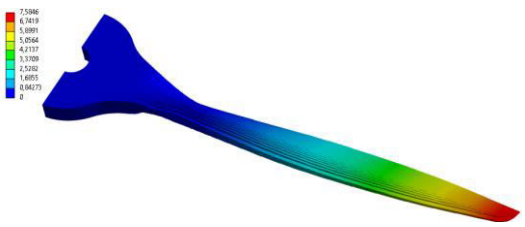


Рисунок 12. Распределение максимальных перемещений третьего расчетного случая

По результатам расчетов третьего случая было получено, что минимальный запас прочности составил 3,81 с концентрацией от корневого участка лопасти до середины на внешних слоях. Максимальные перемещения наблюдались на законцовке лопасти и составили 7,58 мм.

Данная схема укладки обеспечивает минимальный запас прочности 3,81 (более 3).

Для сравнения была построена полая модель винта из алюминия, аналогичная по весу модели из композиционных материалов.

Так, по результатам расчетов полого металлического винта были получены картины распределения запасов прочности и максимальных перемещений. Ниже представлены картины: распределения запасов прочности с видом на модель сверху, в разрезе и максимальных перемещений (рисунок 13-15).

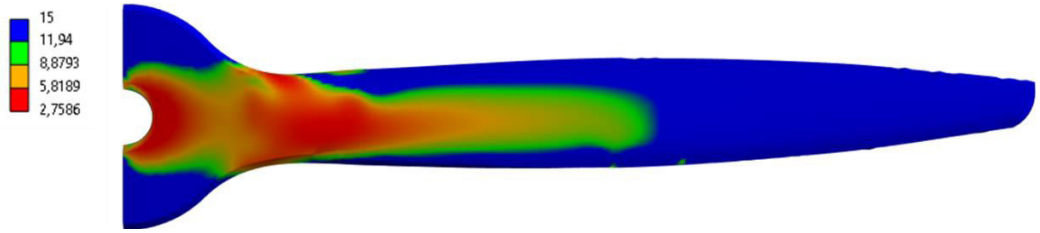


Рисунок 13. Распределение запаса прочности полого металлического винта вид сверху

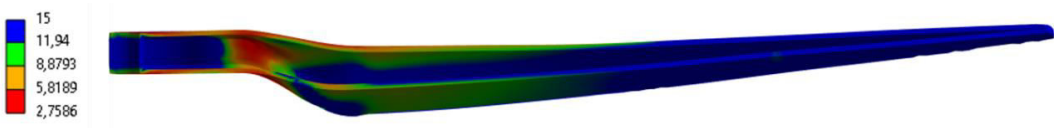


Рисунок 14. Распределение запаса прочности полого металлического винта, вид спереди в сечении

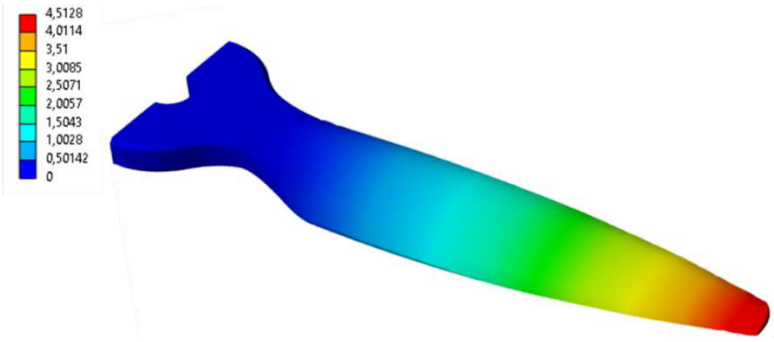


Рисунок 15. Распределение максимальных перемещений полого металлического винта

По результатам расчетов модели полого металлического винта было получено, что минимальный запас прочности составил 2,75 с концентрацией от корневого участка лопасти до середины на поверхности. Максимальные перемещения наблюдались на законцовке лопасти и составили 4,51 мм.

6. Вывод

По результатам расчетов всех расчетных случаев получены картины распределения запасов прочности и их минимальные значения для каждого вида укладки и значения максимальных перемещений элементов лопасти.

Для второго расчетного случая значение минимального запаса прочности уменьшилось на 4,2%, а максимальные перемещения законцовки возросли на 37% относительно показателей первого расчетного случая.

Для третьего расчетного случая значение минимального запаса прочности уменьшилось на 15%, а максимальные перемещения законцовки возросли на 35% относительно показателей первого расчетного случая.

Таким образом, среди представленных трех различных видов укладки наиболее выгодной является укладка, соответствующая третьему расчетному случаю (Таблица 4).

Поскольку при использовании данной укладки запас прочности является минимальным и достаточным. При этом представленная укладка будет способна воспринимать усилия на закручивание винта и силы от лобового сопротивления воздуху.

При сравнении с моделью полого металлического винта было получено, что модель с третьего расчетного случая имеет большую прочность, а именно – минимальный запас прочности выше на 27%, и перемещения законцовки больше на 41%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Нацубидзе С.А.* Применения полимерных композиционных материалов в конструкции несущих винтов современных вертолетов //Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации. – 2022. – С. 104-108.

2. *Халиулин В.И., Шабалин Л.П.* Введение в технологию производства композитных конструкций: Учебное пособие. Казань: Композитный класс, 2017. -104 с.

3. *Халиулин В.И., Шапаев И.И.* Технология производства композитных изделий: Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан.Гос. техн.унта, 2004.

4. *Петров Р.И., Сперанский М.М., Семенов А.С.* Определение эффективных упругих свойств композиционного материала толкающего винта беспилотного летательного аппарата на основе экспериментальных и расчетных исследований // ББК 22 Н42. – С. 215.

5. Мерзляков В.В. и др. Способ изготовления пустотелой композитной лопасти воздушного винта. 1997.

6. *Лысенко А.П., Любомиров Я.М., Ярцев Б.А.* Композитная лопасть гребного винта. – 2019.

7. *Смирнов А.В., Болдырев Ю.Я.* К вопросу об оптимизации конструкции лопасти воздушного винта с помощью конечно-элементного моделирования //Неделя науки СПбПУ. – 2018. – С. 66-69.

8. *Филиппова К.А., Аюшеев Т.В., Дамдинова Т.Ц., Цыдыпов Ц.Ц.* Исследование напряженно-деформированного состояния композитной лопасти в ansys workbench // Программные системы и вычислительные методы. 2024. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-napryazhenno-deformirovannogo-sostoyaniya-kompozitnoy-lopasti-v-ansys-workbench (дата обращения: 19.06.2025).

CALCULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF A SCREW MADE OF COMPOSITE MATERIALS

Yablonsky A.N., Petrov P.A.

Supervisor: Shabalin L.P., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents the results of a numerical study of a propeller model made of composite materials with layers of equal-strength fabric laid out along the entire height. The optimal laying is determined, which allows minimizing displacements while maintaining a minimum safety margin under bending load. Comparative calculations are carried out with a model of a hollow metal propeller with a similar mass. The obtained data can be used in the design of propellers made of polymer composite materials in the aviation, shipbuilding and unmanned aircraft industries.

СЕКЦИЯ 6
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА И ЕГО ИНФРАСТРУКТУРЫ

УДК 621.892

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПЕРИОДИЧНОСТЬ ЗАМЕНЫ МАСЛА В ДВИГАТЕЛЕ

Белов И.Н.

Научный руководитель: Яковлев Р.А., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Своевременная замена моторного масла в двигателе — это важная часть эксплуатации легкового автомобиля, несвоевременная замена, или вовсе её игнорирование - несомненно приведёт к преждевременному выходу из строя силового агрегата автомобиля. В сервисных книжках, выдаваемых вместе с автомобилем указан стандартный межсервисный интервал регулярного технического обслуживания, в которое и входит замена масла и масляного фильтра в двигателе автомобиля, данный интервал чаще всего – 15000км.

Перед началом исследования стоит рассмотреть состав автомобильных масел, компоненты, входящие в их состав и старение каждого из них, а также рассмотреть само предназначение моторного масла. Моторное масло нужно для поддержания работоспособности двигателя, и, непосредственно самого автомобиля. В двигателе внутреннего сгорания множество деталей, трущихся между собой. Из-за трения возникает тепловая энергия, масло также отводит тепло от них за счёт теплопроводности [1]. Повышенное трение вызывает повышенный износ деталей двигателя, а это, в свою очередь, может привести к ухудшению работы двигателя, снижение его эффективности. Хорошее масло уменьшает расход топлива, увеличивает ресурс двигателя. Моторное масло состоит из базовых масел, обогащённых различными присадками, например, противоизносные, моющие средства, противокоррозионные добавки, средства, уменьшающие или предотвращающие слипание и оседание частиц, также иногда добавляются улучшители индекса вязкости масел. Моторное масло способно задерживать внутри себя сажу, а не оставлять ее на поверхностях. Именно по этой причине масло после эксплуатации приобретает чёрный цвет. При трении в двигателе неизбежно появляются частицы металла и других твёрдых частиц. Если эти частицы будут постоянно циркулировать по масляной системе двигателя – то это приведёт к повышенному износу из-за возникающих царапин и других повреждений.

Именно по этой причине в двигателе предусмотрен масляный фильтр, который задерживает эти частицы в себе. Игнорирование замены масляного фильтра вместе с заменой масла повлечёт за собой снижение давление масла в контуре смазки двигателя, а это повлечёт за собой повышенный износ двигателя. При эксплуатации автомобиля с двигателем внутреннего сгорания масло теряет свои свойства. В работе масло разбавляется топливом из-за неполной герметичности поршневых колец при холодной работе двигателя, также разбавляется водой из-за конденсата. Также масло стареет из-за окисления, испарения, разложения, полимеризации и т.п. Это две основные причины, по которым масло стареет [2].

К этому добавляется деградация присадок, которые присутствуют в составе моторного масла. Наконец, рассмотрим факторы, относительно которых стоит рассчитывать межсервисный интервал для своего автомобиля.

1. Условия эксплуатации — это один из основных факторов, на который стоит ориентироваться при выборе сервисного интервала. Производитель рассчитывает расстояние, пройденное от замены до замены ориентируясь на идеальные условия эксплуатации автомобиля. В реальности идеальная эксплуатация невозможна, возникают условия, из-за которых происходит наиболее быстрое старение масла. К таким условиям относятся: частые короткие поездки: при коротких поездках, которым способствует преимущественно городская эксплуатация, двигатель не успевает набрать необходимую рабочую температуру, это в свою очередь ведёт к неполному сгоранию топлива, после чего происходит размешивание масла топливом. Из-за такой эксплуатации также образуется конденсат, который также размешивает

масло, к тому же он способствует образованию кислот и коррозии двигателя. В расчёте сервисного интервала также необходимо учитывать регион эксплуатации, экстремальные температуры, как низкие, так и высокие - негативно сказываются на свойствах масла. Одно из самых важных условий – тип пробега, городской, трассовый или смешанный. Хуже всего на старении масла отражается езда в городских условиях, частые остановки и низкие скорости, которым способствую пробки, приводят к повышенному износу деталей двигателя и, как следствие, к большему загрязнению масла. Любая дополнительная нагрузка приводит к повышенному износу двигатель и большему загрязнению масла, соответственно, частая буксировка других автомобилей или езда с прицепом также приведёт к повышенному старению масла. Также любая грязь, попадающая в двигатель, способствует повышенному загрязнению масла, такое условие исходит из частой езды по бездорожью. Пыль, грязь и вода, попадающие в двигатель при езде по бездорожью, попадают в масляный контур и происходит его загрязнение. Стиль вождения также влияет на старение масла. Агрессивный стиль вождения - частые резкие ускорения и торможения, высокие обороты двигателя — все это будет способствовать повышенному износу двигателя и повышенному старению масла. Однако стиль вождения, обратный агрессивному также не способствует наименьшему старению моторного масла. Тихая езда способствует появлению нагара, а также появлению наибольших твёрдых частиц, которые появляются вследствие работы на низком масляном давлении. Все это дополнительно загрязняет масло.

2. Вид моторного масла – одно из условий для выбора сервисного интервала. Различные типы моторных масел обладают разными свойствами и сроками службы. Например, синтетические масла обладают более высокими эксплуатационными характеристиками и более длительным сроком службы, чем минеральные. Полусинтетические масла занимают промежуточное положение. Выбор масла должен осуществляться в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя автомобиля.

3. Состояние двигателя – как было сказано выше, загрязнение масла приводит к его старению. Одно из загрязняющих веществ это твёрдые частицы. Двигатели с большим износом в работе больше вырабатывают твёрдых частиц, так как в нем больше механических повреждений, вызванных его работой. Также на подобных старых двигателях увеличенной выработке твёрдых частиц способствует усталость металла. Так же нередки ситуации, когда в подобных двигателях с большим пробегом присутствует утечка масла. Например, вследствие износа сальников или прокладок. При уменьшении объёма масла происходит увеличение концентрации твёрдых частиц в масляном контуре двигателя, что приводит к ещё большему старению масла и ещё большему износу двигателя.

4. Качество топлива – если двигатель эксплуатируется на некачественном топливе, то помимо основных загрязнений добавятся загрязнения из-за несгораемых частиц, содержащихся в топливе. Это приводит к повышенному старению масла из-за повышенного загрязнения, также это приводит к повышенному износу двигателя.

5. Использование дополнительных присадок – на рынке существуют присадки, которые по заверениям производителя способствуют увеличению срока служба двигателя и срока службы масла до очередной сервисной замены. Однако нередко такие присадки не отличаются своим качеством. Они не только не увеличивают ресурс масла и двигателя, а наоборот, способствуют старению масла и уменьшению ресурса двигателя. Но даже качественная присадка может навредить двигателю, очень важно добавлять в масляный контур двигателя ровно такой объем присадок, какой указан в инструкции производителя.

6. Технические рекомендации производителя – несмотря на все вышеперечисленное, нужно в первую очередь учитывать рекомендации завода-изготовителя автомобиля. Производитель закладывает в расчётный сервисный интервал особенности технического строения двигателя и самого автомобиля, а данные аспекты известны только заводу. Именно от рекомендованного сервисного интервала следует отталкиваться в выборе интервала лично для себя.

В процессе эксплуатации автомобиля не помешают проверки масла. Есть несколько методов проверок масла в двигателе:

1. Капельная проба масла:

Капля масла, высохшая на бумаге, оставит за собой след. Чем светлее и равномернее будет пятнышко, тем лучше остаточное качество масла. Однородный оттенок, сероватое или тёмно-серое пятнышко говорит о том, что с маслом все в порядке. Однако если на бумаге присутствуют разводы или чёрный след – говорит о том, что маслу уже требуется замена [3]. Примеры капельной пробы масла показаны на рисунке 1.

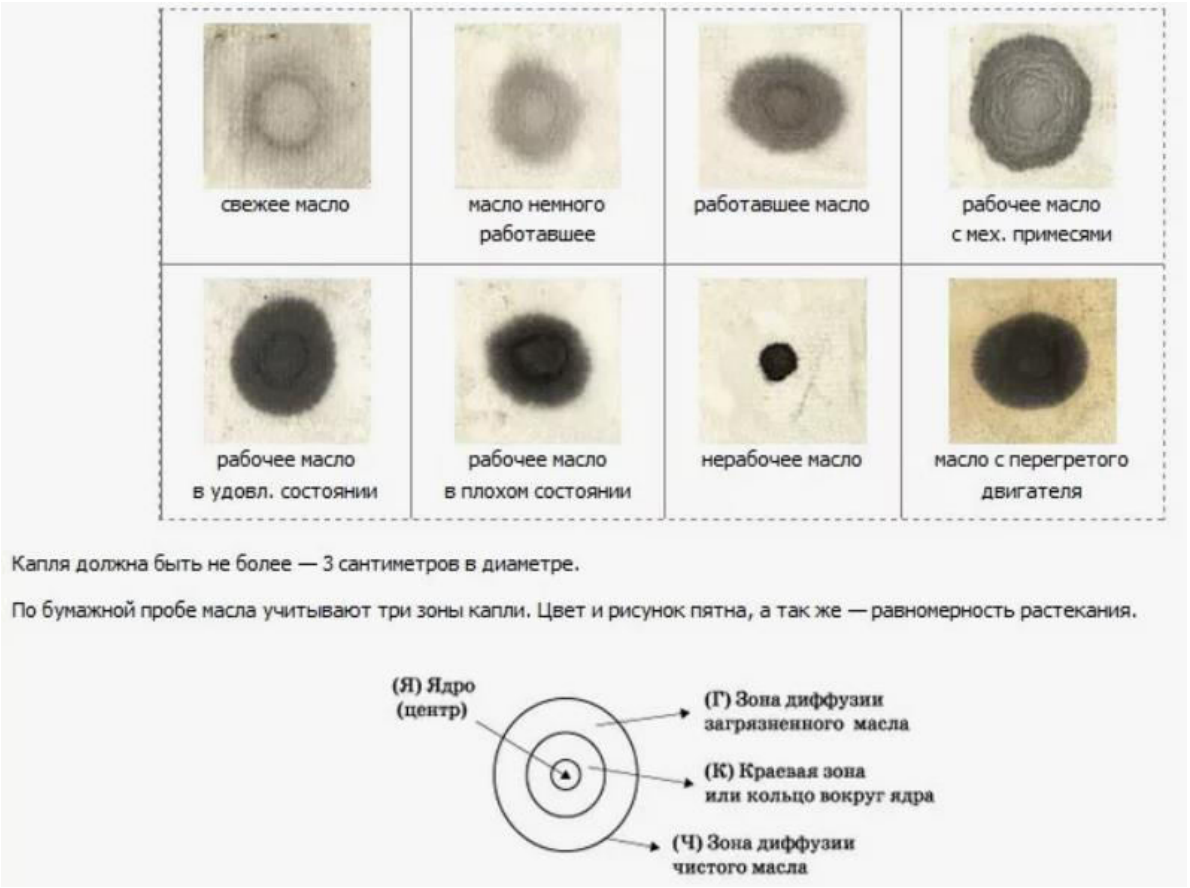


Рисунок 1. Образцы капель моторного масла [4]

2. Электронный анализ масла с использованием карманного специального устройства – анализатора масла. Данное устройство определяет количество воды, топлива, сажи в масле и прочих загрязняющих веществ [5].

3. Лабораторный тест масла. С помощью подобного теста можно будет определить такие параметры масла, как вязкость, кислотное и щелочное числа, элементарный состав и другие [6].

4. Датчики состояния масла. На некоторых современных автомобилях в двигателе уже с завода стоят датчики состояния масла, которые дают знать водителю о необходимости замены.

Рассмотрев вышеописанные факторы можно прийти к следующему выводу: при тяжёлых или исключительно городских условий эксплуатации желательно уменьшить межсервисный интервал вплоть до 5000км. Если же условия эксплуатации автомобиля – трасса, то можно менять масло по указанию производителя. Сервисный интервал, рекомендованный заводом-изготовителем рассчитан на идеальные условия работы, которые практически невозможны.

В заключение хочется добавить некоторые рекомендации. Лучше излишне частая замена масла, чем излишне поздняя. Не стоит увеличивать сервисный интервал,

рекомендованный заводом-изготовителем. Его следует только лишь уменьшать. Наилучший способ определять сервисный интервал по моточасам, если двигатель прошёл 250 моточасов либо прошёл больший километраж, рекомендованный производителем – масло пора заменить. При исключительно городском пробеге в условиях большого мегаполиса данный интервал следует дополнительно уменьшить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Dieter Klamann.* Lubricants and Related Products: Synthesis - Properties - Applications - International Standards, pp.101. Wiley, 1984.

2. *Храмцов Н.В. Королев А.Е.* Старение моторного масла. Известия ТулГУ. Технические науки 2014. Вып. 4. С.134.

3. *Хайдарьянов Р.Р.* Методы контроля качества работавшего моторного масла. Международный журнал «Вестник науки» №5 (38) Т.3.

4. Диагностика состояния моторного масла. [Электронный ресурс] / Сайт «autogener». URL: https://autogener.ru/maslo/opredelit-sostoyanie-masla.php (дата обращения 10.03.2025).

5. Что такое деградация моторного масла? [Электронный ресурс] / Сайт “LAVR”. URL: https://lavr.ru/information/chto-takoe-degradatsiya-motornogo-masla/ (дата обращения 10.03.2025).

6. Как определить качество масла? [Электронный ресурс] / Сайт «rolfoil». URL: https://rolfoil.ru/articles/kak-opredelit-kachestvo-masla-v-dvigatele/ (дата обращения 10.03.2025).

FACTORS AFFECTING THE FREQUENCY OF ENGINE OIL CHANGES

Belov I.N.

Supervisor: Yakovlev R.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Timely replacement of engine oil in the engine is an important part of the operation of a passenger car, untimely replacement, or even ignoring it - will undoubtedly lead to premature failure of the power unit of the car. The service books issued with the car indicate the standard service interval for regular maintenance, which includes replacing the oil and oil filter in the engine of the car, this interval is most often 15,000 km.

УДК 625.7

РАЗВИТИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Береснева К.С.

Научный руководитель: Стефанович Н.В., старший преподаватель

(*Белорусский национальный технический университет, г. Минск)*

Аннотация. Исследована интеллектуализация дорожной сети как технологическая основа для будущей мобильности и трансформации логистических процессов, определены компоненты дорожной инфраструктуры, её потенциал для автомобильных грузовых перевозок, технологии, примеры реализации и долгосрочные перспективы.

Дорожная инфраструктура является основой для эффективности логистических систем. Современные цепи поставок невозможны без функциональной организации автомобильных дорог, которые обеспечивают перемещение основной массы грузов, соединяя производителей, поставщиков и конечных потребителей. Для логистической отрасли от состояния дорожной сети напрямую зависят издержки, скорость доставки и, как следствие, конкурентоспособность на рынке.

Традиционная инфраструктура демонстрирует свою неспособность справляться с растущими грузопотоками. Логистические компании сталкиваются с комплексом проблем,

связанных с эксплуатацией дорог, дорожными заторами, особенно в густонаселенных агломерациях и на ключевых транспортных узлах, увеличением количества автотранспортных средств, безопасностью дорожного движения, использованием тяжеловесного грузового транспорта. Это ведет к ускоренному износу дорожного полотна, требуя постоянных и значительных инвестиций в ремонт и содержание.

Как следствие формируется и активно развивается концепция интеллектуальной дорожной инфраструктуры (ИДИ), часто называемая «умными дорогами» [1], которая предполагает глубокую интеграцию современных информационно-коммуникационных технологий непосредственно в физическую дорожную среду. Основная цель – кардинальное повышение эффективности использования дорожной сети, обеспечение высокого уровня безопасности, улучшение экологических показателей и создание адаптивной среды, способной гибко реагировать на изменения [2].

ИДИ представляет собой сложную, многоуровневую систему, в которой физические элементы дорожной сети (полотно, знаки, светофоры, мосты и другие сооружения) органично объединены с передовыми информационно-коммуникационными технологиями. Интеграция нацелена на непрерывный сбор, оперативную обработку, глубокий анализ и своевременную передачу данных в режиме реального времени. Конечная задача ИДИ – оптимизация использования существующей дорожной сети, кардинальное повышение безопасности всех участников движения, обеспечение их полной и актуальной информацией, создание технологической платформы для безопасного и эффективного функционирования транспортных средств нового поколения, включая беспилотные автомобили.

Фундамент ИДИ строится на нескольких ключевых технологических столпах, работающих в синергии [3]. Во-первых, это Интернет вещей (IoT), концепция, согласно которой множество физических объектов, от дорожных знаков до участков дорожного покрытия, оснащаются сенсорами и средствами связи, становясь активными участниками единой информационной сети. Они способны собирать и передавать данные о своем состоянии и окружающей обстановке. Во-вторых, сенсорные сети, представляющие собой распределенную систему разнообразных датчиков (видеокамеры, радары, лидары, индуктивные петли, метеостанции) с непрерывным мониторингом параметров транспортных потоков, состояния дорожного полотна, погодных условий и фиксирующие любые инциденты. Третьим важнейшим элементом являются технологии V2X-коммуникаций (Vehicle-to-Everything). Они обеспечивают беспроводной обмен информацией между транспортными средствами (V2V – Vehicle-to-Vehicle), между транспортными средствами и объектами инфраструктуры (V2I – Vehicle-to-Infrastructure и I2V – Infrastructure-to-Vehicle), с другими участниками движения, такими как пешеходы (V2P – Vehicle-to-Pedestrian), с глобальной сетью или облачными сервисами (V2N – Vehicle-to-Network). Создается единое, динамически обновляемое информационное пространство, доступное всем участникам дорожного движения и системам управления [4]. Четвертый компонент – это искусственный интеллект (ИИ) и аналитика больших данных (Big Data). ИДИ генерирует колоссальные объемы информации. Алгоритмы ИИ необходимы для обработки данных, распознавания сложных образов, прогнозирования развития дорожной обстановки и принятия оптимальных решений по управлению транспортными потоками. Технологии Big Data обеспечивают эффективный сбор, хранение и высокоскоростную обработку информационных массивов, позволяя извлекать ценные знания для стратегического планирования и оперативного управления.

Центральным звеном ИДИ выступают центры управления и обработки данных. Это высокотехнологичные комплексы, оснащенные мощными серверами и специализированным программным обеспечением, для консолидации информации со всех сенсоров и подключенных объектов. Здесь происходит ее анализ, моделирование и выработка управляющих воздействий, которые затем передаются на исполнительные устройства – адаптивные светофоры, динамические информационные табло, системы управления скоростными режимами.

Внедрение интеллектуальной дорожной инфраструктуры обеспечит логистической отрасли множество преимуществ, способных качественно изменить подходы к организации грузоперевозок и управлению цепями поставок [5]. Прежде всего, ИДИ повышает эффективность грузоперевозок. Получая в реальном времени детальную информацию о загруженности дорог, возникновении ДТП, проведении ремонтных работ или неблагоприятных погодных условиях, логистические операторы и интеллектуальные системы управления автопарком получают возможность динамически корректировать маршруты движения. Система позволяет не только объезжать проблемные участки, но и выбирать оптимальные пути с учетом множества факторов, что ведет к существенному сокращению общего времени доставки грузов. Адаптивное управление светофорными объектами, организация «зеленых волн» для грузового транспорта и динамическое регулирование скоростных режимов способствуют согласованному движению транспортных потоков, увеличивая среднюю скорость и пропускную способность дорог. Сокращение простоев является важным фактором: информация о доступности парковочных мест для грузовиков, статусе зон погрузки-разгрузки или работе таможенных терминалов, передаваемая через ИДИ, помогает минимизировать непроизводительные потери времени.

ИДИ способствует повышению безопасности дорожного движения, что актуально для автомобильного грузового транспорта, объемные и весовые характеристики которого представляют повышенную опасность при ДТП. Системы V2X-коммуникаций способны заблаговременно предупреждать водителей о различных угрозах, включая информацию о резком торможении впереди «идущего» автомобиля, неожиданном появлении пешехода на проезжей части, приближении к участку с ограниченной видимостью или сложными погодными условиями. Предупреждения о проведении дорожных работ или наличии временных ограничений помогают избежать опасных ситуаций. ИДИ может интегрироваться с системами мониторинга состояния водителя, способствуя предотвращению инцидентов, связанных с усталостью или потерей концентрации.

Экономическая составляющая улучшится от внедрения «умных дорог». Снижение операционных расходов достигается за счет нескольких факторов:

1) оптимизации маршрутов и скоростных режимов, уменьшения времени работы двигателя на холостом ходу, заметной экономии топлива;

2) стиль вождения, которому способствует предсказуемая и информирующая дорожная среда, минимизирует износ узлов и датчиков транспортных средств;

3) сокращения количества ДТП, что ведет к снижению расходов, связанных со страховыми выплатами, ремонтом поврежденной техники и потерей груза.

ИДИ влияет на решение экологических проблем. Оптимизация транспортных потоков и уменьшение заторов ограничивает выбросы вредных веществ и парниковых газов. Поддержка движения электрического и другого экологически чистого транспорта через предоставление информации о зарядных станциях и создание приоритетных условий является важным аспектом.

Функционал «умных дорог» реализуется через комплекс взаимосвязанных технологических решений и систем. Центральное место среди них занимают интеллектуальные транспортные системы (ИТС), которые представляют собой набор приложений и сервисов, направленных на оперативное управление дорожным движением и информирование его участников. Важнейшим элементом ИТС является адаптивное управление светофорами. В отличие от традиционных светофоров, работающих по заданному циклу, адаптивные системы используют данные с датчиков транспортных потоков для изменения длительности фаз в реальном времени, оптимизируя пропускную способность перекрестков и минимизируя задержки.

Другой значимый компонент – это динамическое информирование водителей посредством электронных информационных табло, установленных над дорогами, через мобильные приложения и бортовые системы автомобилей. Эти каналы используются для передачи актуальной информации о пробках, ДТП, погодных условиях, рекомендуемых

скоростных режимах и альтернативных маршрутах. Системы мониторинга транспортных потоков, основанные на видеокамерах, индукционных петлях и других сенсорах, непрерывно собирают данные об интенсивности, скорости и плотности движения, что позволяет оперативно выявлять возникающие проблемы и прогнозировать развитие ситуации. Для грузовой логистики особое значение имеют системы автоматического весогабаритного контроля в движении (Weigh-in-Motion, WIM), которые позволяют взвешивать и измерять габариты грузовиков без их остановки, что повышает эффективность контроля и снижает задержки [6].

Основу для сбора первичной информации составляют сенсорные сети и IoT-устройства, распределенные по всей дорожной сети. Это могут быть датчики, встроенные в дорожное покрытие для определения его состояния: температура, влажность, наличие льда; метеостанции, передающие данные о погоде; камеры видеонаблюдения, оснащенные алгоритмами видеоаналитики для распознавания номеров; классификации транспортных средств и детекции инцидентов. Все эти устройства формируют непрерывный поток данных [7].

Несмотря на преимущества и огромный потенциал, широкомасштабное внедрение ИДИ сопряжено с рядом вызовов и проблем. Значительным препятствием являются высокие первоначальные инвестиции и последующие затраты на обслуживание. Создание ИДИ требует закупки и установки большого количества дорогостоящего оборудования (сенсоров, камер, контроллеров, средств связи), разработки и внедрения сложного программного обеспечения и создания центров управления данными. Такая инфраструктура нуждается в постоянном техническом обслуживании, обновлении программного обеспечения и замене вышедших из строя компонентов, что требует значительных финансовых ресурсов. Технологическая сложность и вопросы стандартизации представляют собой еще один комплекс проблем. ИДИ объединяет множество различных технологий от разных производителей. Обеспечение их совместимости и бесперебойного взаимодействия является задачей. Отсутствие единых международных или даже национальных стандартов на протоколы обмена данными, форматы информации и интерфейсы оборудования может привести к созданию фрагментированных и несовместимых между собой систем, что снизит общую эффективность.

Критически важными являются проблемы кибербезопасности и защиты данных. ИДИ собирает и обрабатывает огромные объемы информации, включая данные о перемещении транспортных средств и личные данные водителей. Эта информация может стать целью для кибератак с целью кражи данных, нарушения работы системы. Обеспечение высокого уровня защиты от несанкционированного доступа, взлома и вредоносного вмешательства является первоочередной задачей, требующей комплексных технических и организационных мер. Новые интеллектуальные системы должны быть гармонично встроены в уже существующую дорожную сеть.

Концепция интеллектуальной дорожной инфраструктуры уже находит практическое применение во многих странах мира, демонстрируя свою эффективность [8]. Сингапур является одним из мировых лидеров в этой области. Город-государство внедрил комплексную систему управления дорожным движением, включающую электронную систему взимания платы за проезд, которая динамически регулирует стоимость проезда в зависимости от загруженности дорог, адаптивное управление светофорами, обширную сеть камер и датчиков, а также мобильные приложения для информирования водителей. Это позволило значительно сократить заторы и оптимизировать использование дорожной сети [8].

Южная Корея активно развивает ИДИ, особенно в контексте подготовки к массовому внедрению беспилотного транспорта. В стране создаются специальные тестовые полигоны (K-City) и оборудуются участки дорог общего пользования системами V2X-связи и высокоточными цифровыми картами.

В странах Европейского Союза реализуется множество проектов, направленных на создание трансграничных коридоров с элементами ИДИ. Например, проекты C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems) фокусируются на гармонизации стандартов и

развертывании V2X-сервисов для повышения безопасности, и эффективности. Германия активно тестирует технологии для движения грузовиков в колонне (platooning) на автобанах.

В США различные штаты и города внедряют элементы ИТС, такие как системы управления трафиком на автомагистралях, информирование о доступности парковочных мест и адаптивные светофоры. Особое внимание уделяется развитию инфраструктуры для подключенных и автоматизированных транспортных средств.

Российская Федерация также не остается в стороне от мировых тенденций. Интеллектуальные транспортные системы активно внедряются в крупных городах, таких как Москва и Санкт-Петербург. В Москве функционирует комплексная система управления дорожным движением, включающая адаптивные светофоры, системы фото- и видеофиксации нарушений, информирование через мобильные приложения и электронные табло. На федеральных трассах реализуются проекты по созданию элементов ИТС, например, на Центральной кольцевой автомобильной дороге и трассе М-11 «Нева». Проект «Беспилотные логистические коридоры» на трассе М-11 предусматривает создание специальной инфраструктуры для движения беспилотных грузовиков, включая высокоточное позиционирование и V2X-связь. Государственная компания «Автодор» активно работает над цифровизацией федеральных трасс, внедряя системы мониторинга состояния дорожного покрытия, метеостанции и комплексы весогабаритного контроля. Эти проекты демонстрируют стремление к повышению уровня автоматизации и интеллектуализации управления дорожным хозяйством страны [8].

Перспективы развития интеллектуальной дорожной инфраструктуры предполагают расширенную интеграцию цифровых технологий в транспортную отрасль. Существенное сокращение издержек является результатом точного прогнозирования времени прибытия грузов, оптимизации маршрутов в реальном времени с учетом всех факторов, минимизации простоев и снижения рисков ДТП. Интеграция ИДИ с другими инновационными технологиями, такими как доставка дронами на «последней миле» или использование роботизированных систем на складах способствует экономическому росту. Интегрированная информационная среда позволяет координировать работу всех элементов, а внедрение ИДИ не просто технологическое обновление, а стратегический шаг к созданию безопасной, эффективной и экологически устойчивой транспортной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ларин О.Н.* Перспективы интеграции транспортных систем Евразийского экономического союза // Проблемы национальной стратегии. – 2017.

2. *Афанасенко, И.Д.* Цифровая логистика: Учебник для вузов / И.Д. Афанасенко, В.В. Борисова. – СПб.: Питер, 2019.

3. *Щербаков В.В.* Информационные тренды логистики в условиях становления цифровой экономики / В.В. Щербаков, Г.Ю. Силкина // Интеллектуальные и информационные технологии в формировании цифрового общества: сборник научных статей международной научной конференции. – Санкт-Петербург: СПбГЭУ, 2017. – С. 103-108.

4. Что такое технология V2X и как она научит автомобили «общаться» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://trends.rbc.ru/trends/innovation/642477609a7947029d45f528.

5. Инвестиции в проекты будущей мобильности [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rb.ru/opinion/investicii-v-cifrovyedorogi/.

6. Комфорт и безопасность: как умные дороги меняют жизнь людей [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://trends.rbc.ru/trends/innovation/6401a4c99a7947ba5bb04bb0?from=copy.

7. Что такое интернет вещей? [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.kaspersky.ru/resource-center/definitions/what-is-iot.

8. «Формирование правовых основ создания, развития и обеспечения функционирования национальных сетей интеллектуальных транспортных систем государств-членов Евразийского экономического союза»: аналитический доклад. – Москва, 2022.

DEVELOPMENT OF INTELLECTUAL ROAD INFRASTRUCTURE

Beresneva K.S.
Supervisor: Stefanovich N.V., Senior Lecturer
(Belarusian National Technical University, Minsk)

Abstract. Road network intellectualization was investigated as a technological basis for future mobility and transformation of logistics processes, components of road infrastructure, its potential for road freight transportation, technologies, implementation examples and long-term prospects were determined.

УДК 629.35

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ МАЛОТОННАЖНЫХ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Волосевич А.Э., Ветров И.Д., Горнак И.В., Серебряков И.А.
(Белорусский национальный технический университет, г. Минск)

Аннотация. В статье описан процесс разработки электрической платформы для малотоннажных автомобилей, задействованных в грузовых перевозках. Выбрана исходная автомобильная платформа, подобраны агрегаты для установки на неё. Описан процесс создания цифрового двойника, включающий моделирование рамы, ходовой части, электродвигателя и инвертора.

Введение

Общий объем продаж электромобилей в мире за 2024 год составил 17,1 млн [1]. В Беларуси за 2024 год продано около 3 тысяч электромобилей, а по последней информации Белорусской автомобильной ассоциации только за июль 2025 было продано 642 электромобиля (сюда также включены последовательные гибриды), что составило 14,8% от всего объема продаж новых автомобилей в РБ [2].

Вопрос электрификации городского транспорта актуален Беларуси и России. На сегодняшний день сегмент коммерческих электромобилей категории N1 (малотоннажные грузовики) представлен в недостаточной степени. В Беларуси эта ниша почти пустует, а ведь такой вид транспорта может эффективно эксплуатироваться в городской среде наряду со значительным количеством электрических такси. Чтобы восполнить этот дефицит, можно использовать узлы и агрегаты от вышедших из строя электромобилей для переоборудования автомобилей с двигателями внутреннего сгорания.

Гарантия на новые автомобили, как правило, составляет от 3 до 10 лет эксплуатации. В связи с достаточно длительным присутствием электромобилей на рынке, они весьма распространены и на рынке поддержанных запчастей: в наличии имеются электродвигатели, инверторы, аккумуляторные батареи от данных автомобилей. Эти агрегаты можно использовать для студенческих разработок и уникальных проектов. Это прекрасная возможность для студентов технических вузов попрактиковаться в проектировании и конструировании транспортных средств и ощутить себя участниками инженерного прогресса.

Основная часть

Общая концепция разработки электрической платформы

Нами было принято решение разделить процесс разработки электрической платформы на следующие этапы:

1. Расчет тяговых характеристик и обоснование мощности электродвигателя.
2. Удаление из исходного автомобиля более не востребованных деталей, узлов и агрегатов.
3. Подбор и диагностирование электродвигателя.
4. Поиск готовых решений для силовой электроники (инверторы).

5. Изготовление кастомизированного подрамника и креплений для установки электродвигателя, и других компонентов.

6. Подбор батареи. Эмпирическая оценка ёмкости батареи.

7. Демонстрационный выезд и ходовые испытания.

Разрабатываемая платформа представляет собой модульную рамную конструкцию с навесным оборудованием, включающим электродвигатель, инвертор, батарею, органы управления, ходовую часть и подвеску. Модульность конструкции обеспечивает адаптацию транспортного средства под различные задачи коммерческих организаций, а также значительно упрощает процесс замены и модернизации компонентов.

Стоит отметить, что в течение 2024-2025 учебного года на кафедре «Техническая эксплуатация автомобилей» БНТУ был разработан электромобиль на базе Lada 2114 и компонентов от Nissan Leaf [3]. Данный проект позволил значительно повысить компетенции в области взаимодействия с электрической и электронной частью электромобилей. Кроме того, ведётся работа над проектом «Родстер Политеха», который также оснащен электрической силовой установкой. Разрабатываемая платформа является логическим продолжением проводимых практических работ и научных исследований.

Особое значение имеет научно-образовательная составляющая проекта. Создаваемый электромобиль служит практической платформой для обучения студентов, поиска инновационных конструкторских решений и испытания новых идей. Разработка и создание электромобиля является наиболее эффективным способом для экспоненциального роста инженерных компетенций учащихся.

На базе автотракторного факультета БНТУ ведется разработка универсальной системы управления электродвигателями на основе инвертора от автомобиля Nissan Leaf [4]. Данное решение позволит унифицировать работу различных электродвигателей с использованием единого инвертора.

В проекте используется силовая установка от Nissan Leaf, включающая синхронный электродвигатель, инвертор и редуктор. Ключевой задачей является проведение реверс-инжиниринга контроллера инвертора, поскольку штатная система ожидает определенные сигналы в CAN-шине для безопасного запуска двигателя и работает в диапазоне напряжений батареи 200-400 В.

Детальное описание технических решений

В качестве исходного автомобильного шасси для проектирования в работе использован БелАЗ Люблин 3554. Выбор был обусловлен тем, что университет готов предоставить его студентам для реализации творческих и инженерных решений.

Электродвигатель и инвертор планируется использовать от Nissan Leaf и установить продольно вместо штатного силового агрегата. Такой тип установки подразумевает относительно небольшое количество доработок и индивидуальных решений, основное из которых это изготовление подрамника, на котором будут установлены электродвигатель и инвертор. Необходимо обеспечить надежную связь подрамника с рамой автомобиля.

На начальном этапе реализации штатная коробка передач будет сохранена. Это позволит испытать автомобиль с различными передаточными числами, что в дальнейшем упростит выбор передаточного числа одноступенчатого редуктора. Для присоединения электродвигателя к коробке передач необходимо изготовить переходную пластину. Был смоделирован фланец пластины, присоединяемый к электродвигателю. Затем была смоделирована ответная часть пластины, соответствующая фланцу коробки передач БелАЗ Люблин 3554. Моделирование велось в программе Компас-3D.

Размер соединительной муфты подбирается индивидуально, исходя из конструкции и размеров валов коробки передач и электродвигателя. Валы фиксируются в муфте внутри с помощью шлицов, а также затяжкой болтов, которые сжимают торцы муфты, обжимая валы.

Ходовая часть и рама будут использоваться от автомобиля БелАЗ Люблин-3554 [5]. Для упрощения процесса физической установки двигателя была создана трехмерная модель рамы автомобиля. Это позволит рассчитать размеры подрамника для правильного крепления

электродвигателя, разработать кронштейны для крепления инвертора и батарей, а в перспективе вырезать их на станке с ЧПУ. Модель платформы на базе БелАЗ Люблин-3554, созданная в программе Компас-3Д, представлена на рисунке 1.

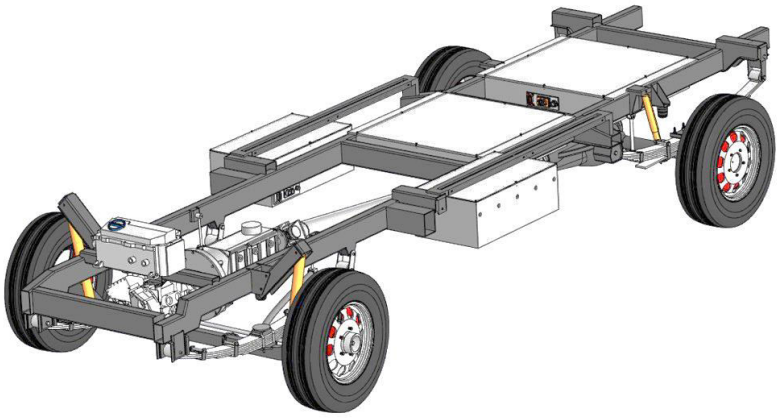


Рисунок 1. Электрифицированная платформа

В нашем проекте используется силовая установка и инвертор от автомобиля Nissan Leaf 2014 года. Описание характеристик электродвигателя приведено в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики электродвигателя Nissan leaf

Параметр	Значение
Максимальный крутящий момент	280 Н
Максимальная мощность	80 кВт
Максимальная кол-во оборотов двигателя	10390 мин$^{-1}$
Масса двигателя	58 кг

Инвертор выполняет ключевую функцию в системе управления электродвигателем: он преобразует постоянный ток высоковольтной батареи в переменный, который приводит в движение электродвигатель. Однако для запуска мотора от Nissan Leaf недостаточно просто подключить инвертор к батарее и педали газа. Инвертор требует специфических сигналов в CAN-шине, чтобы активировать двигатель в безопасном режиме. Кроме того, он работает только с напряжением батарейв диапазоне от 200 до 400 В. Характеристики инвертора приведены в таблице 2.

Таблица 2

Основные параметры инвертора Nissan leaf

Размеры Д*Ш*В	304*256,5*144,5 мм
Масса	16,8 кг
Max переменный ток при температуре 65 градусов	425 А (4 сек)
Постоянное напряжение	240-403 В
Частота передачи	5 кГц

Проект по реверс-инжинирингу платы контроллера был разделён на несколько ключевых этапов и включал в себя: разборку инвертора электромобиля Nissan Leaf, извлечение управляющей платы контроллера, изучение принципа работы платы. Это позволило разработать упрощённую версию управляющей платы [6]. После установки новой платы в инвертор были проведены испытания для проверки её работоспособности. Данная модификация инвертора позволит запускать любые электродвигатели при помощи аккумуляторных батарей в широком диапазоне входных напряжений.

В качестве батареи электрогрузовика используются литиевые аккумуляторы Nissan Leaf. В настоящее время в Республике Беларусь при сотрудничестве ГНУ «ОИМ НАН Беларуси» и ООО «1АК» разработаны универсальные батарейные модули номинальным напряжением 150 В и энергозапасом 22 кВт*ч. В дальнейшем, после наладки их серийного производства, станет возможным их использование. Характеристика батарейных модулей МБ 22 145 представлена в таблице 3.

Таблица 3

Основные параметры батарейного модуля МБ 22 145

Параметр	Значение
Емкость	150 Ач
Номинальное напряжение батарейного модуля	144 В
Максимальный ток разряда	150 А
Максимальный кратковременный ток разряда, не более 30 сек	450 А
Масса	130 кг

В качестве кузова в нашем проекте будет использоваться донорский автомобиль «Люблин» 2005 года выпуска, на базе которого мы будем собирать электромобиль.

Автомобиль имеет длину колесной базы 5500 мм и максимально допустимую техническую массу 3500 кг, тормозной путь со скорости 100 км/ч 31 м, максимальную массу перевозимого груза 1530 кг, клиренс 200 мм, снаряженная масса авто 1970 кг.

Люблин 3554 является транспортным средством категории N1, что позволяет управлять им владея правами категорией В и перевозить грузы массой до 1,5 тонн.

Проводился оценочный расчет массы электромобиля. Её оценили, отняв от снаряженной массы массу удаленных частей (агрегатов) автомобиля, и добавив к ней массы дополнительно установленных агрегатов.

Общая снаряженная масса автомобиля БелАЗ Люблин 3554 составляет 1970 кг. Планируется снять двигатель и топливные баки что составляет 500 кг. Взамен планируется установить: электродвигатель, подрамник, переходную пластину, инвертор, батареи. Добавочная масса от доработки агрегатов равна 370,5 кг. Таким образом получаем, что масса в снаряженном состоянии после доработок составит 1840,5 кг.

Также было разработано зарядное устройство [7]. На рисунке 2 представлена его схема. Устройство работает следующим образом: переменный ток из сети под напряжением 240 В проходит через трансформатор для понижения напряжения примерно до 130 В. Напряжение после трансформатора корректируется с помощью тиристорного преобразователя. Затем переменный ток выпрямляется в пульсирующий постоянный с помощью диодного моста. Для защиты от перегрузки установлен предохранитель на 10А. Амперметр позволяет отслеживать ток заряда. В конце ток проходит через плату BMS (систему управления) и заряжает батарею.

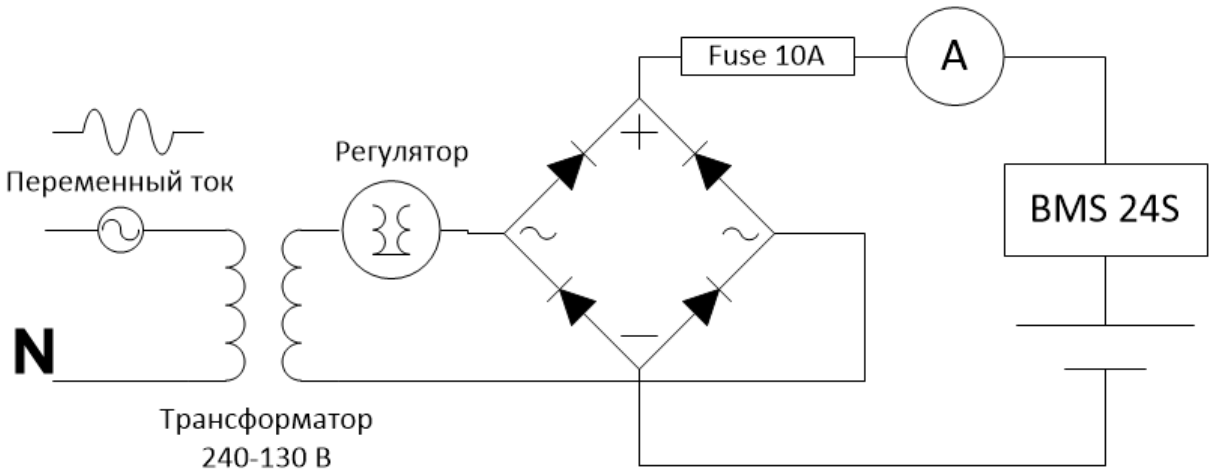


Рисунок 2. Схема устройства для заряда батареи элкутромобиля

Заключение

В статье рассмотрен процесс переоборудования автомобиля с ДВС на электротягу. Обоснована актуальность проекта, связанная с дефицитом городского коммерческого электротранспорта категорий N1 и M2 в странах СНГ.

Предложена концепция универсальной платформы для электромобиля, которая послужит основой для установки различных моделей. Описаны этапы переоборудования и основные компоненты электрической силовой установки. Представлены параметры агрегатов, планируемых к установке. Предложены конструкторские решения для монтажа электрооборудования, включая разработку рамы, креплений, муфт и переходной пластины. Выполнены расчёты и анализ масс основных компонентов с учётом всех доработок.

Выполнение этого проекта послужит обучающей платформой для студентов, позволяя им развивать свои конструкторские навыки и тестировать новые идеи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Global electric car stock, 2013-2023 – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electric-car-stock-2013-2023 (дата обращения: 20.07.2025).

2. Статистика [Электрон. ресурс] // Автомобильная ассоциация «БАА». – 2025 URL: https://auto-baa.by/statistic (дата обращения 20.08.2025).

3. Электромобиль LADA от студентов БНТУ и много классики: наш репортаж с Brichki Fest [Электрон. ресурс] // Автомобильный портал abw.by. – Электрон. дан. - Режим доступа: https://abw.by/news/rb/2025/05/18/elektromobil-lada-ot-studentov-bntu-i-mnogo-klassiki-nash-reportazh-s-brichki-fest.

4. Разработка и изготовление коммерческого электромобиля на универсальной платформе / И.А. Серебряков, И.В. Горнак // Молодежь в науке – 2024: тезисы докладов XXI Международной научной конференции молодых ученых (Минск, 29–31 октября 2024 г.). В двух частях. Ч. 2. Медицинские, физико-математические, физико-технические науки, химия и науки о Земле / Национальная академия наук Беларуси, Совет молодых ученых; редкол: В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2024. – С.279-280.

5. Разработка универсальных технических решений для переоборудования коммерческих автомобилей на электрическую тягу / И.А. Серебряков, И.В. Горнак, И.А. Тавгень // Перспективы развития транспортного комплекса [Электронный ресурс]: сборник статей / Белорус. науч.-исслед. ин-т трансп. «Транстехника»; редкол: В.С. Миленький [и др.]; рец.: А.А. Ерофеев, А.О. Лобашев. – Минск: БелНИИТ «Транстехника», 2024. – 345 с. – С. 296-301.

6. Прототипирование универсальной электрической движущей части электромобиля с открытым исходным кодом / И.А. Серебряков, И.В. Горнак // IV Республиканский форум молодых ученых учреждений высшего образования с международным участием: сборник материалов форума (Гомель, 18–20 мая 2025 года) / редкол.: Д. Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]; М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2025. – 294 с. С. 77-78.

7. Разработка зарядного устройства для студенческого электромобиля / И.А. Серебряков, А.Д. Щурок, И.В. Горнак // EurasiaScience: сборник статей LXIX международной научно-практической конференции / «Научно-издательский центр «Актуальность.РФ». – Москва, 2025. – 420 с. – С. 113-114.

DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL ELECTRIC PLATFORM FOR LIGHT COMMERCIAL VEHICLES

Volosevich A.E., Vetrov I.D., Gornak I.V., Serebryakov I.A.

(Belarusian national technical university, Minsk)

Abstract. The article describes the process of developing an electric platform for light commercial vehicles used in freight transportation. The initial vehicle platform was selected, and units were selected for installation on it. The process of creating a digital twin is described, including modeling the frame, chassis, electric motor, and inverter.

УДК 621.892

РАСЧЁТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РОЛИКОВОГО ТОРМОЗНОГО СТЕНДА ДЛЯ СТАНЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ МАРКИ NISSAN

Гордиенко М.А.
Научный руководитель: Яковлев Р.А., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье представлены результаты расчёта геометрических параметров роликового тормозного стенда для станции технического обслуживания автомобилей марки Nissan и сравнительная характеристика тормозных стендов платформенного и роликового типа.

Конструкция и техническое состояние самого транспортного средства в современных дорожных условиях должны соответствовать требованиям движения, при котором транспортное средство должно иметь возможность хорошо и быстро менять направление и скорость в соответствии с пожеланиями водителя с минимальным потреблением энергии. При торможении в случае внезапной опасности необходимо обеспечить минимальный тормозной путь (максимальное замедление) без потери устойчивости (заноса) транспортного средства. Торможение в случае внезапной опасности очень важно, поскольку оно определяет безопасное движение, хотя и используется очень редко (3-5% от общего количества тормозов). Как бы ни было важно, чтобы транспортное средство безопасно останавливалось в определённых условиях, так же важно, чтобы оно не теряло своей устойчивости во время торможения, то есть двигалось по линии, продиктованной водителем. Во время резкого торможения транспортное средство часто становится неустойчивым, что может привести к серьёзным последствиям. Устойчивость теряется, когда торможение выполняется на пределе сцепления на одной или обеих осях транспортного средства [1].

Передние тормоза считаются более важными, чем задние, потому что автомобиль во время торможения переносит вес вперёд на передние колеса. Исходя из этого, на многих автомобилях устанавливаются более эффективные дисковые тормоза на передние колеса. Барабанные тормоза обычно используются на задних колёсах. Примечательно, что в некоторых автомобилях используется полностью дисковая тормозная система как спереди, так и сзади.

На сегодняшний день существует несколько видов стендов и приборов для проведения диагностики тормозной системы ТС.

«Статические силовые роликовые стенды представляют собой роликовые устройства, предназначенные для проворачивания («срыва») заторможенного колеса и измерения прикладываемой при этом силы. По физике процесса он аналогичен испытанию стояночной тормозной системы на уклоне. Недостатком статического способа диагностирования тормозной системы ТС является неточность результатов, так как не воспроизводятся условия реального динамического процесса торможения».

Принцип действия инерционного стенда (рисунок 1) заключается в измерении сил инерции, возникающих в процессе торможения автомобиля и приложенных в точках контакта колес с динамометрическими платформами.

При испытаниях на платформенных тормозных стендах начальная скорость

автомобиля не соответствует требованиям Правил дорожного движения и ГОСТ 33997-2016, а это значит, что кинетическая энергия меньше той, что требуется для правильной оценки тормозной системы. В силу этого не потребуется максимального усилия на педали тормоза для гашения этой энергии. Таким образом, при испытаниях на платформенных тормозных стендах получаются завышенные значения по удельной тормозной силе и заниженные по усилиям на органах привода тормозных систем.

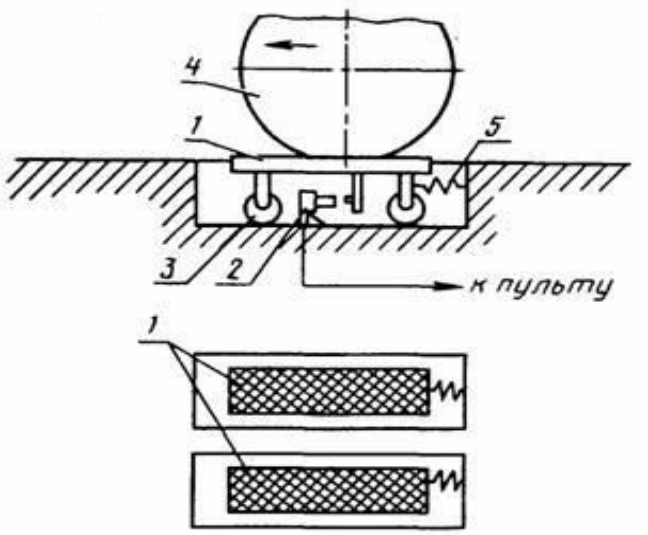


Рисунок 1. Схема инерционного платформенного стенда: 1 – площадки стенда; 2 – датчик; 3 – ролик; 4 – колесо; 5 – пружина

Принцип действия инерционных роликовых стендов (рисунок 2) заключается в том, что после установки автомобиля на ролики инерционного стенда линейную скорость колес доводят до 70 км/ч и резко тормозят, одновременно разобщая все каретки стенда путём выключения электромагнитных муфт. При этом в местах контакта колес с роликами стенда возникают силы инерции, противодействующие тормозным силам. Через некоторое время вращение барабанов стенда и колес автомобиля прекращается. Пути, пройденные каждым колесом автомобиля за это время (или угловое замедление барабана), будут эквивалентны тормозным путям и тормозным силам.

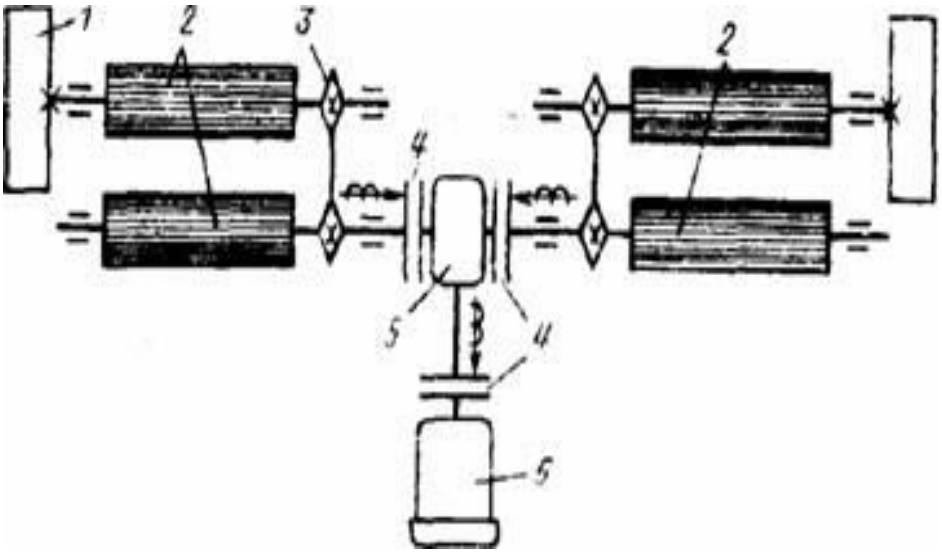


Рисунок 2. Принципиальная кинематическая схема роликового узла инерционного тормозного стенда: 1 – маховик; 2 – ролики; 3 – передача (цепная, ремённая и прочие); 4 – электромагнитная муфта; 5 – редуктор; 6 – электродвигатель

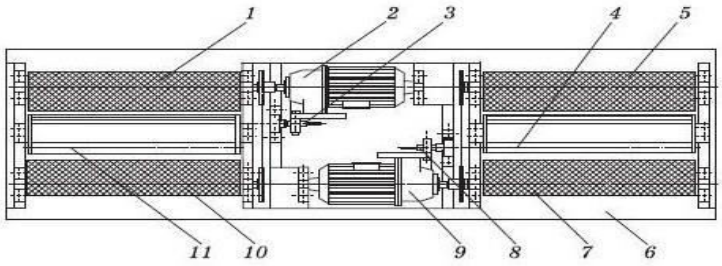


Рисунок 3. Опорно-воспринимающее устройство силового роликового стенда: 1,5,7,10 – ролики; 2,9 – мотор – редукторы; 3,8 – тензометрические датчики; 4,11 – следящие ролики; 6 – рама

Испытательный стенд работает следующим образом.

Перед началом испытаний посредством подвижной платформы стенд настраивается на нужную базу испытуемого автомобиля. Затем осуществляется въезд автомобиля на стенд.

Производится запуск двигателя внутреннего сгорания, а мотор – редуктор приводит во вращение опорные ролики подвижной и неподвижной платформ, а через них и испытуемые колеса автомобиля до заданной скорости от 5 до 20 км/ч.

Далее осуществляется движение с постоянной скоростью.

Осуществляется нажатие на педаль тормоза с заданным усилием по команде, передаваемой на монитор водителя системой управления.

Измеряется тормозная сила посредством датчика сил на моделируемом колесе. По характеру изменения тормозной силы на моделируемом колесе определяется работоспособность антиблокировочной системы (ABS) на данном колесе. Для определения работоспособности АБС на других колёсах необходимо повторить операции по пунктам 5, 6 и 7, причём моделировать могут одновременно и 2, и 3, и 4 колеса.

Для проверки усилия на рычаге стояночного тормоза необходимо поднять рычаг привода стояночного тормоза из нулевого положения и датчик усилия на рычаге стояночного тормоза покажет реальное усилие. Полученное усилие используют для оценки состояния стояночной тормозной системы. В случае недостаточности усилия на рычаге 11 стояночного тормоза, необходимо произвести натяжку тросика стояночного тормоза. В случае недостаточности тормозных сил на колёсах при заданном усилии на рычаге 11 стояночного тормоза, необходимо отремонтировать стояночную тормозную систему [2].

Роликовый тормозной стенд (рисунки 3, 4) относится к диагностическому гаражному оборудованию, предназначенному для диагностирования тормозной системы автомобиля.

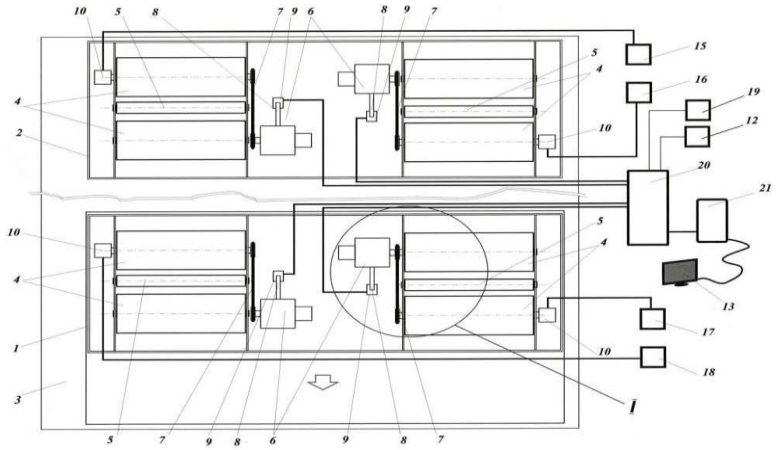


Рисунок 4. Общий вид силового роликового стенда: 1 – подвижная платформа; 2 – неподвижная платформа; 3 – фундамент; 4 – пара опорных роликов; 5 – следящий ролик; 6 – мотор – редуктор; 7 – цепная передача; 8 – рычаг;9 – датчик сил; 10 – датчик скорости ролика; 13 – монитор водителя; 15,16,17,18 – частотный регулируемый привод; 19 – датчик усилия на педали тормоза;20 – контроллер; 21 – персональный компьютер

Расчёт ведём для автомобиля с наибольшим диаметром колеса из всего обслуживаемого модельного ряда – Nissan Navara (215/50 R17).

Диаметр колеса находим путём прибавления к посадочному диаметру шины удвоенной высоты профиля шины [3].

- посадочный диаметр, мм 457,2;
- высота профиля шины, мм 159;
- диаметр колеса, мм 775;
- диаметр ролика, мм 310,4

Для изготовления ролика выбираем горячедеформированные бесшовные стальные трубы по ГОСТ 8732-78.

Принимаем диаметр ролика 325 мм,

толщина стенки 30 мм.

Минимальная длина бегового ролика [2]:

$$l_{pmin} = \frac{B_H - B_{BH}}{2} + a, \quad (1)$$

где Вн – наибольшая наружная колея, мм;

Ввн – наименьшая внутренняя колея, мм;

а – запас по длине, принимается в диапазоне от 100 до 150 мм.

Расчёт ведём для автомобилей с наибольшей и наименьшей колеёй из всего обслуживаемого модельного ряда – Nissan Micra (1330 мм) и Nissan Navara (1560 мм) (Рис. 5).

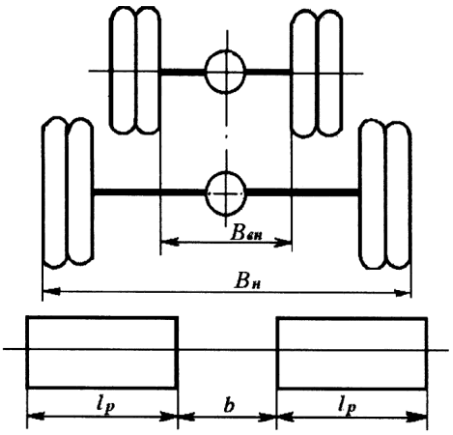


Рисунок 5. Схема к расчёту основных размеров роликового стенда

Наибольшая наружная колея:

$$B_H = D + \frac{1}{2} \cdot 265, \quad (2)$$

где D – колея автомобиля, мм

$$B_H = 1560 + \frac{1}{2} \cdot 265 = 1692.5 \text{ мм}$$

Принимаем наибольшая наружная колея – 1693 мм. Наименьшая внутренняя колея:

$$B_{BH} = D - \frac{1}{2} \cdot 165 \quad (3)$$

$$B_{BH} = 1330 - \frac{1}{2} \cdot 165 = 1247.5 \text{ мм}$$

Принимаем наименьшую внутреннюю колею 1247 мм.

Минимальная длина ролика:

$$l_{pmin} = \frac{1693 - 1247}{2} + 100 = 323 \text{ мм}$$

Исходя из соображений безопасности во время испытаний и удобных заезда – съезда автомобиля принимаем длину ролика 500 м.

В качестве ролика принимаем трубу 325х30х500 ГОСТ 8732-78 [3].

Расстояние между роликами:

$$b = B_{BH} - a \quad (4)$$

Подставив данные в формулу получим:

$$b = 1247 - 100 = 1147\text{мм}.$$

Общая длина продольной оси ролика (ширина стенда):

$$L = 2 \cdot l_p + b \quad (5)$$

Подставив данные в формулу получим:

$$L = 2 \cdot 500 + 1147 = 2147\text{мм}.$$

Расстояние между осями роликов:

$$l = \left(r_K + r_p\right) \cdot \frac{2 \cdot \varphi}{\sqrt{1 + \varphi^2}}, \quad (6)$$

где r_k – радиус колеса;

r_P – радиус ролика;

φ – коэффициент сцепления шин с поверхностью ролика.

Корундовое покрытие является самым широко распространенным решением, обеспечивающим высокую долговечность, подходит для испытания автомобилей любого класса. Данное покрытие имеет коэффициент сцепления 0,8, что наиболее приближено к асфальтобетонному покрытию.

Подставив данные в формулу получим:

$$l = (366 + 162{,}5) \cdot \frac{2 \cdot 0{,}8}{\sqrt{1 + 0{,}8^2}} = 687{,}7\text{мм}.$$

Принимаем расстояние между осями роликов 688 мм.

Расстояние между осями роликов определяет устойчивость автомобиля на стенде и возможность самостоятельного съезда автомобиля с него.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Малкин В.С.* Основы проектирования технологического оборудования предприятий автомобильного транспорта: электронное учебно-методическое пособие; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Тольяттинский государственный университет, Институт машиностроения, Кафедра "Проектирование и эксплуатация автомобилей". - Тольятти: Тольяттинский гос. ун-т, 2019. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см.

2. *David A. Hensher, Kenneth J. Button* / Handbook of transport modeling- [2. impr.]. - Amsterdam [etc.]: Pergamon, 2002 [1] c. - 165 p.

3. *Mikell, P.* Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems / P. Mikell. - John Wiley & Sons, 2010. - p. 1024.

CALCULATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF A ROLLER BRAKE STAND FOR A NISSAN CAR SERVICE STATION

Gordienko M.A.

Supervisor: Yakovlev R.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article presents the results of calculating the geometric parameters of a roller brake stand for a Nissan car service station and a comparative characteristic of platform and roller type brake stands.

УДК 62-503.54

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА АВТОБУСНЫХ ПАРКОВ

Дудко Д.В.

Научный руководитель: Ромашко Е.А., инженер

(Белорусский национальный технический университет, г. Минск)

Аннотация. В работе описана практическая реализация системы мониторинга, предназначенной для повышения надёжности автобусных парков. Ключевые преимущества системы: своевременное предупреждение о неисправностях, сокращение простоев транспорта и рационализация затрат на обслуживание. Внедрение решения напрямую влияет на повышение уровня безопасности и снижение себестоимости перевозок.

Введение

Современные автобусные парки сталкиваются с необходимостью повышения надёжности и эффективности эксплуатации транспортных средств. Одним из перспективных направлений является внедрение систем мониторинга технического состояния, позволяющих своевременно выявлять и прогнозировать отказы основных узлов и агрегатов. Данная работа посвящена разработке экономически эффективной системы прогнозирования отказов автобусов, основанной на использовании доступных средств мониторинга и анализа данных.

Существующие системы мониторинга часто требуют значительных финансовых затрат на приобретение и внедрение специализированного оборудования. В отличие от них, предлагаемая система ориентирована на использование недорогих и доступных средств мониторинга, таких как платформа ESP8266 в сочетании с простыми и надёжными датчиками. Новизна подхода заключается в использовании платформы ESP8266, обычно применяемой в проектах "умного дома", для решения задач промышленного мониторинга транспорта, что существенно снижает стоимость и повышает доступность системы [1].

Основная часть

Работа системы:

1. "CAN-крокодил" подключается к CAN-шине автобуса. CAN-модуль получает данные с CAN-шины и передает их в ESP8266.
2. ESP8266 обрабатывает полученные данные, фильтрует их и выбирает необходимые параметры.
3. ESP8266 формирует HTML-страницу с текущими значениями параметров CAN-шины и предоставляет к ней доступ через веб-сервер. Пользователь может просматривать эту страницу с любого устройства, подключенного к той же сети Wi-Fi.
4. ESP8266 анализирует данные CAN-шины на предмет наличия кодов ошибок.
5. При обнаружении критических кодов ошибок ESP8266 формирует сообщение с информацией об ошибке и отправляет его в Telegram-бот.

Преимущества:

1. Бесконтактное подключение: отсутствие повреждений проводов автобуса.
2. Мониторинг в реальном времени: оперативный контроль за состоянием автобусов.
3. Автоматизация сбора данных: исключение ручного ввода данных.
4. Возможность удалённого анализа: доступ к информации о работе автобусов из любой точки мира.
5. Предотвращение поломок: своевременное выявление неисправностей на ранней стадии.
6. Оптимизация эксплуатации: снижение затрат на топливо и обслуживание.

Компоненты системы и их стоимость (в белорусских рублях):

Бесконтактный считыватель CAN-шины ("CAN-крокодил"): 200 руб.

CAN-модуль (MCP2515): 18 руб.

Модуль ESP8266 (NodeMCU): 20 руб.

Модуль SD-карты: 13 руб.

SD-карта: 40 руб.

Провода, разъёмы, корпус (опционально): 30 руб.

Итого единовременные затраты на оборудование для одного автобуса: 321 руб.

Подробное описание компонентов:

Бесконтактный считыватель CAN-шины ("CAN-крокодил") - это ключевой элемент, позволяющий получать данные с CAN-шины автобуса, не повреждая ее. Важно выбирать качественные считыватели, обеспечивающие надёжное соединение и отсутствие ошибок при передаче данных.

CAN-модуль (MCP2515) - этот модуль преобразует данные с CAN-шины в формат, понятный для микроконтроллера. Необходимо убедиться в его совместимости с CAN-шиной конкретных моделей автобусов.

Модуль ESP8266 (NodeMCU): - микроконтроллер, отвечающий за сбор данных, их обработку и передачу по Wi-Fi. NodeMCU - популярный выбор благодаря своей простоте, доступности и наличию встроенного Wi-Fi модуля.

Модуль SD-карты - обеспечивает локальное хранение данных в случае отсутствия Wi-Fi соединения. Это позволяет сохранить данные даже при временных проблемах со связью.

SD-карта - SD-карта необходима с достаточным объёмом памяти для хранения данных за определённый период времени.

Провода, разъёмы, корпус (опционально) - эти компоненты необходимы для сборки и защиты устройства.

Модернизация территории автобусного парка

Для обеспечения надёжной передачи данных по Wi-Fi необходимо модернизировать инфраструктуру автобусного парка (примерно 50000 м^2).

1. Беспроводные маршрутизаторы Tenda F3 v5: обеспечивают покрытие Wi-Fi на территории парка. Для нашего проекта.
2. Количество маршрутизаторов: определяется площадью парка, количеством автобусов и требованиями к покрытию. В данном случае необходимо 21 штук.
3. Стоимость одного маршрутизатора: 60 руб.
4. Общая стоимость маршрутизаторов: 60 руб/маршрутизатор * 21 маршрутизаторов = 1260 руб.

Общие затраты

Единовременные затраты на оборудование для одного автобуса: 321 руб.

Единовременные затраты на модернизацию территории: 1260 руб.

Общие затраты на оборудование на весь автобусный парк (500 автобусов) + модернизация парка:

Единовременные затраты: 321 руб/автобус × 500 автобусов = 160 500 руб.

Единовременные затраты на модернизацию территории: 1260 руб.

Итого: 161 760 руб.

Дальнейший путь развития

1. Выбор поставщика оборудования: важно выбрать надёжного поставщика, предлагающего качественное оборудование по конкурентной цене.
2. Разработка технического задания: подробное описание требований к системе, включая функциональность, производительность и безопасность.
3. Пилотный проект: внедрение системы на небольшом количестве автобусов для тестирования и отладки [2].
4. Масштабирование: после успешного завершения пилотного проекта можно приступать к внедрению системы на весь автобусный парк.
5. Разработка веб-интерфейса и мобильного приложения: создание удобного интерфейса для просмотра данных, формирования отчётов и управления системой.

6. Реализация алгоритмов анализа данных: разработка алгоритмов для выявления аномалий, прогнозирования поломок, оптимизации расхода топлива и построения рекомендаций по улучшению работы парка.

7. Разработка системы уведомлений: настройка автоматических уведомлений о критических событиях, таких как превышение скорости, резкое торможение, низкое давление масла.

8. Внедрение машинного обучения: использование машинного обучения для автоматической адаптации системы к изменяющимся условиям и оптимизации её работы.

9. Интеграция с голосовыми помощниками: возможность получения оперативной информации о состоянии автобуса через голосовой запрос.

Перспективы развития:

1. Расширение функциональности системы: Добавление GPS-трекинга, мониторинга состояния шин, анализа видеопотока с камер и других функций.

2. Разработка новых алгоритмов анализа данных: Использование машинного обучения и искусственного интеллекта для более точного прогнозирования и выявления аномалий.

3. Интеграция с другими системами: Объединение с системами управления персоналом, планирования маршрутов и учёта топлива.

4. Создание облачной платформы: Предоставление доступа к системе мониторинга через облачный сервис для упрощения развёртывания и управления.

5. Развитие партнерской сети: Сотрудничество с производителями автобусов, сервисными центрами, страховыми компаниями и другими организациями.

6. Выход на международный рынок: Расширение бизнеса за пределы локального рынка и предложение решения другим автобусным паркам по всему миру.

7. Разработка специализированных решений для разных типов транспорта: Предложение адаптированных систем мониторинга для грузовых автомобилей, такси, и строительной техники.

Практическая часть проекта включала в себя два этапа реализации системы мониторинга напряжения с использованием платформы ESP8266 и реостата (использовался как имитация потока данных), демонстрирующих различные способы предоставления информации о состоянии системы (Рисунок 1).

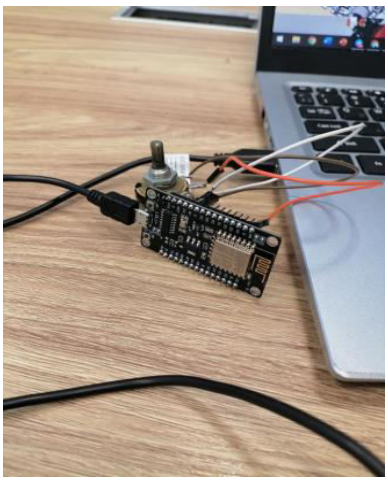


Рисунок 1. Первый прототип устройства

Этап 1: создание веб-интерфейса мониторинга. Целью первого этапа стала разработка базовой системы мониторинга. Микроконтроллер ESP8266 использовался в качестве веб-сервера, на котором в реальном времени отображалось текущее напряжение и предупреждения о его критических значениях (Рисунок 2). Таким образом, проверить состояние системы можно было с любого устройства, подключённого к Wi-Fi. Для сбора и сохранения данных в таблицу на ПК была применена программа Processing (Рисунок 3).

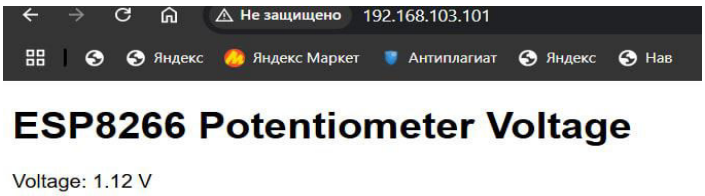


Рисунок 2. Web-страница

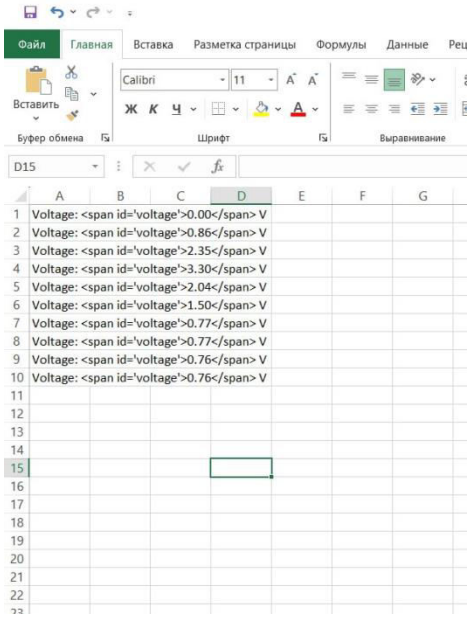


Рисунок 3. Таблица с показаниями

Этап 2: система мгновенного оповещения в Telegram. Второй этап разработки был сфокусирован на создании эффективного канала оповещения. Для этого данные о напряжении, поступающие с реостата на ESP8266, стали автоматически отправляться в Telegram посредством бота (Рисунок 4). Внедрение этого функционала подтвердило возможность организации оперативного удалённого оповещения, что является ключевым фактором для предотвращения серьёзных неисправностей [3].

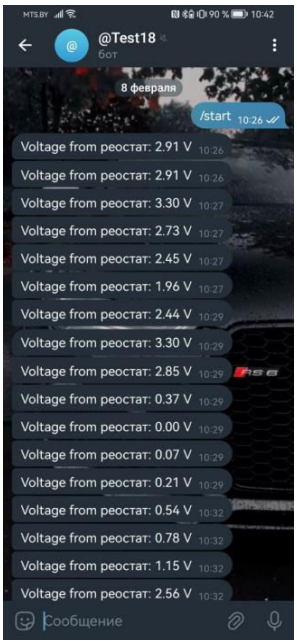


Рисунок 4. Бот

Прототип системы является масштабируемым решением. Его функциональность можно расширять и интегрировать с другими сервисами управления, что обеспечивает его долгосрочную перспективу и адаптивность (Рисунок 5).

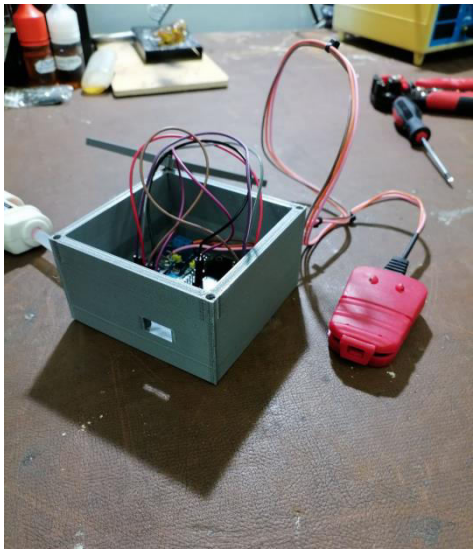


Рисунок 5. Конечный прототип устройства

Проведённое исследование подтверждает, что гипотеза о возможности создания эффективной системы прогнозирования отказов на базе доступных компонентов (ESP8266) и алгоритмов анализа данных является состоятельной. Внедрение такого решения позволяет существенно повысить надёжность и экономическую эффективность эксплуатации автобусного парка. Это достигается за счёт перехода от планово-предупредительного обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию, что минимизирует внезапные поломки, оптимизирует затраты на ТО и ремонт и, как следствие, повышает уровень безопасности перевозок [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Лукашев В.В.* Диагностика технического состояния автотранспортных средств: учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / В.В. Лукашев. - Москва: Издательский центр «Академия», 2011. - 272 с.

2. *Родичев В.А.* Диагностика и техническое обслуживание автомобилей: учебник для начального профессионального образования / В.А. Родичев. - Москва: Издательский центр «Академия», 2012. - 304 с.

3. *Чекмарев Ю.К.*, и др. «Диагностика автомобильных двигателей» М.: Машиностроение, 2004.

4. *Капустин Н.М.* Техническое обслуживание автомобилей: учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Н.М. Капустин, В.М. Пышкин. - Москва: Издательский центр «Академия», 2012. - 336 с.

SYSTEM FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF ROLLING STOCK OF BUS DEPTHS

Dudko D.V.

Supervisor: Romashko E.A., engineer

(Belarusian National Technical University, Minsk)

Abstract. The paper describes the practical implementation of a monitoring system designed to enhance the reliability of bus fleets. Key advantages of the system include timely fault alerts, reduced vehicle downtime, and optimized maintenance costs. The implementation of this solution directly contributes to improved safety levels and lower transportation operating costs.

УДК 621.833:669.7

ПЕРЕХОД НА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ФРЕОНЫ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Жижин В.С.

Научный руководитель: Швеёв А.И., доцент, к. т. н.

*(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Каз*ань)

Аннотация. Анализ особенностей, проблем и перспектив внедрения экологичных хладагентов R-1234yf и R-744 в автомобильные кондиционеры. Исследование влияния замены традиционных фреонов с высоким потенциалом глобального потепления на конструкцию систем, требования к сервисному оборудованию и процессы технического обслуживания. Определение экологических и экономических последствий перехода, а также будущих направлений развития технологий автокондиционирования в условиях ужесточения экологических норм.

Проблема глобального изменения климата требует пересмотра подходов к использованию фреонов в автомобильных кондиционерах. Традиционные хладагенты, такие как R-12 и R-134a, обладают высоким потенциалом глобального потепления (GWP), что делает их экологически небезопасными [1]. В связи с этим в автомобильной промышленности происходит активный переход на более экологичные хладагенты: R-1234yf и R-744 (углекислый газ) [2].

Цель статьи — проанализировать особенности, проблемы и перспективы использования экологичных фреонов в современных автокондиционерах, а также влияние этого перехода на технологию их обслуживания.

Изначально в автомобильных системах кондиционирования использовался фреон R-12, позже заменённый на R-134a из-за высокого озоноразрушающего потенциала[3]. Однако и R-134a обладает значительным GWP ≈ 1430. Это стимулировало разработку более безопасных хладагентов — R-1234yf (GWP ≈ 4) и R-744 (GWP = 1) [4].

Во многих странах Евросоюза и США уже введены нормативы, запрещающие использование хладагентов с GWP > 150. Это стало стимулом к массовому внедрению R-1234yf в новых моделях автомобилей[2].

Таблица 1

Сравнение основных параметров хладагентов

Хладагент	GWP	Давление, бар	Температура кипения, °C
R-134a	1430	~6–10	-26,1
R-1234yf	4	~6–10	-29
R-744 (CO_2)	1	~60–100	-78

R-1234yf близок по характеристикам к R-134a и требует минимальной доработки систем. R-744 работает при высоком давлении, требует специальных компонентов и теплообменников [5].

Техническое обслуживание систем с R-1234yf требует герметичного оборудования, предотвращающего утечку горючего хладагента. Заправочные станции должны соответствовать стандарту SAE J2843.

Системы с CO_2 требуют оборудования, способного выдерживать высокие давления, и дополнительного обучения персонала. Это делает переход на R-744 более дорогим и сложным [5].

Также необходимо использовать совместимые масла и фильтры, что требует адаптации сервисного оборудования (например, станции ODA-360A требуют модернизации при переходе на R-1234yf) [6].

Использование экологичных фреонов позволяет снизить суммарный углеродный след автомобилей. Однако стоимость R-1234yf выше в 5–10 раз по сравнению с R-134a, что отражается на цене обслуживания.

CO_2 как хладагент дешев, но требует дорогостоящей аппаратной платформы. Тем не менее, в условиях строгих экологических норм его внедрение неизбежно для части сегментов рынка.

Ожидается, что в течение ближайших лет большинство новых автомобилей будет оснащаться кондиционерами на R-1234yf. R-744 найдёт применение в электротранспорте и коммерческом секторе.

Важным направлением станет разработка гибких сервисных решений, способных обслуживать оба типа фреонов. Также возможен переход к модульным станциям, легко перенастраиваемым под конкретный хладагент.

Переход на экологически безопасные хладагенты является неизбежной частью экологической трансформации автомобильной отрасли. Несмотря на сложности технической и экономической адаптации, использование R-1234yf и CO_2 позволяет значительно сократить воздействие на климат.

Для эффективной реализации перехода необходимы обновления сервисного оборудования, обучение персонала и развитие нормативной базы обслуживания автокондиционеров с новыми хладагентами.

Одним из перспективных направлений развития является внедрение автоматизированных станций обслуживания, специально адаптированных под работу с новыми типами хладагентов. Такие установки способны минимизировать влияние человеческого фактора, повысить точность дозирования и обеспечить надёжную герметизацию при заправке. Например, современные модели станций для R-1234yf оборудуются интеллектуальными системами контроля утечек, встроенными весами и интерфейсами для автоматического ввода параметров автомобиля. Это особенно важно при работе с горючими хладагентами, где утечка даже небольшого объёма вещества может привести к рискам воспламенения.

Кроме того, производители автомобильной климатической техники и сервисного оборудования всё чаще ориентируются на модульные и мультифреонные решения, позволяющие обслуживать как R-134a, так и R-1234yf в рамках одной платформы. Это значительно снижает затраты для СТО, особенно в условиях переходного периода, когда в автопарке одновременно присутствуют машины с разными типами хладагента. Модульность систем также упрощает модернизацию оборудования в будущем, обеспечивая гибкость и адаптивность автосервисных предприятий к быстро меняющимся требованиям отрасли и экологическим стандартам.

Важным аспектом перехода на экологичные фреоны является развитие инфраструктуры по их утилизации и переработке. Старые хладагенты, особенно R-134a, требуют правильного сбора и утилизации, чтобы предотвратить их выброс в атмосферу. На практике это означает необходимость оснащения сервисных центров системами рекуперации, которые позволяют безопасно извлекать и временно хранить отработанный хладагент. Кроме того, необходимо создание централизованных пунктов приёма и переработки фреонов, действующих в соответствии с международными стандартами по утилизации вредных веществ.

Особую актуальность тема приобретает в России, где большинство автосервисов всё ещё работает на оборудовании, ориентированном исключительно на R-134a. Массовое внедрение R-1234yf началось сравнительно недавно, а использование CO_2 в кондиционерах в основном ограничено крупными производственными проектами или импортными электромобилями [7]. Это создаёт определённое отставание от европейского и американского рынков, и требует комплексной модернизации как оборудования, так и системы подготовки кадров. Государственные меры поддержки в виде субсидий на переоснащение, налоговых льгот или образовательных программ могли бы ускорить этот процесс.

Не менее важным направлением является интеграция новых систем кондиционирования с платформами электромобилей, где высокоэффективное тепловое управление критически важно. Электрические автомобили, не имеющие традиционного ДВС, требуют альтернативных методов обогрева и охлаждения, и системы на CO_2 здесь показывают наилучшие результаты. Благодаря высокой плотности теплопереноса и эффективности при низких температурах, CO_2 всё чаще рассматривается как основной хладагент для климатических систем в электромобилях. Таким образом, развитие этих технологий становится не только вопросом экологии, но и технической совместимости с будущим автотранспорта.

Отдельного внимания заслуживает проблема стандартизации сервисного оборудования. Для обеспечения безопасной и качественной работы с разными хладагентами, необходимо создание универсальных станций, способных автоматически распознавать тип фреона и адаптировать рабочие параметры. Это поможет избежать ошибок оператора, минимизировать риски неправильной дозировки и повысить ресурс оборудования. Также важно наличие сертифицированных комплектующих и расходных материалов, соответствующих требованиям конкретных хладагентов, особенно в условиях перехода на легко воспламеняющийся R-1234yf.

В заключение стоит отметить, что переход на экологически безопасные фреоны требует комплексного подхода, включающего техническую модернизацию, обучение персонала, развитие нормативной базы, поддержку со стороны государства и повышение общей экологической культуры [8]. Только при одновременном решении всех этих задач можно достичь устойчивого снижения углеродного следа от автотранспорта, без ущерба для качества и доступности сервисных услуг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. — Cambridge University Press, 2021.

2. Directive 2006/40/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 relating to emissions from air-conditioning systems in motor vehicles.

3. *Власов В.Н., Савельев И.Г.* Химия и технология фреонов. — М.: Химия, 2008.

4. Honeywell. R-1234yf Refrigerant Overview. — Technical Brochure. URL: https://www.honeywell-refrigerants.com.

5. *Lorentzen G.* The use of natural refrigerants: a complete solution to the CFC/HCFC predicament. — Int. J. Refrig. 1995.

6. Руководство по эксплуатации станции ODA-360A. — ООО «ОДА Сервис», 2022.

7. SAE International. Handling of R-744 in Mobile Air Conditioning Systems. Standard SAE J2773, 2020.

8. *Корнилов А.С.* Экологизация транспортных технологий. — СПб.: Политехника, 2019.

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY REFRIGERANTS IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY: CHALLENGES AND PROSPECTS

Zhizhin V.S.

Supervisor: Shveev A.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Analysis of the features, challenges, and prospects of introducing environmentally friendly refrigerants R-1234yf and R-744 in automotive air conditioning systems. The study examines the impact of replacing traditional high-GWP refrigerants on system design, service equipment requirements, and maintenance procedures. It also outlines the ecological and economic consequences of the transition, as well as future directions for the development of automotive air conditioning technologies under increasingly stringent environmental regulations.

УДК 621.98.043

ПРОБЛЕМАТИКА ЛОКАЛИЗАЦИИ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШТАМПОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ ХОДОВОЙ ЧАСТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Кучумов В.О.

Научный руководитель: Халиуллин Ф.Х., доцент к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается проблематика локализации производства штампованных деталей ходовой части автомобилей в контексте Российской Федерации. Анализируются ключевые аспекты процесса локализации, включая выбор материалов, технологические процессы и организационные особенности. В условиях санкций и глобальных экономических изменений, проблема обеспечения отечественного автопрома качественными компонентами становится особенно актуальной.

Производство автомобильных компонентов является стратегически важной отраслью для любой страны, стремящейся к независимости от импорта. В частности, локализация производства штампованных деталей ходовой части играет ключевую роль в обеспечении устойчивости и конкурентоспособности отечественных автопроизводителей. В последние годы вопрос локализации стал еще более актуальным в связи с геополитическими изменениями и экономическим давлением на Россию.

Данная статья направлена на анализ текущей ситуации и выявление основных проблем, связанных с процессом локализации штампованных деталей ходовой части в РФ.

Для проведения анализа были использованы данные российских производителей автомобильной техники, поставщиков сырья и материалов, а также статистическая информация о состоянии рынка автокомпонентов. Основными методами исследования стали сравнительный анализ технологических процессов, используемых в отечественной и зарубежной практике, а также оценка качества конечной продукции.

На основе проведенного исследования были выявлены ключевые проблемы, препятствующие успешной локализации производства штампованных деталей ходовой части в Российской Федерации. Рассмотрим каждую из них подробнее.

1. Нехватка квалифицированных кадров.

Одним из главных препятствий для успешного развертывания масштабных проектов по локализации является нехватка специалистов, обладающих необходимыми компетенциями в области современного производства. Многие российские предприятия сталкиваются с трудностями при поиске инженеров, техников и операторов станков с высоким уровнем подготовки. Это связано с несколькими факторами:

- Недостаточное количество профильных образовательных учреждений, готовящих кадры для автомобильной промышленности.
- Низкий интерес молодежи к техническим специальностям, что ведет к дефициту молодых профессионалов.
- Ограниченная возможность обмена опытом с международными партнерами из-за политических и экономических санкций.

Для преодоления данной проблемы необходимы программы переподготовки и повышения квалификации сотрудников, а также активное сотрудничество учебных заведений и предприятий для адаптации образовательных стандартов к современным требованиям рынка.

2. Высокая стоимость оборудования.

Производство качественных штампованных деталей требует использования высокотехнологичного оборудования, которое зачастую стоит значительно дороже, чем устаревшие аналоги. Санкционная политика Запада ограничивает доступ российских

компаний к новейшим технологиям и вынуждает искать альтернативные источники поставки оборудования. Основные препятствия в этом направлении заключаются в следующем:

- Высокие цены на оборудование, произведенное в странах Азии и Восточной Европы.
- Отсутствие собственного производства специализированного оборудования, что делает российские компании зависимыми от внешних поставщиков.
- Сложности с обслуживанием и ремонтом иностранного оборудования из-за отсутствия сервисных центров и квалифицированного персонала.

Для снижения зависимости от иностранных поставщиков оборудования необходимо сосредоточиться на разработке и производстве собственных станков и инструментов. Возможные направления:

- Государственное финансирование НИОКР в области машиностроения и металлообрабатывающей промышленности.
- Создание совместных предприятий с ведущими мировыми производителями оборудования для трансфера технологий.
- Внедрение программ модернизации уже существующего парка оборудования на предприятиях.

3. Недостаточная стандартизация.

Различные стандарты качества, применяемые в России и за рубежом, создают значительные барьеры для интеграции локализованных компонентов в международные производственные цепочки. Например, требования к материалам, геометрическим параметрам и прочностным характеристикам могут существенно различаться. Это затрудняет взаимодействие с иностранными партнерами и ограничивает возможности экспорта продукции. Среди ключевых аспектов проблемы можно выделить:

- Необходимость адаптации российских стандартов к международным нормам.
- Требования сертификации продукции согласно европейским и американским стандартам.
- Недостаток единых подходов к контролю качества на всех этапах производства.

Решение вопроса стандартизации требует совместных усилий государственных органов, научных институтов и промышленных предприятий. Важно разработать единую систему норм и правил, соответствующую мировым тенденциям, чтобы обеспечить конкурентоспособность отечественной продукции.

4. Зависимость от импортных материалов.

Несмотря на богатые природные ресурсы, Россия продолжает зависеть от импорта некоторых видов сырья и материалов, необходимых для производства штампованных деталей. Основные причины такой зависимости заключаются в следующем:

- Недостаточно развитая инфраструктура переработки местных природных ресурсов.
- Высокая стоимость транспортировки сырья внутри страны.
- Дефицит инвестиций в научные разработки и инновации в сфере материаловедения.
- В технологических документах указаны стали и сплавы, действующие в стране производителе (пример некоторых марок сталей приведен в таблице №1) [1], [2], [3], [4].

Таблица 1

Сравнительная таблица марок сталей

Российский аналог по ГОСТ	США сталь по AISI, ASTM, ASME	Германия сталь по DIN	Китай сталь по GB
ст.03Х17Н14М3	316L	X2CrNiMo18-14-3	00Cr17Ni14Mo2
	SA-240TP316L		00Cr17Ni14Mo3
ст.03Х18Н11	304 L	X2 Cr Ni 19 11	–
	SA-240TP304L	GX2 Cr Ni 19-11	
ст.03ХН28МДТ	–	X3NiCrCuMoTi2730	–
ст.06Х28МДТ			
ст.06Х18Н11	305	X4CrNi18-12	–
	3008		

ст.07Х16Н6	301	X12CrNi17-7	–
	A 167 301	X10CrNi18-8	
	A 240 301		
	A 666 301		
ст.08кп	A 622	St 50-2	–
ст.08Х13	403	X6 Cr 13	–
	409	X7 Cr 14	
	410 S		
	429		
	SA-240 TP 410S		
ст.08Х17Н13М2Т	316 Ti	X6CrNiMoTi 12 122	0Cr18Ni12Mo3Ti
ст.10Х17Н13М2Т	A 167 316Ti	X 10 CrNiMoTi 18-12	1Cr18Ni12Mo3Ti
	A 213 F316H		
	A 240 316Ti		
	A 368 316Ti		
	SA-240 TP 316Ti		
	SA-479 316Ti		
ст.08Х17Т	430Ti	X 6 CrTi 17	–
	439	X3CrTi17	
ст.08Х18Н10	304	X5 Cr Ni 18 10	–
	304 H		
	SA-240 TP 304		
ст.08Х18Н12Б	347	X 6 CrNiNb 18 10	0Cr18Ni11Nb
	A 167 347	X6CrNiNb18-10	1Cr18Ni11Nb
	A 240 347		1Cr19Ni11Nb
	A 313 347		
	A 580 347		
ст.08ЮА	A 620	DC 04	–
		DC04+ZE	
		Fe P04 / St 14	
		St 14	
		St 4	
ст.09Г2С	A 516-55	–	–
	A 516-60		
	A 516-65		
	A 561 Gr70		
ст.09Х17Н7Ю	–	X 7 CrNiAl 17 7	0Cr17Ni7Al
		X7CrNiAl17-7	
ст.10	C1010	C 10	10
	A 108 1010	C10E	
	A 29 M1010	Ck 10	
	A 510 1010		
	A 575 M1010		
	SA-29 M1010		
ст.10Х13СЮ	A 268 TP405	X10CrAl13	–
		X10CrAlSi13	
ст.10Х23Н18	SA-240 TP 310S	–	–
ст.20Х23Н18			
ст.12К	A 201 Gr AFx	ASt 35	–
ст.12Х13	410	X 10 Cr 13	–

ст.15Х13Л	430	X12 Cr13	
	A 183 F6	GX 12 Cr 12	
	A 193 B6		
	A 479 410		

Для снижения зависимости от импорта необходимо сосредоточиться на развитии внутреннего рынка материалов, увеличении объемов добычи полезных ископаемых и создании условий для развития малого и среднего бизнеса в секторе переработки сырья.

5. Отсутствие эффективной кооперации.

Эффективная кооперация между различными звеньями производственной цепочки — поставщиками материалов, производителями оборудования и конечными потребителями — остается одной из нерешенных задач в российском автопроме. Проблемы включают:

- Отсутствие налаженной системы информационного обмена между участниками рынка.
- Несогласованность действий в вопросах планирования и реализации проектов.
- Ограниченный доступ малых и средних предприятий к крупным контрактам.

Для улучшения координации необходима разработка стратегических планов развития, предусматривающих участие всех заинтересованных сторон. Государственная поддержка в виде субсидий, налоговых льгот и грантов поможет стимулировать интеграцию участников рынка и ускорит процесс локализации.

Таким образом, комплексный подход к решению вышеперечисленных проблем станет ключевым фактором успеха в процессе локализации производства штампованных деталей ходовой части. Необходимо сочетать усилия государства, бизнеса и научного сообщества для достижения поставленных целей, и укрепления позиций российского автопрома на мировой арене.

Выводы. Процесс локализации производства штампованных деталей ходовой части в Российской Федерации сталкивается с рядом серьезных трудностей, связанных с инфраструктурой, квалификацией персонала, доступностью оборудования и материалов. Однако при грамотной государственной поддержке и активизации межотраслевого сотрудничества возможно достижение значительного прогресса в этой области. Важнейшим условием успеха является внедрение инновационных технологий, повышение квалификации работников и создание устойчивых цепочек поставок внутри страны. Это позволит не только снизить зависимость от импорта, но и улучшить конкурентоспособность российского автомобильного сектора на мировом рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали общие технические условия. ГОСТ 1050—88 // Государственный стандарт союза СССР.

2. Сталь тонколистовая оцинкованная с непрерывных линий. Технические условия. ГОСТ 14918-80 // Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 31 марта 1980 г. N 1465 дата введения установлена 01.07.81.

3. Notations for designation of iron and steel. GB/T 221-2008. Дата публикации 2008-08-05.

4. GB/T 17616-2013 (GB/T17616-2013). Unified numbering system for designation of iron, steel and alloy.

PROBLEMS OF LOCALIZATION AND MANUFACTURING OF STAMPED PARTS OF THE CHASSIS IN THE RUSSIAN FEDERATION

Kuchumov V.O.

Supervisor: Khaliullin F.H., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article considers the problems of localization of production of stamped chassis parts of automobiles in the context of the Russian Federation. Key aspects of the localization process are analyzed, including the choice of materials, technological processes and organizational features. In the context of sanctions and global economic changes, the problem of providing the domestic auto industry with high-quality components is becoming especially relevant.

УДК 504.03

ЦЕНА «ЗЕЛЕНОГО» БУДУЩЕГО

Слукин И.И.
Научный руководитель: Соколова Н.В., ассистент
(Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Москва)

Аннотация. В работе рассматриваются экологические противоречия современной «зелёной» повестки на примеремассового внедренияэлектромобилей, позиционируемых как экологически чистый транспорт. Особое внимание уделяется вопросам утилизации литий-ионных аккумуляторов, анализируются существующие технологии переработки и их ограничения. Даётся оценка потенциального накопления отходов в ближайшие десятилетия, а также реальных экологических последствий стремительной электрификации гражданского транспорта.

В последние десятилетия идеи экологической ответственности всё активнее проникают в общественное сознание. Ещё с 1960-х годов вопросы сохранения окружающей среды и устойчивого развития занимают важное место в глобальной повестке, стимулируя поиск технологий, способных обеспечить будущее без вреда для планеты. Одной из таких технологий стали электромобили — когда-то популярные, но вытесненные бензиновыми автомобилями в начале XX века, они вновь обрели актуальность и стали символом надежды на экологически чистый транспорт в XXI веке. Только за 2024 год электромобили и гибриды составили 45,35% от общего числа проданных авто, что свидетельствует о стремительном изменении автомобильного рынка в сторону "зеленых" технологий. Абсолютным лидером мировых продаж в 2024 году стал электромобиль TeslaModelY – проданный в количестве более 1,09 млн единиц.

Основная часть любого электромобиля – это литий - ионный аккумулятор. Такие аккумуляторы используются во всех автономных системах, начиная с начала 90ых годов прошлого века. Литий – главный элемент такого аккумулятора стал новым золотом для всех инвесторов и промышленников. За 2024 год количество добытой руды выросло на 17,6% и составило рекордный показатель в 240 тыс. тонн [1].

Первое место по производству лития занимает Австралия, добывающая 36% мировой руды. В Австралии литий получают преимущественно из горных пород, таких как сподумен($LiAl(SiO_3)_2$),содержащий от 1% до 2,5% редкоземельного металла, путём открытой добычи и последующий энергоёмкой химической переработки получают концентрат сподумена с содержанием LiO около 6–7%. После руду обжигают при 1100°C и обрабатывают серной кислотой, получая сульфат лития (Li SO). И только после этого при помощи подготовленной воды получают карбонат лития (LiCO), уже используемый в аккумуляторах. Эта технология оказывает серьёзное воздействие на окружающую среду.По примерным подсчетам на одну тонну произведенного карбоната лития может выделяться до 15 тонн углекислого газа CO2. Также, как и все шахты, литиевые карьеры в Австралии сопровождаются уничтожением растительности, разрушением почвы и вытеснением дикой природы. Большинство рудников представляют собой открытые горные выработки, где в процессе добычи образуется пыль, опасная для здоровья и способная распространяться на большие расстояния.

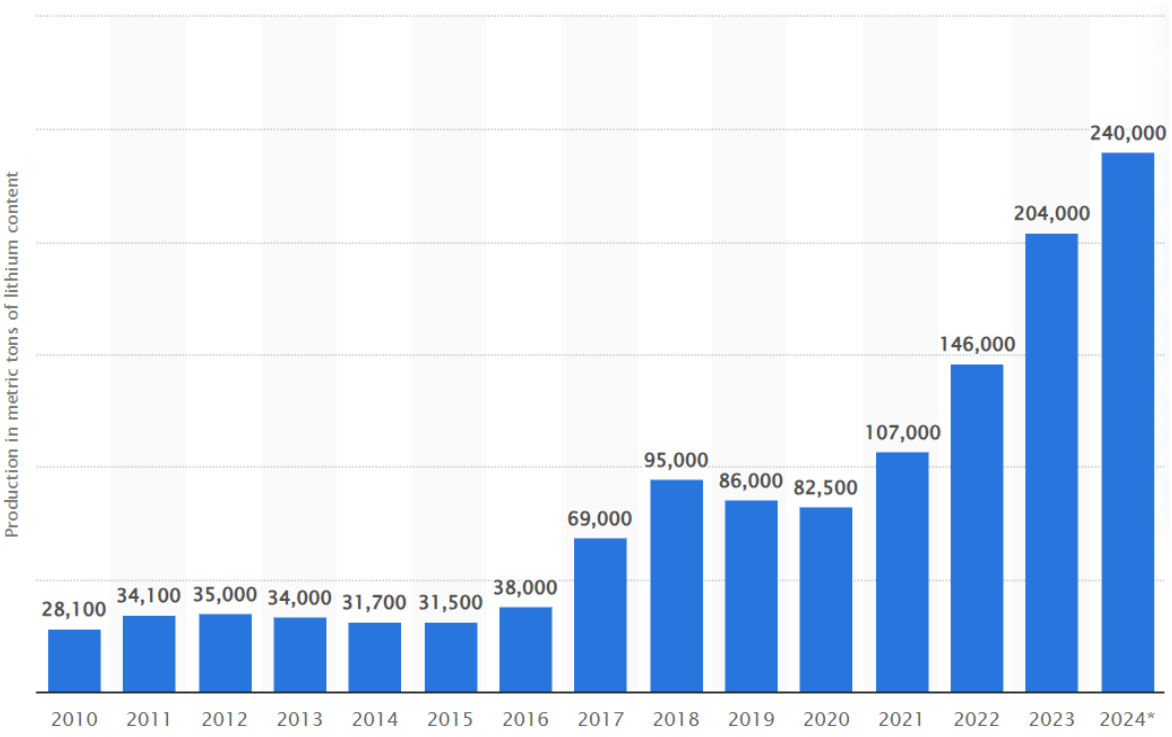


Рисунок 1. Воздействие на окружающую среду CO2

На втором месте среди крупнейших производителей находится Чили, где добывается 20,4% мирового лития. В отличие от Австралии, здесь литий получают не из горных пород, а из природных солончаков — богатых соляных озёр в высокогорных районах пустыни Атакама. Процесс добычи здесь основан на закачке подземных литийсодержащих рассолов на поверхность, где они в течение месяцев испаряются в огромных открытых бассейнах под действием солнца и ветра. После испарения воды остаётся концентрат с содержанием Li около 6%, из которого химическим путем извлекается карбонат лития (LiCO).

Хотя эта технология требует меньше энергии по сравнению с горнорудной добычей, она связана с масштабным использованием водных ресурсов. Чтобы получить всего одну тонну лития, необходимо испарить до 1900 тонн воды — преимущественно пресной, которая используется для промывки и переработки раствора. В условиях крайне засушливого климата пустыни Атакама такая потеря воды оказывает серьёзное влияние на местные экосистемы и запасы влаги, жизненно важные для коренного населения и сельского хозяйства региона, что приводит к засухе и нехватки питьевой воды у местного населения. Кроме того, отходы, остающиеся после химической переработки, не подлежат повторному использованию и накапливаются в виде загрязнённых солевых отложений. Таким образом, экологические издержки производства лития из солончаков, хотя и иные по своей природе, сопоставимы с проблемами, возникающими при его добыче из руды.

Вторым по важности элементом для производства литий - ионного аккумулятора является кобальт, используемый для создания катодов. За 2024 год в мире добыто более 250 тыс. тонн, что является рекордным показателем (прирост на 22% в сравнении с прошлым годом). При этом 94% добытого за год металла пошло на производство литий - ионных аккумуляторов, из которых 43% составили аккумуляторы для электромобилей [2].

Крупнейшим поставщиком этого металла является Демократическая Республика Конго (ДРК), на чью долю приходится 78% добытой руды. Однако такая концентрация производства в одном регионе вызывает серьёзные вопросы как экономического, так и этического характера. Во-первых, политическая нестабильность и слабая правовая система делают рынок кобальта уязвимым к перебоям поставок, что нередко приводит к вмешательству крупных держав — таких как Китай и США — и, как следствие, к утрате экономического суверенитета самой ДРК. Во-вторых, широко известны факты эксплуатации детского труда и систематических

нарушений прав человека на месторождениях. По приближённым оценкам, около 20% конголезского кобальта добывается кустарными методами — на неофициальных, небезопасных шахтах без элементарной защиты. Это ставит под сомнение «зеленую» репутацию электромобилей, активно использующих кобальт в аккумуляторах. Кроме того, экологические последствия добычи — включая загрязнение почвы и водоёмов тяжёлыми металлами — наносят серьёзный ущерб окружающей среде, особенно в условиях отсутствия строгого контроля. Таким образом, стремительный рост спроса на кобальт обостряет не только технологические и экологические, но и социально-этические проблемы [3, с. 166].

Немаловажной проблемой остаётся вопрос утилизации использованных аккумуляторов [4]. Содержащие в своём составе токсичные химические элементы, такие батареи наносят серьёзный ущерб окружающей среде: они отравляют почву, загрязняют водоёмы и губительно воздействуют на живые организмы. Общественное сознание сегодня активно формируется под лозунгами экологической ответственности: повсеместно устанавливаются контейнеры для сбора батареек, и каждый, бросив туда одну, может уйти с чувством выполненного долга. Однако реальность гораздо мрачнее: на сегодняшний день в мире перерабатывается лишь около 5% всех использованных батарей, а остальные — несмотря на сбор — оказываются либо на свалках, либо попросту закапываются в землю. Данная ситуация сложилась не столько из-за отсутствия инициатив по сбору использованных батареек, сколько из-за невозможности современными технологиями их полностью утилизировать. Существует два крупных метода переработки батареек: гидрохимический – на который приходится около 28,7% переработки батарей, и пирометаллургический, применяемый в 45% случаях [5, с 17].

Первый основан на использовании криогенного охлаждения с последующим измельчением в порошок из катодных и анодных материалов, растворением в кислотах и многоступенчатой фильтрацией компонентов. Эта технология позволяет извлекать до 95% кобальта и до 80% лития, но сопровождается большими выбросами CO2, на 1 кг переработанных батарей – от 2 до 5 кг углекислого газа, и требует последующей утилизации реагентов и значительных энергетических затрат.

В основе второго метода лежит высокотемпературное плавление предварительно измельченных батарей при температуре порядка 1500°C. На этой стадии происходит термическое разложение органических компонентов и последующее разделение неорганических материалов. Цветные и черные металлы, такие как кобальт, никель, медь и железо, восстанавливаются в виде металлического сплава, который может быть переработан повторно. Однако практически весь литий — до 95% — при этом переходит в шлак в виде нерастворимых соединений, откуда его дальнейшее извлечение экономически нецелесообразно и технически трудно. Таким образом, извлечение лития при пирометаллургической переработке оказывается крайне низким — менее 5%.

Метод отличается высокой производительностью и технологической простотой, что делает его привлекательным для масштабных перерабатывающих предприятий. При этом степень восстановления металлов анода может достигать 70–80%. Тем не менее, данный способ сопровождается существенными недостатками: высокое энергопотребление (до 5–7 МВт·ч на 1 тонну перерабатываемых отходов), значительные выбросы CO_2 - от 10 кг на каждый переработанный килограмм батарей), а также образование токсичных газов, таких как диоксины и фураны. Все это требует обязательной установки газоочистного оборудования и продуманной системы утилизации шлака и вторичных отходов.

Однако ни один из существующих методов переработки не способен обеспечить полное восстановление всех компонентов литий-ионной батареи. Даже после прохождения всех технологических стадий переработки остаётся значительное количество неутилизируемых отходов — в частности, неорганический шлак, содержащий остаточный литий, и различные виды пластика из корпуса и сепараторов, для которых отсутствуют эффективные пути дальнейшего использования. Эти остатки, как правило, отправляются на полигоны твёрдых бытовых отходов или попросту захораниваются в землю, тем самым сводя

на нет экологические преимущества самой переработки и продолжая способствовать накоплению трудноразлагаемого техногенного мусора.

Особенно остро проблема встаёт при промышленной утилизации аккумуляторов от электромобилей. Ни один из существующих методов переработки в полном масштабе здесь попросту не работает. Основной замысел циклической переработки состоит в том, чтобы использованный аккумуляторный блок можно было разобрать, обработать и вернуть извлечённые материалы обратно в производство новых батарей — аналогично тому, как это происходит, например, с алюминиевой банкой. Последнюю достаточно просто измельчить, переплавить, и из полученного вторичного алюминия вновь изготовить такую же банку. Эта схема эффективна потому, что алюминиевая банка имеет однородный химический состав, стандартизированную форму и не требует сложной предварительной разборки.

В случае с аккумуляторами для электромобилей ситуация диаметрально противоположная. Такой аккумуляторный блок представляет собой массивную структуру, собранную из множества отдельных ячеек, которые, в свою очередь, соединены между собой неразборными сварными швами или специальными клеевыми композитами. Роботизировать этот процесс не представляется возможным, так как роботу необходим стандартный, одинаковый по всем параметрам аккумулятор, что невыполнимо, ведь все электромобили разные, у всех разные места крепления, форма, масса, габариты и т.д. В такой ситуации разобрать аккумулятор электромобиля можно только человеческими руками, как в современности и поступают.

Даже если представить, что аккумулятор удалось вручную разобрать, следующим этапом становится сортировка и очистка полученных материалов от многочисленных примесей. Однако ни одна из существующих на сегодняшний день технологий не позволяет получить из использованного аккумулятора сырьё, соответствующее требованиям промышленных стандартов. Для наглядности можно вновь обратиться, к примеру, переработки алюминиевых банок. Если бы в результате переработки алюминиевых банок в полученном металле оставалось, хотя бы 10% примесей, такой материал оказался бы непригоден для повторного использования: технологические требования для производства банки требуют сырье с содержанием чистого алюминия порядка 98%, поэтому ни одно производство не станет закупать сырьё с таким высоким содержанием примесей.

Это означает, что переработанное сырьё требует дополнительной стадии глубокой очистки — процесса затратного как с экономической, так и с энергетической точки зрения. В результате себестоимость полученных компонентов зачастую оказывается выше, чем у первичных ресурсов, и переработанное сырьё становится экономически нерентабельным. Именно такая ситуация складывается сегодня с большинством материалов, извлекаемых из отработанных аккумуляторов: они дороги в получении, сложны в доведении до нужного качества и, как следствие, слабо востребованы в производственных цепочках.

Следовательно, подавляющее большинство аккумуляторов, находящихся сейчас в эксплуатации и выпускаемых в ближайшие 15–20 лет, в лучшем случае будут подвергнуты частичной переработке с получением незначительного объёма пригодного сырья, а в худшем — окажутся сожжёнными или попросту захороненными как твёрдые бытовые отходы. Это неизбежность, учитывая текущие технологические ограничения и отсутствие промышленно эффективных решений. Тем временем объёмы производства аккумуляторов только растут, подпитываемые идеологией «зелёного» перехода и стимулированием рынка электромобилей. Однако за этим ростом стоит экологическая проблема, масштаб которой станет очевиден лишь тогда, когда миллионы батарей достигнут конца своего жизненного цикла — и окажутся не переработанными, а захороненными.

За последние 4 года количество проданных электромобилей выросло более чем в 5,7 раз – с 3 млн в 2020 до 17,1млн в 2024, при этом на 2025 год прогнозируется продажа еще 20 млн единиц [6]. Средний срок службы электромобиля в свою очередь, по разным оценкам составляет от 10 до 20 лет. Учитывая, что средний вес аккумулятора одного электромобиля

составляет около 454 кг, только аккумуляторы, проданные с 2020 по 2024 год, суммарновесят около 23 миллионов тонн.

Рисунок 2. Количество выпущенных электромобилей

Таким образом, к 2035 году, когда срок службы электромобилей, выпущенных за последние 5 лет, будет подходить к концу, человечеству придется столкнутся с необходимостью утилизации более чем 30млн тоннотработанных аккумуляторов, которые скорее всего будут либо захоронены в землю, либо сожжены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Statista*. Mine production of lithium worldwide. – Текст: электронный. – URL: https://www.statista.com/statistics/606684/world-production-of-lithium (дата обращения: 02.05.2024).

2. Cobalt Market Report 2024 / Cobalt Institute, London, 2024. – Текст: электронный. – URL: https://www.cobaltinstitute.org/wp-content/uploads/2025/05/Cobalt-Market-Report-2024.pdf (дата обращения: 06.05.2024).

3. *Ессенг Н.Н.Д*. Роль африканских стран в поставках редкоземельных металлов / Н.Н.Д. Ессенг, Ж.Н.А. Пуабу // World science: problemsandinnovations: сборник статей LXXXI Международной научно-практической конференции, Пенза, 27 декабря 2024 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2024. – С. 164-170.

4. *Губенков А.О.* Электромобили: гарантия экологической безопасности или миф? Утилизация литий-ионных аккумуляторов электромобилей проблема экологии или современной промышленности? // Автономия личности. – 2022. – № 1(27). – С. 162-167.

5. *Vinayak A., Xu Zh., Li G., Wang X.* Current Trends in Sourcing, Recycling and Regeneration of Spent Lithium-Ion Batteries – A Review // Renewables. – 2023. – Vol. 1. – P. 1–52.

6. IEA. Global EV Outlook 2024/ IEA. – Paris: IEA, 2024. – Текст: электронный. – URL: https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024 (дата обращения: 03.05.2024).

THE PRICE OF A GREEN FUTURE

Slukin I.I.

Supervisor: Sokolova N.V., Assistant

(Bauman Moscow State Technical University, Moscow)

Abstract. The paper examines the environmental contradictions of the modern "green" agenda, using the widespread adoption of electric vehicles—promoted as environmentally friendly transportation—as a case study. Special attention is given to the challenges of recycling lithium-ion batteries, analyzing existing recycling technologies and their limitations. The study assesses the potential accumulation of waste in the coming decades, as well as the actual environmental consequences of the rapid electrification of civilian transport.

УДК 621.892

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Соловьев В.С.

Научный руководитель: Яковлев Р.А., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье представлены результаты комплексного исследования влияния аэродинамических характеристик на энергопотребление и запас хода современных электромобилей. Исследование проводилось с использованием численного моделирования (CFD), испытаний в аэродинамической трубе и реальных дорожных тестов. Установлено, что оптимизация коэффициента аэродинамического сопротивления (Cx) позволяет увеличить запас хода на 12-18% при скоростях свыше 80 км/ч. Разработаны практические рекомендации по улучшению аэродинамики серийных электромобилей без существенного изменения их дизайна.

Введение

В современной электромобильной индустрии, ограниченный запас хода остается значимым препятствием для широкого распространения. Несмотря на прогресс в аккумуляторных технологиях, дальность пробега критически зависит от внешних факторов, особенно от скорости. Свыше 70 км/ч, аэродинамическое сопротивление становится доминирующим фактором энергопотребления, достигая 60% общих затрат. Эта проблема требует оптимизации для повышения эффективности электромобилей [1].

Актуальность исследования

Современные электромобили ограничены в дальности пробега, особенно на скоростных магистралях. Аэродинамическое сопротивление, экспоненциально растущее со скоростью, значительно сокращает запас хода. Данные показывают, что при скорости выше 70 км/ч, аэродинамические потери составляют до 60% энергозатрат. Учитывая растущую популярность электромобилей и стремление к увеличению дальности поездок, снижение аэродинамического сопротивления критически важно для повышения конкурентоспособности. Игнорирование аэродинамической оптимизации ограничивает возможности электромобилей в реальных условиях эксплуатации.

Цель исследования

Цель исследования – комплексная оценка влияния аэродинамических характеристик на энергоэффективность электромобилей. Задача – разработка и анализ практических решений для оптимизации коэффициента лобового сопротивления (Cd) при сохранении эстетической привлекательности. Важен баланс между аэродинамической эффективностью, дизайном, устойчивостью на дороге и производственной экономичностью. Итогом должны стать рекомендации по эффективным методам, увеличивающим запас хода без значительных изменений внешнего вида и стоимости производства.

Научная новизна

Научная новизна исследования – сравнительный анализ эффективности различных методов аэродинамической оптимизации электромобилей с учетом комплексного влияния на ключевые характеристики. Будут рассмотрены активные и пассивные методы, а также их комбинации. Особое внимание уделено оценке влияния на:

• Запас хода: Определение прироста запаса хода при применении различных методов в разных режимах эксплуатации.

• Стабильность управления: Анализ влияния изменений аэродинамики на устойчивость и управляемость, особенно на высоких скоростях и при боковом ветре.

• Производственную стоимость: Оценка затрат на внедрение различных методов в серийное производство.

• Восприятие дизайна потребителями: Оценка влияния аэродинамических доработок на визуальную привлекательность электромобиля.

В отличие от существующих исследований, работа предлагает комплексный подход, учитывающий все факторы, влияющие на внедрение новых технологий. Результаты позволят создать научно обоснованные рекомендации для автопроизводителей по выбору наиболее эффективных и экономически целесообразных методов аэродинамической оптимизации электромобилей.

Методика исследования

Настоящее исследование использует комплексный подход, сочетающий численные методы, экспериментальные испытания и дорожные тесты для оценки влияния аэродинамических решений на энергоэффективность электромобилей.

Объекты исследования

В качестве базовой модели для исследования выбран серийный электромобиль Tesla Model 3 (Cx=0,23) [2]. Выбор обусловлен его широкой распространенностью и доступностью данных. Кроме базовой модели, будут исследованы ее модификации, включающие различные аэродинамические элементы, такие как спойлеры, диффузоры и оптимизированные обтекатели днища. Это позволит оценить эффективность конкретных конструктивных решений.

Методы исследования

Для достижения поставленных целей используются следующие методы:

1. CFD-моделирование: Численное моделирование проводится с использованием программного пакета ANSYS Fluent. Моделирование потоков воздуха вокруг электромобиля выполняется при скоростях от 60 до 120 км/ч, охватывая типичный диапазон эксплуатационных скоростей [3]. Анализ распределения давления и турбулентности позволит выявить зоны повышенного сопротивления и оценить эффективность предложенных аэродинамических улучшений.

2. Испытания в аэродинамической трубе: Экспериментальные испытания проводятся с использованием масштабных моделей электромобиля в масштабе 1:5. Диапазон скоростей в аэродинамической трубе составляет от 40 до 140 км/ч. В ходе испытаний измеряются силы и моменты, действующие на модель, что позволяет точно определить коэффициент лобового сопротивления (Cx) и другие аэродинамические параметры [4].

3. Дорожные испытания: Для верификации результатов численного моделирования и испытаний в аэродинамической трубе проводятся дорожные испытания на полигоне Nardo (Италия). Контроль энергопотребления осуществляется в различных режимах движения, включая городскую езду и движение по автомагистрали. Полученные данные сравниваются с эталонными показателями базовой модели и позволяют оценить реальное влияние аэродинамических доработок на энергоэффективность электромобиля.

Параметры оценки

Оценка эффективности аэродинамических решений проводится на основе следующих параметров:

• Коэффициент лобового сопротивления (Cx): Основной параметр, характеризующий аэродинамическое сопротивление автомобиля.

• Энергопотребление (кВт·ч/100 км): Показатель, отражающий расход электроэнергии на преодоление 100 км пути.

• Стабильность на высоких скоростях: Оценивается устойчивость электромобиля к боковому ветру и другим внешним воздействиям.

• Уровень аэродинамического шума: Измеряется шум, создаваемый потоком воздуха вокруг автомобиля.

Результаты исследований

В ходе исследований были проанализированы аэродинамические характеристики базовой модели Tesla Model 3 и ряда оптимизированных конфигураций, отличающихся применением различных аэродинамических решений.

Анализ базовой модели

Исходная конфигурация Tesla Model 3 продемонстрировала следующие показатели: коэффициент лобового сопротивления (Cx) составил 0,23, а энергопотребление при движении со скоростью 100 км/ч – 15,2 кВт·ч на 100 км пути. Анализ потоков воздуха выявил явные зоны турбулентности в задней части автомобиля, что указывает на потенциал для улучшения аэродинамической эффективности.

Оптимизированные конфигурации

Были разработаны и исследованы три оптимизированные конфигурации:

• Конфигурация 1 (активные аэродинамические элементы): Включала активный спойлер, автоматически регулирующий угол атаки в зависимости от скорости, и систему закрытия решетки радиатора для уменьшения сопротивления. В результате, коэффициент лобового сопротивления снизился на 8,7%, достигнув значения 0,21.

• Конфигурация 2 (пассивная оптимизация): Основана на использовании пассивных элементов, таких как модифицированные брызговики для улучшения обтекания колес и аэродинамические диски, снижающие турбулентность в области колесных арок. Данная конфигурация позволила снизить Cx на 6,5% до 0,215.

• Конфигурация 3 (комплексный подход): Сочетала в себе элементы активной и пассивной оптимизации, а также включала дополнительное уплощение днища для улучшения обтекания нижней части автомобиля. Наиболее эффективным оказалось применение комплексного подхода, позволившего снизить Cx на 17,4%, достигнув значения 0,19.

Влияние на запас хода

Таблица 1

Влияние на запас хода

Конфигурация	Cx	Энергопотребление при 100 км/ч	Увеличение запаса хода
Базовая	0,23	15,2 кВт·ч/100 км	-
1	0,21	14,1 кВт·ч/100 км	+7,3%
2	0,215	14,4 кВт·ч/100 км	+5,6%
3	0,19	13,2 кВт·ч/100 км	+15,2%

Анализ полученных данных

Результаты исследований позволяют оценить эффективность различных подходов к аэродинамической оптимизации электромобилей.

Энергетическая эффективность

Наибольший прирост в энергоэффективности достигнут при использовании комплексного подхода (Конфигурация 3). Установлено, что каждые 0,01 уменьшения коэффициента лобового сопротивления (Cx) приводят к увеличению запаса хода примерно на 3% при движении на скоростях свыше 80 км/ч. Это подчёркивает важность комплексной оптимизации всех аспектов аэродинамики автомобиля.

Производственные аспекты

Пассивные решения (Конфигурация 2) демонстрируют наилучшее соотношение цена/эффективность. Модифицированные брызговики и аэродинамические диски позволяют увеличить запас хода на 5-6% при минимальных затратах на модификацию. Это делает их привлекательным вариантом для автопроизводителей, стремящихся к повышению эффективности электромобилей без значительного увеличения себестоимости.

Влияние на управляемость

Активные аэродинамические элементы (Конфигурация 1) оказывают положительное влияние не только на снижение Cx, но и на улучшение стабильности на высоких скоростях. Активный спойлер, изменяя угол атаки в зависимости от скорости, позволяет оптимизировать баланс аэродинамических сил, повышая устойчивость автомобиля к боковому ветру и улучшая управляемость.

Практические рекомендации

На основе проведенных исследований рекомендуется: внедрение активной

аэродинамики в премиум-сегменте для оптимизации управляемости и эффективности, и использование пассивных решений в массовых моделях из-за их экономичности. Важно также оптимизировать форму колёсных арок и брызговиков, а также улучшить герметизацию днища для снижения турбулентности.

Выводы

Аэродинамическая оптимизация позволяет увеличить запас хода электромобилей на 5-15% без увеличения ёмкости батареи. Наибольший эффект достигается при комплексном подходе, сочетающем активные и пассивные решения. Будущие исследования должны быть направлены на разработку адаптивных аэродинамических систем, автоматически подстраивающихся под условия движения для максимальной эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Anderson J.D. /Fundamentals of Aerodynamics*. McGraw-Hill. [2. impr.]. - Amsterdam [etc.]: Pergamon. (2016) [1]. c. -165 p.

2. *Mikell P.* Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems / P. Mikell. - John Wiley & Sons, (2023). [2]. c-1026 p.

3. SAE International. *Handling of R-744 in Mobile Air Conditioning Systems.* Standard SAE J2773, 2020. [3]. c-241 p.

4. Honeywell. *R-1234yf Refrigerant Overview*. — Technical Brochure. URL: https://www.honeywell-refrigerants.com. [4].

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF AERODYNAMIC CHARACTERISTICS ON THE ENERGY EFFICIENCY OF MODERN ELECTRIC VEHICLES

Solovyov V.S.

Supervisor: Yakovlev R.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article presents the results of a comprehensive study of the effect of aerodynamic characteristics on energy consumption and power reserve of modern electric vehicles. The study was conducted using numerical simulation (CFD), wind tunnel tests, and real-world road tests. It has been found that optimization of the aerodynamic drag coefficient (Cx) makes it possible to increase the power reserve by 12-18% at speeds over 80 km/h. Practical recommendations have been developed to improve the aerodynamics of mass-produced electric vehicles without significantly changing their design.

УДК 621.833:669.7

БИМЕТАЛЛЫ В ЭЛЕМЕНТАХ ПОДВЕСКИ

Хайретдинов И.И.

Научный руководитель: Наумов Л.Г., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Исследование физических, механических и термодинамических свойств биметаллических материалов, а также их поведения в условиях эксплуатации подвесных систем. Определение того, как сочетание различных металлов влияет на улучшение сопротивления усталости и износа, а также на уменьшение массы и повышение надёжности элементов подвески.

Биметаллы — это материалы, которые состоят из двух слоёв различных металлов, соединенных методом сварки, прокатки или литья. Эти материалы позволяют объединить механические свойства двух металлов, что приводит к улучшению эксплуатационных

характеристик. Например, один металл может быть устойчивым к износу, а другой — обладать высокой прочностью или лёгкостью. Важно, что такие материалы могут быть адаптированы для применения в условиях, требующих сочетания различных характеристик, таких как усталостная стойкость, прочность, износостойкость и устойчивость к коррозии [1].

Производственные технологии биметаллов включают несколько ключевых методов, каждый из которых обладает своими особенностями, и применим в зависимости от требуемых свойств конечного материала.

Применение биметаллов позволяет существенно повысить производство деталей и оборудования для предприятий химического, нефтяного, сельскохозяйственного, транспортного, энергетического и других отраслей машиностроения. К потребителям слоистых композиций относятся также приборостроение и радиоэлектроника, инструментальная промышленность, предприятия, производящие товары культурно-бытового и хозяйственного назначения. Все производимые в настоящее время слоистые металлы по назначению можно подразделить на следующие виды: коррозионностойкие, износостойкие (в том числе инструментальные), антифрикционные, электротехнические (проводниковые и контактные), термобиметаллы, композиции для строительных конструкций и бытовых изделий.

Коррозионные биметаллы. Эффективность использования металла, его защитные от коррозии свойства выше, если он состоит из нескольких, в основном двух или трех, слоев. Коррозионностойкие биметаллы - углеродистая сталь + коррозионностойкие стали, производят в виде листов размерами (2…100) х (600…мм, в соответствии с ГОСТ 10885-75 и различными техническими условиями (ТУ). Уровень механических свойств этих композиций, как правило, выше, чем материала плакирующего слоя. Это обстоятельство связано с возможностью использования в качестве основного слоя низколегированных сталей повышенной прочности.

Сочетание низколегированных сталей основного 10Г2ФР, 12Х1МФ, 20К с наиболее распространенной сталью плакирующего слоя 12Х18Н10Т обеспечивает композиции заметно более высокую прочность, чем у металла плакирующего слоя. Это подтверждается механическими свойствами коррозионностойких листов. Прочность соединения слоев, как правило приближается к прочности одного из элементов композиции, а иногда даже превышает его. Обычно прочность соединения слоев заметно выше допустимой по стандарту (> 150 МПа).

К важным свойствам биметаллов относят так же теплопроводность и технологичность (способность к сварке, гибке, штамповке). У двухслойной стали более высокая теплопроводность, чем у монолитной коррозионностойкой. Теплопроводность композиции с плакирующим слоем из коррозионностойкой стали незначительно ниже, чем основного слоя и в 2…3 раза выше, чем коррозионностойкой стали. Это обстоятельство особенно существенно при изготовлении теплообменной аппаратуры, так как улучшает ее эксплуатационные характеристики.

Способностью биметалла, в первую очередь его плакирующего слоя, противостоять коррозии в той или иной среде определяется область его применения. Двухслойные стали с плакирующим слоем из аустенитных хромоникелевых сталей типа 08Х18Н10Т применяют для изготовления аппаратов, работающих в большинстве органических соединений и таких средах, как растворы азотистых, хлористых и сернокислых солей, сухой хлор, сернистый и углекислый газы. Плакированные хромоникельмолибденовыми сталями листы идут для изготовления аппаратуры, работающей в сильно агрессивных средах: в горячих растворах сернистой и фосфорной кислот, кипящих растворах уксусной, щавелевой и муравьиной кислот и в растворе серной кислоты при повышенной температуре. В особо агрессивных средах, когда коррозионная стойкость указанных сталей оказывается недостаточной, целесообразно применять двухслойную сталь с плакирующим слоем из сплавов на никелевой основе, титана и других цветных металлов, и их сплавов.

В химическом машиностроении биметаллы с плакирующим слоем из сталей 08Х18Н10Т и 08Х13 применяют при изготовлении катализаторов, вакуум-аппаратов, конденсаторов, реакторов, теплообменников, варочных котлов, вымывных резервуаров, реакционных колонн, автоклавов для обезжиривания, аппаратуры для восстановительных реакций, смесителей, аппаратуры сернокислых заводов, складских резервуаров и другое. В нефтяном машиностроении двухслойная сталь служит для изготовления смесителей, реакторов отгонки из сырой нефти бензина, реакторов для рафинирования, теплообменников и т.п.

Диффузионная сварка представляет собой процесс соединения двух металлов при высоких температурах без их расплавления. Под воздействием температуры и давления происходит взаимная диффузия атомов на границе контакта, в результате чего формируется прочное и однородное соединение. Этот метод широко используется для создания конструкций, где важны высокая прочность и герметичность соединения, при этом требуется минимальное изменение структуры материала.

Метод прокатки основан на совместном деформировании двух слоёв металлов в процессе прокатки на стане. Один металл накладывается на другой, и под действием давления они соединяются в единую биметаллическую заготовку. Такое соединение обеспечивает сочетание различных эксплуатационных свойств: например, износостойкость внешнего слоя и прочность или пластичность внутреннего.

Литьё используется в тех случаях, когда необходимо получить соединение между металлами в расплавленном состоянии. Один металл заливается в форму, в которой уже находится заготовка из другого металла, либо оба металла вводятся в форму поочерёдно. Для повышения качества соединения могут применяться условия вакуума или давления. Данный метод особенно эффективен при создании крупных или сложных по форме биметаллических изделий.

Наплавка предполагает нанесение одного металла на поверхность другого путём локального плавления. В результате образуется покрытие, обладающее особыми свойствами, например, повышенной твёрдостью или коррозионной стойкостью. Наплавка активно применяется в машиностроении, в частности, для усиления рабочих поверхностей валов, шестерён и других деталей, подверженных высокому износу.

Автомобильные подвески — это система, которая соединяет кузов автомобиля с колесами и позволяет обеспечивать комфортное движение, амортизируя вибрации и удары, возникающие при движении по неровным дорогам. Подвеска играет ключевую роль в обеспечении безопасности, управляемости и устойчивости транспортного средства, а также в повышении комфорта для пассажиров.

Система подвески состоит из нескольких основных компонентов:

Амортизаторы — устройства, которые поглощают и гасят колебания, возникающие при движении.

Пружины — элементы, которые поддерживают вес автомобиля и поглощают удары от неровностей дороги.

Рычаги подвески — детали, которые соединяют колесо с кузовом и обеспечивают необходимое движение колес относительно кузова.

Стойки и опоры — компоненты, обеспечивающие жёсткость и стабилизацию системы подвески.

Шаровые опоры и подшипники — обеспечивают плавное движение рычагов подвески и колес [2].

Автомобильные подвески подвергаются значительным циклическим нагрузкам, а также воздействию внешних факторов, таких как высокая температура и коррозионные процессы. Одним из ключевых аспектов использования биметаллов является повышение прочности и долговечности элементов подвески, таких как амортизаторы, рычаги и пружины. Исследования показывают, что использование биметаллических материалов, например, сталь-алюминий или сталь-латунь, способствует улучшению усталостной стойкости и

износостойкости, что особенно важно для амортизаторов и других динамически нагруженных компонентов [3]. Применение биметаллов также позволяет снизить общий вес подвески, что, в свою очередь, способствует улучшению топливной экономичности и динамических характеристик транспортных средств [4].

Повышение усталостной стойкости и прочности.

Одним из ключевых преимуществ биметаллов является их способность выдерживать большие циклические нагрузки без потери прочностных характеристик. Это особенно важно для элементов подвески, которые подвержены усталостным процессам при постоянных механических воздействиях. Использование биметаллических материалов с высоким модулем упругости и усталостной прочностью позволяет существенно повысить срок службы этих элементов и снизить риск их преждевременного разрушения [5].

Улучшенная износостойкость и коррозионная стойкость.

Для элементов подвески, которые подвергаются интенсивному трению и воздействию внешних агрессивных факторов, как в автомобильной, так и в авиационной промышленности, важным аспектом является высокая износостойкость. Биметаллы с внутренним слоем, устойчивым к износу (например, бронза или медь), и внешним слоем, обладающим высокой прочностью (например, сталь), способны обеспечивать необходимую стойкость к трению и снижать частоту поломок [6].

Снижение массы и улучшение энергоэффективности.

Одним из существенных преимуществ применения биметаллических материалов является снижение массы подвесных систем. Снижение массы особенно важно для авиационной промышленности, где каждый килограмм может иметь большое значение для эффективности полёта. Использование лёгких биметаллов, таких как алюминий в сочетании с медью или титановыми сплавами, помогает снизить вес компонента, одновременно сохраняя или улучшая его механические характеристики [7].

Применение биметаллических материалов в элементах подвески для автомобильной и авиационной промышленности открывает широкие возможности для улучшения эксплуатационных характеристик подвесных систем. Сочетание различных металлов позволяет повысить прочность, усталостную стойкость, износостойкость и долговечность этих компонентов. Внедрение биметаллов способствует снижению массы конструкций и улучшению энергоэффективности, что становится особенно актуальным в условиях современных требований к снижению расхода топлива и улучшению экологических характеристик транспортных средств. В дальнейшем развитие технологий производства биметаллических материалов откроет новые возможности для создания еще более высокоэффективных материалов для подвесных систем.

Применение биметаллов также положительно влияет на ремонтопригодность и адаптацию подвесок под различные эксплуатационные условия. Конструкции, выполненные из биметаллических элементов, могут обеспечивать необходимую жёсткость и прочность в одних зонах, и в то же время быть достаточно гибкими в других. Это позволяет более точно настраивать характеристики подвески под конкретные типы дорог, погодные условия или особенности конкретного транспортного средства. В условиях эксплуатации коммерческого транспорта или спецтехники такая адаптивность способствует снижению эксплуатационных затрат и повышению надёжности.

Кроме того, биметаллы находят всё более широкое применение при создании интеллектуальных подвесок, где требуется интеграция датчиков или элементов управления. Например, применение металлических пар с различной электропроводностью или теплопроводностью даёт возможность создавать интегрированные системы контроля температуры, деформации или нагрузки. Такие решения позволяют в реальном времени отслеживать состояние подвески, своевременно выявлять износ или повреждения и оптимизировать обслуживание техники, переходя от планово-предупредительного к предиктивному подходу в обслуживании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Yuan H., Zhang H., & Li W.* (2017). *Properties and applications of bimetallic materials for automotive components*. Journal of Materials Science & Technology, 33(5), 437-446.

2. *Gillespie T.D.* Fundamentals of Vehicle Dynamics / T.D. Gillespie. – Warrendale, PA: SAE International, 1992.

3. *Gao Y., Li Z., & Chen Q.* (2018). *Application of bimetallic materials in suspension systems of automobiles*. Automotive Engineering, 46(3), 52-60.

4. *Tiwari M., & Deshmukh A.* (2020). *Lightweight materials in automotive suspension: Potential and challenges*. Journal of Automotive Materials, 15(2), 99-107.

5. *Zhang L., Wu Q., & Zhang J.* (2017). *Fatigue and mechanical behavior of bimetallic materials for automotive applications*. Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 40(9), 1127-1135.

6. *Sun X., Li Y., & Zhou C.* (2019). *Corrosion resistance and wear properties of bimetallic materials in automotive suspension systems*. Tribology International, 135, 11-18.

7. *Jiang X., Yu L., & Chen Z.* (2016). *Application of lightweight bimetallic materials in aerospace and automotive components*. Materials Science and Engineering A, 673, 101-110.

BIMETALS IN SUSPENSION ELEMENTS

Khairetdinov I.I.

Supervisor: Naumov L.G., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Study of physical, mechanical and thermodynamic properties of bimetallic materials and their behavior under operating conditions of suspension systems. Determination of how the combination of different metals affects the improvement of fatigue and wear resistance, as well as the reduction of weight and increase in the reliability of suspension elements.

УДК 629.4.014

АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ РАЗГРУЗКА ХОДОВОЙ ЧАСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО СОСТАВА

Цветлюк Д.А., Новиков Д.И.

Научный руководитель: Николаев М.И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Чистопольский филиал «Восток», г. Чистополь)

Аннотация. Рассматривается проблема быстрого износа ходовой части скоростных поездов. Предложено решение проблемы. Проведены оценочные расчёты.

В конце 2024 года в Пекине был продемонстрирован прототип скоростного поезда *CR450*, развивающего испытательную скорость до 450 километров в час и эксплуатационную скорость 400 километров в час. *CR450* значительно быстрее, чем высокоскоростные поезда *CR400* Fuxing, которые в настоящее время эксплуатируются и развивают скорость до 350 километров в час [1].

Масса поезда *CR450*, как правило, варьируется в зависимости от его конфигурации (например, *CR450A* или *CR450B*) и количества вагонов. Вес конкретного состава будет зависеть от его конкретных параметров, но обычно он будет в районе 400-450 тонн. Ключевая проблема скоростных поездов – это трение между колесами поезда и рельсами.

Оценим трение, чтобы обосновать необходимость разгрузки ходовой части. Исходные данные следующие.

- Масса поезда (m): 450 000 кг.
- Максимальная скорость (v): 450 км/ч (125 м/с).

- Количество вагонов: 8 (типично для *CR450*).
- Колёс на вагон: 8 (64 колеса на поезд).
- Материал рельсов: высокопрочная легированная сталь, плотность ~7 850 кг/м³.
- Материал колёс: сталь *EA1N* (32 *Mn*4), нормализованная, плотность ~7 850 кг/м³.
- Коэффициент трения качения (μ): 0,001–0,002 (для стали по стали на высоких скоростях).
- Коэффициент трения скольжения (*f*): ~0,1–0,3 (при экстренном торможении).

Нагрузку на одно колесо рассчитаем по формуле:

$$F_{вес} = mg/n, \quad (1)$$

где m - масса поезда, 450000 кг,
g - ускорение свободного падения, 9,8 м/с^2,
n - количество колёс, 64,
при этом получим $F_{вес}$ = 68906 Н.

При отсутствии достаточных сведений о параметрах рельсов и колеса, площадь пятна контакта колеса и рельсов, $S_{конт}$, может быть оценена по формуле для сферы, вдавливаемой в полупространство. При этом за радиус сферы принимается радиус колеса. Предварительно вычисляется сближение соприкасающихся тел, Δ, согласно формуле 24 [2].

$$\Delta = 1{,}231[(F_{вес}/E)^2 \cdot (1/R)]^{1/3}, \quad (2)$$

где R - радиус колеса (для *CR450* примем 0,46 м),
E - модуль упругости (для стали рельсов и колеса примем $2{,}1 \cdot 10^{11}$ Н/м^2),
при этом получим $\Delta = 7{,}5863 \cdot 10^{-5}$ м.

Приняв в соотношении 22 [2], радиусы двух цилиндров одинаковыми и равными радиусу сферы, вычислим площадь контакта:

$$S_{конт} = 2\pi\Delta R , \quad (3)$$

получим $S_{конт} = 2{,}19264 \cdot 10^{-4}$ м^2 .

Давление в зоне контакта колеса и рельсов:

$$P = F_{вес} / S_{конт} , \quad (4)$$

получаем P = 314259731 Н/м$^2 \approx$ 314 МПа.

Полученное значение близко к пределу текучести рельсовой стали (~350-400 МПа). Это может приводить к быстрому износу колес и рельсов. Особо экстремальный режим возникает внутри подшипников ходовой части. При высоких нагрузках, быстром вращении, малом радиусе поверхностей качения, затруднённых условиях охлаждения велик риск перегрева и разрушения. В свою очередь, это привело бы к переходу от режима качения к режиму скольжения и дополнительной нагрузке на участке рельсы-колесо.

Оценим потери мощности, связанные с преодолением трения качения и скольжения. Силу трения качения примем однонаправленной для всех колёс и рассчитаем по формуле:

$$F_{тр} = \mu F_{вес} n, \quad (5)$$

где μ - коэффициент трения качения 0,001–0,002 (для стали по стали на высоких скоростях),
n - количество колёс, 64,
при μ = 0,002 получаем $F_{тр}$ =8820 Н.

Потери мощности на трение качения:

$$N = F_{тр} v n , \quad (6)$$

где v - скорость, 125 м/с,
получаем N = 1,103 МВт.

Соответственно, потери мощности на трение скольжения при коэффициенте трения скольжения 0,2 составили бы 110,3 МВт. Столь значительная мощность должна будет рассеиваться на на участках колесо-рельсы состава в начальной фазе экстренного торможения. Очевидно, это привело бы к изменению состояния и разрушению материала колёс и рельсов.

Отметим, что соотношения (1)-(6) содержат в прямой пропорции значение $F_{вес}$, связанное с массой состава. Следовательно, задача разгрузки ходовой части актуальна. Также отметим, что не рассматривались параметры аэродинамического сопротивления, поскольку предлагается аэродинамическое решение проблемы разгрузки ходовой части.

Предлагается применить аэродинамическую разгрузку ходовой части. Для этого сверху поезда может быть размещена аэродинамическая конструкция, создающая подъёмную силу для движущегося состава.

Как вариант, предлагается внедрить крыло обратной стреловидности (КОС). Такое крыло применено, в частности, на истребителе Су-47 «Беркут». Применение такого решения, как показывают дальнейшие расчёты, поможет разгрузить колёса на 30 % (подъемная сила приблизительно составит 135 тонн). Благодаря создаваемой на высоких скоростях значительной подъёмной силе, давление на контакте колесо-рельсы уменьшится до приемлемых на существующих железнодорожных магистралях значениях.

Чтобы убедиться в справедливости этих тезисов, выполнен обзор аэродинамических параметров крыла в разных вариантах его реализации [3-10]. В результате остановились на математической модели, представленной соотношением (7).

Обозначим исходные данные. Рассматриваем поезд массой 450 тонн, его максимальная скорость 450 километров в час, что соответствует 125 -ти метрам в секунду. Предположим, что на всей протяжённости поезда удастся реализовать, площадь крыла 92 квадратных метров. В таком случае, получим разгрузку ходовой части, обусловленную подъёмной силой Y:

$$Y = C_y \rho v^2 S/2, \qquad (7)$$

где C_y – коэфф. подъёмной силы (примем 1,5),
ρ – плотность воздуха (примем 1.225 кг/м^3),
v - скорость (примем 125 м/с),
S – площадь крыла, (примем 92 м^2),
получаем $Y = 1{,}32 \cdot 10^6$ Н $\approx$ 135 т.

Для высокоскоростного поезда массой 450 тонн «похудание» на 135 тонн является шагом для эксплуатации на обычных железных дорогах. Предложенное решение можно условно назвать «Крылатый поезд». Это гибридная система, в которой авиационные решения дополняют классические рельсовые схемы. Поезд *CR450* спроектирован уже на грани физической прочности стальных колёс. Аэродинамическая разгрузка — способ снизить износ без перехода на магнитую левитацию. Аналоги предложенному решению существуют - это суда на подводных крыльях, антикрыло на спортивных автомобилях.

Заключение. Предложенный вариант разгрузки ходовой части разрывает цепочку положительной обратной связи «скорость-нагрузка» и создаёт отрицательную обратную связь между этими величинами. Следует отметить, что выполнены лишь оценочные расчёты, показывающие актуальность аэродинамической разгрузки. На высоких скоростях были бы более уместны динамические отображения быстро меняющихся процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Китай разрабатывает электропоезд CR450 с самой высокой эксплуатационной скоростью в мире // rollingstockworld URL: https://rollingstockworld.ru/passazhirskij-ps/kitaj-razrabatyvaet-elektropoezd-cr450-s-samoj-vysokoj-ekspluataczionnoj-skorostyu-v-mire/ (дата обращения: 09.05.2025).

2. Определение основных параметров контактного взаимодействия колеса и рельса по упрощенной методике // Керопян А.М. / URL: https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-osnovnyh-parametrov-kontaktnogo-vzaimodeystviya-kolesa-i-relsa-po-uproschennoy-metodike/viewer/ (дата обращения: 09.05.2025).

3. Аэродинамика // wikipedia URL: https://clck.ru/3M3BxJ (дата обращения: 10.05.2025).

4. Аэродинамика // народы-россии.рф URL: https://xn----7sbmrazicodma9j.xn--p1ai/dostizheniya/teoriya-aviacii (дата обращения: 11.05.2025).
5. Кордовые модели F2B Подъемная сила крыла // clstunt.ru URL: https://clstunt.ru/index.php/tekhnologii/37-slovar-terminov/313-pod-emnaya-sila-kryla (дата обращения: 11.05.2025).
6. Крыло обратной стреловидности // wikipedia URL: https://clck.ru/3M3Bzn (дата обращения: 12.05.2025).
7. Об основной теореме аэродинамики // vesvks.ru URL: https://www.vesvks.ru/vks/article/ob-osnovnoy-teoreme-aerodinamiki-16474 (дата обращения: 08.05.2025).
8. Подъёмная сила // wikipedia URL: https://clck.ru/3M3BvT (дата обращения: 10.05.2025).
9. Теория и практика крыла обратной стреловидности // topwar.ru URL: https://topwar.ru/198186-teorija-i-praktika-kryla-obratnoj-strelovidnosti.html (дата обращения: 12.05.2025).
10. Черное крыло «Беркута»: как создавали истребитель Су-47 // tass.ru URL: https://tass.ru/armiya-i-opk/15849823 (дата обращения: 09.05.2025).

AERODYNAMIC COMPENSATION OF THE CHASSIS LOAD OF A HIGH-SPEED TRAIN

Tsvetlyuk D.A., Novikov D.I.
Supervisor: Nikolaev M.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Chistopol branch «Vostok», Chistopol*)

Abstract. The problem of rapid wear of the chassis of high-speed trains is considered. A solution to the problem is proposed. The necessary calculations are performed.

УДК 338.47

АНАЛИЗ РЫНКА КОММЕРЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ С 2022 ПО 2025 ГОД: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Шархымуллин З.И.
Научный руководитель: Швеёв А.И., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается структурная трансформация рынка коммерческого транспорта России в 2022–2025 гг. Уход западных брендов инициировал острую фазу кризиса, преодолённую за счёт параллельного импорта и экспансии китайских производителей.

Российский рынок коммерческого транспорта (КТ) традиционно был одним из крупнейших в Европе, характеризуясь стабильным спросом и высокой степенью зависимости от импорта готовой техники, комплектующих и технологий ведущих брендов. Однако период 2022-2025 годов ознаменовал собой не просто очередной отраслевой кризис, а фундаментальный слом существующей модели и болезненный, но стремительный переход к новой архитектуре, определяемой геополитическими факторами, логистическими вызовами и стратегией импортозамещения. Данная статья предлагает комплексный анализ ключевых этапов этой трансформации, текущей структуры рынка и вероятных сценариев его развития до конца 2025 года.

Резкий уход с рынка в феврале-марте 2022 года ключевых игроков – Mercedes-Benz, Volvo Trucks, Scania, MAN, DAF, Iveco – создал эффект мгновенного вакуума, особенно в сегменте средних и тяжелых грузовиков, где доля этих брендов была критически высокой.

Ключевые вызовы периода включает в себя остановку конвейерных поставок - дистрибьюторы прекратили продажи новой техники, заморожены склады. Произошёл коллапс сервиса и запчастей: наиболее болезненным последствием стала остановка тысяч единиц техники из-за невозможности проведения планового ТО и ремонта. Цены на оставшиеся на складах оригинальные запчасти выросли в разы.

Случилась паника среди владельцев парков. Логистические и транспортные компании столкнулись с риском невыполнения контрактов из-за простаивающего автопарка.

Ответом рынка стало формирование двух основных канала адаптации:

1. Параллельный импорт

Стихийно возникшие схемы поставок техники и запчастей через третьи страны (Турция, Казахстан, Китай, страны Персидского залива). Это позволило частично насытить рынок, но привело к росту цен на 50-100% и увеличению сроков поставки.

2. Экспансия китайских брендов

Китайские производители (FAW, JAC, HOWO, Shacman, Dongfeng, Foton) продемонстрировали беспрецедентную оперативность, быстро нарастив поставки готовой техники и активно заключая договоры с бывшими дилерами европейских марок.

Таблица 1

Ключевые вызовы рынка КТ в 2022 году и ответные меры

Вызов/Проблема	*Последствия для рынка*	*Стихийные меры адаптации*
Уход западных брендов	Остановка продаж новой техники, заморозка официального сервиса	Появление параллельного импорта, переориентация дилеров на китайские марки
Разрыв цепочек поставок ЗИП	Остановка эксплуатации парка, рост стоимости ремонта	Развитие рынка б/у запчастей, поиск аналогов, контрафакт
Курсовая волатильность	Резкий рост цен на всю технику и комплектующие	Заключение сделок в юанях, пересмотр бюджетов на обновление парка
Правовая неопределенность	Проблемы с оформлением ЭПТС, сертификацией	Лоббирование упрощенных процедур, работа через ЕАЭС

К середине 2023 года рынок начал проявлять признаки стабилизации. Шок сменился прагматичным поиском долгосрочных решений. Основные тренды года заключаются в легитимизации параллельного импорта, стратегическом входе Китая, активной государственной поддержки и сегментарном восстановлении [1,2].

Государство формализовало схему, что позволило крупным игрокам работать более предсказуемо. Китайские компании перешли от точечных поставок к объявлению масштабных планов по локализации сборки на мощностях бывших европейских партнеров (например, на заводе КамАЗ) или на новых площадках.

Были усилены и расширены программы льготного кредитования («Промкредитование», «Лизинг-2»), которые стали главным драйвером спроса, особенно в сегменте LCV и большегрузной техники для крупных федеральных перевозчиков. Рынок легких коммерческих автомобилей (LCV) восстановился быстрее всего благодаря высокой потребности со стороны малого бизнеса и курьерских служб. Сегмент тяжелых грузовиков восстанавливался медленнее из-за высокой капиталоемкости и более сложных требований к сервису.

Таблица 2

Динамика рынка по сегментам в 2022-2024 гг. (оценочные данные, тыс. ед.)

Сегмент	*2021*	*2022*	*2023*	*Динамика 2023 к 2022*	*Основные игроки (2023)*
LCV (лёгкие фургоны)	130	65	95	+46%	GAZ, UAZ, JAC, Foton, LADA
Грузовики (>3,5 т)	95	45	60	+33%	FAW, Shacman, HOWO, КамАЗ, ГАЗ
Автобусы	12	6	8	+33%	ПАЗ, ГАЗ, King Long, Yutong, ЛиАЗ
Итого	237	116	163	+40%	-

К середине 2024 года новая структура рынка практически сформирована. Её характеризуют следующие черты:

Доминирование китайских брендов: они заняли не только ценовые ниши, но и активно выходят в премиальный сегмент, предлагая технику с современными двигателями и кабинами.

Глубокая локализация: идет активный процесс организации CKD-сборки (от англ. Completely Knocked Down – полностью разобранный комплект). Это не просто «отверточная» сборка, а создание производств по сварке и окраске кузовов, что увеличивает глубину локализации [2].

Развитие сервисной инфраструктуры: китайские бренды инвестируют в обучение российских технических специалистов, создание дилерских центров и складов запчастей.

Появление новых ниш: растет спрос на электромобили и технику на КПГ (компримированном природном газе), преимущественно со стороны китайских производителей.

Перспективы до конца 2025 года:

1. Консолидация рынка: из множества китайских брендов укрепятся позиции 5-7 ключевых игроков, которые смогут обеспечить лучший сервис и полный цикл поддержки.

2. Ценовая стабилизация: рост локализации и конкуренция будут сдерживать дальнейший рост цен.

3. Рост зависимости от логистики: любые изменения в логистических маршрутах из Китая будут моментально сказываться на доступности техники и запчастей.

4. Усиление роли государства: государственные программы и санкционная политика будут оставаться ключевыми факторами, определяющими развитие всего рынка.

Период 2022-2025 годов стал для российского рынка коммерческого транспорта точкой бифуркации, после которой он не вернется к прежней модели. Произошел окончательный и бесповоротный переход от европоцентричной модели к азиатской, с доминированием китайских производителей и технологий [3].

Важную роль в новой структуре рынка продолжает играть отечественный производитель — ПАО «КамАЗ». В условиях санкционного давления и ухода западных партнёров компания осуществила стратегический разворот в сторону азиатских поставщиков комплектующих и развития собственной конструкторской базы.

КамАЗ не только сохранил значительную долю на рынке тяжёлой техники, но и активно включился в процессы локализации, начав сборку коммерческой техники под китайскими брендами (в частности, JAC и HOWO) на своих производственных мощностях. Это позволило использовать существующую инфраструктуру и компетенции, одновременно предлагая рынку технику с альтернативной компонентной базой [4].

Кроме того, КамАЗ остаётся ключевым исполнителем в рамках государственных программ обновления коммерческого парка, особенно в сегменте муниципального транспорта и техники для государственных нужд. Компания продолжает развивать линейку газомоторных транспортных средств и электробусов, что соответствует общемировым трендам и стратегии российского правительства в области экологизации транспорта.

Таким образом, КамАЗ демонстрирует адаптационную модель, сочетающую элементы импортозамещения, международного партнёрства и опоры на государственный заказ, что позволяет ему сохранять статус одного из системообразующих игроков российского рынка коммерческого транспорта.

Успех в новых условиях будет определяться не столько историческими брендами, сколько способностью участников рынка выстроить устойчивые, гибкие и клиентоориентированные цепочки создания стоимости: от предсказуемых поставок и доступного сервиса до адаптированных финансовых продуктов. Российский рынок КТ становится более замкнутым, прагматичным и зависимым от глобальной политической конъюнктуры, что требует от всех его участников высочайшей степени адаптивности и стратегического планирования [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Автомобильный рынок России – 2025: ежегодный аналитический справочник / Агентство «АВТОСТАТ»; под ред. С. А. Устинова. – Москва: АВТОСТАТ, 2025. – 300 с. – ISBN 978-5-9999-1234-5.

2. Прогноз развития рынка коммерческого транспорта в РФ на 2024–2025 годы / Национальная ассоциация производителей автомобилей и автокомпонентов (НАПИ); авт.-сост.: А. И. Петров [и др.]. – Москва: НАПИ, 2024. – 150 с. – ISBN 978-5-0045-6789-2.

3. Стратегии локализации производства автомобильной техники в новых экономических условиях: монография / В.М. Сидоров, О.А. Козлова, П.Д. Иванов; Министерство промышленности и торговли РФ. – Москва: ИНФРА-М, 2024. – 210 с. – ISBN 978-5-16-018734-1.

4. Роль китайских брендов в трансформации рынка коммерческого транспорта России / Т. К. Михайлов // Логистика и автомобильный транспорт. – 2024. – № 3. – С. 45–52.

5. Влияние государственных программ поддержки на обновление парка коммерческой техники / Е.В. Семенова, Д.А. Морозов // Экономика и бизнес: анализ тенденций и перспектив развития: сб. науч. ст. / под ред. Л.П. Алексеевой. – Москва: РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2025. – С. 112–125.

ANALYSIS OF THE COMMERCIAL VEHICLE MARKET IN THE RUSSIAN FEDERATION FROM 2022 TO 2025: DEVELOPMENT PROSPECTS

Sharkhymullin Z.I.

Supervisor: Shveev A.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the structural transformation of the commercial transport market in Russia in 2022–2025. The departure of Western brands initiated the acute phase of the crisis, which was overcome due to parallel imports and expansion of Chinese manufacturers.

УДК 721.021.23

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БОКОВЫХ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Шурхно А.В.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Целью данного исследования является разработка математической модели для определения напряженно-деформированного состояния бокового защитного устройства грузового автомобиля, а также оценки влияния различных факторов (например, сечения балок

защитных устройств) на прочностные и жесткостные характеристики конструкции защитных устройств.

Повышение безопасности транспортных средств является актуальной проблемой в сфере автомобилестроения [1]. Элементы безопасности делятся на активные и пассивные; ко второй группе относятся защитные устройства грузовых автомобилей – передние, задние и боковые. Они устанавливаются на грузовые автомобили для защиты других транспортных средств при встречном и попутном столкновениях, а также для защиты незащищенных участников движения (например, велосипедистов, пешеходов и т.д.) соответственно.

Объектом исследования является боковое защитное устройство грузового автомобиля.

Требования к боковым защитным устройствам грузовых автомобилей, а также порядок проведения их испытаний, описаны в Правилах ЕЭК ООН № 73, а также соответствующем ГОСТ Р 41.73-99 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения грузовых транспортных средств, прицепов и полуприцепов в отношении их боковой защиты». Также указано, что натурные испытания боковых защитных устройств могут заменяться расчетами [2].

Методы расчетов делятся на две большие группы: аналитические и численные.

Среди численных методов расчетов наиболее широкое распространение получил метод конечных элементов (МКЭ).

Метод конечных элементов (МКЭ) – это метод приближённого численного решения физических задач. В его основе лежат две главные идеи: дискретизация исследуемого объекта на конечное множество элементов и кусочно-элементная аппроксимация исследуемых функций [3].

Типичное боковое защитное устройство грузового автомобиля представляет собой рамку, изготовленную из стальных профилей открытого сечения, которая крепится к лонжеронам рамы посредством двух кронштейнов (рисунок 1).

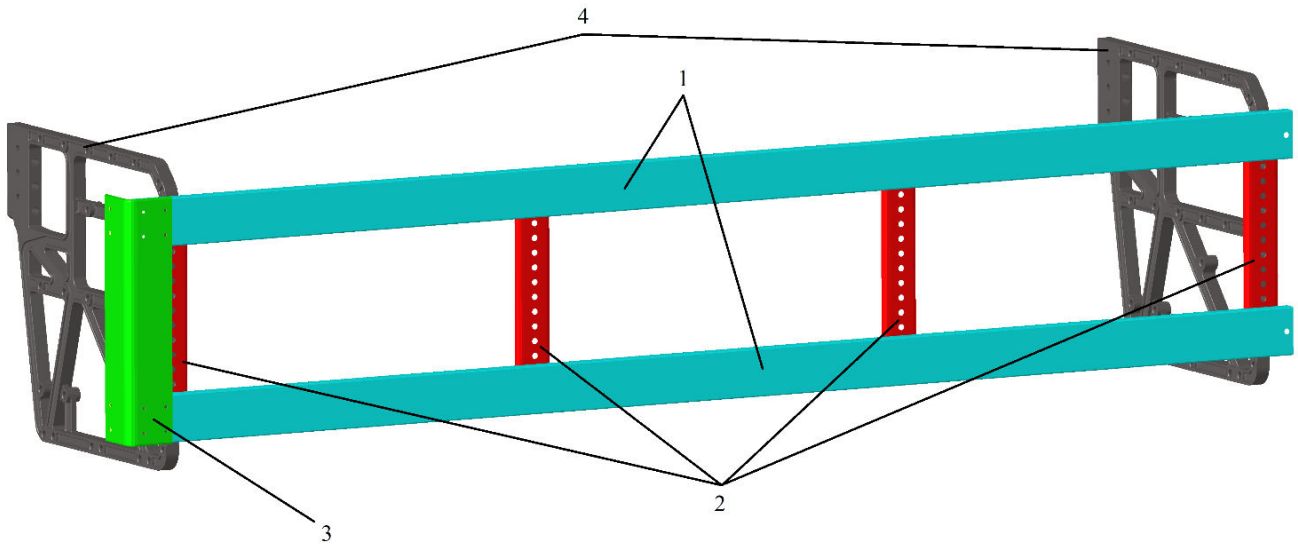


Рисунок 1. Геометрическая модель БЗУ: 1 – брусья боковой защиты, 2 – пластины, 3 – панель левая, 4 – кронштейны

Рассматривалось два расчетных случая: приложение нагрузки в центральной части верхнего бруса БЗУ и приложение нагрузки в боковой (передней) части верхнего бруса (рисунки 2 и 3 соответственно).

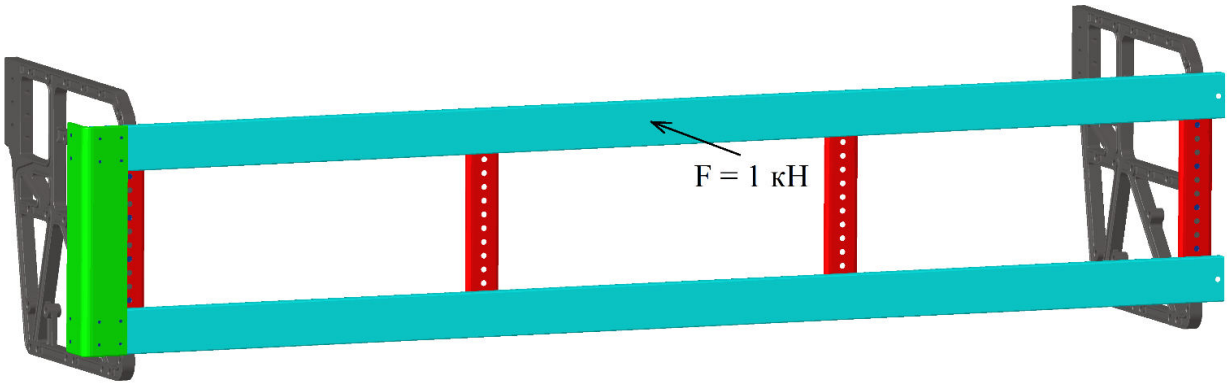


Рисунок 2. Схема нагружения для расчетного случая 1

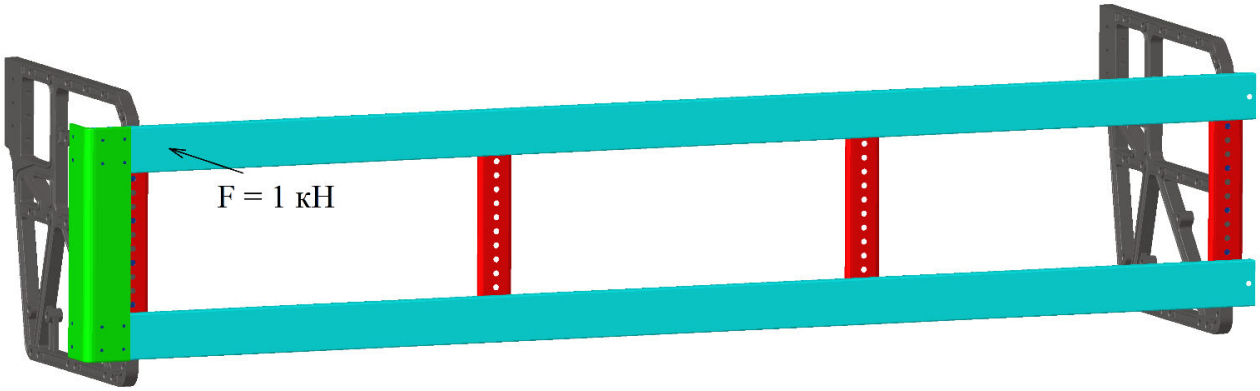


Рисунок 3. Схема нагружения для расчетного случая 2

Нагрузка реализована приложением распределенного давления, которое было пересчитано из сосредоточенной силы.

Конструкция крепилась в отверстиях интегральных кронштейнов с запрещением перемещений и поворотов относительно всех направлений (рисунок 4; закрепления выделены красным).

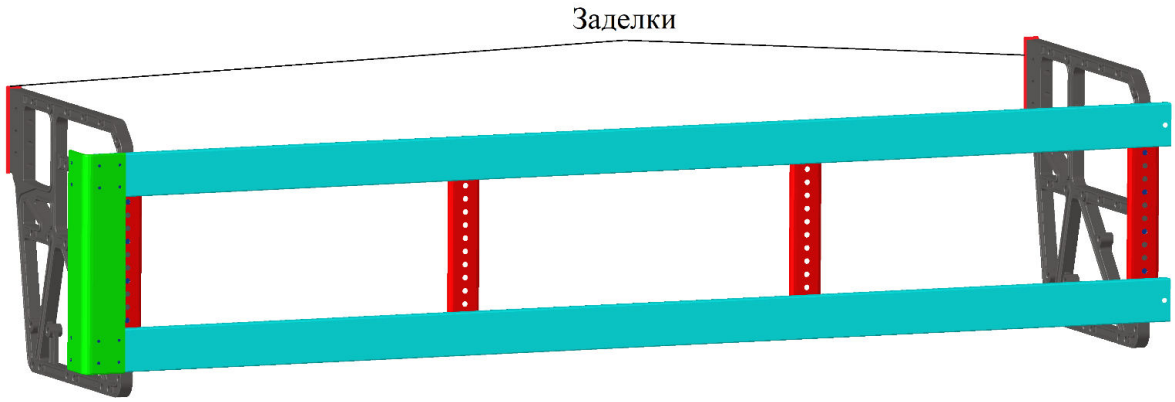


Рисунок 4. Схема закрепления БЗУ

Элементы защитного устройства моделировались линейными 3- или 4-узловыми элементами оболочки SHELL с характерным размером 6 мм. Кронштейны выполнялись линейными 4-узловыми тетраэдраэльными элементами с характерным размером 2 мм, а измененные – 4 мм. Между собой части конструкции связаны элементами абсолютно жесткой связи RBE2 (рисунок 5). Таким образом имитировались как болтовые, так и сварочные соединения.

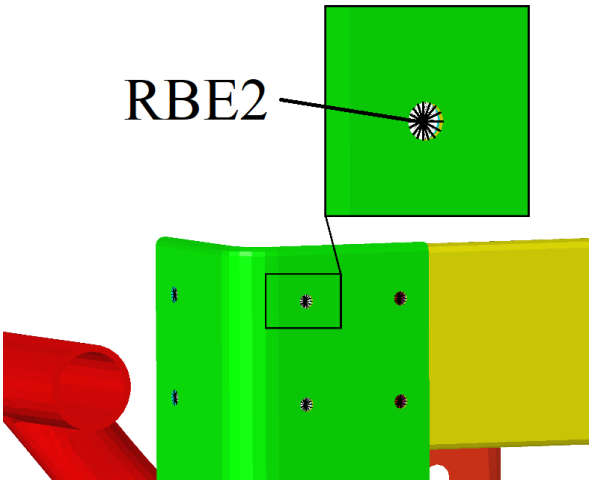


Рисунок 5. Пример моделирования болтового соединения с использованием элемента абсолютно жесткой связи RBE2

Свойства материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Свойства материалов в расчетной модели БЗУ

Материал	Модуль упругости E, МПа	Плотность ρ, кг/м^3	Коэффициент Пуассона	Элемент защитного устройства
Сталь 08Ю	207000	7860	0,3	Брусья боковой защиты, панель левая, дополнительный кронштейн, интегральные кронштейны исходной и измененной конструкций
Сталь 08кп	203000	7871		Пластины
Сталь 08пс	203000	7846		Кронштейны

Так как конструкция БЗУ находится в условиях сложного напряженного состояния, для выявления наиболее нагруженных зон удобно использовать величину интенсивности напряжений, так как это инвариантная величина, не зависящая от направления действующих напряжений и положения системы координат. Также, так как ГОСТ Р 41.73-99 предъявляет требования к допустимому прогибу конструкции, анализировались величины перемещений.

На рисунках 6-8 представлены изополя интенсивности напряжений и перемещений в конструкции БЗУ, расчетный случай 1.

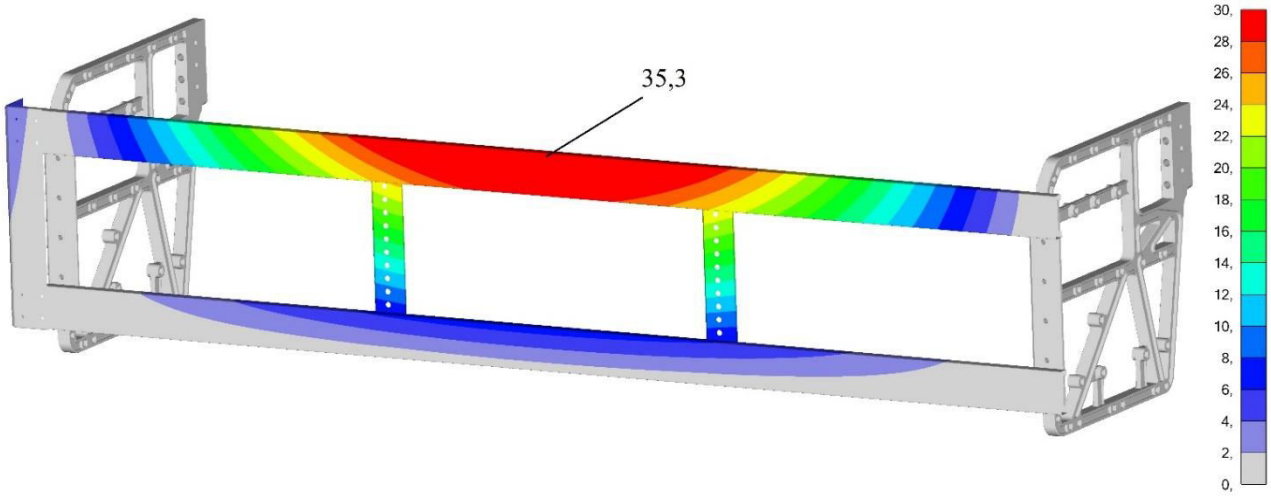


Рисунок 6. Изополя перемещений, мм

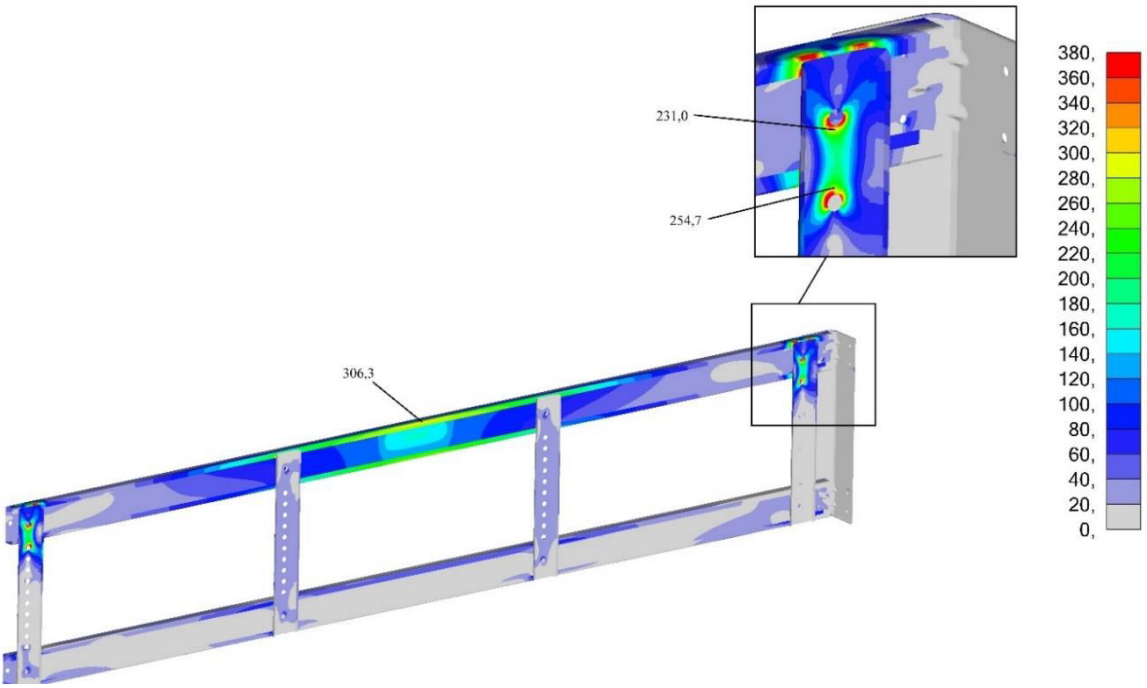


Рисунок 7. Изополя интенсивности напряжений в БЗУ, МПа

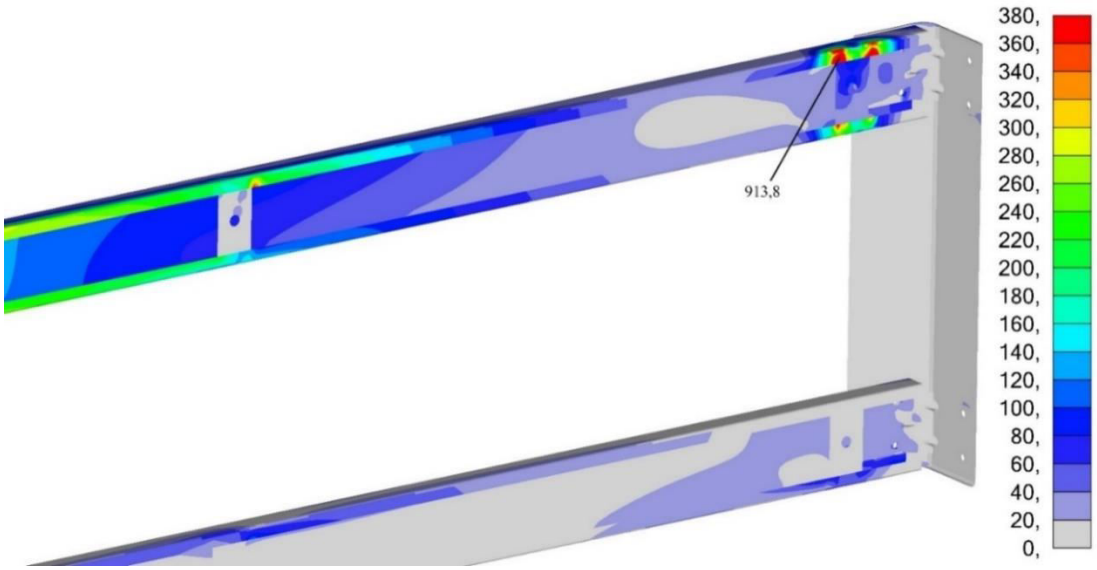


Рисунок 8. Максимальные значения интенсивности напряжений, МПа

Значение перемещений величиной 35,3 мм, показанное на рисунке 6, превышает максимально допустимые значение, регламентируемые Правилами ЕЭК ООН №73 (30 мм). Большие значения интенсивности напряжений наблюдаются в зоне приложения нагрузки (на тыльной кромке бруса боковой защиты), а также в местах крепления пластин (рисунок 2.22). Максимальные значения интенсивности напряжений возникают в местах крепления бруса боковой защиты, что показано на рисунке 8. Это объясняется тем, что для закрепления использовались элементы абсолютно жесткой связи, принимать в расчет эти значения напряжений не стоит.

Есть несколько способов увеличить жесткость и прочность конструкции:

– изменить материал брусьев боковой защиты;

– изменить профиль сечения брусьев боковой защиты;

– усовершенствовать конструкцию бокового защитного устройства путем добавления дополнительного кронштейна в центре.

Были рассмотрены два последних варианта. Наиболее выгодным признан вариант с установкой дополнительного кронштейна. На рисунках 9-10 представлены изополя интенсивности напряжений и перемещений в конструкции БЗУ с дополнительным кронштейном, расчетный случай 1.

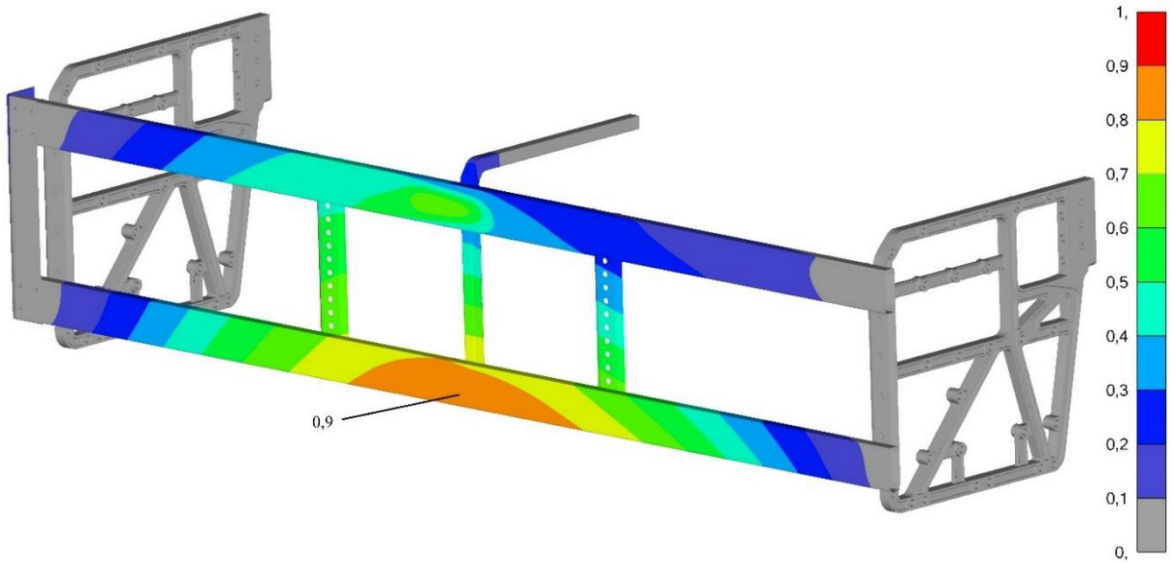


Рисунок 9. Изополя перемещений, мм

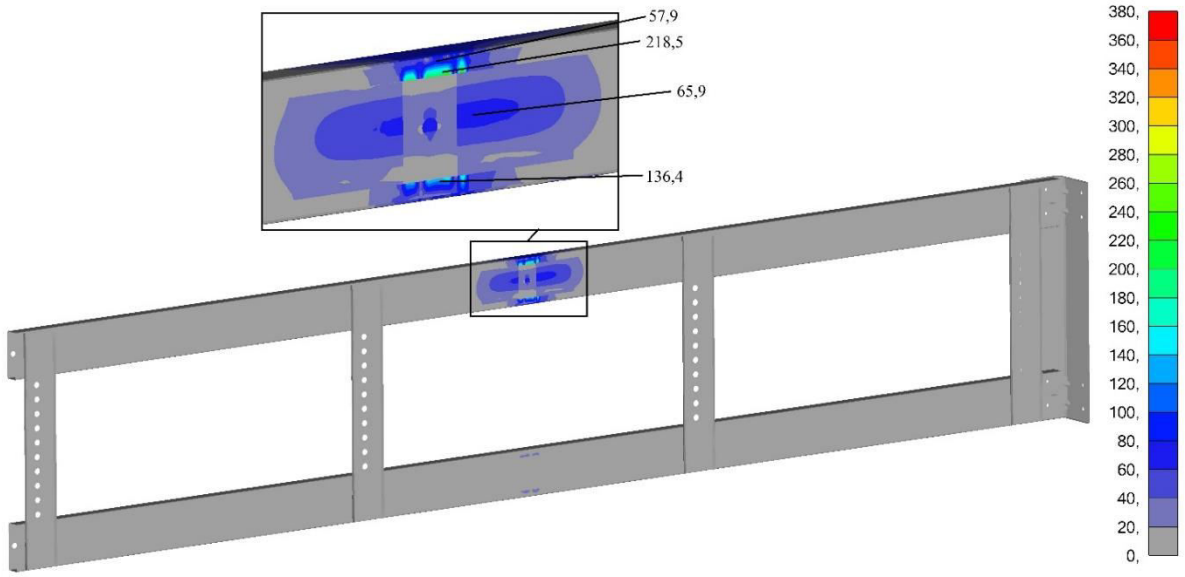


Рисунок 10. Изополя интенсивности напряжений в БЗУ с дополнительным кронштейном в центре (скрыт), МПа

Величины напряжений и перемещений дополнительного кронштейна не анализировались.

Изменение профиля сечения брусьев боковой защиты (конкретно – на прямоугольный закрытый профиль) также увеличивает жесткость и прочность конструкции, но прирост меньший, чем в варианте с дополнительным кронштейном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *М.Ю. Зеленов, Р.Н. Шабров, А.В. Тумасов, Л.Н. Орлов.* Расчетная оценка прочности защитных устройств, устанавливающихся на грузовые транспортные средства // Материалы 87-й Международной научно-технической конференции «Эксплуатационная безопасность автотранспортных средств», г. Нижний Новгород, 21-22 октября 2014 г. – г. Нижний

Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2014. – С. 201-206.

2. ГОСТ Р 41.73-99 (Правила ЕЭК ООН № 73). Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения грузовых транспортных средств, прицепов и полуприцепов в отношении их боковой защиты.

3. *Фокин В.Г.* Метод конечных элементов в механике деформируемого твердого тела: Учебное пособие. Самара: Самарский государственный технический университет, 2017. 131 с.

COMPUTER MODELING OF SIDE PROTECTIVE DEVICES OF TRUCKS

Shurkhno A.V.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The aim of this study is to develop a mathematical model for determining the stress-strain state of the side protective device of a truck, as well as assessing the influence of various factors (for example, the cross-section of the beams of the protective devices) on the strength and rigidity characteristics of the design of the protective devices.

СЕКЦИЯ 7
МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 531.001.362

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Абзалов Б.А.
Научный руководитель: Янбаев Р.М., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Разработка технологических процессов изготовления деталей из заготовок со сложной геометрией, получаемых методами литья и штамповкой, для гарантированного достижения требуемой точности требует осуществления размерного анализа. Применение методов параметрического моделирования позволяет отследить, достижима ли требуемая точность на финишных операциях, при назначенных по стандартам припусках и допусков на размеры исходной заготовки, назначенных операционных размерах и допусков на операционные размеры.

В современной технике находят широкое применение конструктивно сложные детали, поверхности которых могут быть достаточно сложно закоординированы относительно друг друга с высокой точностью. В условиях единичного и мелкосерийного производства исходная заготовка может иметь конструктивно простую форму (Рисунок 1). Обработка на многокоординатном станке за один установ позволит осуществить выборку массива материала, выровнять припуск под чистовую обработку, осуществить чистовую обработку обеспечивая требуемую точность.

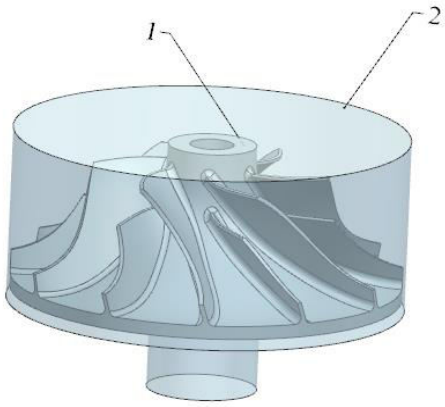


Рисунок 1. Заготовка для детали «Крыльчатка»
1 – деталь «Крыльчатка, 2 – заготовка

Применение подобного рода заготовок с простой геометрией в условиях серийного и массового производства нерациональна по причине малого коэффициента использования материала, большой трудоемкости операций механообработки, больших затрат на дорогостоящий режущий инструмент. В этих условиях рациональнее использовать заготовки, как можно более близкие по геометрии с геометрией готовых деталей. То есть заготовок, получаемых различными методами литья, методами обработки давлением, методами аддитивных технологий – в том числе в ремонтном производстве. При разработке геометрии отливок, штамповок используют соответствующие стандарты. Для отливок ГОСТ 53464–2009 [1]. При проектировании заготовок стальных деталей, получаемых различными методами штамповки, используют ГОСТ 7505 – 89 [2].

В технической подготовке производства в современных условиях находят широкое применение CAD/CAM/CAE систем. При конструкторской проработке изделия, как правило, каждая деталь моделируется в виде трехмерного объекта. Моделирование осуществляется по номинальным размерам. При нормировании по точности конструктор назначает допуски на размеры, допуски формы и расположения, шероховатости поверхностей. Верхнее и нижнее

отклонения каждого размера могут по-разному располагаться относительно номинального размера (Рисунок 2).

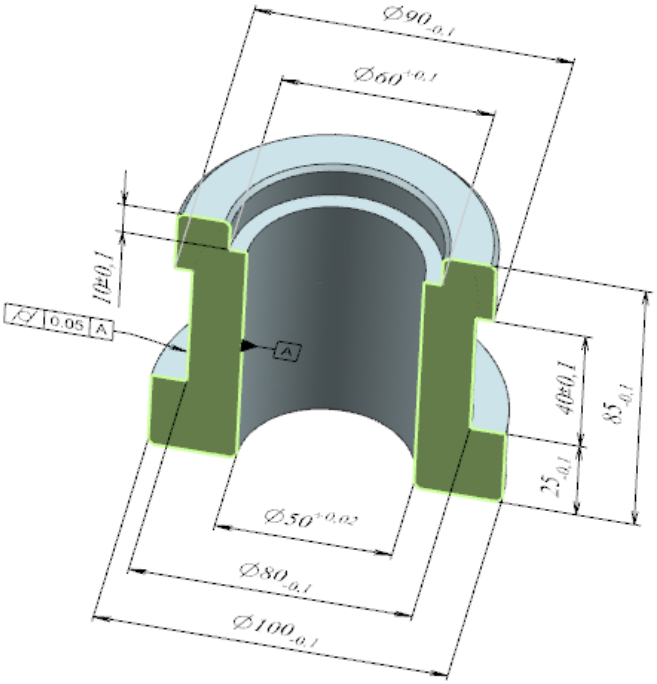


Рисунок 2. Пример трехмерной модели детали, пронормированной по точности

Как правило, технологию изготовления детали разрабатывают по ее трехмерной модели, в частности моделируют операции обработки на станках с ЧПУ. Требования к размерам изготовленной детали могут приводить к тому, что номинальный размер в детали приведет к необходимости забраковать деталь. Используя ассоциативную копию, доступную для редактирования, имеется возможность вывести размеры в середину интервала допуска и уже по модели ассоциативной копии со средними размерами осуществлять моделирование операций и получение управляющих программ. При обработке за более, чем одну операцию в учет должны браться схема базирования, назначенные операционные размеры и допуски на них. В настоящее время опубликовано большое количество работ по размерному анализу [3, 4, 5]. Подход к размерному анализу в данных работах основан на графических построениях, с явным деформированием отображения геометрии и исходной заготовки, и заготовки в процессе обработки, а также готовой детали. Широко используется метод графов, который по наглядности сильно уступает геометрическим трехмерным моделям (Рисунок 3) и, вероятно, удобен для анализа размерных цепей с небольшим количеством размеров.

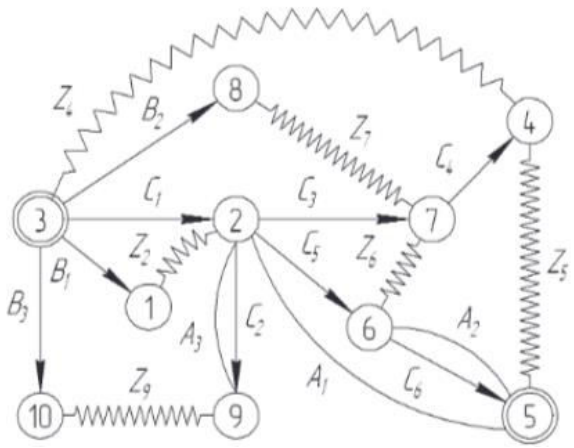


Рисунок 3. Пример представления размерной цепи в виде графа [5]

Наличие возможности параметрического моделирования и инструмента синхронного моделирования позволяет осуществлять размерный анализ технологических процессов и при необходимости корректировать величины припусков исходной заготовки, численных значений и допусков операционных размеров (Рисунок 4).

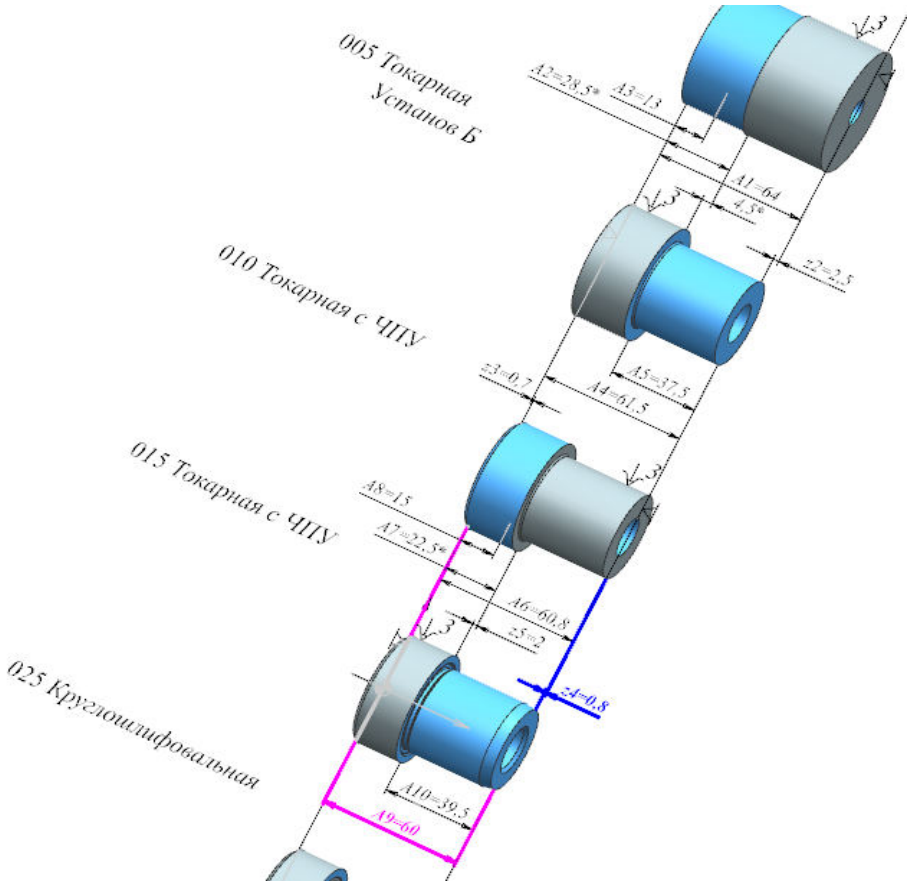


Рисунок 4. Фрагмент представления последовательности операций изготовления деталей для размерного анализа по параметрическим моделям

Разработана методика осуществления размерного анализа по параметрическим моделям исходной заготовки, заготовки в процессе обработки и готовой детали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *ГОСТ 53464 – 2009.* Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку. https://gostrf.com/normadata/1/4293817/4293817941.pdf?ysclid=mf6n0kz6tl780274150.

2. *ГОСТ 7505 – 89.* Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. https://gostrf.com/normadata/1/4294845/4294845532.pdf?ysclid=mf6n2ltte415345107.

3. *В.С. Мухин.* Расчет технологических размеров: Учебное пособие. Уфимск. Гос. Авиац. Техн. Ун-т. – Уфа, 2004. 205 с.

4. *М.Г. Галкин, А.С. Смагин.* Практика технологического размерного анализа: учебно-методическое пособие. Екатеринбург. Изд-во Урал. Ун-та, 2016. 107 с.

5. *Зелинский А.Н.* Размерный анализ технологических процессов механической обработки: учебное пособие / А.Н. Зелинский, А.М. Зинченко, С.Ю. Стародубов — Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. — 272 с. — ISBN 978-5-9729-1554-5. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/346958 (дата обращения: 05.09.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

DIMENSIONAL ANALYSIS BASED ON PARAMETRIC MODELING

Abzalov B.A.
Supervisor: Yanbaev R.M., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The development of manufacturing process routes for parts made from blanks with complex geometries, produced by casting and stamping, requires dimensional analysis to ensure attainment of the required accuracy. Employing parametric modeling methods enables assessment of whether the target accuracy at finishing operations can be achieved under the standard-specified allowances and tolerances for the initial blank dimensions, as well as the prescribed operating dimensions and their tolerances.

УДК 632.83

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ЗАЗОРА ПОРШЕНЬ-ЦИЛИНДР

Абунагимов Л.Р.
Научный руководитель: Яковлев Р.А., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Целью данной статьи является комплексный анализ существующих методов измерения зазора поршень-цилиндр, оценка их точности и применимости в различных условиях, а также разработка рекомендаций по выбору оптимального измерительного инструментария. Особое внимание будет уделено вопросам калибровки оборудования и методикам минимизации погрешностей при проведении измерений.

Точность измерения зазора между поршнем и цилиндром является критически важным параметром при диагностике и ремонте двигателей внутреннего сгорания. Этот показатель непосредственно влияет на ключевые эксплуатационные характеристики силового агрегата: мощность, экономичность, ресурс и экологические показатели. В современных условиях ужесточения экологических норм и требований к топливной экономичности точность измерения данного параметра приобретает особую значимость.

Актуальность проблемы обусловлена несколькими факторами. Во-первых, современные двигатели проектируются с минимально допустимыми зазорами, где даже незначительное отклонение может привести к серьезным последствиям. Во-вторых, широкое распространение получили алюминиевые блоки цилиндров с различными типами покрытий, требующие особых подходов к измерению. В-третьих, на рынке присутствует большое количество измерительного оборудования различного класса точности, что требует четкого понимания методик проведения замеров [1].

Основная проблема заключается в отсутствии единого стандартизированного подхода к измерению данного параметра. Многие автосервисы до сих пор используют устаревшие методики и оборудование, что приводит к погрешностям измерений до 0,03-0,05 мм. Особенно остро эта проблема стоит при диагностике высокофорсированных двигателей.

Способы измерения зазора между поршнем и цилиндром.

В настоящее время применяется два основных вида технологии восстановления шлицевых соединений:

В настоящее время применяется несколько способов измерения зазора поршень-цилиндр:

1. Микрометр + нутромер.
2. Пластиковый щуп.
3. Металлический щуп.
4. Лазерное сканирование.

Рассмотрим все эти способы и выберем лучший из них.

1.Микрометр + нутромер.

Принцип действия данного метода довольно прост. Микрометр используется для измерения наружного диаметра (поршня), а нутромер для измерения внутреннего диаметра (цилиндра). Зазор высчитывается по формуле:

$$\delta = D_{\text{цилиндра}} - D_{\text{поршня}}$$

Данный способ измерения имеет высокую точность, а также позволяет выявить геометрию цилиндра (эллипсность, конусность).

2.Пластиковый щуп.

Принцип действия: на стенку цилиндра наносится щуп, после монтажа и проворачивания поршня измеряется ширина расплющенного щупа.

Преимуществами этого метода являются простота использования и точность измерения.

Недостатком является невозможность выявления геометрии цилиндра.

3.Металлический щуп.

Технология выполнения метода: между юбкой поршня и цилиндром вставляется щуп нужного размера, тем самым определяя зазор.

Данный метод обладает большим количеством недостатков, таких как:

- низкая точность измерения
- не учитывает форму цилиндра
- не подходит для измерения маленьких зазоров.

Преимуществом являются простота измерения и не полная разборка двигателя.

4.Лазерное сканирование или оптический метод.

Технология измерения: выполняется сканирование цилиндра и поршня, программное обеспечение высчитывает зазор.

Этот метод обладает очень высокой точностью, но также имеет недостатки в виде дороговизны оборудования и требования особых навыков работы с ним.

Остановим свой выбор на методе измерения с помощью микрометра и нутромера, так как он имеет низкую стоимость относительно оптического метода и наиболее высокую точность относительно остальных методов измерения.

Методика измерения зазора поршень-цилиндр с помощью микрометра и нутромера.

Для точного и правильного результата важна подготовка деталей к измерению. Нужно воспользоваться чистой ветошью, очистителем (например, уайт-спирит), и очистить детали от грязи, пыли, масла и нагара. Так же важна температура деталей и измерительных приборов, она должна быть одинаковой, около 20°С [2].

Кроме подготовки деталей, нужно обратить внимание на используемый инструмент. Инструмент должен быть чистым, исправным. А также важнейшей частью подготовки инструмента является его калибровка. Важно понимать, что не все существующие способы калибровки могут обеспечить высокую точность измерений. Например, для калибровки нутромера существуют несколько способов, рассмотрим два из них:

- по эталонному кольцу
- по микрометру

Выставление нутромера по микрометру не является точным методом, так как сам микрометр имеет свою погрешность, прописанную заводом изготовителем. Куда более точным является метод калибровки по эталонному кольцу с высоким классом точности. Кроме того, эталонные кольца, должны периодически проходить поверку, для получения более точных результатов. Поверку эталонные кольца проходят в метрологическом центре, поверка происходит на оборудовании классом точности выше, чем кольцо.

Так же для точных измерений следует использовать инструмент с высоким классом точности, в современном мире двигатели внутреннего сгорания требуют высокие точности

измерений. Использование инструментов с высоким классом точности, минимизирует риски неправильного измерения, а в следствии некачественного ремонта двигателя.

Итак, перейдем к самой методике замера с помощью нутромера и микрометра. Для начала нужно разобрать двигатель, подготовить поршень и цилиндр к замерам (очистить поверхности замеров).

Для измерения диаметра цилиндра нам понадобиться нутромер [3]. Нутромер обязательно нужно откалибровать с помощью поверенного эталонного кольца (рис. 1). Для этого нужно установить нутромер в кольцо и выставить его в нулевое положение. После того как выставили нутромер можно перейти к самим замерам. Замеры диаметра цилиндра следует проводить в трех плоскостях, в верхней, средней, а также в нижней. В каждой плоскости нужно провести по два замера: один параллельно коленчатому валу, второй перпендикулярно ему. Такое количество нужно для определения износа и геометрии цилиндра (эллипсность, конусность).

Рис. 1. Эталонные кольца

Для измерения диаметра поршня воспользуемся микрометром. Микрометр так же обязательно калибруется по эталону, по концевым мерам (рис. 2). Первым делом нужно очистить измерительные поверхности микрометра и эталонной меры. Далее нужно установить меру между пяткой и шпинделем микрометра. После этого следует плавно сомкнуть измерительные поверхности, используя трещотку (для равномерного усилия). И для окончательной калибровки требуется проверить показания: если микрометр показывает неверное значение, откорректировать его. После калибровки микрометра приступаем к самим замерам. Устанавливаем микрометр на поршень и зажимаем его с помощью трещотки микрометра до легкого щелчка. Так же, как и в случае с замером цилиндра, поршень нужно замерить в нескольких плоскостях, так как он может иметь эллипсность. Важно не перетягивать микрометр, это может исказить результат.

Рис. 2. Концевые меры

Зазор вычисляем по формуле:

Зазор=*D* цилиндра−*D* поршня

Метод микрометра + нутромера является оптимальным для определения зазора поршень-цилиндр, так как имеет высокую точность измерений и позволяет выявить износ, конусность и эллипсность.

Важно понимать, что для точных и правильных замеров нужно соблюдать требования такие как:

- использование оборудования с высоким классом точности
- обязательна калибровка инструмента с помощью эталонных мер
- обязательна подготовка оборудования и деталей для замеров (очистка поверхностей, поддержание температурного режима)
- периодическая поверка оборудования и эталонных мер в метрологических центрах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Дьяченко В.Г., Лысенко Н.Е.* Техническая эксплуатация автомобилей. — М.: Транспорт, 2003. (дата обращения: 31.03.2025).

2. Методы и средства измерений и эталоны / [Электронный ресурс] // Википедия: [сайт]. — URL: https://kpfu.ru/portal/docs/F587453123/Tema.3.Prezentaciya.pdf (дата обращения: 31.03.2025).

3. Промер цилиндров нутромером, поршней - микрометром / [Электронный ресурс] //: [сайт]. — URL https://www.drive2.ru/l/519753441174618444/ (дата обращения: 31.03.2025).

THE METHOD OF MEASURING THE PISTON-CYLINDER GAP

Abunagimov L.R.

Supervisor: Yakovlev R.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. The purpose of this article is a comprehensive analysis of existing methods for measuring the piston-cylinder gap, evaluating their accuracy and applicability in various conditions, as well as developing recommendations for choosing the optimal measuring instruments. Special attention will be paid to equipment calibration and measurement error minimization techniques.

УДК 629.113

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА СОВРЕМЕННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Антонова А.С.

Научные руководители: Шубина А.С.[1], старший преподаватель, Марьин Г.Е.[2], доцент, к. т. н.

([1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань,

[2]Казанский государственный энергетический университет, г. Казань)

Аннотация. В этой статье представлен всесторонний анализ электромобилей, с упором на их воздействие на окружающую среду и экономику. С ростом беспокойства по поводу изменения климата электромобили позиционируются как более чистая и устойчивая альтернатива обычным автомобилям с двигателем внутреннего сгорания. В этой статье рассматриваются технологические достижения, проблемы массового внедрения, экологические преимущества, экономические последствия и социальные сдвиги, необходимые для повсеместного внедрения электромобилей.

В современном мире увеличивается внимание к вопросам соответствия обыденных вещей экологическим нормам, стремительной урбанизации и растущего уровня загрязнения окружающей среды. Транспортный сектор, являясь одним из крупнейших источников выбросов парниковых газов, вносит существенный вклад в глобальное потепление.

Особое внимание уделяется развитию экологичного транспорта, особенно электромобилям. С каждым днем города становятся больше, следовательно острее становится проблема мобильности населения. А автомобили с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) наносят значительный вред экологии. В мегаполисах, например в Москве, до 90% загрязнения воздуха приходится именно на автотранспорт.

Электромобили являются оптимальным решением проблемы загрязнения воздуха автотранспортом, за счет уменьшения количество выбрасываемых вредных веществ в атмосферу. Они работают исключительно на электродвигателях и заряжаются от внешних источников электроэнергии. По статистике на один бензиновый автомобиль приходит около 124 г CO_2 на километр пробега, на электрический автомобиль – всего 66 г. Важно отметить, что выбросы от электрокаров происходят не в процессе эксплуатации, а на электростанциях, что позволяет централизованно контролировать и снижать уровень загрязнения [1].

Многие страны активно развивают инфраструктуру электротранспорта. Европейские государства, включая Германию, Норвегию и Нидерланды, внедряют национальные программы по отказу от автомобилей с ДВС. Стабильное увеличение рынка автомобилей на электрической тяге наблюдается в азиатских странах, особенно в Китае и Японии, где активно развивается необходимая инфраструктура [2].

Однако развитие электротранспорта требует особой инфраструктуры. В Европе на одну зарядную станцию приходится шесть электротранспортных средств — это оптимальное соотношение для комфортной эксплуатации. В России этот показатель составляет 29 автомобилей на одну станцию, что существенно ограничивает привлекательность экологичного транспорта для потребителей.

Проблемы массового внедрения электромобилей:

1) Недостаток зарядных станций

- Увеличение запаса хода являются одной из главных проблем для повсеместного внедрения электротранспорта. Основным составляющим проблемы ограниченности запаса хода электромобилей является малая вместимость аккумуляторных батарей, на данный момент решением проблемы перемещения на дальние расстояния является внедрение зарядных станций на уже существующие станции заправки автомобилей с ДВС. Кроме того, интеграция сетей быстрой зарядки и установка зарядных станций в шаговой доступности от жилых массивов могут еще больше увеличить спрос на электромобили. Сосредоточившись на

этих областях, мы можем создать более удобную, доступную и эффективную “экосистему” зарядки, которая поощряет переход населения с использования автомобилей с ДВС к электромобилям [3].

С появлением технологий сверхбыстрой зарядки электромобили могут заряжать до 80% емкости своего аккумулятора всего за 20-30 минут, это значительно повысит привлекательность электромобилей для населения, так как время необходимое на восстановление запаса хода электромобиля приблизится ко времени заправки традиционного автомобиля с ДВС.

2) Ограничения технологии аккумуляторов

- Решение проблемы срока службы аккумуляторов, эффективности и нехватки сырья имеет важное значение для устойчивого роста внедрения электромобилей. Достижения в технологии аккумуляторов направлены на повышение плотности энергии, долговечности и повышение общей производительности. Усилия по повышению эффективности аккумуляторов также направлены на оптимизацию использования энергии. Чтобы смягчить нехватку сырья, исследователи изучают альтернативные материалы, методы переработки и более устойчивые методы добычи. Кроме того, инновации в области повторного использования аккумуляторов и применения вторичного использования могут продлить срок службы аккумуляторов, сократить отходы и уменьшить нагрузку на поставки сырья, обеспечивая более устойчивую отрасль электромобилей.

Европейская комиссия выделяет значительные субсидии на исследования и разработки в этой сфере, стремясь конкурировать с азиатскими производителями, которые пока лидируют как в производстве, так и в утилизации аккумуляторов. Ведущие мировые автоконцерны, такие как “BMW”, “Mercedes”, “Ford”, а также “Tesla” активно внедряют новые модели электромобилей [3].

- Исследования альтернативных решений для хранения энергии имеют решающее значение для продвижения технологий электромобилей и более широкой интеграции возобновляемых источников энергии. В то время как литий-ионные аккумуляторы доминируют на рынке, ученые изучают различные альтернативы, такие как твердотельные аккумуляторы, которые предлагают более высокую плотность энергии, более быструю зарядку и повышенную безопасность. Другие многообещающие варианты включают натрий-ионные и проточные аккумуляторы, которые используют более распространенные и менее дорогие материалы, что потенциально снимает проблемы с цепочкой поставок. Кроме того, исследуются такие технологии, как водородные топливные элементы, на предмет их потенциала для обеспечения более длительного пробега и более быстрой заправки. Эти альтернативные решения для хранения энергии могут дополнить или даже заменить текущие аккумуляторные технологии, предлагая более эффективные, устойчивые и экономичные условия эксплуатации [4].

3) Стоимость и доступность

- Снижение цены покупки электромобилей имеет решающее значение для того, чтобы сделать их конкурентоспособными по сравнению с автомобилями с двигателем внутреннего сгорания. Чтобы добиться этого, производители сосредотачиваются на инновациях в технологии аккумуляторов, которые составляют значительную часть стоимости электромобилей. По мере увеличения масштабов производства аккумуляторов ожидается, что цены на них снизятся, это приведет к снижению общей цены на электромобили. Кроме того, повышение эффективности производства и снижение затрат на сырье может еще больше снизить цены. Страны могут играть ключевую роль, предлагая стимулы, налоговые льготы и субсидии, чтобы помочь сократить разрыв в стоимости между электромобилем и традиционными транспортными средствами, сделав их более доступными для более широкого круга потребителей. По мере развития этих усилий электромобили станут более жизнеспособным и привлекательным вариантом для покупателей среднего уровня дохода, ускоряя переход к экологичному транспорту.

• Государственные стимулы играют ключевую роль в обеспечении доступности электрокаров для массового рынка за счет снижения первоначальных затрат. Помимо прямых финансовых стимулов, страны также могут поддерживать расширение инфраструктуры, способствуя внедрению электромобилей в постоянное использование гражданами. Гранты на исследования и разработки помогают стимулировать развитие области аккумуляторных технологий, следовательно, снижает производственные затраты. Эти стимулы не только способствуют улучшению экологической обстановки, но и стимулируют рост индустрии электротранспорта, делая экологически чистый транспорт доступным и распространенным вариантом для большего числа людей.

Индустрия электротранспорта имеет большой потенциал развития. По прогнозам, к 2040 году количество автомобилей на электрической тяге в мире превысит 400 миллионов, а в России ожидается ежегодный рост рынка на 30%, в Москве — до 60%. Однако пандемия COVID-19 внесла изменения, замедлив темпы роста из-за снижения производства и потребительского спроса. Нестабильность мировой экономики также влияет на решения о покупке новых автомобилей, в том числе электрокаров [4].

Ведущие зарубежные компании демонстрируют различные стратегии развития: “Tesla” использовала продвинутые технологии при налаживании производства с нуля, благодаря этому смогла быстро занять лидирующие позиции, предлагая инновационные модели. Китайские производители имеют собственное производство аккумуляторов и получают поддержку государства, это позволяет им удерживать высокие позиции на рынке [2].

В России развитие электротранспорта идет медленно. Несмотря на появление коммерческих моделей, таких как Газель “Next Electro”, и запуск производства литий-ионных аккумуляторов компанией «Лиотех», инфраструктура остается слаборазвитой, а государственная поддержка ограничивается отдельными льготами и региональными инициативами. Основные проблемы — недостаточное количество зарядных станций, а также высокая стоимость электротранспорта.

Проблемы развития электротранспорта многогранны. Политические и правовые риски связаны с недостаточно проработанной законодательной базой и медленным внедрением стандартов. Социальные барьеры включают низкую образованность населения в данной сфере, боязнь покупки электрокаров и слабая господдержка. Экономические риски обусловлены дефицитом сырья при чрезмерном росте спроса, колебаниями на мировых рынках и необходимостью крупных инвестиций в инфраструктуру и исследования [5].

При внедрении инновационных технологий, критически важным аспектом является оценка их энергетической эффективности. Сравнительный анализ показывает существенное превосходство электродвигателей перед двигателями внутреннего сгорания по коэффициенту полезного действия, следовательно, является более перспективным решением для современного транспорта.

За последние годы рынок электромобилей продемонстрировал впечатляющий рост. В период с 2017 по 2020 год транспортные средства на электрической тяге охватили все ключевые сегменты легкового автомобильного рынка, включая компактные двухдверные хетчбэки, премиальные внедорожники и спортивные родстеры, это свидетельствует о растущей конкурентоспособности электротранспорта [6].

В целом, переход к электротранспорту — это не только технологическая, но и социально-экономическая революция, требующая комплексного подхода. Успех зависит от взаимодействия государства, бизнеса и общества, а также от способности быстро адаптироваться к инновационным требованиям. Электромобили уже перестали быть экзотикой и становятся частью повседневной жизни, однако для их массового распространения необходима системная работа по развитию инфраструктуры, снижению стоимости приобретения и повышению осведомленности потребителей. Только в этом случае электротранспорт сможет реализовать свой потенциал в деле повышения энергоэффективности и снижения экологического влияния на экосистему планеты [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Атомный эксперт. Так ли экологичны электрокары. URL: http://atomicexpert.com/electric_cars_ecology (дата обращения 10.06.2025).

2. Ведомости. Как BMW, Daimler и Volkswagen собираются конкурировать с Илоном Маском URL: https://www.vedomosti.ru/auto/articles/2018/09/04/779943-bmw (дата обращения 10.06.2025).

3. Министерство экономического развития Российской Федерации. Правительство России одобрило разработанный Минэкономразвития проект закона о праве риск при «венчурном инвестировании». URL: https://www.economy.gov.ru/material/news/pravitelstvo_rossii_odobrilo_razrabotannyy_minekonomrazvitiya_proekt_zakona_o_prave_na_risk_pri_venchurnom_investirovanii.html (дата обращения 11.06.2025).

4. Bloomberg. BloombergNEF. URL: http:// https://www.bloomberg.com/impact/products/bloombergnef/ (дата обращения 09.06.2025).

5. *Umakant D.B., Rajendra P.S.* The future of transportation: A comprehensive analysis of electric vehicles and their impact on sustainability, economy, and society // ShodhKosh Journal of Visual and Performing Arts. – 2024.

6. *Колесникова А.В.* Развитие электротранспорта в Российской Федерации: проводимая политика и первые результаты // Regional and sectoral economy. - 2023. - С. 387-395.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF ELECTRIC VEHICLES ON MODERN TRANSPORT, ENERGY AND ENVIRONMENTAL SYSTEMS

Antonova A.S.

Supervisors: Shubina A.S.[1], Senior Lecturer,

Maryin G. E.[2], Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

([1]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan,

[2]Kazan State Power Engineering University, Kazan)

Abstract. This article provides a comprehensive analysis of electric vehicles, focusing on their environmental and economic impacts. With growing concerns about climate change, electric vehicles are being positioned as a cleaner, more sustainable alternative to conventional internal combustion engine vehicles. This article examines the technological advances, challenges of mass adoption, environmental benefits, economic impacts, and social shifts needed to achieve widespread adoption of electric vehicles.

УДК 629.3

ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДИСКОВ ШИН АВТОМОБИЛЯ

Закиров Б.М.

Научный руководитель: Яковлев Р.А., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные методы восстановления автомобильных дисков, включая прокатку стальных колес, аргоно-дуговую сварку и правку литых моделей. Основное внимание уделено важности профессионального подхода к процессу ремонта и выбору подходящих методов в зависимости от типа повреждений и материала дисков.

Колёсные диски — это не только важный элемент внешнего дизайна автомобиля, но и ключевая деталь, влияющая на его функциональность. Для многих владельцев автомобилей диски — это предмет особого внимания. Однако состояния дорог зачастую требуют ремонта дисков намного чаще, чем хотелось бы, что объясняет популярность услуг восстановления

дисков в российских шиномонтажах. Диски колёс не только нужны для эстетического вида, ну и для обеспечения передачи крутящего момента от привода, что очень важно для безопасности дорожного движения. Чтобы не ухудшать динамические характеристики транспортного средства нужно периодически подсматривать за ними на наличие скол и поддерживать диски в исправном состоянии.

Разновидности автомобильных дисков

Производители выпускают различные виды дисков, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки, особенности, которые могут влиять на выбор методов их ремонта. В основном диски колёс изготавливают из стали или из легкосплавных металлов, такие как алюминий и магний [1].

Легкосплавные диски получают методом ковки или литья, а штампованные диски изготовлены методом штамповки. От способа производства и используемых материалов напрямую зависят подходы к их ремонту и восстановлению.

Штампованные стальные диски обладают высокими прочностными характеристиками, надёжностью и возможностью восстановления, что делает их более предпочтительными для ремонта по сравнению с другими типами. Они могут выдерживать большие статические и динамические нагрузки, что даёт возможность применения методов, таких как прокатка и рихтовка. Штампованные диски уступают легкоспланым, так как легкоспланые диски весят меньше, и они минимизируют расход топлива в отличие от штампованных.

Легкосплавные диски, хотя и привлекают своим лёгким весом и эстетическим видом, менее поддаются восстановлению. Они производятся методом отливки, после чего металл проходит процессы закаливания, что придаёт ему прочность и пластичность, подходящие для работы с нагрузками. Однако, особенности технологии производства литых дисков осложняют их восстановление, так как термическое воздействие на металл во время ремонта может привести к его ослаблению, что делает такие диски более подверженными механическим повреждениям.

Кованые диски изготавливаются при больших температурах, поэтому они имею повышенную прочность чем легкосплавные диски. Также такие диски за счёт своей надёжности меньше трескаются и изнашиваются.

Какие дефекты получают диски

Причинами повреждения колёс являются наезд на яму, бордюры или другие места, при котором диск испытывает сильный удар. Самые распространённые дефекты - это вмятины, трещины, сколы и также радиальное и осевое смещение диска. Вмятины могут привести к потере герметичности, а трещины возникают чаще всего при усталости металла и сильных механических воздействиях, они особенно опасны, поскольку могут привести к разрушению диска в движении.

Радиальное смещение — это отклонение поверхности вращения диска по вертикали, когда при вращении видно, что колесо как бы «подпрыгивает». Такое смещение вызывает вибрации и неравномерный износ шин. Осевое смещение, в свою очередь, — это отклонение в горизонтальной плоскости, при котором диск «виляет» из стороны в сторону при вращении. Сколы и царапины не так сильно влияют на функциональность диска, но такие дефекты со временем могут увеличиваться и при плохих погодных условиях при попадании влаги или воды могут начаться коррозия и микротрещины [1].

Особенности технологий ремонта колёсных дисков

Восстановление стальных дисков осуществляется на специализированном оборудовании (рис.1), включающем прижимные валы, которые вращаются и помогают вернуть первоначальную форму диска, а также центрируют его по оси. На стенде на гидравлический цилиндр устанавливается насадка, что позволяет восстанавливать геометрию диска. Этот процесс контролируется с помощью маркера, что позволяет точнее оценивать степень восстановления формы диска. Известно, что стальной диск ремонтопригоднее, и восстановить его дешевле [2].

Рисунок 1. Стенд для прокатки дисков [3]

Такие дефекты, как трещины на дисках требуют более тщательное внимание со стороны водителя. Трещины могут возникнуть при резких ударах, на ямах или на плохих дорожных условиях. В таком случае потребуется аргоно-дуговая сварка и правка диска при помощи специального стенда.

При восстановление литых дисков обработка происходит в зонах дефектов на специализированном стенде для правки диска (рис.2). Легкосплавные материалы, из которых изготовлены литые диски, довольно хрупкие, и сильное воздействие может привести к их разрушению. Поэтому ремонт проводится с особой осторожностью, чтобы не повредить сам диск. Для начала специалисты точно определяют место повреждения, используя мел для маркировки дефекта, а затем фиксируют диск на стенде для дальнейшей обработки.

Работа по исправлению литых дисков осуществляется в чёткой последовательности. Сначала необходимо разобрать колесо, затем извлечь повреждённый диск и установить его на ремонтный станок.

Рисунок 2. Стенд для правки дисков [3]

В наше время в шиномонтажных участках используют современные стенда с лазерными установками, которые позволяют точно контролировать ремонтные участки диска. Такие дефекты как трещины ремонтируются при помощи аргоно-дуговой сварки. Такая сварка позволяет качественно и без рисков перегрева восстановить прочность металла.

На финальной стадии диск проходит окраску или шлифовку, а также балансировку для устранения возможных вибраций. Многие специалисты рекомендуют устанавливать восстановленные литые диски на задние колеса автомобиля.

Другим методом восстановления стальных дисков является сварка с использованием защитного газа, такого как аргон [4]. Это предотвращает образование оксидной плёнки на месте сварки, что способствует высокому качеству соединения. Сварка используется для заполнения трещин с обеих сторон, что позволяет не только устранить дефекты, но и восстановить утраченные участки диска.

Финишная обработка дисков после ремонта

Финишная обработка заключается в том, что после всех ремонтных работ над диском ему придается привлекательный вид. Автосервисы применяют разные методы и технологии по декорировании дисков, в основном это алмазная шлифовка, порошковая покраска и полировка.

Порошковая покраска - это способ окрашивания, при котором на поверхность наносится сухой порошок (а не жидкая краска), а затем диск запекается в печи при температуре около 180–200 °C. Такая технология защищает диск от коррозии, царапин, сколов и химикатов, также делает покрытие диска прочным и долговечным

Полировка диска нужна для того, чтобы придать поверхности гладкость и блеск, а также убрать мелкие царапины, окисление и потускнение.

При полировке поверхность диска обрабатывают специальными абразивами и полировочными пастами, чтобы она стала ровной, гладкой и блестящей. Иногда после полировки диск дополнительно покрывают защитным лаком или керамикой.

Алмазная шлифовка это высокоточный процесс, при котором специальным алмазным резцом снимается тонкий слой металл, не более 0,1 мм. В результате убираются мелкие дефекты, царапины и неровности, а поверхность становится гладкой и блестящей. Этот процесс выполняется на высокоточных станках с числовым программным управлением, что гарантирует сохранение всех геометрических и технологических характеристик диска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Реставрация и восстановление дисков авто: методы и технологии / [Электронный ресурс] // Твои колёса: [сайт]. — URL: https://tvoi-kolesa.ru/blog/restavratsiya-i-vosstanovlenie-diskov-avto-metody-i-tekhnologii/?ysclid=m98ibsdcl7107352759/ (дата обращения: 04.04.2025).

2. Колесные диски: ремонтировать или менять? / [Электронный ресурс] // За рулём: [сайт]. — URL: https://www.zr.ru/content/articles/904836-kolesnye-diski-remontirovat/ (дата обращения: 04.04.2025).

3. Станки и стенды для правки дисков / [Электронный ресурс] // Рустехника: [сайт]. — URL: https://www.rustehnika.ru/catalog/oborudovanie-dlya-shinomontazha/stanki-dlya-pravki-diskov/?ysclid=m98nu2lm7o935092731/ (дата обращения: 04.04.2025).

4. Аргонная сварка: особенности, преимущества, применение / [Электронный ресурс] // Металлэкпресс: [сайт]. — URL: https://металлэкспресс.рф/blog/svarka/argonnaya-svarka-osobennosti-preimushchestva-primenenie/ (дата обращения: 04.04.2025).

TECHNOLOGY OF RESTORATION OF CAR TIRE DISKS

Zakirov B.M.

Supervisor: Yakovlev R.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses modern methods of restoring car tire disks, including rolling steel disks, argon-arc welding and straightening alloy disks. The article emphasizes the importance of a professional approach to disk restoration and offers recommendations on choosing methods depending on the type of damage and disk material.

УДК 621.01

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ШАГАЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ

Кудряшов В.А.
Научный руководитель: Зайцева Т.А., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В настоящей работе проведен структурный анализ шагающих механизмов: лямбда-механизма Чебышева; механизма Джо Кланна и механизма Янсена. В результате были определены группы Ассура, которые входят в его состав рассматриваемых механизмов. Определена общая подвижность рассматриваемых механизмов. Полученные данные могут быть использованы при решении дальнейших задач кинематического и динамического анализа, а также для расчетов по оптимизации перемещения выходного звена механизма.

В настоящее время робототехника переживает период активного развития, и это относится ко всем ее направлениям, включая шагающих роботов. Шагающие механизмы, или роботы, обладают уникальной способностью перемещаться по сложной, пересеченной местности, что делает их незаменимыми во многих областях. Одними из самых развивающих направлений: военные операции, спасательные работы, обслуживание труднодоступных мест. Шагающие роботы используются в системах реабилитации, где они помогают людям восстанавливать ходьбу.

В нашей стране разработаны и продолжают разрабатываться шагающие роботы, как двуногие, так и четвероногие. В качестве примеры приведем человекоподобного робота-"Федор", четвероного робота "Рысь", а также шагающего робота, разработанного в МГУ.

В этом направлении важные результаты были получены Пафнутием Львовичем Чебышевым [1]. Еще во второй половине XIX века Чебышев П.Л. увлекся изобретением плоских механизмов. Став первым исследовать шарнирные механизмы именно с помощью математики, разработал новые направления науки-теорию синтеза механизмов. Чебышев П.Л. в 1860-1870-х г.г. ставил эксперименты с шагающими механизмами различной конфигурации. Об их практическом применении для решения промышленных или военных задач речи не шло.

В 1850 году им была разработана стопоходящая машина (Рис.1). Которая была успешно продемонстрирована на всемирной выставке в Париже в 1878 году и стала прообразом современных "стопоходящих" роботов.

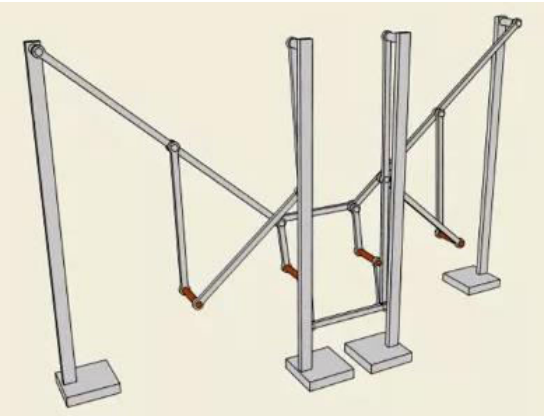


Рис.1. Стопоход П.Л. Чебышева

К созданию шагающих роботов предъявляется множества факторов, – которые в себя включают механическую конструкцию.

Для создания устойчивого шагающего движения стопоходящей машине П.Л. Чебышев создал лямбда-механизм (рис.2). Это четырехзвенный шарнирный механизм, который преобразует вращательное движение в приблизительно прямолинейное. Таким образом, стопоход П.Л. Чебышева состоит из четырех лямбда-механизмов, с прикрепленными к ним ногами.

В соответствии с формулой Чебышева П.Л. (1):

$$W = 3n - 2p_5 - p_4, \quad (1)$$

где W – подвижность механизма;

n – количество подвижных звеньев;

p – количество неподвижных пар).

Подвижность W механизма при $n = 3$ и $p_5 = 4$ составляет 1.

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1$$

Такой результат гарантирует определенность движения всех звеньев системы при единственном входном движении.

Механизм состоит: ведущее звено – кривошип (обозначено *1* на рис.2), шатун (обозначено *2* на рис.2) и коромысло (обозначено *3* на рис.2).

Структурный анализ: Первичный механизм кривошип *1* для него $W = 1$ и группа Ассура которая выполнена в виде диады *BBB*, образованную звеньями *2 – 3*, для нее $W = 0$.

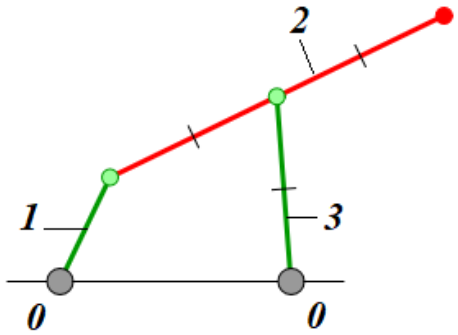


Рис.2. Кинематическая схема лямбда-механизма

Рассмотрим следующий механизм - механизм шагания Джо Кланна. Который аналогично механизму шагания П.Л. Чебышева представляет собой плоский шарнирно-рычажный механизм, который имитирует походку животных (рис.3, 4). Шаговый механизм Кланна отличается лучшей проходимостью в сравнении с другими шагоходами. Связано это с тем, что такое шасси может перешагнуть через небольшую преграду и даже подняться по лестнице. Этот механизм часто используется в хобби-робототехнике для создания роботов-пауков, в связи с тем, что в движении механизм Кланна имитирует походку некоторых членистоногих.

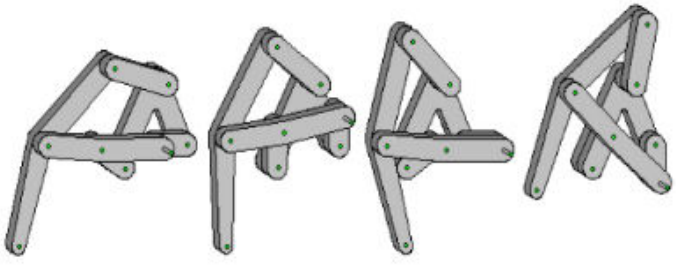


Рис.3. Механизм шагания Джо Кланна в четырех положениях шатуна (0°, 90°, 180° и 270°)

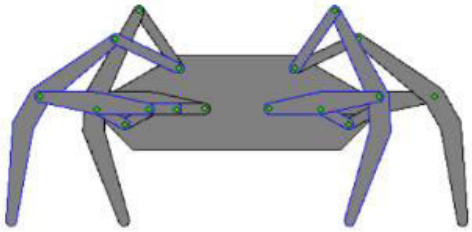


Рис.4. Шагающая машина из двух механизмов шагания Джо Кланна

Кинематическая цепочка ноги механизма Кланна (Рис.5.) состоит из: кривошипа и шести звеньев. Пропорции звеньев определены таким образом, что в течение одной половины оборота кривошипа стопа совершает приближённо линейное движение, а в течение другой половины оборота стопа поднимается на заданную высоту.

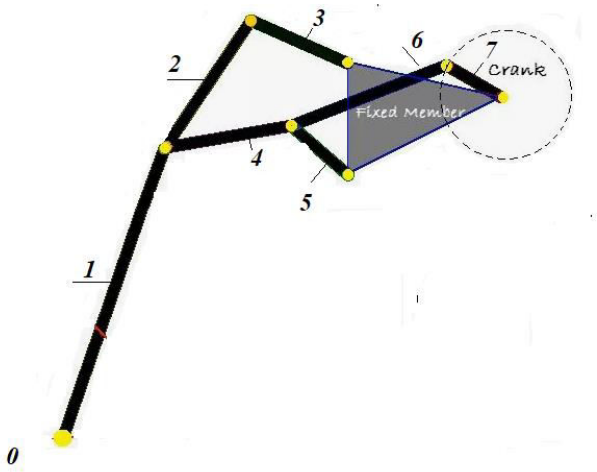


Рис.5. Кинематическая цепочка ноги механизма шагания Джо Кланна

В соответствии с формулой (1): подвижность механизма при $n = 7$ и $p_5 = 10$ равна 1:

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 10 = 1$$

Такой результат, как и в лямба-механизме П.Л.Чебышева гарантирует определенность движения всех звеньев системы при единственном входном движении. Структурно механизм включает в свой состав ведущее звено, кривошип ($W = 1$) и три группы Ассура, выполенные в виде диад *BBB*, образованных звеньями *2 – 3, 4 – 5* и *6 – 7*, для них $W = 0$. На схеме механизма (рис.5.) указанные группы звеньев нулевой подвижности.

Последний рассматриваемый нами механизм - механизм Тео Янсена. Кинематическая цепочка ноги механизма Янсена (Рис.6.) состоит из: кривошипа и семи звеньев. Как и в механизме Кланна, пропорции звеньев строго определены, их положение, и ориентация однозначно определяются углом поворота кривошипа.

Как мы уже выше отметили в кинематической цепи ноги механизма Тео Янсена семь подвижных звеньев. При этом два звена представляют собой жесткие треугольники.

Рассмотрим структурный анализ механизма Тео Янсена [2]. Ведущее звено выполнено в виде кривошипа *1*, который передает движение двум шатунам *2* и *3*. Которые соединены с трехпарным коромыслом *4* и выходным звеном *7*. Шатуны *5* и *6* установлены между звеньями *4* и *7*. Все подвижные звенья механизма установлены на неподвижном звене-стойке *8*. Все звенья механизма соединяются между собой одноподвижными кинематическими парами пятого класса.

В соответствии с формулой (1): подвижность механизма W=1, при $n = 7$ и $p_5 = 10$. Такой результат, как и в первых двух рассматриваемых механизмах, гарантирует определенность

движения всех звеньев системы при единственном входном движении. Структурный анализ механизма включает в свой состав: ведущее звено- кривошип ($W = 1$) и три группы Ассура, которые выполнены в виде диад *BBB*, образованных звеньями *2 – 4, 3 – 6* и *5 – 7*, для них $W = 0$. На рис.6, на схеме механизма выделены указанные группы звеньев нулевой подвижности. В результате рассмотренного структурного анализа механизма Тео Янсена, определены группы Ассура – которые входят в его состав и общая подвижность механизма.

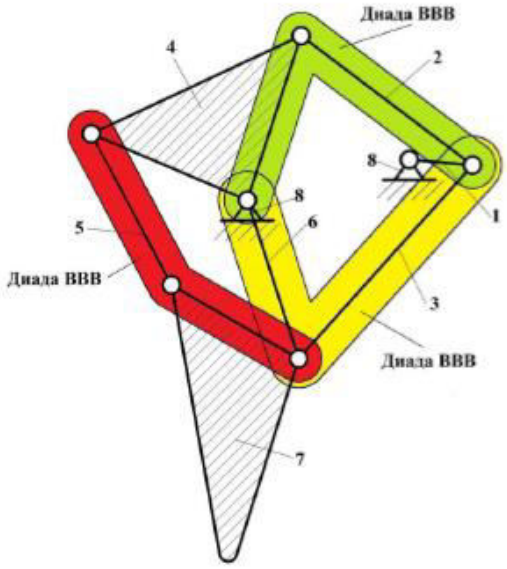


Рис.6.Кинематическая схема механизма Янсена

Полученные данные могут быть использованы при решении дальнейших задач кинематического и динамического анализа, а также для расчетов по оптимизации перемещения выходного звена механизма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Электронный образовательный ресурс / [Электронный ресурс] // [сайт]. — URL: https:// etudes.ru/ (дата обращения: 31.03.2025).

2. *А.С. Фомин, С.В. Киселев, А.В. Олексенко.* Структурный анализ механизма Янсена // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2017. Т. 4 (22). С. 51–53.

STRUCTURAL ANALYSIS OF WALKING MECHANISMS

Kudryashov V.A.

Supervisor: Zaitseva T.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In this paper, a structural analysis of the following walking mechanisms is carried out: Chebyshev's lambda mechanism; Joe Klann mechanism and Jansen mechanism. As a result, the Assur groups that are part of the mechanisms under consideration were identified. The general mobility of the considered mechanisms is determined. The data obtained can be used in solving further problems of kinematic and dynamic analysis, as well as for calculations to optimize the movement of the output link of the mechanism.

УДК 621.77.04

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ

Куралимова К.С.

Научный руководитель: Шубина А.С., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе представлен анализ применения аддитивных технологий в различных отраслях промышленности, основанный на результатах исследований. Особое внимание уделяется рассмотрению преимуществ и ограничений данных технологий.

В автомобильной промышленности 3D-печать активно используется для ускорения процесса создания прототипов и оптимизации затрат на испытания. Технология особенно эффективна при производстве элементов сложной конфигурации, что критически важно для разработки легких и аэродинамически совершенных компонентов транспортных средств [1].

Компания Buggati успешно внедрила аддитивные технологии в производство рычагов и тяг. Инновационный подход позволил создать подвеску, которая оказалась на 30% легче лучших литых аналогов, при этом геометрическая форма деталей была недостижима при традиционном литье. Процесс 3D-печати также демонстрирует значительное преимущество в скорости производства (рис.1).

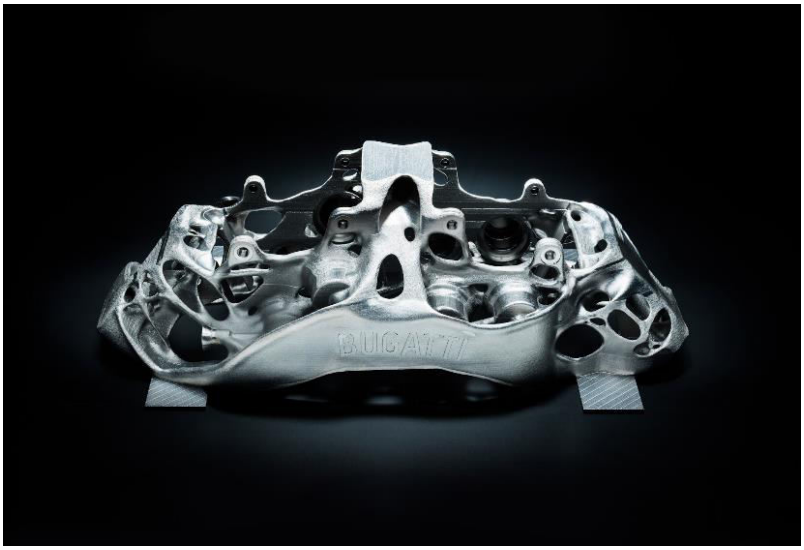


Рисунок 1. Модель, созданная при помощи 3D-печати

Porsche применила аддитивные методы при разработке поршней для модели 911 GT2 RS. По словам старшего инженера Франка Икингера, использование новой конфигурации позволило снизить вес каждого поршня на 20% и увеличить мощность двигателя на 30 л.с. Компания также освоила производство 3D-печатных спортивных сидений для 911 GT3 RS.

Однако применение аддитивных технологий имеет свои ограничения. Среди основных недостатков – высокая стоимость некоторых компонентов и потенциально более низкое качество обработки поверхности по сравнению с деталями, полученными методом ковки или высокоточного литья [2].

Аддитивные технологии открывают новые перспективы в авиакосмической промышленности, позволяя создавать облегченные конструкции без потери прочности. Особую ценность представляет возможность использования инновационных композитных материалов, устойчивых к экстремальным условиям эксплуатации.

В данной отрасли аддитивное производство особенно востребовано благодаря способности преодолевать традиционные производственные ограничения и реализовывать

высокоэффективные конструкторские решения. Отсутствие необходимости в специальной оснастке существенно снижает производственные затраты.

General Electric наладила массовое производство топливных форсунок для двигателя LEAP методом DMLS из кобальтохромового порошка, достигнув производительности 25 000 единиц в год. Boeing внедрил аддитивные технологии в производство более 20 000 компонентов для военной и гражданской авиации, включая элементы из термопластика, изготовленные методом SLS.

Экономический эффект от применения аддитивных технологий в авиакосмической сфере впечатляет. Восстановление турбинных лопаток методом LENS позволяет экономить $6297 на каждую деталь, что дает годовую экономию более $1,4 млн. Использование 3D-печати для производства креплений в салоне самолетов обеспечивает экономию до $2,5 млн. за счет снижения их веса на 50-80% (рис.2) [3].

Рисунок 2. Восстановление турбинных лопаток методом LENS

В энергетической отрасли аддитивные технологии позволяют создавать турбинные лопатки с оптимизированной геометрией, которую сложно воспроизвести традиционными методами литья или механической обработки. Особое значение имеет возможность улучшения теплообменных характеристик внутренней структуры лопаток, что повышает эффективность работы турбин.

Компания Siemens UK применяет 3D-печать для производства лопаток газовых турбин, способных работать при давлении высоких нагрузок, скоростях до 1600 км/ч и температурах до 1250°C с последующим быстрым охлаждением до 400°C (рис.3).

Рисунок 3. Применение 3D-печать для производства лопаток газовых турбин

Несмотря на высокую стоимость стальных компонентов, преимущества аддитивных технологий заключаются в возможности существенного снижения затрат и производства деталей любых размеров с полной адаптацией к конкретному оборудованию [4].

Современное сельское хозяйство очень зависит от сложной техники. В сельскохозяйственном производстве механические узлы и компоненты регулярно подвергаются износу и требуют замены, при этом традиционный подход к их приобретению сопряжен с серьезными неудобствами. Современные вызовы в этой сфере успешно преодолеваются благодаря интеграции инновационных аддитивных технологий в агропромышленный комплекс [5].

Например, корпорация «AGCO» использует аддитивные технологии для разработки новых продуктов и строительства, а также для тестирования функциональных прототипов. Так, в Хесстоне, штат Канзас, недавно с помощью технологий трехмерного проектирования и печати был разработан дозатор семян «White Planters 9000 Series» [6]. Компания «GVL Poly», в свою очередь, использует 3-D печать для производства таких деталей сельскохозяйственной техники, как сопла, шнеки, лопасти вентилятора и многое другое. Все детали изготавливаются из термопластов. В 2013 году компания завершила крупный проект «Dragotec», задачей которого было найти возможности усовершенствования сопел и дизайна кукурузоуборочной приставки к зерноуборочному комбайну. Новая модель кукурузоуборочной приставки была сделана при помощи аддитивных технологий. Также для исследований соответствия функционала и формы были напечатаны и другие детали [7].

Аддитивные технологии демонстрируют значительный потенциал для применения в различных отраслях промышленности и обладают широкими перспективами дальнейшего развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Применение аддитивных технологий в промышленности [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://multiphysics.ru/stati/blog/primenenie-additivnyh-tehnologij-v-promyshlennosti.htm.

2. Why Bugatti, Czinger, and Other Marques Are 3-D Printing Their Hypercars [Electronical resources] - Access mode: https://robbreport.com/motors/cars/how-3d-printing-enhancing-hypercar-designs- 1235999475/.

3. Как 3D-технологии могут изменить бизнес-модель и повысить эффективность предприятий аэрокосмической отрасли [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://blog.iqb.ru/3d-printers-efficiency-in-aerospace/.

4. «Умные пальмы», лопатки турбин и еще 6 лучших проектов 3D-печати в энергетике [Электронный ресурс] - Режим досутпа: https://blog.iqb.ru/3d-printing-energy-best-projects/?ysclid=mb864r757q199823599.

5. *Минаков Д.М., Смышляев А.А.* Перспективы использования аддитивных технологий в агропромышленном комплексе // Материалы всероссийской студенческой научно-практической конференции. Том II. п. Молодежный, 2022, с. 159-163.

6. *Javaid, M.* Using additive manufacturing applications for design and development of food and agricultural equipments / M. Javaid, A. Haleem. – Int. J. Materials and Product Technology, 2019. – Vol. 58, Nos. 2/3. – pp. 225-238.

7. 3D печать в сельском хозяйстве [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://3dtoday.ru/blogs/puh/3d-pechat-v-selskom-khozyaystve-ch2.

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN VARIOUS INDUSTRIES

Kuralimova K.S.

Supervisor: Shubina A.S., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. This paper presents an analysis of the application of additive technologies in various industries based on research results. Special attention is paid to the advantages and limitations of these technologies.

УДК 621.01

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСОВПАДЕНИЙ ПОДВИЖНОСТЕЙ У МЕХАНИЗМОВ С ИЗБЫТОЧНЫМИ СВЯЗЯМИ

Мурлатова Ю.А.
Научный руководитель: Зайцева Т.А., доцент, к. т. н.
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Аннотация. В работе исследуются причины несовпадения фактических расчетных подвижностей в плоских механизмах с избыточными связями - их причины возникновения и локализация.

Известно, что, каждой кинематической паре, которая соединяет два звена механизма, накладывается от одного до пяти ограничений на их взаимные перемещения. Эти ограничения называются связями [1].

По Артоболевскому И.И., числом связей определяется класс пары. Пара с одной связью является парой I класса и обозначается I. Если в цепи имеется несколько пар I класса, то их число обозначается p_1. Пара с двумя связями является парой II класса. Общее число таких пар в цепи обозначается p_2, а накладываемое этими парами число связей будет: $2p_2$. Аналогично так связи в кинематических парах определяются соответственно вплоть до p_5 и $5p_5$.

Общее или суммарное число связей в механизме (цепи) предопределяется его структурой: числом и классом пар, соединяющих звенья кинематической цепи.

В общем случае для пространственного механизма при наличии в его структуре пар всех классов суммарное число связей в его цепи определяется многочленом (1):

$$5p_5 + 4p_4 + 3p_3 + 2p_2 + 2p_2 + p_1. \quad (1)$$

Для плоского механизма суммарное число связей определяется двучленом:

$$2p_5 + p_1. \quad (2)$$

Поскольку выбор класса пар кинематической цепи представляется воле конструктора и разработчика механизма, общее число связей в цепи может изменяться от варианта к варианту даже при неизменном общем числе пар. Связи в цепи появляются по мере ее сборки.

До начала сборки у комплекта, состоящего из *n*- свободных звеньев насчитывается 6 *n*- исходных подвижностей (пространственный механизм). Если механизм плоский, число исходных подвижностей уменьшается до 3 *n* (3-предельная подвижность на плоскости).

В ходе сборки, по мере наложения связей, подвижностей становится все меньше и посоле ее завершения в кинематической цепи механизма должна оставаться хотя бы, одна подвижность W.

В самом общем виде это требование отображается зависимостью (3):

W= [Исходная подвижность, суммарное число подвижностей] − [Суммарное число связей] ≥ I (3)

На практике при анализе подвижностей кинематических цепей используется формулы Чебышева (4) и Сомова-Малышева (5).

Для плоских механизмов:

$$W_p = 3n - (2p_5 + p_4) \quad (4)$$

где $3n$- исходная подвижность;
$2p_5 + p_4$ - суммарное число связей.

Для пространственных механизмов:

$$W_p = 36 - (5p_5 + 4p_4 + 3p_3 + 2p_2 + p_1) \quad (5)$$

где $6n$- исходная подвижность;

$5p_5 + 4p_4 + 3p_3 + 2p_2 + p_1$ - суммарное число связей.

Индекс p в записи W_p вводится для обозначения подвижности, которая находится расчетным путем и в связи с этим в дальнейшем именуется расчетной подвижностью.

Рассмотрим пример: шарнирно-рычажного механизма (рис.1.) в котором насчитывается *n* =3- число подвижных звеньев; $p_5 = 4$ – число кинематических пар (все пары обозначены V); $p_4 = 0$.

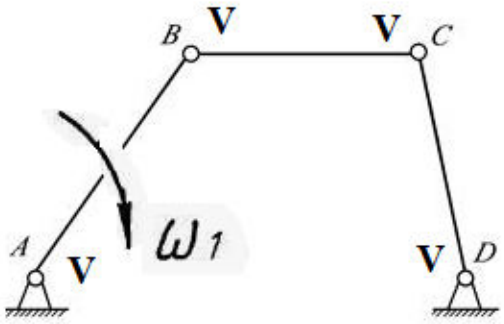


Рис.1. Шарнирно-рычажной механизм

По формуле (2): $W_p = 3n - (2p_5 + p_4) = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 - 0 = 1$. Получили: $W_p < 1$ – цепь механизма обладает общей подвижностью.

Если общее число связей кинематической цепи равняется числу исходных подвижностей, то движение такой цепи оказывается невозможным. В этом случае каждая из подвижностей «парализуется" соответствующей связью. При этом согласно формулам (4) и (5), расчетная подвижность становиться равной нулю: $W_p = 0$.

Движение появляется, если число связей уменьшить всего на одну связь, оказавшуюся лишней. Эту связь называют избыточной и обозначают *q*. При одной избыточной связи *q*=1. При двух избыточных связях расчетная подвижность уменьшится на единицу и будет отрицательным числом: $W_p = -1$.

С ростом числа избыточных связей звенья, лишенные способности перемещаться уже при $W_p = 0$, дополнительно стопорятся дублирующими связями. Кинематическая цепь, состоящая из абсолютно жестких звеньев, «растормаживается» только при полном устранении избыточных связей *q*=0.

Механизм, в кинематических цепях, которых имеется избыточные связи - называют рациональными или самоустанавливающимися. Связи, имеющиеся в рациональных механизмах, называют полезными.

Анализ подвижностей реальных, действующих механизмов говорит о том, что в большинстве случаев в кинематических цепях этих механизмов имеются избыточные связи. Механизмы действуют, функционируют в то время, как их расчетная подвижность $W_p = 0$ или даже $W_p < 1$. Например: $W_p = -7$ в ступени Джемса с 3 сателлитами. В связи с этим вводится новое понятие – фактическая подвижность $W_ф$, которая наблюдается во время работы реального механизма либо его механической модели [2].

На рис.2. представлена схема – кинематическая цепь плоского шарнирно-рычажного механизма типа «двойной параллелограмм", в нем $W_ф = 1$.

По формуле (2): $W_p = 3n - (2p_5 + p_4) = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 6 - 0 = 12 - 12 = 0$, при *n*=4 и $p_5 = 6$.

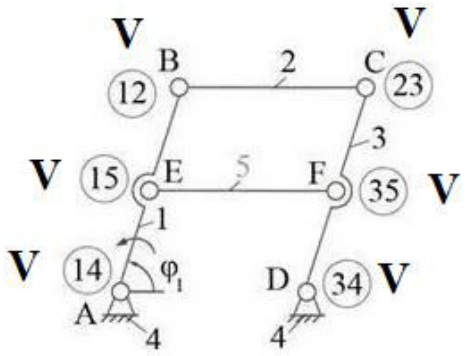


Рис.2. Механизм двойного параллелограмма, выполненный по плоской схеме

В этой цепи одна избыточная связь q=1 т.к. расчетная подвижность на единицу меньше потребной. Для движения требуется $W_p = 1$, а получено $W_p = 0$.

Число избыточных связей можно еще определить по формуле (6):

$$q = W_{\text{ф}} - W_{\text{р}} \tag{6}$$

В абсолютно жесткой кинематической цепи движение звеньев в подобном случае исключается. Поскольку механизм все же движется при наличии одной избыточной связи, «запрещающей» движение, можно утверждать, что влияние этой связи либо подавляется, либо связь фактически отсутствует. Последнее объясняется отклонением класса пар в реальном механизме от их расчетных данных. Так, например, если одна из пар V класса механизма (рис.2.), например пара F, фактически выполняется как пара IV класса-за счет подгонки при сборке, то расчётная подвижность механизма окажется равной единице. В этом случае n=4, $p_5 = 5$ и $p_4 = 1$, а расчетная подвижность:

$$W_p = 3n - (2p_5 + p_4) = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 5 - 1 = 1.$$

Следовательно, избыточных связей не имеется, механизм фактически рациональный, и расчетная подвижность оказалась нулевой из-за погрешностей в оценке класса пары F.

Кроме того, расчетная и фактически подвижности могут не совпадать в тех, случаях, когда звенья реального механизма, вследствие небольшой жесткости, упруго деформируются, подавляя действие избыточной связи.

При $W_{\text{р}} = 0$ абсолютно жесткая кинематическая цепь лишена движения, и у нее будет наблюдаться $W_{\text{ф}} = 0$. В этой же цепи, при $W_{\text{р}} = 0$ и небольшой жесткости звеньев, действие избыточной связи будет подавляться и появится фактическая подвижность т.е.$W_{\text{ф}} \neq 0$.

Таким образом, если у механизма типа “двойной параллелограмм” все кинематические пары выполняются как пары V класса, а после сборки наблюдается фактическая, общая, подвижность $W_{\text{ф}} = 1$, налицо преодоление избыточной связи за счет упругих деформаций реального механизма.

Упругие деформации во всех звеньях обычно появляются уже в процессе сборки механизмов с избыточными связями, при замыкании любой последней пары звеньев.

Во время работы, в движении, деформации будут не изменяться, н-р: по углу поворота кривошипа BC (рис.2.).

Возникновение и вид деформаций как начальных, сборочных, так и последующих, связанных с движением и подавлением избыточной связи, носит случайный характер. Последнее объясняется рассеянием размеров (дли) звеньев при изготовлении реальных механизмов, практической невозможностью обеспечить равенство размеров звеньев: BC и EF; EB и CF; BC и EF; AE и DF; (рис.2.). В связи с этим, при EF > BC звенья 1 и 5 выпучиваются, звено 2 растягивается, а звено 3 сжимается.

Движенье звеньев как бы “оплачивается” их деформацией, прочностью и, в конечном счете: работоспособностью механизма, которая при этом неминуемо снижается.

При абсолютно жестких звеньях и EF > BC сборка механизма не выполняется, и естественно равняется нулю. При менее жестких звеньях и EF > BC (но не в больших пределах) сборка выполняется, но общая подвижность отсутствует – механизм не “проворачивается” из-за чрезмерной работы деформации.

При производстве механизмов из-за неизбежных технологических погрешностей форма звеньев и параллельность осей кинематических пар обычно нарушается. /В связи с этим, звенья “плоского” механизма (рис.1.) фактически не могу перемещаться в параллельных плоскостях. Реализовать плоский механизм фактически не удается. Плоский механизм-недостижимая на практике абстракция, которая должна использоваться с рядом оговорок.

В частности при анализе подвижностей механизмов с использованием плоской схемы удается обнаружить наличие только наиболее вредных избыточных связей (по Л.Н. Решетову). Традиционно плоские механизмы должны рассматриваться и как пространственные. Такой подход позволяет обнаружить полное число избыточных связей, а также принять меры при проектировании к их устранению, вплоть до нуля за счет структуры механизма, которая выполняется по воле конструктора может изменяться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Артоболевский И.И.* Теория механизмов и машин М.: Кнорус, 2023. – 640 с.
2. *Артоболевский И.И.* Механизмы в современной технике М.: Кнорус, 2021. – 400 с.

INVESTIGATION OF MOVEMENT INCONSISTENCIES IN MECHANISMS WITH EXCESSIVE CONNECTIONS

Murlatova Y.A.
Supervisor: Zaitseva T.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper examines the reasons for the discrepancy between the actual and calculated mobilities in flat mechanisms with redundant links, as well as their causes and localization.

УДК 629.11.01

УДАЛЕНИЕ ВМЯТИН БЕЗ ПОКРАСКИ

Муртазин Р.А.
Научный руководитель: Халиуллин Ф.Х., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Данная статья посвящена рассмотрению технологии беспокрасочного ремонта вмятин (PDR — Paintless Dent Repair), представляющей собой современный способ восстановления кузовных элементов автомобиля без необходимости прибегания к традиционному ремонту. В рамках материала раскрываются принципы работы данной методики, применение инструментов, а также требования, предъявляемые к повреждённым поверхностям.

При эксплуатации транспортного средства в условиях города кузов нередко подвергается разного рода механическим воздействиям. Это может быть, например, удар градин, случайное попадание гравия, повреждения при открытии дверей, а также несильные дорожно-транспортные происшествия. Привычные способы восстановления кузова, к числу которых относят рихтовку, нанесение шпаклёвки и последующую покраску, хоть и дают хороший результат, связаны с ощутимыми затратами времени и денежных средств. Кроме того, подобные процедуры могут негативно сказаться на цену автомобиля при продаже.

Альтернативным решением в таких случаях выступает методика устранения вмятин без покраски кузовных элементов. Эта технология позволяет вернуть автомобилю эстетичный вид, сохранив оригинальное покрытие неповрежденным. Метод ремонта без покраски начинает обретать широкую популярность среди владельцев машин благодаря своей эффективности. Ключевые преимущества – стоимость и скорость ремонта.

Суть метода беспокрасочного ремонта, далее называемый PDR, заключается в аккуратном устранении деформаций на элементах кузова так, чтобы не было необходимости прибегать к покраске. В ситуациях, когда заводское покрытие остаётся целым, эта технология позволяет избавиться от множества сложных повреждений [2]. Метод успешно применяется как на стальных, так и на алюминиевых деталях.

В некоторых регионах США специалисты, работающие по этой технологии, называют свою деятельность PCR (Paintless Collision Repair), подчёркивая возможность восстановления кузова даже после серьёзных столкновений, когда традиционно требовалась бы покраска. Также этот способ часто используется в качестве подготовительного этапа перед нанесением новой краски, что позволяет свести к минимуму потребность в шпаклёвке, а иногда ограничиться лишь нанесением слоя грунтовки.

Одним из ключевых достоинств метода является отсутствие необходимости в шпаклевании и окрашивании поврежденных элементов кузова. Благодаря этому снижаются финансовые и временные издержки по сравнению с традиционными способами восстановления. К тому же, сам процесс устранения дефектов выполняется в короткие сроки, а родное лакокрасочное покрытие остаётся нетронутым, что исключает возможные различия в оттенках после ремонта. Немаловажным преимущество является то, что работы по PDR могут выполняться практически в любых условиях, без необходимости специально оборудованного помещения.

Однако для достижения качественного результата важно учитывать несколько факторов. В частности, металл кузова не должен быть чрезмерно растянут, а слой краски обязан оставаться целым. Немаловажную роль играет и время, прошедшее с момента получения повреждения до начала ремонта. Со временем исправление вмятин становится более сложной задачей, поскольку металл имеет свойство запоминать форму из-за возникновения внутренних напряжений. Это особенно заметно на участках с изогнутой или выпуклой геометрией. Основная задача специалиста в таких случаях — аккуратно снять напряжение и вернуть детали её изначальную форму.

В процессе ремонта применяется серия последовательных и мягких воздействий с внутренней стороны вмятины. Мастер внимательно контролирует визуально каждый этап, определяя оптимальные точки приложения усилия. Хотя полное устранение дефектов возможно не всегда, в большинстве случаев при грамотной работе результат практически неотличим от первоначального состояния.

Особенности выполнения ремонта по технологии PDR заключаются в следующих моментах:

- ремонтируемый участок должен быть надёжно зафиксирован;
- требуется организация специального освещения и использование отражающей панели;
- необходим доступ к изнаночной стороне повреждённой области;
- применение инструмента должно сопровождаться точкой опоры, а действия выполняться постепенно и с максимальной осторожностью.

Мастер подбирает разные углы и точки приложения усилий, особенно если металл плохо реагирует на воздействие в конкретной области. Важной задачей является предотвращение образования следов от чрезмерного надавливания, которые могут повредить лакокрасочное покрытие. Контроль за процессом ремонта осуществляется за счёт отражающей панели, позволяющей увидеть даже малейшие изменения на поверхности.

Используя PDR-инструменты, мастер осуществляет мягкое массирование краёв вмятины, постепенно устраняя внутренние напряжения. Вмятина исчезает поэтапно, а металл восстанавливает свою первоначальную форму.

Ключевым элементом успешного восстановления является правильное освещение [3]. Подобранная с учётом специфики повреждения световая схема позволяет выявить малейшие неровности и контролировать деформацию металла в процессе работы. В этом помогают как отражающие панели, так и мощные лампы, включая светодиодные и флуоресцентные источники света. Такие элементы необходимы, особенно при работе с серьёзными повреждениями.

Инструментарий для PDR представлен широким спектром приспособлений, отличающихся по размерам, конфигурации, изгибам и толщине. Существуют модели со сменными насадками, что делает их универсальными и удобными в применении. К примеру, острые наконечники незаменимы при устранении мелких дефектов на финальных этапах работ, тогда как округлые насадки позволяют работать с обширными участками поверхности. Изгиб инструмента также определяет силу и направление воздействия на вмятину. Технологии PDR не стоят на месте — инструменты совершенствуются, а мастера осваивают всё более современные техники. Сегодня арсенал специалистов включает множество систем, каждая из которых обладает своими функциями и назначением.

Система крючков

Одним из базовых методов устранения вмятин без покраски является использование специальной системы крючков. В этой технологии выравнивание поврежденного участка осуществляется путём деликатного воздействия на внутреннюю сторону элемента кузова. За счёт применения крючков мастер постепенно выдавливает деформированный металл, при этом полностью сохраняется целостность лакокрасочного слоя. На рисунке 1 представлен инструмент, который применяется при работе по данной технологии.

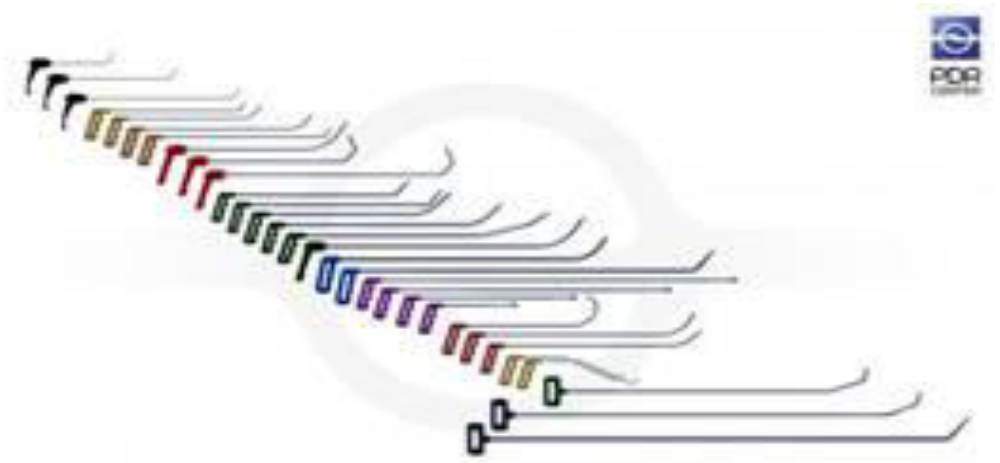


Рисунок 1. Система крючков [1]

Клеевая система

Одной из востребованных методик устранения вмятин является применение клеевых систем, включающих: клеевые адаптеры, термоклей, минилифтеры, обратные молотки, а также вспомогательный инструмент. В этом случае процесс восстановления происходит с внешней стороны: на повреждённую область наносится термоклей, после чего с помощью специальных приспособлений металл аккуратно вытягивается. Особенно широкое применение получил именно горячий клей, обладающий высокой прочностью сцепления. На рисунке 2 продемонстрированы инструменты, используемые в рамках клеевой методики [1].

Рисунок 2. Клеевая система [1]

Система осаживания

При устранении вмятин иногда возникают так называемые "пики" — небольшие возвышенности на поверхности металла. В таких ситуациях применяют систему осаживания, состоящую из стеммеров, специальных кернов и молотков для блендинга. Суть метода заключается в аккуратном простукивании по выпуклости с наружной стороны, что способствует выравниванию поверхности. Рисунок 3 демонстрирует инструменты, задействованные в этой технологии [1].

Рисунок 3. Система осаживания [1]

Блендинг

Блендинг представляет собой разновидность системы осаживания. При этом методе мастер воздействует на участок кузова снаружи посредством легкого постукивания, соблюдая определённую дистанцию от центра вмятины. Это позволяет скорректировать форму детали и добиться безупречной ровности. На рисунке 4 показано приспособление, применяемое в этой методике [1].

Рисунок 4. Инструмент для блендинга [1]

Система перенапряжения

Данный подход предполагает одновременное использование гладилки и контропоры (или подушки для упора). В процессе работы мастер воздействует на металл ударами гладилки по касательной траектории, при этом с внутренней стороны создаётся противодействующий упор, способствующий восстановлению формы детали. Пример инструмента для этой техники представлен на рисунке 5 [1].

Рисунок 5. Система перенапряжения [1]

Стоит учитывать, что беспокрасочный ремонт невозможен, если целостность металла нарушена — например, образовались резкие заломы, глубокие точечные вмятины на кромках, сильно вытянутые зоны или глубокие царапины. В подобных ситуациях традиционные методы ремонта остаются единственно возможным решением.

Примеры подходящих для PDR повреждений

- Двери и крылья. Повреждения возникают из-за неосторожного открытия дверей или лёгких столкновений. Обычно металл не подвергается критическому растяжению.
- Капот и багажник. Часто страдают от падения предметов или лёгких столкновений.
- Крыша автомобиля. Может повреждаться вследствие града, падения веток или других предметов.
- Пороги и стойки. Повреждаются при наездах на бордюры, контакте с камнями или в результате несильных ударов.

Сравнительная характеристика PDR и традиционных методов

1.Сохранение лакокрасочного покрытия:

Традиционные методы подразумевают полную перекраску повреждённой детали, что создаёт риск несоответствия цвета из-за неправильного подбора краски или использования менее качественных материалов, по сравнению с заводскими.

PDR позволяет сохранить заводское лакокрасочное покрытие в целости, что делает автомобиль более привлекательным для покупателей на вторичном рынке.

2.Временные затраты

Классический подход требует длительного времени (от нескольких дней до нескольких недели) из-за множества стадий ремонта.

Беспокрасочный ремонт выполняется значительно быстрее — вмятина может быть устранена всего за несколько часов.

3.Финансовые расходы

Традиционный метод более затратен, поскольку требует использования материалов и сложной подготовки.

Метод PDR обходится дешевле благодаря отсутствию необходимости в лакокрасочных материалах, однако стоимость может варьироваться в зависимости от сложности повреждения.

Технология PDR представляет собой прогрессивный и экономичный способ восстановления повреждённых элементов кузова без применения покраски. Её основные преимущества заключаются в высокой скорости работ и сохранении оригинального покрытия. Однако стоит помнить о существующих ограничениях метода: он не эффективен при глубоко повреждённых или корродированных участках. Выбор метода зависит от характера повреждения, бюджета и требований к результату. Если повреждение незначительное и лакокрасочный слой не нарушен, PDR становится оптимальным вариантом. В случаях более серьёзных дефектов целесообразно прибегнуть к традиционному ремонту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Инструменты для удаления вмятин / [Электронный ресурс] // PDRC: [сайт]. — URL: https://pdrc.ru/instrument/ (дата обращения: 31.03.2025).

2. Ремонт вмятин без покраски / [Электронный ресурс] // Википедия: [сайт]. — URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Paintless_dent_repair (дата обращения: 31.03.2025).

3. Что полезно знать о ремонте автомобиля, поврежденного градом / [Электронный ресурс] // Сам-Автомаляр: [сайт]. — URL: https://sam-avtomalyar.ru/remont-avtomobilya-posle-grada/ (дата обращения: 31.03.2025).

PAINTLESS DENT REPAIR

Murtazin R.A.

Supervisor: Khaliullin F.H., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article explores Paintless Dent Repair (PDR) technology – a modern method of car body restoration without fillers or repainting. It covers the core principles of PDR, essential tools, and application criteria. Key advantages such as preserving factory paint, cost efficiency, and repair speed are highlighted.

УДК 621.833

РЕМОНТ И МОДЕРНИЗАЦИЯ: ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗНОШЕННЫХ ШЕСТЕРЕН МЕТОДАМИ НАПЛАВКИ (DED, LMD). МОДЕРНИЗАЦИЯ СТАРЫХ РЕДУКТОРОВ ПУТЕМ ДОБАВЛЕНИЯ НОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Пономарева М.Н.

Научный руководитель: Шубина А.С., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Зубчатые колёса получили широкое применение во многих отраслях промышленности, однако их износ и охрупчивание являются одной из главных причин отказов редукторов. Современные аддитивные технологии Directed Energy Deposition (DED) и Laser Metal Deposition (LMD) позволяют точечно восстанавливать геометрию и прочность шестерен без дорогостоящей полной замены. Помимо ремонта колес, сейчас всё чаще проводят модернизацию всего узла: внедряются рёбра жёсткости и усиливают соединения новыми фланцами.

Перед выбором технологии восстановления необходимо провести диагностику износа шестерни. Основными причинами деградации зубчатого зацепления являются:

- Контактная усталость (питтинг). Циклические напряжения превышают предел выносливости, вызывая микротрещины и выкрашивания.
- Абразивный износ вследствие наличия твёрдых частиц в масле при недогрузке передачи.
- Адгезионный износ при недостаточной смазочной плёнке и высоких удельных давлениях.
- Коррозионно-механический износ из-за влаги и сернистых соединений.
- Отклонения геометрии, несоосность валов и ошибки сборки.

Оценивается глубина микротрещины в основании зуба, остаточная твёрдость материала. Ремонт считается целесообразным при износе по профилю до 25% высоты зуба. При больших потерях металла реконструкция может применяться для крупных колёс, но она в разы сложнее. Для диагностики используют вибродиагностику и акустическую диагностику. Акустическая эмиссия позволяет эффективно обнаруживать начинающиеся трещины (при возникновении и развитии трещины материал шестерни излучает высокочастотные акустические волны, которые регистрируют специальные датчики), [1].

Современные аддитивные технологии позволят восстанавливать 2-мя разными методами:

1. Directed Energy Deposition (DED) - это наплавка проволочного или порошкового металла с одновременным плавлением лазером или электронным пучком. Процесс ведётся по цифровой траектории, повторяющей контур зуба. Основные параметры — мощность источника (0,5–3 кВт), скорость подачи проволоки (2–6 м/мин) и толщина наплавляемого слоя (0,3–1,0 мм за проход). Шероховатость после DED составляет Ra 6–8 мкм, поэтому необходимо последующее финишное шлифование. DED оптимален для массивных венцов > 1м (рис.1) [2].

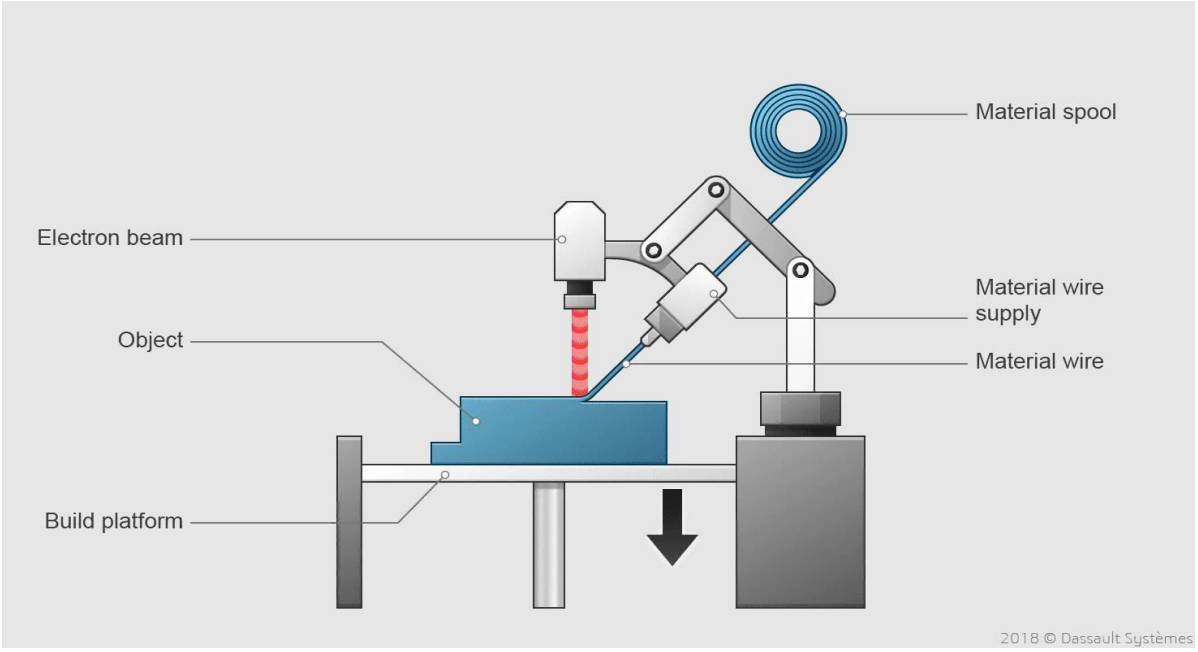


Рис 1. «Восстановление методом Directed Energy Deposition (DED)»

2. Laser Metal Deposition (LMD) - процесс аддитивного производства, при котором применяется порошковая струя, которая вводится в зону плавления лазером. Диаметр пятна ≤ 0,6 мм обеспечивает минимальную тепловую деформацию, что важно для тонкостенных шестерён. Благодаря узкой зоне термического влияния сохраняется закалённая структура сердцевины. Данный метод характеризуется высокой точностью и эффективностью нанесения материала, а также возможностью создавать сложные геометрические формы. LED подходит для тонкостенных колёс и высоких классов точности (рис.2) [2].

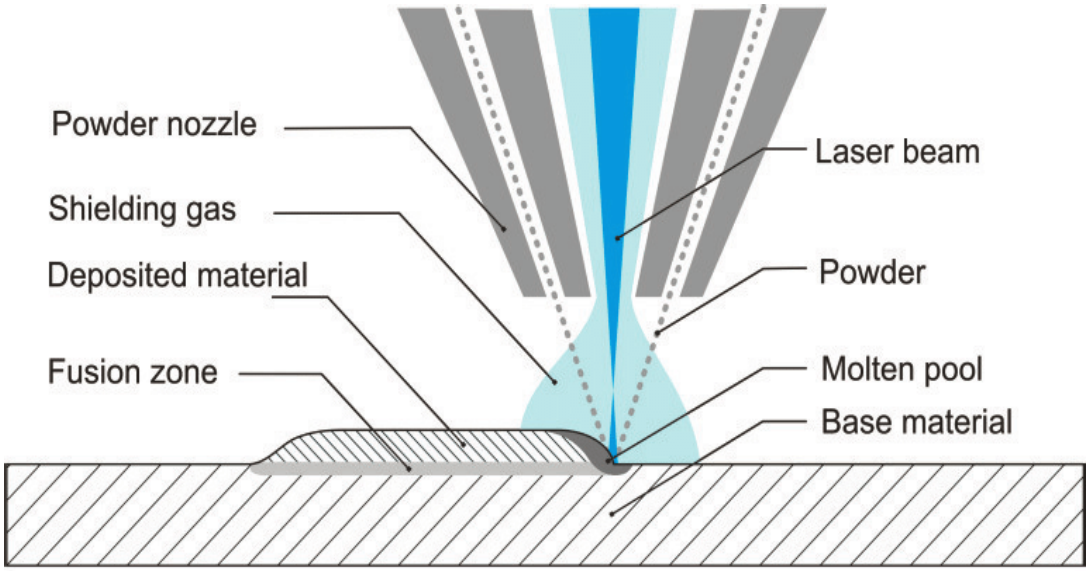


Рис 2. «Восстановление методом Laser Metal Deposition (LMD)»

Модернизация старых редукторов - это комплексный подход, который может включать не только ремонт, но и улучшение характеристик оборудования для повышения его надежности и эффективности.
Ниже приведены ключевые аспекты, цели и методы модернизации в таблице 1.

Таблица 1

Цели и методы модернизации старых редукторов

Аспект модернизации	Основные цели	Конкретные методы и примеры
Конструктивные улучшения	Повышение надежности и срока службы	Усиление подшипниковых узлов, использование шлифованных цементованных зубчатых пар для уменьшения габаритов и улучшения характеристик
Применение новых материалов	Снижение износа, повышение износостойкости	Использование самосмазывающихся антифрикционных материалов для втулок, роликов, вставок скольжения
Дополнение новыми узлами	Повышение безопасности и удобства эксплуатации	Установка механизмов защиты от несанкционированного вскрытия, применение антиконденсатных покрытий для корпуса
Импортозамещение	Воспроизведение и адаптация зарубежных технологий	Полная замена устаревшего редуктора на современный отечественный аналог с улучшенными параметрами

Модернизация также подразумевает под собой укрепление корпуса различными конструкциями, а также улучшение смазочной системы:

• Корпуса, отлитые из серого чугуна, часто имеют локальные напряжения вокруг подшипниковых посадок. Наиболее эффективна наплавка рёбер жёсткости из низколегированной стали с последующей механической обработкой. Сюда же можно отнести установку новых фланцев для повышения жёсткости конструкции

• Улучшение смазочной системы может включать в себя:

- установку систем принудительной смазки (пример: форсунок целевой подачи масла в зону зацепления);

- установка систем охлаждения масла (пример: устанавливается масло-воздушный радиатор (теплообменник) с вентилятором);

оснащение системами мониторинга (датчиков температуры IoT-формата, датчик давления масла). Контроль температуры позволит избежать перегревов, что приведёт к удваиванию усталостного ресурса масляной плёнки на зубьях;

- модернизация уплотнений (пример: замена старых сальников из простой резины на современные, сальники с пылезащитной губкой и спиральными поджатиями, бесконтактные лабиринтные уплотнения для валов с высокой скоростью вращения) [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н.* Аддитивные технологии в машиностроении // Санкт-Петербург: Издательство политехнического университета, 2013.

2. *Афанасьев А.И.* «Лазерная наплавка как перспективный метод упрочнения и восстановления деталей современного машиностроения» // *Вестник машиностроения*, 2020, № 6.

REPAIR AND MODERNIZATION: RESTORATION OF WORN GEARS BY SURFACE WELDING METHODS (DED, LMD). MODERNIZATION OF OLD GEARBOXES BY ADDING NEW ELEMENTS

Ponomareva M.N.
Supervisor: Shubina A.S., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Gear wheels are widely used in many industries, but their wear and embrittlement are one of the main causes of gearbox failures. Modern additive technologies Directed Energy Deposition (DED) and Laser Metal Deposition (LMD) allow for point restoration of gear geometry and strength without costly complete replacement. In addition to wheel repairs, modernization of the entire unit is now increasingly carried out: stiffening ribs are introduced and connections are reinforced with new flanges.

УДК 620.179.1

ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Потапенко А.В.
Научный руководитель: Зайцева Т.А., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Рассмотрено применение рентгеновской компьютерной томографии в исследованиях композиционных материалах, на примере бесшарнирной втулки несущего винта вертолета из многослойных полимерных композитных материалов. Показано наличие корреляционных зависимостей между пористостью и плотностью материала с единицами Хаунсфильда.

Композиционные материалы (КМ) встречаются нам везде, во всей нашей повседневной жизни [1]. Области применения композиционных материалов многочисленны. Уже невозможно представить автомобиль без композиционных материалов. Кроме авиационно-космической, ракетной и других специальных отраслей техники, они могут быть успешно применены в энергетическом турбостроении, в автомобильной и горнорудной, металлургической промышленности, в строительстве и т.д. Диапазон применения этих материалов увеличивается день ото дня и сулит еще много интересного. Можно с уверенностью сказать, что это материалы будущего. После того как современная физика металлов подробно разъяснила нам причины их пластичности, прочности и ее увеличения, началась интенсивная систематическая разработка новых материалов.

Композит – многокомпонентный материал, состоящий из пластичной основы (матрицы) и армирующего наполнителя, придающего композиту прочность и жесткость, с четко разделяющей их границей, при этом полученный материал характеризуется свойствами, которых нет ни у одного, взятого в отдельности, используемого компонента и использует преимущества каждого из них. (Рис. 1). Хорошим примером композита является железобетон. В качестве армированного наполнителя выступают металлические прутья.

Рис.1. Принцип устройства композита

С композитами человечество знакомо давно. Еще в 3400 г. до н.э. месопотамцы склеивали древесину под разными углами, получали материал свойствами лучше, чем у натурального дерева. Древние египтяне смешивали глину и солому, получая материал для кирпичей.

Первый современный композиционный материал запатентовал в 1909 году американский химик Лео Бакеланд. Он соединил фенол и формальдегид с наполнителями из асбестового порошка древесной муки, целлюлозы. Получивший материал получил название “бакелит” и в первой половине XX века активно использовался для производства разных деталей внешнего корпуса бытовых приборов (телефонов, радио, настольных ламп и т.п.).

Именно, сочетание разнородных веществ приводит к созданию нового материала, свойства которого качественно и количественно превосходят свойства его составляющих. Многие композиты опережают по своим полезным свойствам традиционные материалы и сплавы и в то же время они легче. Использование композитов позволяет увеличить прочность конструкции, снизить вес и увеличить долговечность.

Существуют следующие виды композиционных материалов (Рис.2).

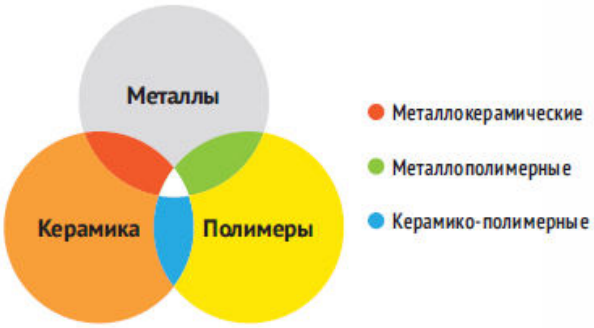


Рис.2. Виды композитных материалов

Композиционные материалы делятся на армированные и неармированные. Неармированные полимеры имеют сплошную или пористую структуру, не содержащую армирующих волокон (резина, пенопласты, полиэтилены и т.д.).

Армированные полимеры или полимерные композиционные материалы (ПКМ) представляют собой полимерную матрицу, содержащую тонкие армирующие волокна из высокопрочных материалов – стекла, углерода, органических веществ и т.д. Волокна придают материалу прочность и жесткость, матрица связывает композицию, придавая ей форму. В качестве полимерного связующего используются эпоксидные, фенольные и кремний-органические материалы

Использование композиционных материалов позволяет повысить эксплуатационные характеристики, конструкции обладают более высокой, чем у металлических сплавов, удельной прочностью и жесткостью, что позволяет снизить массу конструкции; высокими тепло- и звукоизолирующими свойствами, существенным гашением вибраций и т.д.

Варьирование составом компонентов позволяет получать широкий спектр разнообразных свойств композиционных материалов. Отмеченное разнообразие свойств обусловливает изменение спроса на ПКМ во всех областях применения конструкционных материалов. Поэтому область применения композиционных материалов различна во всех видах техники, в том числе и при создании современной авиационной техники широко используются композиционные материалы (КМ). В таблице 1, представлено использование КМ в самолетах.

Таблица 1

Использование КМ в самолетах

Тип самолета	Композиционная часть самолета	Процент композиционного материала в самолете
Ту-204	механизация крыла: закрылки, элероны, интерцепторы, рули высоты и направления, а также панели люков, полов и интерьера	25%
Ил-476	композитное крыло, силовая установка, двигатель ПС-90А-76	70%
Мс-21	композитное крыло	от 30% до 40%
Boeing-787	Замена некоторых аллюминевых деталей на композитные	~50%
Airbus A350	задняя часть фюзеляжа, секции 16–18	~50%
SSJ-110		12%
Superjet-100	элероны, рули, интерцепторы, тормозные щитки, обтекатель стыка крыла с фюзеляжем, носовой радиопрозрачный конус	

Методы изготовления изделий из КМ весьма разнообразны и зависят от формы и размеров изделия, типа волокнистого наполнителя и связующего. Современная технология не гарантирует отсутствия в изделиях дефектов, снижающих их качество. Это приводит к значительному рассеиванию физико-механических характеристик композиционного материала. Дефектами следует считать такие повреждения в структуре материалов, которые ухудшают их физико-механические характеристики, установленные нормативными документами.

Контроль качества изделий из композитных изделий необходимо осуществлять как в исходном сырье, так и процессе изготовления и эксплуатации изделия. Однако из-за применения композитов появились и новые проблемы, которые могут обернуться катастрофами со временем:

1. Пористость. Это микроскопические воздушные пузырьки в связующий диаметр меньше 2 мм. Пористая структура способна накапливать влагу. На большой высоте вода превращается в лед, расширяется и может вызвать расслоение материала.

2. Воздушные включения. Это вытянутые округлые воздушные пузыри диметром более 2 мм, расположенные между слоями стеклонаполнителя. Неполное удаление воздуха, внесенного при укладке слоев наполнителя. Деформация при отверждении и термообработке конструкций, особенно при сложной конфигурации изделий и местах резкого изменения толщины стеклопластика

3. Трещины. К ним относится макро- и микротрещины в связующем между волокнами наполнителя и по контуру волокон. Неправильная дозировка компонентов связующего, избыток связующего, чрезмерное ускорение процесса полимеризации, деформации при отверждении и термообработке изделий.

4. Неполная полимеризация. В течение заданного времени отвержения связующее не приобретает необходимой прочности, жесткости, адгезионных свойств и стойкости к агрессивным средам. Низкое качество компонентов связующего, неправильная дозировка отверждающих добавок, неудовлетворительное перемешивание связующего, неравномерное распределение химических компонентов по объему материала, нарушение режимов отверждения, ингибирующее действие кислорода воздуха на процесс полимеризации поверхностных слоев стеклопластика.

5. Расслоение в материале (непроклей). Вытянутые воздушные включения площадью до нескольких десятков квадратных сантиметров, имеющие резко очерченные края,

расположенные между слоями наполнителя. Слабая адгезия между слоями наполнителя из-за неравномерного распределения связующего, пересушенная стеклоткань, в которой летучих растворителей менее 2 %, неполное удаление воздуха при укладке слоев наполнителя, неправильная термообработка.

Поэтому все самолеты и т.п. проходят тщательный осмотр на предмет выявления дефектов.

Традиционные методы неразрушающего контроля, предполагают частичное или полное разрушение образцов из КМ и поэтому, в процессе эксплуатации неприменимы. В связи с этим возникла потребность в неразрушающих методах контроля, способных однозначно фиксировать и классифицировать дефекты структуры композита без разрушения. Использование этих методов неразрушающего контроля для таких задач чаще всего связано с оценкой косвенной статистической взаимосвязи физических параметров и параметров, которые могут быть определены в процессе диагностики.

Компьютерная томография и ультразвуковые методы относятся к неразрушающим методом исследованиям КМ.

Компьютерная томография – это метод получения изображения внутренней структуры объекта путем достаточно сложных вычислительных процедур при анализе первичных данных, получаемых посредством измерения поглощения рентгеновского излучения объектом исследования.

Процесс получения изображения в КТ содержит три основных этапа (измерение, реконструкцию и визуализацию). На этапе измерения с помощью узкого коллимированного пучка рентгеновского излучения от излучателя, расположенного по одну сторону объекта, и высокочувствительной системы детекторов, находящейся по другую сторону и воспринимающей ослабленное (вследствие поглощения объектом) рентгеновское излучение, изменяя угол обзора или ракурс, получают множество проекций или профилей тонкого слоя исследуемого объекта. Самым технологичным в настоящее время является процесс объемного (спирального) сканирования (СКТ) [2].

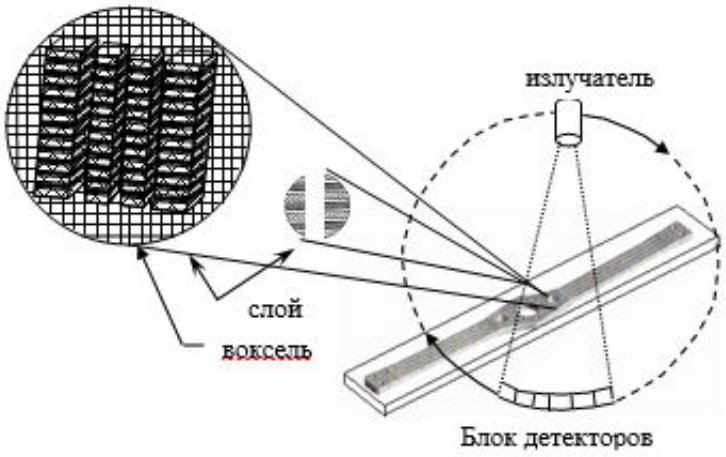


Рис.3. Схема сканирования КТ

Интенсивность воспринимаемого детекторами рентгеновского излучения соответствует интегральному (суммарному) линейному ослаблению по направлению излучатель – детектор, что соответствует свойствам материала:

$$\mu(E)=f(\rho,h), \quad (1)$$

где μ – коэффициент ослабевания;

E – энергия излучения;

ρ – плотность материала;

h – толщина образца.

Способность вещества поглощать рентгеновское и γ-излучение характеризуется коэффициентом ослабления μ (см$^{-1}$). Количественная оценка плотности материала с помощью КТ основана на разнице в поглощении рентгеновского излучения различными материалами [2].

В технике КТ принято измерять объемное ослабление не в абсолютных, а в относительных по отношению к ослаблению воды единицах, называемых числами Хаунсфильда (HU):

$$HU = 1000\frac{(\mu - \mu_{\text{воды}})}{\mu_{\text{воды}}}, \quad (2)$$

где μ - коэффициент ослабления исследуемого материала;
$\mu_{\text{воды}}$ - коэффициент ослабления воды.

В этой системе отсчета вода:

вода……..…..0 *HU*;
воздух……..….-1000 *HU*;
стеклопластик .....1050-1200 *HU*;
резина ……..450-800 *HU*.

На этапе реконструкции по множеству полученных измерительной системой проекций с помощью быстродействующих процессоров вычисляются значения коэффициентов ослабления для каждого элементарного объема слоя объекта.

Полученные коэффициенты ослабления в последующем высвечиваются на дисплее, создавая изображение слоя. Наиболее плотные материалы светятся ярче, а менее плотные выглядят более затемненными. Серые тона можно по соответствующей шкале заменить цветными (рис.4) [3].

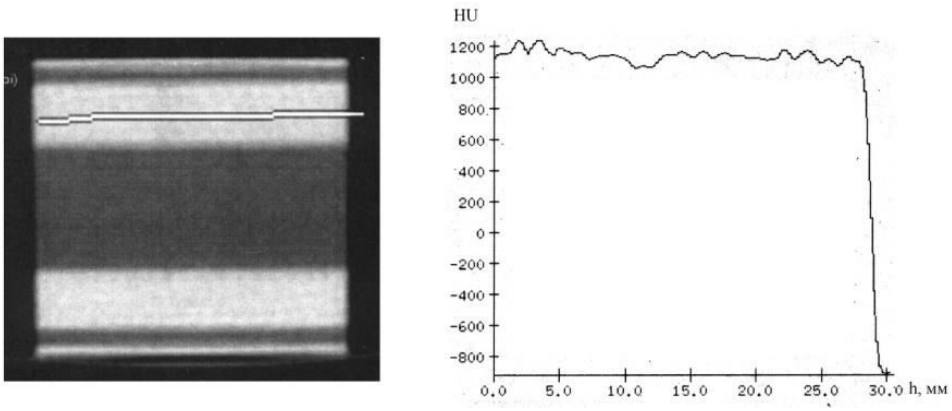


Рис.4. Томограмма сечения образца и значения HU в исследуемом слое

Были исследованы образцы из различных композиционных материалов, керамики, полимеров, применяемых для изготовления имплантов. Первоначально находилась их плотность по ГОСТ15139-73, а затем они были исследованы на КТ. Результаты плотности ρ и усредненные значения коэффициентов ослабления HU приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты плотности ρ и усредненные значения коэффициентов ослабления HU

Материал	Стекло-пластик	Стекло-пластик Т-25	Угле-пластик	Органно-пластик	Органит	Резина	Кап-ролон	Во-да
ρ, г/см^3	2,5	1,95	1,9	1,4	1,4	1,37	1,09	1
HU	1284	978-1100	191	53	200-250	450-800	50-80	0

Плотность материала зависит от пористости, которая является безразмерной величиной и оценивает процентное содержание пор в твердом теле. Значения пористости при производстве КМ определяют на образцах свидетелях, вырезанных из припусков изготовляемых конструкций, но в ходе эксплуатации эти показатели от действия влаги,

температуры, кислотности и т.д. меняются в худшую сторону. Кроме этого конструкции получают усталостные и ударные повреждения, которые приводят к отслоению волокон наполнителя от эпоксидной основы (матрицы). Это увеличивает объемную пористость и, как следствие, снижаются прочностные характеристики. Следовательно, контролируя значение пористости через числа HU, можно прогнозировать остаточный ресурс композита.

В качестве объекта исследования были выбраны втулки несущего винта вертолета Ансат (рис.5) [3]. Втулка несущего винта (ВНВ) спроектирована по бесшарнирному типу с упругим торсионом, выполняющим роль горизонтального, вертикального и осевого шарниров.

Рис.5. Втулки несущего винта

Торсион втулки НВ конструктивно выполнен как композитная балка. Он имеет три участка: комлевой, упругий (торсионный) и концевой. Комлевой участок имеет отверстия для крепления к валу редуктора, к концевому участку крепятся переходники лопасти. Упруго-деформируемый участок состоит из чередующихся слоев стеклопластика Т-25 с углами укладки $\alpha = [0^0, -45^0, +45^0]$ и резины, спрессованных совместно (Рис.6.). Границы слоев резины имеют форму “ласточкина хвоста”. Для уменьшения жесткости на кручение балка имеет продольные прорези, что дает возможность использовать этот участок торсиона как осевой шарнир втулки НВ.

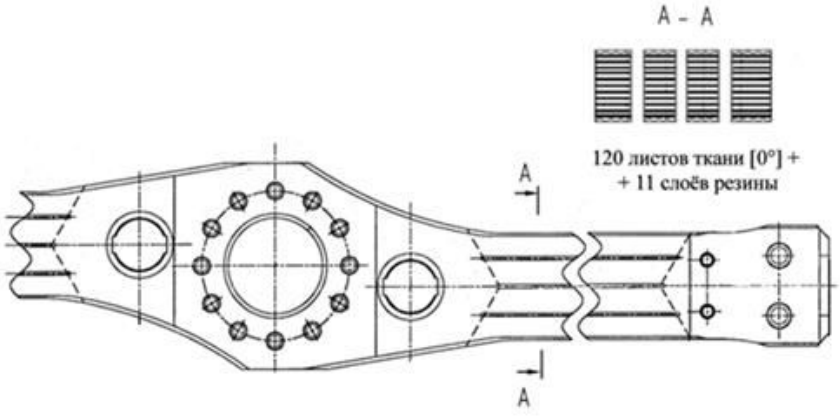


Рис.6. Схема торсиона НВ

Втулка НВ изготавливается путем склеивания слоев различных материалов, отличающихся по структуре, механическим характеристикам, свойствам адгезии и другим показателями. Склеивание таких материалов является ответственным этапом производства, поскольку необходимо формирование сплошности клеевых соединений и равномерность распределения клея в контактирующих слоях. Наличие зон проклеив или проклеек плохого качества в конструкции при действии на нее эксплуатационных нагрузок может привести к расслоению материала, проникновению влаги и, как следствие, привести к снижению несущей способности или к разрушению. Участки непроклея и расслоений в готовой конструкции можно обнаружить только неразрушающими методами контроля, поэтому внедрение таких

методов и способов контроля уже на этапах производства и эксплуатации является актуальной задачей, что мы отметили ранее.

В работе для неразрушающего контроля втулок ВНВ использовался компьютерный томограф GE (HiSpeed NX/i). Возможности томографа позволяют за несколько секунд обеспечить послойную визуализацию значительной области исследуемой конструкции. Длина поля сканирования составляет 162 см, а время сканирования 60 секунд. В зависимости от размеров дефекта можно задавать различные интервалы между сечениями от 0.5, 1,2,3,5,7 мм. При спиральном сканировании происходит практически полное исключение пропусков срезов. В первую очередь делается обзорный цифровой снимок с заданным шагом в исследуемой области (рентгенограмма), на которой пронумерованы все слои.

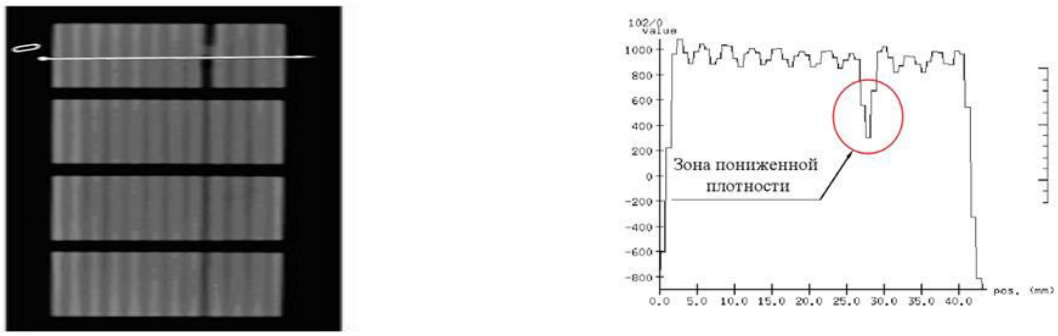
На этапе реконструкции, по множеству полученных измерительной системой проекций, с помощью быстродействующих процессоров, вычисляются значения коэффициентов ослабления по формуле (1).

На рис.7. [4] показаны томограммы сечений упругого участка торсиона ВНВ.

Светлые участки — это слои стеклопластика, темные слои резины, белой линией показана линия измерения ед.*HU*. Результаты замера ед. *HU* торсиона без дефектов показывают, что плотность стеклопластика составляет 1100 - 1200 *HU*, резины – 850 - 900 *HU*. Структура слоев материалов и их значения *HU* одинаковые по всему маршруту (рис.7.а). В зонах непроклея и расслоения слоев материалов образуются разрывы, пустоты с пониженной плотностью, что хорошо обнаруживается при таких измерениях. Это видно на рис. 7.б, где показаны измерения *HU* торсиона с расслоением.

В дефектной зоне между слоем стеклопластика и резины наблюдается резкое снижение плотности. В результате таких исследований появляется возможность путем анализа значений коэффициентов *HU* обнаруживать поврежденные области с непроклеями и расслоениями.

а)



б)

Рис. 7. Томограммы сечений торсиона втулки НВ с расслоением

В результате можно получить корреляционные зависимости между пористостью материала $V_П$, плотностью ρ и единицами *HU*. Которые позволяют найти предельное значение *HU*, при которых пористость снижает механические характеристики, выше придела, установленного на предприятии.

После установления корреляционных связей между этими параметрами на эталонных образцах можно определить физические параметры и судить об их пористости, прочности, что позволяет в дальнейшем учитывать при исследовании различных конструкций.

При оценке этих результатов встает вопрос о допуске к эксплуатации или отбраковке конструкций, имеющей обнаруженные дефекты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Российский научно-популярный журнал: «Думай» №4 2020.

2. *Митряйкин В.И., Михайлов С.А., Бугаков И.С., Закиров Р.Х.* Неразрушающий контроль композиционных конструкций компьютерным томографом. // Научное издание /. – Казань: КГТУ, 2010. – 211 с.

3. *Иванов В.Д.* Применение компьютерного томографа для диагностики композиционных материалов //сборник: Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики (АНТЭ-2024). Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции. Казань, 2024. С. 171-172.

4. *Митряйкин В.И., Саченков О.А., Зайцева Т.А., Кротова Е.В., Закиров Р.Х., Иксанов Р.Ч.* Методика оценки технического состояния втулки несущего винта с применением рентгеновской компьютерной томографии // Вестник Московского авиационного института. 2024. Т. 31. № 3. С. 117-127.

STRUCTURAL ANALYSIS OF WALKING MECHANISMS

Potapenko A.V.

Supervisor: Zaitseva T.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The application of X-ray computed tomography in the study of composite materials is considered, using the example of a hingeless hub of a helicopter rotor made of multilayer polymer composite materials. The presence of correlation dependencies between the porosity and density of the material with Hounsfield units is shown.

УДК 621.01

СИНТЕЗ МОДЕЛИ КИБЕРНЕТИЧЕСКОГО СУСТАВА ПРОТЕЗА И ЕГО ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Самойлова А.Ю.

Научный руководитель: Фаизов М.Р.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассматривается модель кибернетического протеза синтезирующего на основе шарнирного механизма пространственной и сферической структуры. В данной статье выстраивается алгоритм синтеза устройства под лабораторную модель. Получена практическая реализация модели пространственного механизма. Проводиться исследование пути движения и его нагрузка.

Мы занимаемся исследованиями механизмов сферической структуры для создания мехатронных и робототехнических систем [1-5]. Предшествующая задача изучать кинематические параметры движения звеньев по пространственной сфере [6-8]. Сейчас идет синтез пространственного, шарнирного механизма сферической структуры в модель с возможностью геометрической передачи в другом расположении самого двигателя [9]. В данный момент используем условия реализации устройства, которые приводят к движению, где части деталей уже являются большими узловыми соединениями.

Предполагается что в программе solidworks будет моделироваться модель. Потом на данной модели будут проведены исследования возможностей кибернетического протеза. На основе моделей будут получены рекомендации дальнейшего развития кибернетического протеза.

На рисунке 1 представлена макетная модель кибернетического протеза, смоделированная в программе Solidworks. В данном случае еще непохоже что это протез, но снизу смоделирован пробный и купленный шаговый двигатель под номером 1 в середине расположен вал 2 прикрепленный к кривошипу 3. Ведомое звено 4 механизма выполнено в форме трубы и является продолжением в руки протеза под размер 15 см. Для более прочной конструкции звено 5 в роли балансира закреплено со звеном 4 вместе и выполнены в роли противовеса наоборот. Звено 6 является стойкой, в данном случае является местом крепления балансира 5 и шагового двигателя 1.

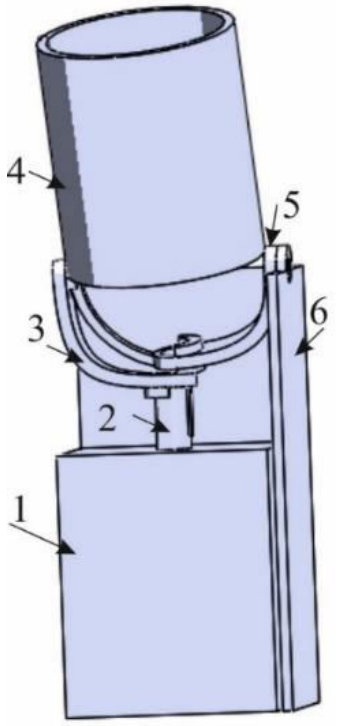


Рис. 1. Модель кибернетического протеза

Первоначально предполагается определение пути слежения движения центральной точки верхней конечности кибернетического протеза. Угол реализации поворота верхней конечности представлен на рис. 2 демонстрирующей движение путем демонстрации траектории черной линией.

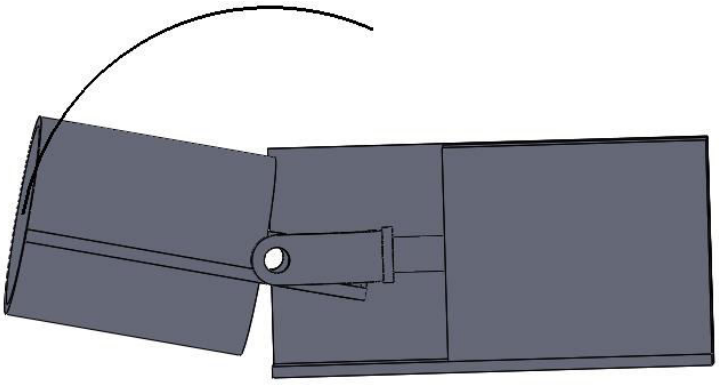


Рис. 2. Начальное положение

На рисунке 3 представляется согнутый кибернетический протез под углом 115 градусов. В данном случае угол 115 это является предполагаемой величиной.

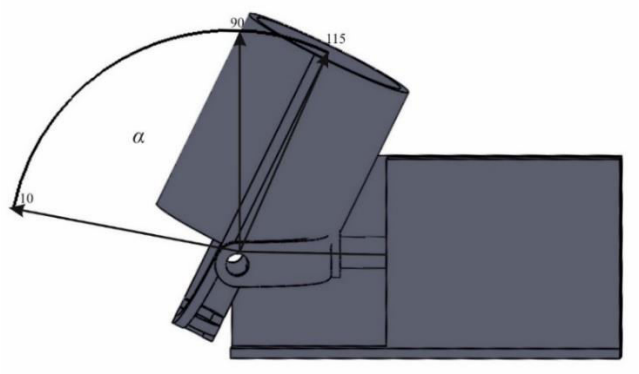


Рис. 3. Поворот конечности

На рисунке 4 представляется истинное значение углов перемещения протеза путем его исследования от центральной точки конечности и шарниром крепления ведущего кривошипа 3 соединенным с валом 2 и вращающим от шагового двигателя 1.

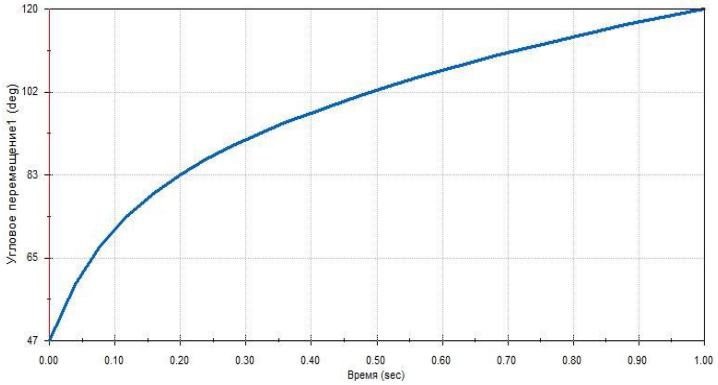


Рис. 4. Угловой угол сгибания протеза

По рисунку 4 видно исследование движения верхней конечности начинается от 47 градусов и заканчивается в положении 120 градусов.

На рисунке 5 представлена угловая скорость смоделированного макета кибернетического протеза. В данном случае движения отображается от максимальной требуемой начальной скорости.

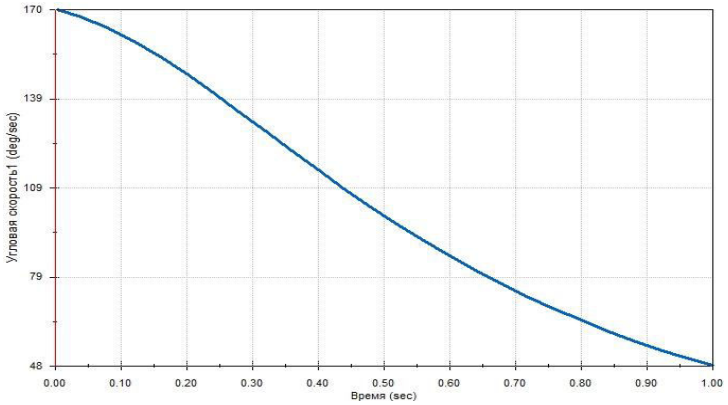


Рис. 5. Угловая скорость сгибания протеза

Известно, что 1 шаг шагового электродвигателя равен 1.8 градусов. Что предположительно предполагается в расчете нам потребуется 1 секунда движения для расчета

плате Maach3. На рисунке 6 демонстрируется исследования нагрузки реактивного момента макета.

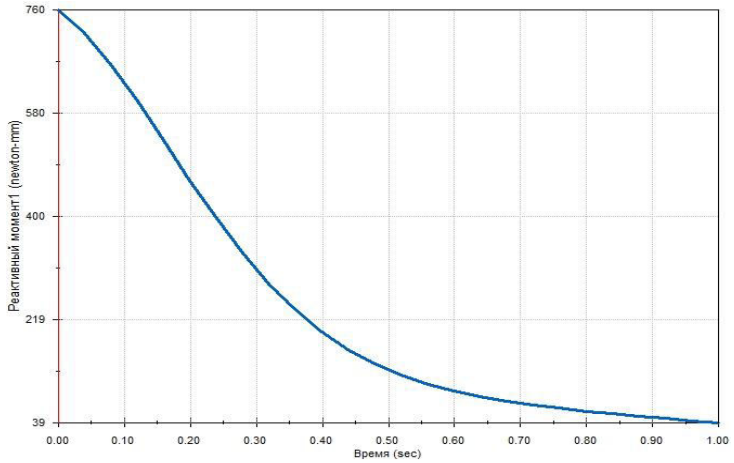


Рис. 6. Реактивный момент протеза

На рисунке 7 изображена сила противодействия нагрузки верхней конечности, путем увеличенных размеров звеньев, противоположно расположенных от центральной точки оси механизма.

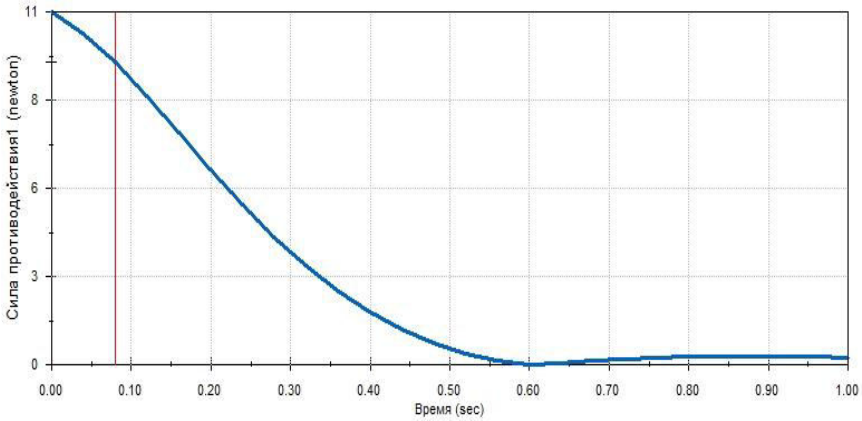


Рис. 7. Сила противодействия

Размеры звеньев противодействия являются маленьким по размеру, и возможно смещение верхней конечности внутрь механизма.

Спроектирован макет кибернетического сустава на технологии шарнирного механизма сферической структуры. Проведено описание модели. Исследовано движение кибернетического сустава с возможностями углового сгибания, где следует увеличить угол сгибания. Дополнительно определено угловая скорость подъема верхней конечности. Определен реактивный момент движения верхней конечностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кузнецов В.М., Песошин В.А., Ширшова Д.В.* Статистическая неразличимость шумоподобных сигналов при имитационном моделировании на малых выборках для псевдослучайных последовательностей // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2017. – Т. 73, № 3. – С. 97-104.

2. *Фаизов М.Р., Мудров А.П.* Исследование движения сферического тренажера // Вестник Московского авиационного института 2019 Т.26 №1 с.182-191.

3. *Вершинин И.С.* Элементы теории ассоциативной стеганографии / И. С. Вершинин // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2020. – Т. 6. – С. 132-135.

4. *Рощин В.В., Хабибуллин Ф.Ф., Ерахмадов С.Н.* К оценке температурного состояния шарикоподшипников опор гтд повышенной теплонапряженности // Вестник казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева 2019 Т75№3 с 66-69.

5. *Lustin A.D., Egorov S.V.* Defining relation of vibration of vehicle suspension with the mass and rigidity design deviations//international journal of Applied Engineering Research 2015, Т. 10 № 24 С.44629-44635.

6. *Нуриев М.Г.* Конвертер Markdown-файлов в LaTeX-документ / М.Г. Нуриев, Е.С. Белашова, К.А. Барабаш // Программные системы и вычислительные методы. – 2023. – № 1. – С. 1-12.

7. *Зарипова Р.С.* Электронное портфолио как средство комплексной оценки достижений студентов / Р.С. Зарипова, Н.И. Пикулева, О.А. Рочева // Russian Journal of Education and Psychology. – 2023. – Т. 14, № 1-3. – С. 23-28.

8. Гайнутдинов Р.Х. Экспериментальные исследования тягового сопротивления дискового рабочего органа / Р.Х. Гайнутдинов, Р.Л. Сахапов // Современные достижения аграрной науки : Научные труды всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной памяти заслуженного деятеля науки и техники РФ, профессора, академика академии Аграрного образования, лауреата Государственной премии РФ в области науки и техники, заслуженного изобретателя СССР Гайнанова Хазипа Сабировича, Казань, 26 февраля 2021 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2021. – С. 33-41.

9. *Измайлова Е.А.* Размещение разногабаритных элементов на печатной плате электронных средств на основе муравьиного алгоритма / Е.А. Измайлова, С.Ф. Чермошенцев // Современные материалы, техника и технология: сборник научных статей 11-й Международной научно-практической конференции, Курск, 30 декабря 2021 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 136-141.

SYNTHESIS OF A MODEL OF A CYBERNETIC PROSTHESIS JOINT AND STUDY OF ITS PHYSICAL PARAMETERS

Samoylova A.U.

Supervisor: Faizov M.R.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In the work the effect of the model of cybernetic prosthesis, synthesizing on the basis of the hinge mechanism of spatial and spherical structure. In this article you take into account the method of synthesis of the device on the laboratory model. The practical implementation of the model of the internal mechanism is obtained. Conduct a study of the method of movement and its load.

УДК 632.83

ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШЛИЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ

Семьянистов Д.А.

Научный руководитель: Яковлев Р.А., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящается технологии восстановления шлицевых соединений в узлах автомобильных агрегатов. В статье будут рассмотрены наиболее известные и распространенные методы ремонта шлицевого соединения: наплавка, напыление, механическая обработка и применение композитных материалов. Особое внимание было уделено выбору оптимального способа восстановления в зависимости от степени износа и эксплуатационных требований. Приведены плюсы и недостатки каждого метода ремонта.

Шлицевые соединения широко применяются в машиностроении, автомобильной промышленности и других отраслях для передачи крутящего момента между валом и ступицей. Со временем они подвергаются износу, что приводит к люфту, снижению прочности и возможному выходу узла из строя. Восстановление шлицевых соединений позволяет продлить срок службы деталей и сэкономить на замене.

Сегодня ремонт изношенных зубьев шлицевых валов является важной задачей. Уже имеющиеся методы восстановления, несмотря на их то, что они широко распространены в современном мире, обладают рядом существенных недостатков. Например, распространенная наплавка зубьев часто приводит к деформациям вала, изменению кристаллической решетки металла и неравномерное распределение твердости обработанного металла.

Данные проблемы требуют разработки не только новых, более эффективных и точных технологий восстановления, но и глубокого исследования самого процесса ремонта. Главной задачей является как можно большего снижения негативного влияния нагрева металла и обеспечение стабильности при восстановлении шлицевых соединений.

Классификация способов восстановления шлицевых валов.

На сегодняшний день при ремонте вала применяется два вида технологии восстановления шлицевых соединений:

1. С нанесением металла (наплавка, напыление) -при сильном износе детали.
2. Без нанесения металла (правка, механическая обработка) - при маленьких локальных дефектах.

Оба метода имеют свои определенные плюсы и минусы, которые будут рассмотрены далее.

Наплавку металла экономически целесообразно проводить при существенном износе шлицов, потому как если износ небольшой, большая часть металла будет удалена в процессе механической обработки.

Способ ремонта без нанесения металла нужен следует проводить, когда износ детали незначительный и требуется устранить только конусность или неравномерность износа.

Если дефектовочные работы проводить на основе неравномерности износа то выяснится, что большинство валов, поступающих в ремонт имеет небольшой износ по ширине (согласно действующим нормативам). В таком случае приоритет следует отдать технологии восстановления без наплавки металла так как этот способ более экономичный и менее трудозатратный.

На сегодняшний день в ремонтной практике известны следующие виды восстановления зубьев шлицевых валов (Рисунок 1) [1].

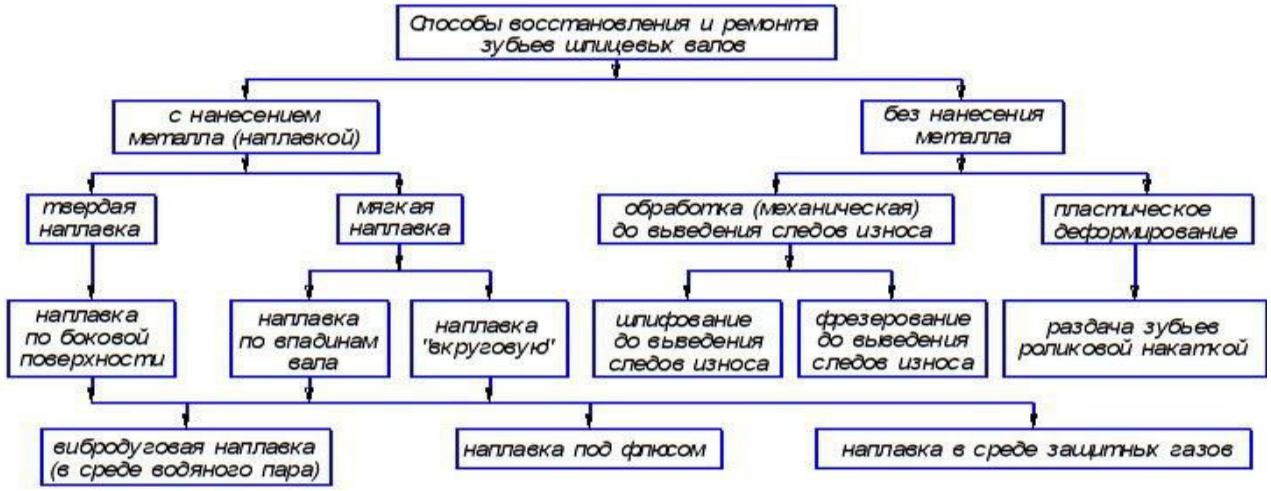


Рисунок 1. Виды восстановления зубьев шлицевых валов [1]

Наплавка и последующая механическая обработка.

Самый распространенный метод восстановления зубьев шлицевых соединений. По своей сути эта технология восстановления достаточно проста. Этот способ предполагает наращивание на изношенных участках определенного сплава, который будет совместим с деталью.

Сама процедура состоит из нескольких технологических этапов: подготовка детали, зачистка поверхности, наплавка металла на поверхность шлицов, обтачивание детали с наплавленным металлом, конечная обработка.

Существует несколько методов наплавки металла:

Твердая наплавка. Применяется в основном при восстановлении зубьев шлицов большого размера при нанесении металла на боковую поверхность. При твердой наплавке желательно применять электрохимические и электроабразивные способы, без последующей термической обработки [1].

Мягкая наплавка. Применяется, когда нужно произвести заплавку впадин между зубьями или наплавку (вкруговую) для того чтобы облегчить дальнейшее фрезерование и шлифование зубьев с последующей термообработкой. Наплавка по впадинам осуществляется как правило, с зубьями малого размера. Круговая наплавка применяется при восстановлении зубьев очень малого размера и всегда остроугольного профиля.

1. Вибродуговая наплавка.

Один из способов восстановления шлицевых соединений. При этом процессе используется электродная проволока, которая подается к детали специальной головкой, передающая проволоке колебательные движения. В зону горения при этом подается специальный раствор или вода. К плюсам этого метода можно отнести высокую твердость наплавленного слоя, малое термическое влияние из-за большой скорости охлаждения и большую производительность [2]. К минусам относится большой разброс твердости, нестабильность процесса и возможное наличие микротрещин в наплавленном металле. На рисунке 2 показана схема вибродуговой наплавки.

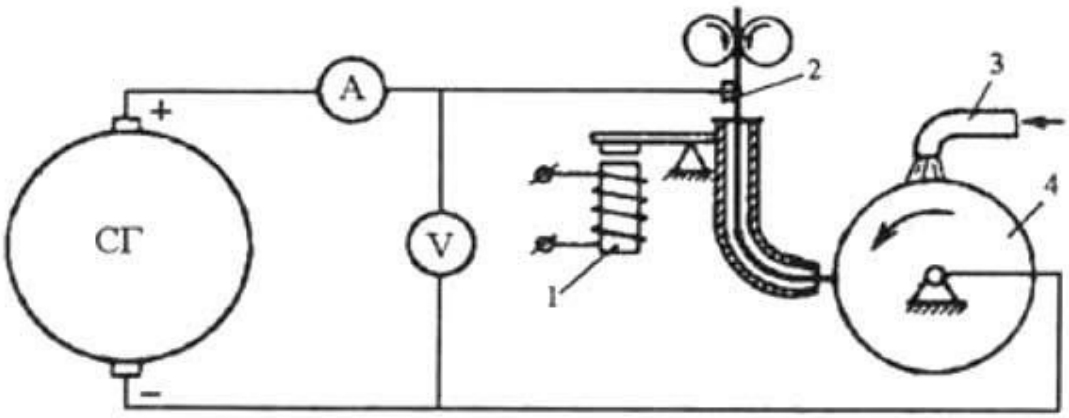


Рисунок 2. Схема вибродуговой наплавки:1 - вибратор; 2 - электрод;
3 - охлаждающая жидкость; 4-изделие [2]

2. Наплавка под флюсом.

Этот метод схож с методом вибродуговой наплавки. Однако он не имеет некоторых недостатков, присущих вибродуговому способу.

3. Наплавка в среде защитных газов.

Применяется тогда, когда по некоторым причинам нельзя применить другой способ наплавки. При этом способе используются такие защитные газы как углекислый, смесь на основе аргона и непосредственно аргон. Наплавка в углекислом газе в отличие от наплавки в среде аргона характеризуется большими глубинами проплавления и величиной зоны термического влияния. На рисунке 3 показана схема наплавки в среде защитных газов.

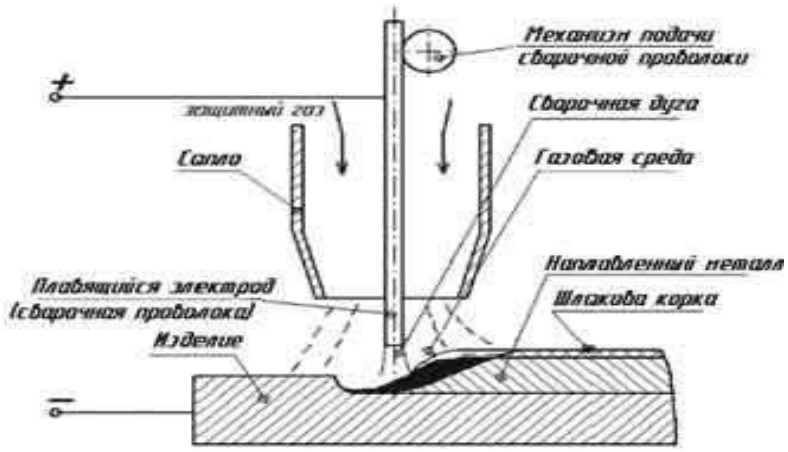


Рисунок 3. Схема наплавки в среде защитных газов [3]

4. Установка ремонтных втулок и шайб.

Если изношена одна часть детали, можно использовать разрезные втулки или утолщающие шайбы. К плюсам такого ремонта можно отнести быстроту ремонта без сложной обработки. Но подходит такой ремонт только для небольших повреждений.

5. Пластическое деформирование.

Применяется для восстановления шлицов без удаления металла. Особенностью такого способа является перемещение металла с нерабочих поверхностей детали на изношенные рабочие поверхности и при этом сохранить их объем. Пластические деформации могут применятся как на холодной так и на нагретой детали на прессах или в специальных приспособлениях [3]. Несколько видов накатки зубьев шлицевого соединения: раздача зуба роликом, осадки роликом. Такой вид восстановления шлицов имеет ряд плюсов, таких как упрочнение поверхности и минимальное изменение структуры металла, однако подходит только для небольших деформаций. На рисунке 4 показана схема восстановления шлицов методом пластической деформации на прессе.

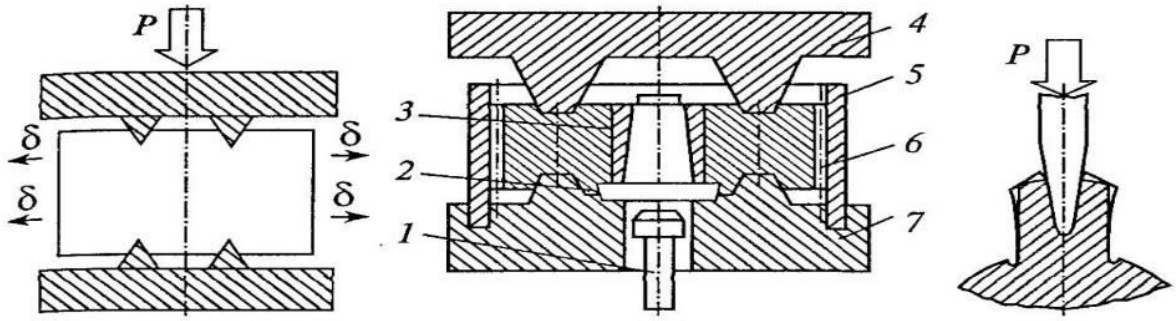


Рисунок 4. Схема восстановления шлицов методом пластической деформации на прессе:
1 - выталкиватель; 2 - центрирующий конус; 3 – разрезная коническая пружинящая втулка;
4 – пуансон; 5 – ограничительное кольцо; 6 – зубчатое колесо; 7 – матрица

Восстановление шлицевых соединений – важная задача в ремонте автомобильных узлов, позволяющая значительно продлить срок службы деталей и сократить затраты на замену. В зависимости от степени износа и технических требований могут применяться различные методы: от наплавки и напыления металла до механической обработки и использования композитных материалов.

Выбор технологии должен основываться на тщательной диагностике, оценке нагрузок и экономической целесообразности. Совершенствование методов восстановления, включая автоматизацию и применение современных материалов, открывает новые возможности для повышения надежности и долговечности шлицевых соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Анализ существующих способов восстановления зубьев шлицевых валов / [Электронный ресурс] // PDRC: [сайт]. — URL: https://vuzlit.com/2256289/ (дата обращения: 31.03.2025).

2. Процесс вибродуговой наплавки металла / [Электронный ресурс] // Википедия: [сайт]. — URL: https://martensit.ru/termoobrabotka/vibrodugovaya-naplavka/ (дата обращения: 31.03.2025).

3. Восстановление деталей способом пластического деформирования / [Электронный ресурс] //: [сайт]. — URL https://studfile.net/preview/9078089/page:40/ (дата обращения: 31.03.2025).

TECHNOLOGY FOR RESTORING SPLINED CONNECTIONS

Semyanistov D.A.

Supervisor: Yakovlev R.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article is devoted to technologies for restoring spline joints in automotive components. The main repair methods are considered: surfacing, spraying, mechanical processing and the use of composite materials. Particular attention is paid to choosing the optimal recovery method, depending on the degree of wear and operational requirements. The advantages and disadvantages of each method are given.

УДК 621.833

МЕТОДЫ 3D–ПЕЧАТИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Слабунова А.Д.

Научный руководитель: Шубина А.С., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье представлены результаты исследования современных методов 3D-печати зубчатых передач с использованием технологий электронно-лучевого плавления (EBM) и селективного лазерного плавления (SLM). Проведен сравнительный анализ технологических особенностей и эксплуатационных характеристик полученных изделий, выявлены преимущества каждого метода при производстве высоконагруженных зубчатых передач. Установлено, что обе технологии обеспечивают высокое качество изготовления деталей и открывают новые возможности в проектировании механических передач с улучшенными функциональными свойствами.

Технологии аддитивного производства находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности. В настоящее время было разработано множество методов порошковой 3D-печати. В данной работе были рассмотрены наиболее перспективные методы порошковой печати.

На сегодняшний день на большинстве предприятий Российской Федерации для изготовления деталей машин используется дорогостоящий и трудоемкий метод фрезерования. Взамен этому метода, ученые разработали аддитивные технологии, которые активно внедряются в производство. Наибольшее распространение получили технологии селективного лазерного плавления (SLM), селективного электронно-лучевого плавления (EBM). Эти технологии основаны на избирательном плавлении слоя порошка, нанесенного на подложку. Практическое применение и широкое распространение аддитивных технологий требуют углубленного изучения структуры и свойств как синтезируемых материалов, так и исходных порошков.

Селективное лазерное плавление (SLM) — это технология аддитивного производства, в которой для создания ваших деталей используется металлический порошок [1]. Металлический 3D-принтер наносит тонкий слой металлического порошка на поверхность, затем лазер расплавляет металл, придавая ему форму вашей 3D-модели. Затем наносится следующий слой порошка, и процесс повторяется. Металл плавится при высокой температуре, и детали, напечатанные на 3D-принтере, требуют времени для охлаждения.

С помощью технологии SLM вы можете интегрировать несколько компонентов в один объект, что снижает затраты и экономит время на сборку ваших деталей. Выбор технологии селективного лазерного плавления для вашего производства также обеспечит вас очень прочными деталями, которые в то же время могут иметь тонкие стенки, снижающие вес ваших деталей. Они также будут обладать жаропрочностью.

Перед началом печати рабочую камеру и порошок необходимо предварительно нагреть до равномерной температуры. Это позволяет избежать перепадов температуры в процессе печати. Порошок с помощью разравнивателя (валика или пластины) распределяется равномерным слоем по всей площади, предназначенной для печати. После этого лазер запекает только те участки порошка, которые соответствуют сечению модели на этом слое (Рис. 1), [2]. В случае использования металлического порошка после печати объекта его окончательно спекают в термопечи. Это необходимо для того, чтобы снять внутренние напряжения, возникшие в процессе печати, удалить остатки полимера из изделия и придать ему монолитную структуру.

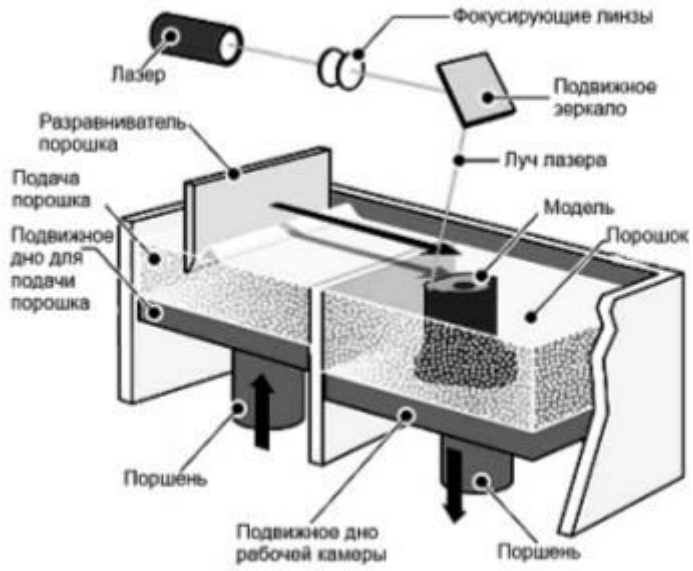


Рисунок 1. Процесс запекания

Минимальная толщина запекаемого слоя составляет 0,1-0,15 мм, а вертикальная скорость печати - до 35 мм/час. Преимуществами SLM-технологии являются: - отсутствие необходимости в поддержках, так как окружающий порошок не дает модели разрушиться, пока окончательная форма еще не обретена; - широкие возможности получения изделий конечного применения за счет таких материалов, как металлический или керамический порошок; - низкие напряжения и деформации в создаваемых объектах; - возможность повторного использования не оплавленного порошка; - возможность изготовления нескольких изделий одновременно в рабочей камере; К недостаткам относятся: - меньшая доступность способа за счет более высокой сложности и стоимости оборудования и исходного материала; - высокие затраты энергии и времени на предварительный подогрев порошка и рабочей камеры; - шероховатость получаемой поверхности изделия (в пределах Ra 6,3-12,5 мкм), что в некоторых случаях требует дополнительной механической обработки.

Электронно-лучевая плавка (Electron Beam Melting, EBM-метод). Технология разработана в 2000-х годах шведской компанией Arcam AB [3]. Исходный материал представляет собой порошок чистого металла, связующего вещества и наполнителя. Как правило, это титановые сплавы, но иногда используются и другие металлы для получения каких-либо специфических свойств. Для расплавления порошка используется управляемый поток электронов, генерируемый электронной пушкой. С помощью управляемого магнитного поля этот поток фокусируется и позиционируется [4]. Сочетание вакуума и высокой температуры (700–1000 °C). Принципиальная схема работы устройства по технологии EBM позволяет снизить внутренние напряжения в изделии, поэтому этот способ не требует последующей термической обработки, а прочность изделия сопоставима с прочностью кованых сплавов. Кроме того, EBM-способ работает быстрее и точнее других благодаря высокой энергетической плотности электронного луча. Минимальная толщина слоя составляет 50 мкм, точность построения модели ± 200 мкм.

Преимущества данного метода:

- отсутствие необходимости в термообработке изделия после печати;
- высокая прочность, сопоставимая с коваными изделиями;
- более высокая скорость построения, чем при использовании других методов;
- низкая пористость готовых изделий;
- отсутствие необходимости поддержек.

К недостаткам можно отнести:

- высокие затраты энергии;
- высокая сложность и стоимость оборудования и исходных материалов;
- необходимость изоляции печатного устройства из-за высокой интенсивности излучения.

Как и технологии, упомянутые выше, Binder Jetting — это метод 3D-печати на основе порошка. Однако при использовании этого метода аддитивного производства лазер не применяется. Металлический порошок сплавляется со связующим жидким компонентом и слегка отвердевает между слоями. Binder Jetting — самый быстрый и дешёвый процесс 3D-печати на металле. Основным преимуществом Binder Jetting является высокая индивидуальность и быстрое производство, однако эта технология больше подходит для нужд прототипирования, изготовления декоративных деталей или ювелирных изделий (Рис. 2).

Рисунок 2. Процесс печати

Проведенное исследование методов 3D-печати зубчатых передач с использованием технологий EBM и SLM позволяет сделать следующие выводы:

Технологические особенности EBM и SLM демонстрируют высокую эффективность при производстве металлических зубчатых передач. Электронно-лучевая плавка (EBM) в вакуумной камере обеспечивает исключительную чистоту материала и минимальные внутренние напряжения, в то время как селективное лазерное плавление (SLM) позволяет создавать сложные геометрические формы с высокой точностью.

Таким образом, технологии EBM и SLM представляют собой передовые методы производства зубчатых передач, обладающие значительным потенциалом для применения в современном машиностроении и способные обеспечить новые возможности в проектировании и изготовлении высоконагруженных механических передач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. E. Caness, Affordable 3D printing for science, education and sustainable development) / K. Fonda, M. Zennaro. – MTF Abdus Salam, 2013. 194 p.

2. Selective laser sintering [Electronic resource]. – Access mode: http://3dtoday.ru/wiki/SLS_print / (date of access: 05/09/2025).

3. *Yamamoto N., Sakai K.* Electron beam melting method for metallic material US patent 6858059, filed October 25th, 2002, published October 22nd, 2005.

4. Electron Beam Melting (EBM) or electron beam melting technology [Electronic resource]. – Access mode: http://can-touch.ru/blog/3d-printing-ebm / (date of access: 05/10/2025).

METHODS OF 3D PRINTING OF GEARS

Slabunova A.D.

Supervisor: Shubina A.S., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article presents the results of a study of modern 3D printing methods for gears using electron beam melting (EBM) and selective laser melting (SLM) technologies. A comparative analysis of the technological features and operational characteristics of the obtained products has been carried out, and the advantages of each method in the production of high-load gears have been identified. It has been established that both technologies ensure high-quality manufacturing of parts and open up new possibilities in the design of mechanical gears with improved functional properties.

УДК 621.833

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ РЕДУКТОРОВ

Супонина Ю.В.

Научный руководитель: Шубина А.С., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе исследуется влияние аддитивных технологий на долговечность зубчатых передач редукторов. Проведено сравнение прочностных и эксплуатационных характеристик деталей, изготовленных традиционными и 3D-печатными методами. Разработаны предложения по созданию новых методик испытаний и стандартизации для оценки надёжности редукторов, изготовленных с применением аддитивного производства.

Современное машиностроение активно внедряет аддитивные технологии, в том числе в производство функциональных компонентов — таких как зубчатые передачи редукторов. 3D-печать позволяет быстро и с минимальными затратами изготавливать сложные детали, особенно на этапах прототипирования и малосерийного выпуска. Однако открытым остаётся

вопрос: насколько долговечны и надёжны такие компоненты в сравнении с традиционно изготовленными?

Данная исследовательская работа направлена на изучение эксплуатационных характеристик редукторных передач, произведённых методом 3D-печати, и на сравнение их с аналогами, выполненными традиционными способами. Особое внимание уделяется разработке методик испытаний и необходимости создания новых стандартов для оценки прочности и износостойкости деталей, изготовленных аддитивным способом.

Целью работы является проведение сравнительного анализа влияния технологии изготовления на долговечность зубчатых колес и редукторов, а также выработка рекомендаций по стандартизации испытаний для 3D-печатных деталей.

В рамках исследования использовались экспериментальные данные и литературный анализ [1-4], а также сопоставление результатов испытаний редукторных передач, изготовленных из одинаковых геометрических моделей, но разными методами: традиционным (механическая обработка) и аддитивным (FDM, SLM, SLS и др.). Обобщённые данные основных характеристик зубчатых колес, изготовленных разными методами, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение методов изготовления зубчатых колёс: традиционный метод и 3D-печать

Параметр	Традиционное изготовление	Аддитивное производство
Прочность материала	Высокая, стабильная	Средняя, зависит от технологии параметров печати
Износостойкость	Высокая	Ниже, особенно при использовании полимеров
Геометрическая точность	Высокая	Переменная, ограничена разрешением оборудования
Сложность формы	Ограниченная	Очень высокая (возможность создания внутренних структур)
Стоимость при единичном выпуске	Высокая (затраты на подготовку производства)	Низкая (отсутствие оснастки, минимум отходов)
Затраты на обработку	Высокие	Отсутствуют/сводятся к минимуму

Внедрение 3D-печати в производство зубчатых передач открывает широкие возможности для модернизации инженерных решений. Несмотря на существующие ограничения, это направление активно развивается. Перспективными направлениями считаются [2]:

- Гибридные конструкции, сочетающие 3D-печатные корпуса с металлическими зубчатыми элементами, изготовленными традиционно;
- Топологическая оптимизация, позволяющая создавать облегчённые и при этом прочные детали, невозможные в рамках классических технологий;
- Новые материалы, включая полимерные композиты, наполненные углеродным или стеклянным волокном, а также сплавы с улучшенными характеристиками для SLM/EBM;
- Цифровое моделирование и симуляции, позволяющие прогнозировать поведение компонентов до физического производства;
- Разработка стандартов испытаний, позволяющих оценивать долговечность и надёжность 3D-печатных деталей по объективным критериям.

Несмотря на значительный прогресс в области аддитивных технологий [3], их промышленное применение в машиностроении пока ограничено. Одним из главных барьеров является недостаточная изученность механизмов разрушения и отказов деталей, изготовленных методом 3D-печати. Для зубчатых колес характерны такие дефекты, как

усталостное разрушение, трещинообразование по границам слоев, локальное выкрашивание поверхности и повышенный износ при работе в условиях недостаточной смазки. В случае использования полимерных материалов проявляется склонность к ползучести и деформациям под нагрузкой, что снижает точность зацепления.

Сравнение различных технологий печати также показывает неодинаковый уровень надежности. Так, метод FDM обеспечивает низкую себестоимость и высокую скорость прототипирования, однако детали обладают выраженной анизотропией свойств. Технологии SLS и SLM позволяют изготавливать детали из порошковых металлов, что обеспечивает значительно более высокую прочность и износостойкость. Перспективным направлением считается использование EBM, позволяющей получать детали из титановых сплавов с минимальными внутренними дефектами.

Для объективной оценки долговечности 3D-печатных редукторов необходимо формирование универсальных методик испытаний. Они должны включать:

- Циклическое нагружение с контролем уровня вибрации;
- Анализ акустического сигнала при зацеплении;
- Контроль микроструктуры зубчатого профиля после испытаний;
- Моделирование реальных режимов эксплуатации в условиях переменных нагрузок.

Важным направлением является также экономическая оценка жизненного цикла изделий [4]. Несмотря на то, что стоимость единичного производства деталей с помощью 3D-печати ниже, долговечность таких компонентов пока уступает традиционным аналогам, что может привести к необходимости более частой замены узлов. Сравнение эксплуатационных характеристик зубчатых передач различной технологии печати представлены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение эксплуатационных характеристик зубчатых передач в зависимости от технологии печати

Технология	Материалы	Прочность	Износостой-кость	Типичные дефекты	Область применения
FDM	Полимеры (PLA, ABS, нейлон)	Низкая - средняя	Низкая	Расслоение, ползучесть	Прототипиро-вание, учебные модели
SLS	Полимеры, композиты	Средняя	Средняя	Пористость	Легконагру-женные механизмы
SLM	Стали, титан, алюминие-вые сплавы	Высокая	Высокая	Трещины от остаточных напряжений	Малые редукторы
EBM	Титановые сплавы	Очень высокая	Высокая	Локальные поры	Авиация, робототехника, медицинская техника

В дальнейшем предполагается создание нормативных документов и универсальных методик для оценки качества 3D-печатных редукторов, что будет способствовать более широкому промышленному применению.

Проведенный анализ показывает, что экономическая эффективность применения аддитивных технологий носит нелинейный характер и сильно зависит от этапа жизненного цикла изделия. На этапах проектирования и прототипирования 3D-печать обеспечивает колоссальную экономию за счет скорости изготовления и низкой стоимости итераций, что ускоряет выход продукта на рынок. Для малосерийного и единичного производства, особенно сложных и нестандартных редукторов (например, для аэрокосмической отрасли или специализированной робототехники), аддитивные технологии также часто оказываются выгоднее традиционных из-за отсутствия затрат на оснастку и инструмент.

Однако для крупносерийного производства традиционные методы пока сохраняют преимущество по себестоимости единицы продукции. Ключевым фактором, меняющим экономику в пользу 3D-печати даже в серийном производстве, может стать не просто сравнение стоимости изготовления, а оценка общей стоимости владения. Снижение массы редуктора за счет топологической оптимизации приводит к экономии топлива или энергии на протяжении всего срока службы машины. Кроме того, возможность печати запасных частей по требованию на месте эксплуатации кардинально снижает логистические издержки и время простоя оборудования, что является значительным конкурентным преимуществом.

Таким образом, применение аддитивных технологий в производстве зубчатых передач представляет собой перспективное направление, способное существенно изменить подходы в современном машиностроении. Несмотря на сохраняющиеся ограничения, связанные с прочностью и геометрической точностью 3D-печатных деталей, уже сегодня они демонстрируют высокую эффективность на этапах проектирования, прототипирования и малосерийного выпуска.

Ключевым фактором для широкого внедрения становится комплексная экономическая оценка, выходящая за рамки простого сравнения себестоимости изготовления. Экономическая целесообразность применения аддитивных технологий носит ярко выраженный ситуационный характер. На этапах научно-исследовательских и опытно-конструктивных работ и для производства мелкосерийных, сложносоставных или кастомизированных редукторов 3D-печать за счет скорости, гибкости и отсутствия затрат на оснастку обеспечивает значительный экономический эффект. Для крупносерийного производства решающее значение может иметь оценка общей стоимости владения, где такие факторы, как снижение массы редуктора (топологическая оптимизация), ведущее к экономии энергии, и возможность печати запчастей по требованию, сокращающая логистические издержки и время простоя, могут кардинально изменить баланс в пользу аддитивных решений.

Особое значение имеет дальнейшее развитие материалов и технологий печати (FDM, SLS, SLM, EBM), а также формирование единых методик испытаний, позволяющих объективно оценивать долговечность и надежность таких изделий. Внедрение стандартизации, расширение области применения и экономическая оценка жизненного цикла деталей обеспечат более широкое промышленное использование аддитивных решений в создании редукторов.

В перспективе именно комплексное сочетание технологических новшеств, цифрового моделирования и стандартизированных испытаний позволит максимально раскрыть потенциал 3D-печати и обеспечить создание надежных, экономичных и долговечных редукторов нового поколения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М.* Аддитивные технологии в машиностроении / Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М. [Электронный ресурс] // elibrary.ru: [сайт]. — URL: https://elibrary.ru/vyhrmd (дата обращения: 14.06.2025).

2. *Tunalıoğlu M.S., Ağca B.V.* Wear and service life of 3-D printed polymeric gears // Polymers. — 2022. — Vol. 14, no. 10, art. 2064. — DOI: 10.3390/polym14102064. — URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35631946/ (дата обращения: 14.06.2025).

3. *Беляев, Л.В., Аборкин, А.В.* Введение в аддитивные технологии [Текст] / Л.В. Беляев, А.В. Аборкин — 1-е изд. — Владимир: ВлГУ, 2023 — 248 с.

4. *Игнатова А.С.* Анализ экономической целесообразности применения аддитивных технологий (3D-печати) в механическом машиностроении — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2025. — № 4 (555). — С. 32-35. — URL: https://moluch.ru/archive/555/122215/ (дата обращения: 14.06.2025).

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES ON THE DURABILITY OF GEARBOXES

Suponina Y.V.
Supervisor: Shubina A.S., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper examines the impact of additive manufacturing on the durability of gear transmissions. A comparison was made of the strength and performance characteristics of parts manufactured using traditional and 3D printing methods. Proposals have been developed for the creation of new testing and standardization methods for assessing the reliability of gearboxes manufactured using additive manufacturing.

УДК 678.5.067

ВОЗДЕЙСТВИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЧНОСТЬ ОБРАЗЦОВ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА

Тажибаева А.В., Архипов В.А.
Научный руководитель: Митряйкин В.И., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Представлены результаты исследования физико-механических свойств углепластика марки В180 после 3-летней экспозиции во влажном климате Вьетнама. Исследованы размеры ударных повреждений, нанесенных на образцы из композиционных материалов различной энергией удара 10Дж, 20 Дж, 30 Дж. Установлено влияние релаксации на образцы в результате климатического старения.

Проблема ударных повреждений композиционных конструкций является одной из основных при оценке эксплуатационной прочности лопастей ветрогенераторов. Такие повреждения внешне мало заметны, но могут вызывать значительные внутренние разрушения слоев полимерных композиционных материалов (ПКМ), что приводит к снижению прочности всей конструкций. В соответствии с рекомендациями нормативных документов повреждение не должно снижать прочность конструкции ниже расчетных значений при действии эксплуатационных нагрузок. Размеры ударных повреждений зависят от характеристик материала и энергии удара. Приближенно они определяются расчетным путем, а действительные значения уточняются в ходе экспериментальных исследований [1-3]. Вопросы влияния климатических факторов на деградацию механических характеристик композиционных конструкций рассмотрены в работах [4-7], там также проведен обзор существующих математических и экспериментальных методов оценки деградации свойств материалов.

Мировые тенденции учета влияния климатического воздействия на материалы, конструкции и сооружения показывают, что эксперименты необходимо проводить с освоением новых методов оценки воздействия природных сред. Прогнозирование срока службы ПКМ при воздействии факторов внешней среды проводится в нескольких этапах. На первом этапе выполняются лабораторные исследования в климатических камерах. На втором этапе, по мнению отечественных и зарубежных специалистов, необходимо проводить испытания материалов в различных климатических зонах. Это позволит оценить динамику изменения свойств материалов после длительной экспозиции в естественных условиях.

Проблемы, связанные с тем, насколько климатические факторы и ударные повреждения приводят к ухудшению механических характеристик конструкций из ПКМ, являются актуальной задачей. В данной статье приводятся результаты исследования физико-механических свойств углепластика В-180 после длительной экспозиции в различных

климатических зонах, которые позволили оценить влияние климатических факторов и ударных повреждений на прочность пластин из ПКМ.

Цель работы заключается в применении различных средств диагностики для исследования деградации прочностных свойств лопастей ветрогенераторов от ударных повреждений и воздействия влажного климата. В настоящей статье проведена сравнительная оценка ударопрочности углепластика до и после экспозиции во влажном климате.

В качестве объектов исследования были выбраны образцы из углепластика на основе препрега В180. Данный материал обладает высокими эксплуатационными характеристиками и предназначен для деталей, эксплуатирующихся при температурах до 150°С. В качестве связующего материала использовалась эпоксидная композиция. Исследуемые образцы имели сплетение типа саржа 2х2, с поверхностной плотностью 200 г/м2. Образцы имели армирующую укладку 0°/90° с использованием десяти слоев. Толщина слоя составляла 0.2 мм.

Первоначально образцы из углепластика подверглись ударному воздействию при помощи ударной машины с вертикально-падающим грузом Instron Dunatup 9250HV. Принцип работы данной испытательной машины заключается в том, что необходимая энергия удара достигается путём подъёма взвешенного груза на определённую высоту. В последствии образцы с ударными повреждениями были переданы во Вьетнамский тропический центр для экспонирования на площадках Хоа Лак (г. Ханой), КанЗё (г. Хошимин), Домбай (г. Нячанг). Образцы были размещены на металлических стеллажах лицевой стороной к югу под углом 45° и экспонировались на протяжении 3-х лет.

После экспонирования во влажном климате было произведено исследование площади внутренних разрушений образцов из углепластика при помощи комплекса неразрушающего полуавтоматического контроля OmniScan MX2 с датчиком 3.5 МГц с фазированными решетками. Было произведено ультразвуковое сканирование образцов при полном погружении в контактную жидкость. По результатам исследования были получены двумерные изображения, по которым видно, что с увеличением энергии удара размеры повреждений возрастают.

Также образцы были испытаны на растяжение и сжатие при помощи испытательной машины Instron 5882 с регистрирующим программно-аппаратным комплексом Instron 5800. Первоначально была зафиксирована критическая нагрузка разрушения пластин при сжатии без повреждений. После этого образцы испытывались с большей энергией удара для того, чтобы определить зависимость падения величины постударной несущей способности материала. В ходе эксперимента были зафиксированы такие значения как наибольшая нагрузка сжатия $P_{кр}$ и предел прочности при сжатии после удара $\sigma_{В}$. Анализ полученных данных показал, что во всех группах образцов распределение механических характеристик соответствует нормальному закону. Группы полученных характеристик проверялись при помощи парного t-критерия Стьюдента для определения независимых выборок с p-значимостью 0.05 При анализе предела прочности и модуля упругости статистически значимые различия при растяжении обозначались знаком «*», при сжатии обозначались знаком «%». На рисунках 1, 2 представлено распределение механических характеристик в зависимости от зоны экспонирования.

На основании полученных результатов можно оценить уменьшение значений предела прочности, относительных деформаций и увеличение значений модуля упругости и коэффициента Пуассона при совместном влиянии повышенной температуры и влажности на образцы из ПКМ. Предел прочности при растяжении образцов на станции Кан Зё понизился на 9%, на станции Домбай понизился на 16%, на станции Хоа Лак понизился на 23%. В свою очередь, модуль упругости повысился на 11%, 7% и 6% на каждой станции соответственно.

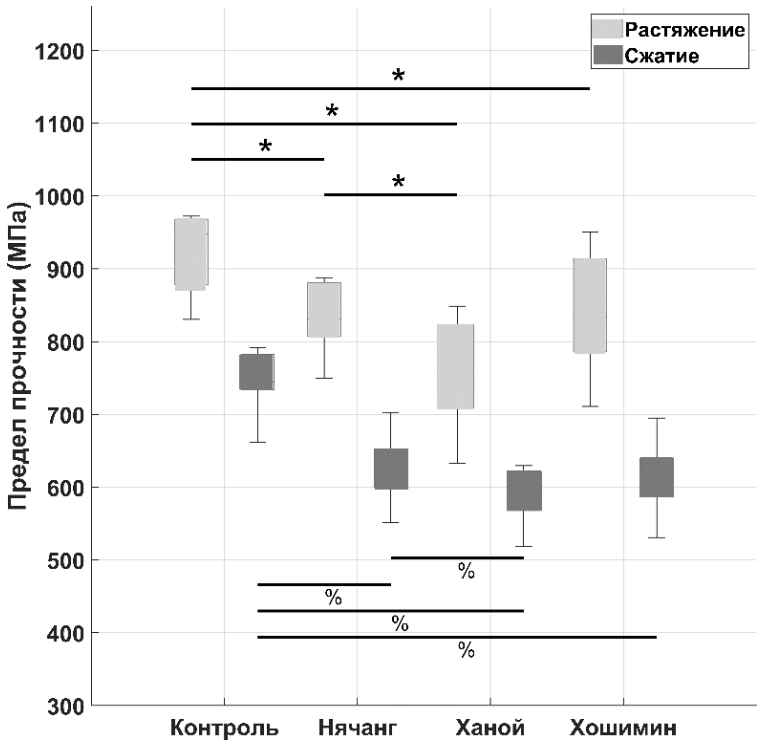
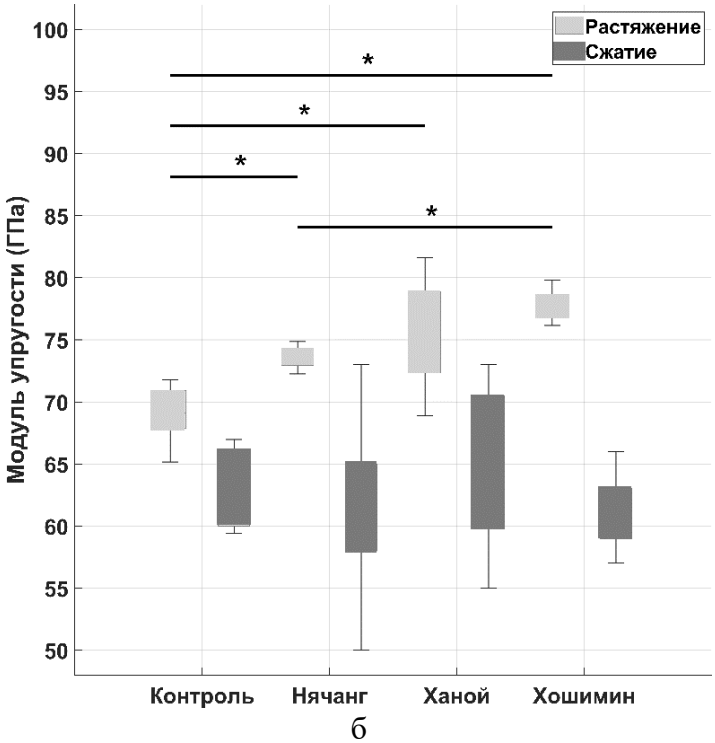


Рис.1. Механические характеристики после воздействия влажного климата, предел прочности



б

Рис.2. Механические характеристики после воздействия влажного климата, модуль упругости

Основываясь на полученных данных было установлено, что экспозиция во влажном климате образцов углепластика В180 с ударными повреждениями на 5-9% снижает критическую нагрузку и предел прочности при сжатии.

Испытания образцов, имеющие ударные повреждения при действии на них сжимающей нагрузки показали, что после пребывания образцов с ударными повреждениями во влажном климате предел прочности при сжатии снижается. Полученные результаты можно

использовать для прогнозирования ресурса материала лопастей ветрогенераторов, эксплуатирующих во влажном климате.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ерасов В.С., Крылов В.Д., Панин С.В., Гончаров А.А*. Испытания полимерного композиционного материала на удар падающим грузом// Авиационные материалы и технологии. – 2013. - №3. – С. 60-64.

2. *Митряйкин В.И., Беззаметнов О.Н., Кротова Е.В.* Исследование прочности композиционных материалов с ударными повреждениями// Изв. Вузов. Авиационная техника. – 2020. – Т.63. - №3. – С. 27-33.

3. *Чулков Д.И., Терехин А.В., Типикин М.Е., Думанский А.М.* Ультразвуковой контроль качества пропитки стеклопластиковых элементов конструкций летательных аппаратов органическими смолами // Изв. Вузов. Машиностроение. – 2023. – №3 (756). – С. 46-54.

4. *Доан Чак Луат, Дудченко А.А., Лурье С.А.* Моделирование деградации свойств композита при растрескивании и расслоении при статическом и циклическом нагружении // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2008. – Т.14, № 4. С. 623-637.

5. *Бохоева Л.А*. Особенности расчета на прочность элементов конструкций из изотропных и композиционных материалов с допустимыми дефектами. – Улан-Удэ: Изд-во Вост.-Сиб. технол. ун-та. – 2007. – С. 192.

6. *Muc A., Stawiarski A*. Identification of damages in composite multilayered cylindrical panels with delamination's // Composite Structures. – 2012. – V. 94, No. 5. –Pp. 1871-1879.

7. *Paimushin V.N., Kayumov R.A., Kholmogorov S.A.* Degradation of the Mechanical Properties of Fiber Reinforced Plastic under Cyclic Loading // Mechanics of Composite Materials. – 2023. – 59 (2). – Pp. 371-380.

INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON THE STRENGTH OF CARBON FIBER SAMPLES

Tazhibaeva A.V., Arkhipov V.A.

Supervisor: Mitryaikin V.I., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article presents the results of the study of the physical and mechanical properties of carbon fiber grade B180 after 3-year exposure to the humid climate of Vietnam. The sizes of impact damage inflicted on samples made of composite materials by different impact energies of 10 J, 20 J, 30 J were investigated. The influence of relaxation on samples as a result of climatic aging was established.

СЕКЦИЯ 8
НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ − НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

УДК 629.7

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛИ «ВТУЛКА»: ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И РАЗРАБОТКА РЕШЕНИЙ

Асанов А.В.

Научный руководитель: Салина М.С., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Объектом исследования является технологический процесс механической обработки деталей типа вал. Цель работы - разработка и совершенствование технологического процесса с внедрением автоматизированных решений. Основные результаты включают модернизированный технологический процесс, компоновку робототехнического комплекса и управляющую программу для станка с ЧПУ.

Современный этап развития машиностроительной отрасли характеризуется стремительной цифровизацией и автоматизацией производственных процессов. В условиях глобальной конкуренции и ужесточения требований к качеству продукции особую значимость приобретают технологии, обеспечивающие высокую точность обработки, стабильность параметров и экономическую эффективность производства. Формообразование в машиностроении представляет собой технологический процесс придания заготовке заданных геометрических параметров и эксплуатационных характеристик. Современные тенденции предполагают интеграцию автоматизированных систем проектирования (CAD/CAM) и роботизированных комплексов, что повышает точность и воспроизводимость процессов. Актуальность данных методов обусловлена растущими требованиями к ресурсоэффективности производства, необходимости обеспечения высокой повторяемости качества и гибкости при выпуске сложнопрофильных деталей для наукоемких отраслей промышленности [1, 2, 3].

Особенно актуальной становится задача автоматизации для среднесерийного производства, где традиционно существует противоречие между необходимостью обеспечения технологической гибкости и поддержания рентабельности. В этом контексте детали типа «Втулка», являющиеся типовыми элементами множества машиностроительных узлов, представляют особый интерес для исследования.

Анализ современного состояния проблемы показывает, что несмотря на широкое распространение CAD/CAM систем и промышленных роботов, многие предприятия продолжают использовать устаревшие технологические процессы, что приводит к повышенному расходу материалов и энергии, значительной доле ручного труда, недостаточной повторяемости качества, низкой гибкости производства.

В данной работе рассматривается комплексный подход к проектированию технологии изготовления детали «Втулка» (Рис. 1), включающий:

1. Оптимизацию выбора заготовки с учетом экономических и технологических факторов
2. Разработку рационального маршрута обработки на современном оборудовании
3. Автоматизацию ключевых производственных операций
4. Создание цифрового двойка технологического процесса

Методологическую основу исследования составляют: принципы технологического проектирования, современные методы расчета режимов резания, подходы к построению роботизированных комплексов, методы компьютерного моделирования в CAD/CAM системах.

Практическая значимость работы заключается в том, что предлагаемые решения позволяют сократить цикл изготовления детали на 25-30%, снизить себестоимость обработки за счет оптимизации режимов, повысить стабильность качества продукции, создать основу для дальнейшей цифровизации производства.

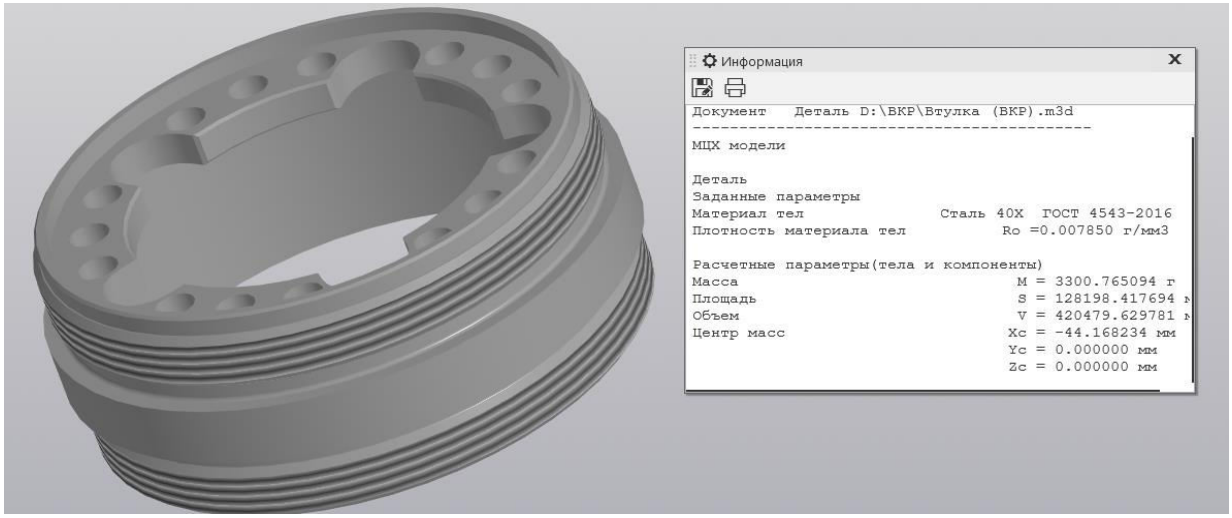


Рисунок 1. Объемная модель детали «Втулка»

Новизна исследования проявляется в комплексном подходе, сочетающем традиционные методы технологического проектирования с современными решениями в области автоматизации и цифрового моделирования. Особое внимание уделено вопросам интеграции робототехнического комплекса в существующую производственную инфраструктуру.

В исследовании рассматривалась деталь «Втулка», которая относится к классу тел вращения - код по ОК ЕСКД: 711542 [4]. Материал детали — сталь 40Х [5], обладающая твердостью после термообработки 20-25 HRC. Годовой объем выпуска составляет 4203 шт., что соответствует среднесерийному типу производства. Масса детали — 3,39 кг.

При выборе заготовки проведен сравнительный анализ двух вариантов: горячекатаного прутка [6] диаметром 200 мм и поковки, полученной ковкой в штампах [7]. Коэффициент использования материала (КИМ) для прутка составил 0,168, что связано со значительными отходами в виде стружки. Для поковки КИМ равен 0,47, при этом обеспечиваются меньшие припуски на обработку. На основании экономической целесообразности выбран вариант с поковкой, оптимальный для среднесерийного производства.

Маршрут обработки включает входной контроль, нормализацию, токарную обработку с ЧПУ, комплексную обработку с ЧПУ, закалку с отпуском, нанесение покрытия и контроль. Для каждой операции разработаны переходы с указанием оборудования, инструмента и режимов обработки.

При расчете размерных цепей применен вероятностный метод. Для осевого размера А1 исходными данными являлись А2 = 80±0,3 мм, минимальный припуск Zmin = 1,1 мм, максимальный припуск Zmax = 2,157 мм. Расчетный размер А1 составил 81,6±0,435 мм. Аналогично рассчитаны все операционные размеры с построением эскизов совмещенных переходов.

В работе были разработаны автоматизированный производственный (АПС) комплекс и управляющая программа, также спроектирована траектория движения руки робота (Рис.2) и рассчитаны её величины перемещения (Табл. 1) Основное оборудование АПС включает токарный станок с ЧПУ 16К20Ф3 [8] с диаметром обработки 500 мм и точностью класса П, а также универсальный станок TRAUB TNA 400 с максимальной скоростью шпинделя 4000 об/мин и мощностью 24 кВт. Для автоматизации выбран промышленный робот GSX RB20A3-1900 с грузоподъемностью 15 кг, точностью позиционирования ±0,04 мм и шестью степенями свободы. Расчет производительности автоматизированной системы показал цикловую производительность 13,69 шт./час, коэффициент загрузки робота 0,356 и коэффициент использования станка 0,904.

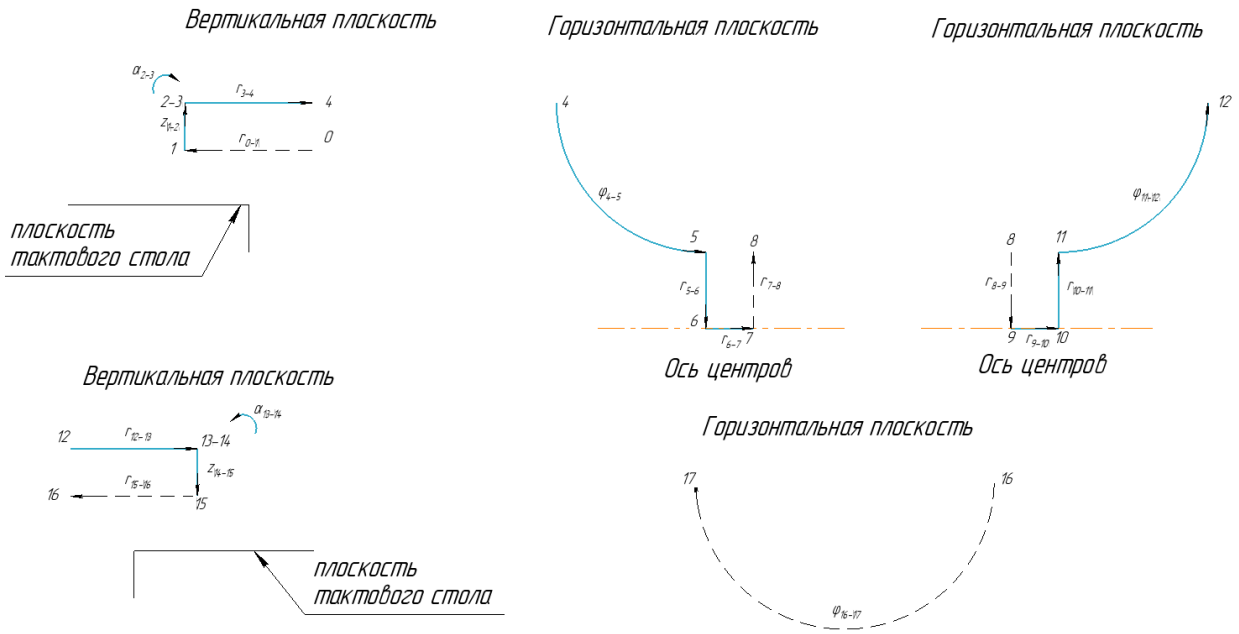


Рисунок 2. Траектория движения руки робота

Таблица 1

Элементы траектории перемещения руки робота

Элемент траектории	Комментарий	Величина перемещения, мм/град
r0 – 1	Перемещение руки вперед	410
(1)	Зажим заготовки схватом	-
z1 – 2	Перемещение руки вверх	200
α2 - 3	Поворот схвата	90
r3 – 4	Перемещение руки назад	410
$\varphi 4-5$	Поворот руки против часовой стрелки	90
$r5-6$	Перемещение руки вперед	450
$r6-7$	Перемещение руки влево	150
(7)	Разжим заготовки	-
$r7-8$	Перемещение руки назад	350
(8)	Ожидание	-
$r8-9$	Перемещение руки вперед	350
$r9-10$	Перемещение руки влево	150
(10)	Зажим детали	-
$r10-11$	Перемещение руки назад	450
$\varphi 11-12$	Поворот руки против часовой стрелки	90
$r12-13$	Перемещение руки вперед	410
α13 - 14	Поворот схвата	90
$z14-15$	Перемещение руки вниз	200
(15)	Разжим детали	-
$r15-16$	Перемещение руки назад	410
$\varphi 16-17$	Поворот руки по часовой стрелке	180

Управляющая программа создана в системе Siemens NX и включает 3D моделирование детали и заготовки, создание родительских групп (геометрия, инструмент), генерацию

операций обработки (черновое и чистовое точение, сверление, фрезерование) и верификацию программы через симуляцию (Рис. 3).

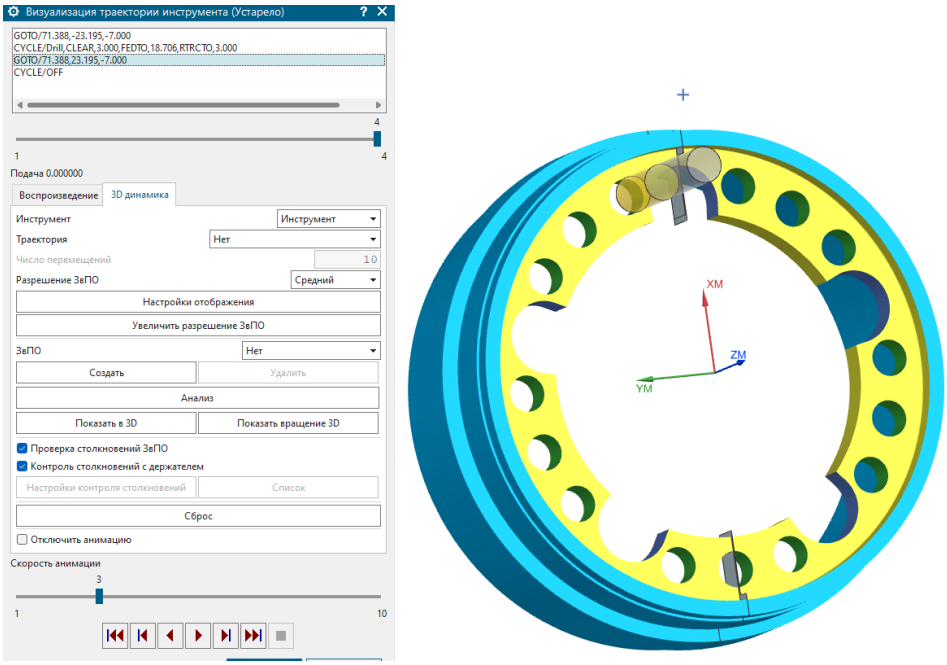


Рисунок 3. Результаты симуляции в NX.

В результате выполнения работы разработан оптимальный технологический процесс изготовления детали «Втулка», обоснован выбор оборудования и оснастки, спроектирован роботизированный комплекс с цикловой производительностью 13,69 шт./час и создана управляющая программа в Siemens NX. Работа имеет прикладной характер и ориентирована на внедрение в реальных производственных условиях машиностроительных предприятий, выпускающих детали подобного класса. Полученные результаты могут быть масштабированы на другие типоразмеры втулок и аналогичные детали тел вращения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Салина М.С.* Формообразование резьбы в полимерных деталях / М.С. Салина, Ю.П. Катаев // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2013. – № 4. – С. 81-86.

2. *Салина М.С.* Формообразование из композиционных материалов элементов конструкций летательных аппаратов: специальность 05.07.02 "Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук – Казань, 2016. – 22 с.

3. *Салина М.С.* Определение эмпирической зависимости скорости резания полимерных материалов от параметров технологического процесса // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева – 2015. – № 2. – С. 55-58.

4. ГОСТ 2.109-73 ЕСКД Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://meganorm.ru (дата обращения: 10.06.2024).

5. ГОСТ 4543—2016. Стандарт. Металлопродукция из конструкционной легированной стали. Технические условия – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://meganorm.ru (дата обращения: 10.06.2024).

6. ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://www.internetlaw.ru/gosts/gost/47557 (дата обращения: 10.06.2024).

7. ГОСТ 7505–89 «Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски» – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://www.internetlaw.ru/gosts/gost/19494/ (дата обращения: 10.06.2024).

8. 16К20Ф3 токарный станок с ЧПУ описание, схемы, характеристики– Текст: электронный. – 2025. – URL: https://www.axissteel.ru/stanok-16k20f3/ (дата обращения: 10.06.2024).

AUTOMATION OF THE PRODUCTION OF THE "BUSHING" PART: PROCESS DESIGN AND SOLUTION DEVELOPMENT

Asanov A.V.

Supervisor: Salina M.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The research focuses on the machining process of shaft-type parts. The aim of the work is the development and improvement of the manufacturing process through the implementation of automated solutions. Key results include an optimized machining process, the layout of a robotic complex, and a CNC machine control program.

УДК 629.7

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ПРОСТАВКА» В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Ахметханов И.И.

Научный руководитель: Салина М.С., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается процесс проектирования технологии изготовления детали «Проставка» с использованием автоматизированного оборудования. Основное внимание уделено разработке технологического процесса механической обработки, выбору оптимальной заготовки, расчету размерных цепей и проектированию роботизированного технологического комплекса. Результаты работы демонстрируют повышение производительности, снижение затрат и улучшение качества продукции за счет автоматизации.

Технологии формообразования в машиностроении обеспечивают создание деталей с требуемыми геометрическими параметрами и служебными характеристиками. Интеграция автоматизированных систем управления, роботизированных комплексов и компьютерного инжиниринга позволяет достичь нового уровня точности и воспроизводимости производственных процессов. Востребованность этих методов обусловлена необходимостью соблюдения принципов ресурсосбережения, гарантированного обеспечения качества и гибкости при изготовлении сложнотехнических изделий для наукоемких секторов промышленности [1, 2, 3].

Актуальность темы обусловлена стремительным развитием цифровых технологий и необходимостью перехода современных машиностроительных предприятий на принципы Industry 4.0. В условиях глобальной конкуренции и ужесточения требований к качеству продукции автоматизация производственных процессов становится критически важным фактором повышения эффективности. Особую значимость это приобретает при изготовлении ответственных деталей, таких как «Проставка» (рис.1) [4-6], которая применяется в узлах оборудования, работающего под высоким давлением.

Современные тенденции показывают, что традиционные методы производства уже не могут обеспечить необходимую точность и повторяемость характеристик при серийном выпуске.

По данным исследований, внедрение роботизированных комплексов позволяет увеличить производительность на 30-40%, снизить брак на 25% и сократить себестоимость продукции на 15-20%. Кроме того, автоматизация минимизирует влияние человеческого фактора, что особенно важно при обработке высокоточных деталей с жесткими допусками [7-9].

В российской промышленности наблюдается дефицит современных автоматизированных решений для обработки деталей малых и средних серий, что делает данное исследование особенно актуальным. Разрабатываемая технология может стать основой для импортозамещения в таких стратегически важных отраслях, как авиастроение, энергетическое машиностроение и транспорт.

Цель исследования заключается в разработке технологического процесса механической обработки детали «Проставка» для автоматизированного производства, а также в проектировании роботизированного комплекса для автоматизации загрузки и транспортировки детали. Задачи исследования включают анализ конструкции детали и выбор метода получения заготовки, расчет припусков, операционных размеров и построение эскизов совмещенных переходов, выбор оборудования, режущих инструментов и режимов резания, а также разработку компоновки автоматизированной производственной системы (АПС) [10].

Был проведен анализ конструкции детали, которая изготовлена из стали 40Х и обладает высокой прочностью и износостойкостью. Габаритные размеры детали составляют 36 × 100 мм, а шероховатость поверхностей — Ra3,2–6,3. При выборе заготовки проведено сравнение поковки и проката: коэффициент использования материала (КИМ) для поковки составил 0,74, для проката — 0,5, в результате чего поковка была выбрана как более экономичный вариант. Разработка технологического процесса включает заготовительный этап, термическую обработку, механическую обработку, нанесение покрытий и контроль качества. Использование станков с ЧПУ (TRAUB TNC 65 EG/DG) обеспечивает высокую точность.

В части, посвященной автоматизации, рассмотрен выбор оборудования, включая токарный станок с ЧПУ TRAUB TNC 65 EG/DG и промышленный робот KUKA KR 6 R1840-2 с грузоподъемностью 9 кг и погрешностью позиционирования ±0,04 мм. Было выбрано схватное устройство ONROBOT RG6 Компоновка АПС (рис. 2) выполнена по круговой схеме с роботом в центре и использованием тактовых столов CT150 для подачи заготовок. Расчет производительности показал, что цикловая производительность составляет 72 детали/час, а коэффициент загруженности робота — 0,246. Также спроектирована траектория движения руки робота (Рис.3) и рассчитаны её величины перемещения (Табл. 1).

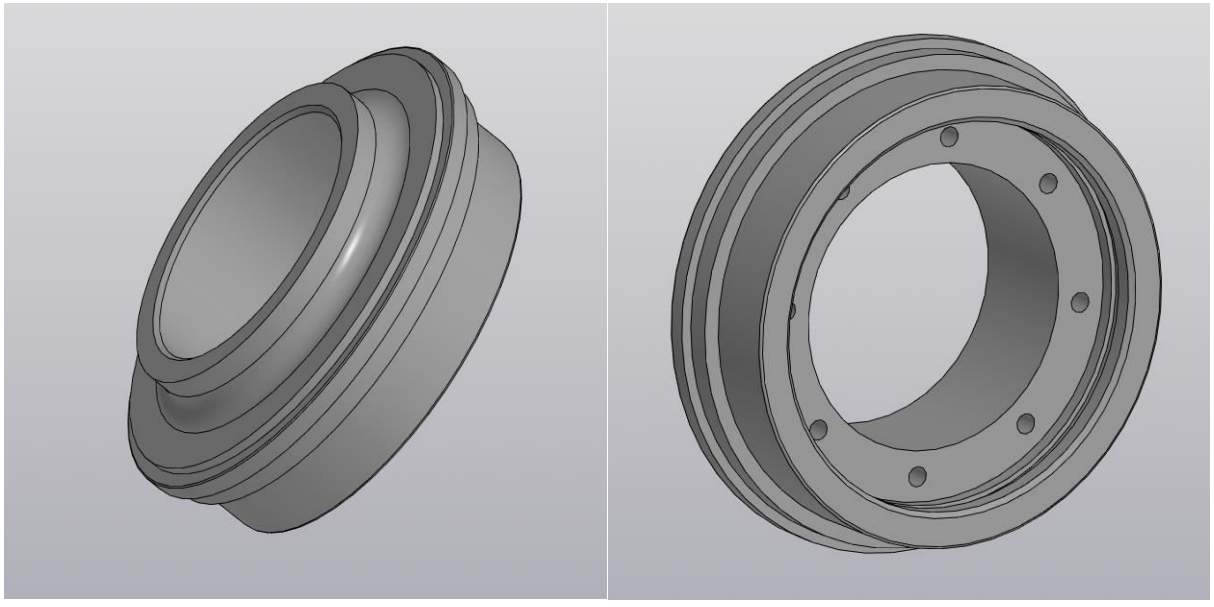


Рис.1. Деталь «Проставка»

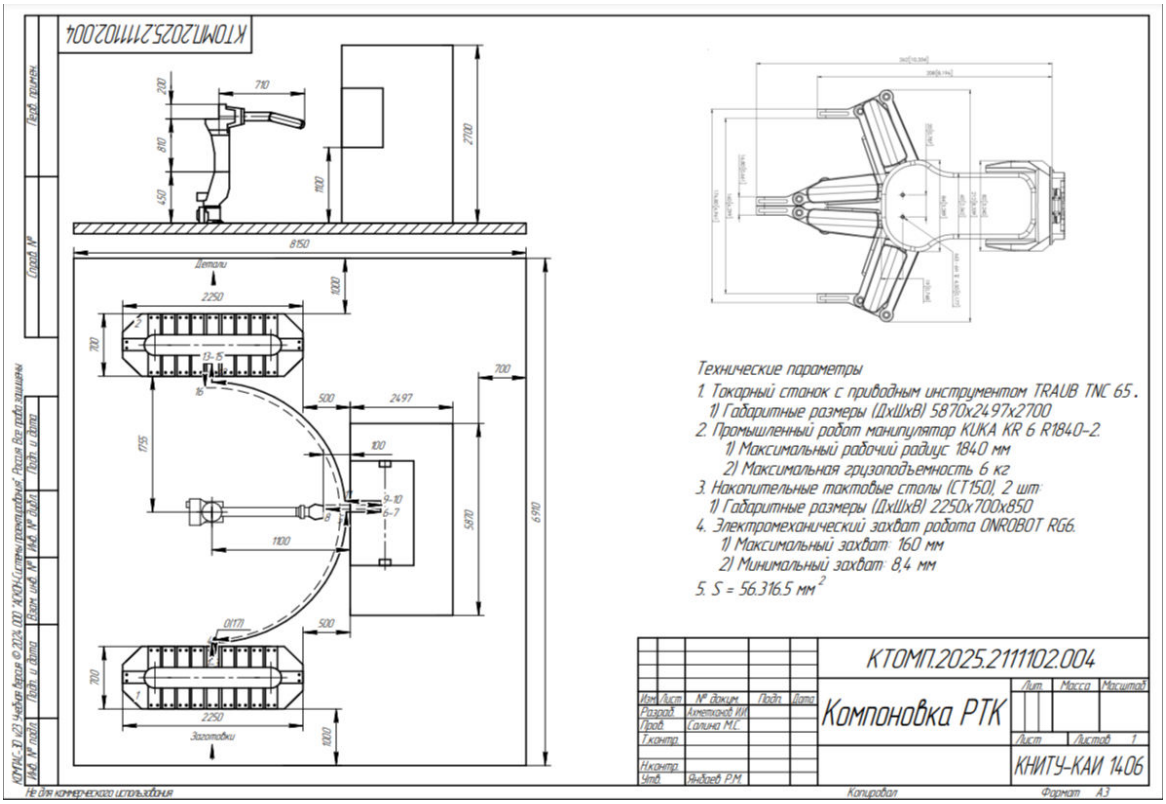


Рис.2. Компоновка РТК

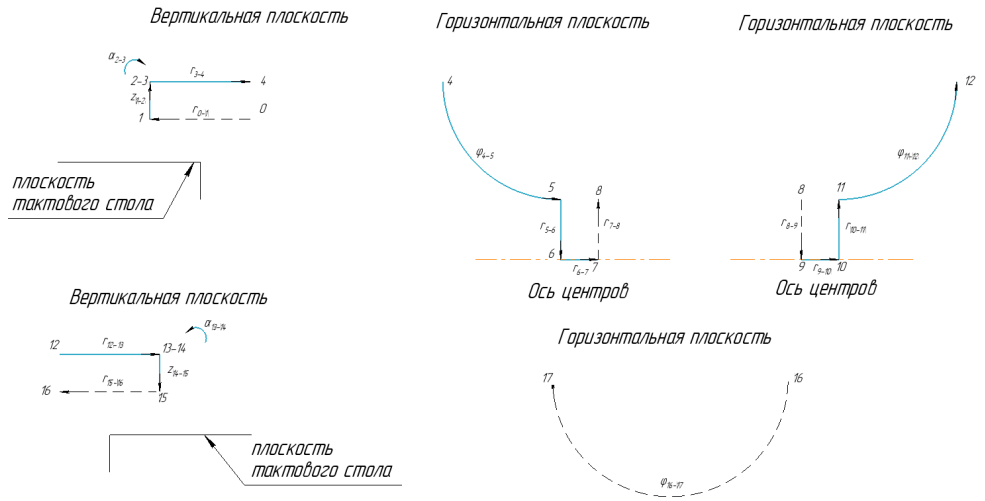


Рис.3. Траектория движения руки робота

Таблица 1

Элементы траектории перемещения руки робота

Элемент траектории	Комментарий	Величина перемещения, мм/град
r0 – 1	Перемещение руки вперед	380
(1)	Зажим заготовки схватом	-
z1 – 2	Перемещение руки вверх	300
α2 - 3	Поворот схвата	90
r3 – 4	Перемещение руки назад	380
$\varphi 4 - 5$	Поворот руки против часовой стрелки	90
$r5 - 6$	Перемещение руки вперед	480
$r6 - 7$	Перемещение руки влево	250

(7)	Разжим заготовки	-
$r7-8$	Перемещение руки назад	400
(8)	Ожидание	-
$r8-9$	Перемещение руки вперед	400
$r9-10$	Перемещение руки влево	250
(10)	Зажим детали	-
$r10-11$	Перемещение руки назад	480
$\varphi 11-12$	Поворот руки против часовой стрелки	90
$r12-13$	Перемещение руки вперед	380
α13 - 14	Поворот схвата	90
$z14-15$	Перемещение руки вниз	300
(15)	Разжим детали	-
$r15-16$	Перемещение руки назад	380
$\varphi 16-17$	Поворот руки по часовой стрелке	180

Результаты работы включают разработанный технологический процесс изготовления детали «Проставка» с использованием автоматизированного оборудования и спроектированный роботизированный комплекс, обеспечивающий высокую точность и производительность. Достигнуто снижение затрат и повышение качества продукции. Перспективы исследования связаны с внедрением подобных систем на других производствах для обработки деталей аналогичного типа, а также с дальнейшей оптимизацией технологических процессов за счет использования искусственного интеллекта и IoT. Практическая значимость работы заключается в возможности применения результатов в авиационной, энергетической и транспортной отраслях. Автоматизация позволяет перейти на круглосуточный режим работы без потери качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Салина М.С.* Формообразование резьбы в полимерных деталях / М.С. Салина, Ю.П. Катаев // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2013. – № 4. – С. 81-86.

2. *Салина М.С.* Формообразование из композиционных материалов элементов конструкций летательных аппаратов: специальность 05.07.02 "Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук – Казань, 2016. – 22 с.

3. *Салина М.С.* Определение эмпирической зависимости скорости резания полимерных материалов от параметров технологического процесса // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2015. – № 2. – С. 55-58.

4. Национальный стандарт Российской Федерации. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Основные требования к чертежам: ГОСТ 2.109-73. — Введ. 1974-07-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — 32 с. — Текст: электронный. — URL: https://meganorm.ru/ (дата обращения: 22.05.2025).

5. Национальный стандарт Российской Федерации. Металлопродукция из конструкционной легированной стали: технические условия: ГОСТ 4543-2016. — Введ. 2018-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2016. — 50 с. — Текст: электронный. — URL: https://meganorm.ru/ (дата обращения: 22.05.2025).

6. Национальный стандарт Российской Федерации. Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый: сортамент: ГОСТ 2590-2006. — Введ. 2007-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — 13 с. — Текст: электронный. — URL: https://www.internetlaw.ru/gosts/gost/47557 (дата обращения: 22.05.2025).

7. Национальный стандарт Российской Федерации. Поковки стальные штампованные: допуски, припуски и кузнечные напуски: ГОСТ 7505-89. — Введ. 1990-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — IV, 18 с. — Текст: электронный. — URL: https://www.internetlaw.ru/gosts/gost/19494/ (дата обращения: 22.05.2025).
8. 16К20 токарный станок с ЧПУ: описание, схемы, характеристики. — Текст: электронный. — URL: https://www.axissteel.ru/stanok-16k20/ (дата обращения: 22.05.2025).
9. Промышленные роботы серии RB, GSX. — Текст: электронный. — URL: https://smd.com.ru/catalog/robotizatsiya_svarki/svarochnye_roboty/ (дата обращения: 22.05.2025).
10. *Егорова Е.И.* Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию /М.В. Печенкин. — Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2022. — 102 с.

MODERN METHODS OF MANUFACTURING THE "SPACER" PART IN AUTOMATED PRODUCTION

Akhmetkhanov I.I.
Supervisor: Salina M.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses the process of designing the manufacturing technology of the "Spacer" part using automated equipment. The main attention is paid to the development of the technological process of mechanical processing, the selection of the optimal workpiece, the calculation of dimensional chains and the design of a robotic technological complex. The results demonstrate increased productivity, lower costs, and improved product quality through automation.

УДК 629.7

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКЕ ДЕТАЛИ «СТАКАН» В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM

Ганин К.Е.
Научный руководитель: Салина М.С., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе выполнено моделирование процесса горячей объемной штамповки с использованием программного обеспечения DEFORM. Были построены графики, отображающие различные типы напряжений, возникающие в процессе штамповки, и проведен их анализ.

Обработка давлением, в частности горячая объемная штамповка, сохраняет свою актуальность благодаря синергии формообразования и структурного упрочнения материала в едином технологическом цикле. Эти процессы позволяют создавать детали сложной пространственной конфигурации с контролируемыми механическими свойствами, что обуславливает их применение при производстве высокоответственных узлов для авиакосмической техники и энергетического машиностроения [1, 2, 3].

Горячая объемная штамповка занимает важное место в современном машиностроении, так как позволяет изготавливать металлические изделия сложной конфигурации с высокими эксплуатационными характеристиками. Суть процесса заключается в нагреве заготовки до высоких температур, что обеспечивает её пластичность и облегчает формообразование. Применение программы DEFORM для моделирования горячей объемной штамповки даёт возможность прогнозировать и совершенствовать процесс, учитывая особенности течения металла, температурные и напряжённые состояния. Это способствует предотвращению дефектов, повышению производительности и снижению затрат на изготовление оснастки.

DEFORM — специализированный программный продукт для моделирования процессов обработки металлов давлением, в том числе горячей объемной штамповки. Моделирование включает этапы подготовки модели, выбор алгоритмов расчёта, анализ полученных данных и их обработку. Использование DEFORM позволяет своевременно выявлять и устранять возможные недостатки, что способствует сокращению трудозатрат и экономии материальных ресурсов.

Проведем моделирование процесса штамповки детали «Стакан» в программе DEFORM. В качестве исходных данных используется чертеж детали (рис.1), чертеж поковки [4] (рис.2) и переходы в операции горячей объемной штамповки (рис.3).

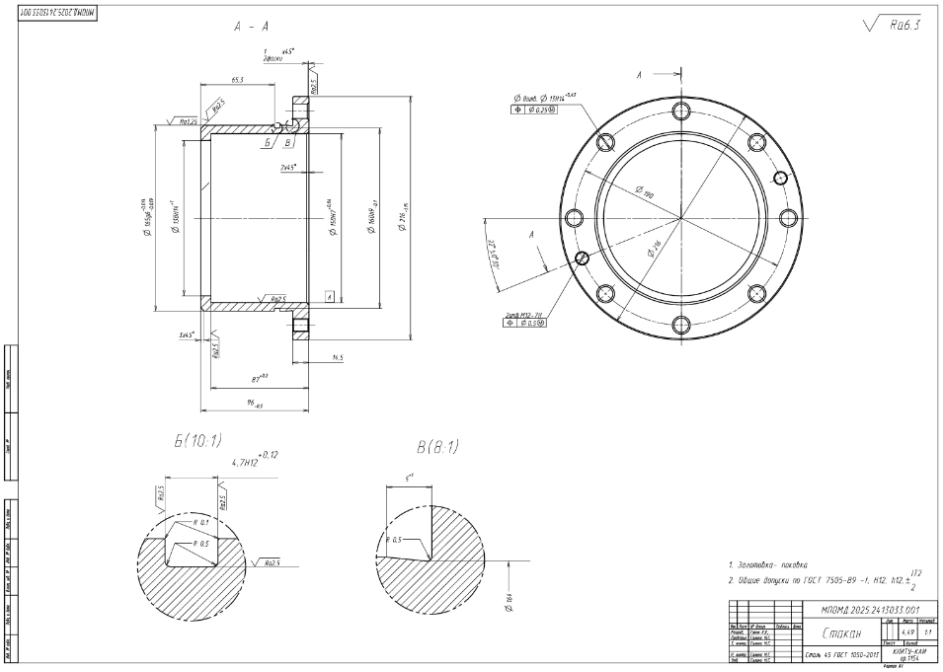


Рисунок 1. Чертеж детали «Стакан»

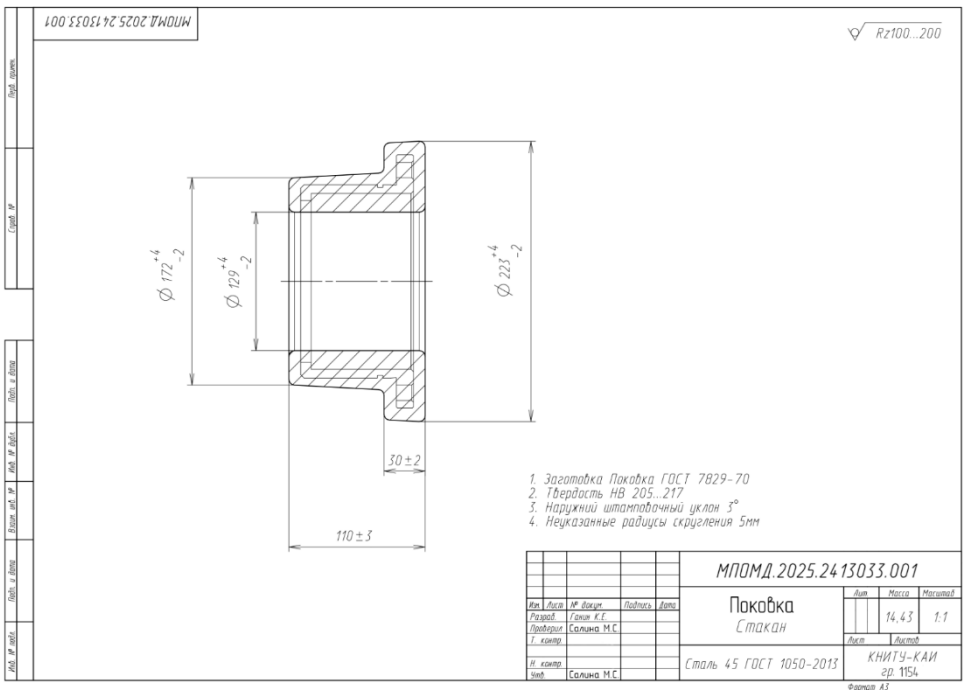


Рисунок 2. Чертеж поковки детали «Стакан»

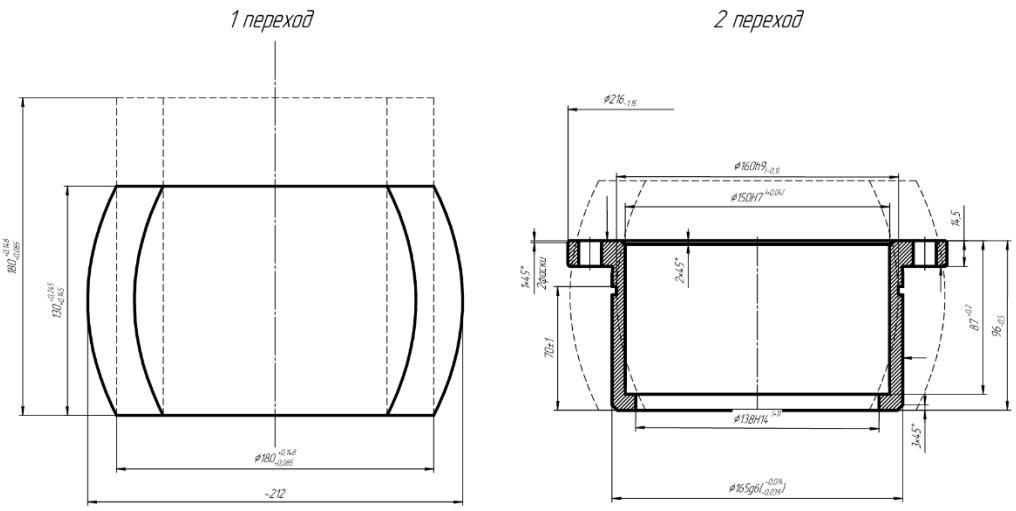


Рисунок 3. Переходы штамповки

Для изготовления поковки применяется штамп, установленный на кривошипно-горячештамповочном прессе [5-7]. Заготовка предварительно нагревается до требуемой температуры, после чего подвергается деформации в штампе под действием давления. Такое оборудование обеспечивает высокую точность формообразования и стабильность получаемых результатов, что особенно важно при производстве сложных по геометрии деталей. Использование подобных прессов способствует снижению материальных и временных затрат, одновременно улучшая механические характеристики продукции за счёт повышения её прочности и износостойкости [8, 9].

Процесс горячей объемной штамповки включает два перехода. Первый переход – это осадка. В пре-процессоре программы создается упрощенная модель трубы (рис.4) и ее сетка конечных элементов, а также размещаются верхний и нижний штамп относительно заготовки.

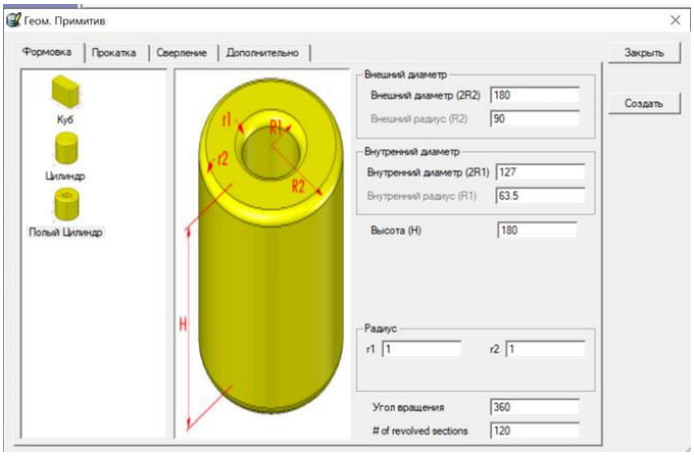


Рисунок 4. Геометрия исходной заготовки

Далее моделируется касание штампов и заготовки, и задаются параметры расчета.

В конце перехода генерируется база данных и закрывается пре-процессор. Далее запускается симуляция по сформированной базе данных. После окончания симуляции запускается пост-процессор и выводится результат в виде графиков.

Второй переход операция высадки осаженной заготовки, происходит аналогично первому, меняются только модели штампа.

В конце расчета были получены результаты измерений в виде цветных картин распределения напряжений и графика зависимости усилия деформирования от перемещения штампа (рис.5).

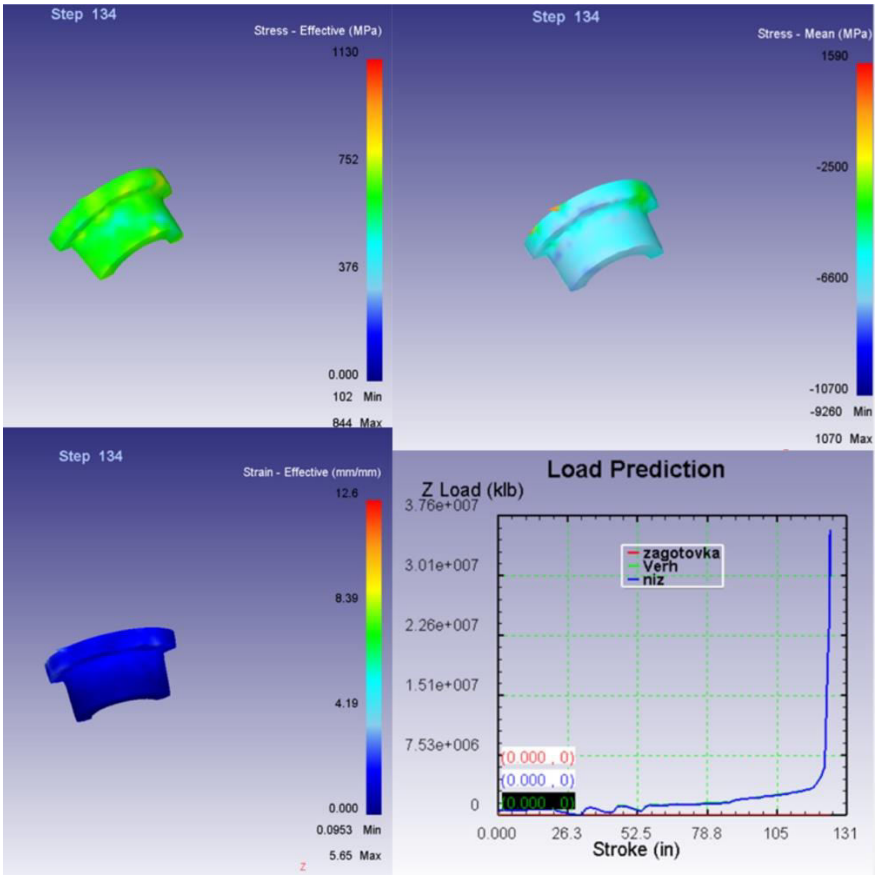


Рисунок 5. Картины распределения напряжений и график зависимости усилия деформирования

Анализ диаграмм напряжений показывает, что пиковые значения деформаций локализуются в зонах резкого изменения геометрии детали, а также в областях скруглений и сужений. Эти участки являются концентраторами напряжений. Согласно графическим данным, усилие, необходимое для высадки, достигает приблизительно 3760 кН.

В процессе моделирования с помощью программного комплекса DEFORM были получены следующие данные: 1) график, отражающий зависимость усилия осадки от перемещения штампа, при этом максимальное усилие осадки составило 771 кН; 2) график зависимости усилия деформирования от хода штампа, где усилие высадки достигло 3760 кН. Также были построены визуализации распределения деформаций и напряжений, на которых отчётливо прослеживаются зоны концентрации напряжений и корректность заполнения полости штампа.

Следовательно, процесс горячей объемной штамповки поддается компьютерному моделированию. Применение численного моделирования способствует сокращению сроков разработки, улучшает качество выпускаемой продукции и позволяет снизить производственные затраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Салина М.С.* Проектирование процесса горячей объемной штамповки поковки "Втулка" в программном комплексе DEFORM-3D // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики (АНТЭ-2024): материалы IX Всероссийской научно-технической конференции, Казань, 03–04 октября 2024 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2024. – С. 416-418.

2. *Салина М.С.* Формообразование из композиционных материалов элементов конструкций летательных аппаратов: специальность 05.07.02 "Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук – Казань, 2016. – 22 с.

3. *Салина М.С.* Деформированное и напряженное состояние при пластическом кручении эллиптических валов Ю.П. Катаев // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014. – № 1. – С. 52-58.

4. Национальный стандарт Российской Федерации. Поковки стальные штампованные: допуски, припуски и кузнечные напуски: ГОСТ 7505-89. — Введ. 1990-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — IV, 18 с.

5. Национальный стандарт Российской Федерации. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей: общие технические условия: ГОСТ 1050-2013. — Введ. 2015-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2014. — 46 с.

6. Национальный стандарт Российской Федерации. Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый: сортамен: ГОСТ 2590-2006. — Введ. 2007-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — 13 с.

7. *Семенов Е. И.* Ковка и штамповка: в 2 т. Т. 1 / Е.И. Семенов, А.О. Ганаго, Л.И. Живов [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1985. — 567 с.

8. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка: в 2 т. Т. 2 / Е.И. Семенов, А.О. Ганаго, Л.И. Живов [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1985. — 592 с.

9. *Бабенко В.А.* Объемная штамповка: атлас схем и типовых конструкций штампов: учебное пособие для машиностроительных вузов / В.А. Бабенко, В.В. Бойцов, Ю.П. Волик. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Машиностроение, 1982. — 104 с.

ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE DURING HOT STAMPING OF THE "CUP" PART IN THE DEFORM SOFTWARE PACKAGE

Ganin K.E.

Supervisor: Salina M.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The hot volumetric stamping process was simulated using the DEFORM software. As a result, graphs illustrating different stress types during hot volumetric stamping were obtained, and a comprehensive analysis of the process was performed.

УДК 667.6, 691.175

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ТИТАНПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПЕРЕГОРОДОК В ТЕХНИКЕ АВИАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Голубкин К.С.[1,2], Воловик П.В.[1]

Научный руководитель: Насонов Ф.А.[1,2], к. т. н.

([1]ПАО «ОАК» ОКБ Сухого, г. Москва,

[2]МАИ (НИУ), г. Москва)

Аннотация. Продолжаются работы по актуальной теме гибридных титан-полимерных композиционных материалов (ТПКМ). После проверки технологической реализуемости двухэтапных процессов изготовления деталей плоских форм и с одинарной кривизной, выявления возможностей улучшения адгезионного взаимодействия, проводится работа по оценке возможности варьирования конструктивных параметров в обеспечение функции теплозащитных перегородок для применения в технике авиационного назначения.

Целью проводимой работы является выявление возможностей оптимального проектирования конструкций из гибридных титан-полимерных композиционных материалов для расширения их возможного применения в конструкциях авиационного назначения. Актуальной задачей является проектирование и изготовление теплозащитных перегородок. На первом этапе работы от данных элементов конструкций не требуется высоких несущих свойств, предполагая, что рассматриваемые конструкции будут выведены из общего силового контура. Необходимо, чтобы конструкции, по крайней мере, сохраняли свою несущую способность под действием сил собственного веса и возможного избыточного давления.

Для достижения обозначенной цели в ходе работы решается ряд задач:

- проводится анализ структуры образцов из ТПКМ, изготовление которых было опробовано в ранее проведенных работах [1-10] (рисунок 1);
- проводится расчетная оценка процессов теплопередачи через стенку перегородки с учетом возможности варьирования ее структуры, с учетом теплофизических показателей, входящих в состав гибридного материала компонентов;
- проводится оценка необходимости и эффективности применения классических методов повышения тепло- и огнестойкости конструкций в дополнение к техническому решению применения перегородки из гибридного материала.

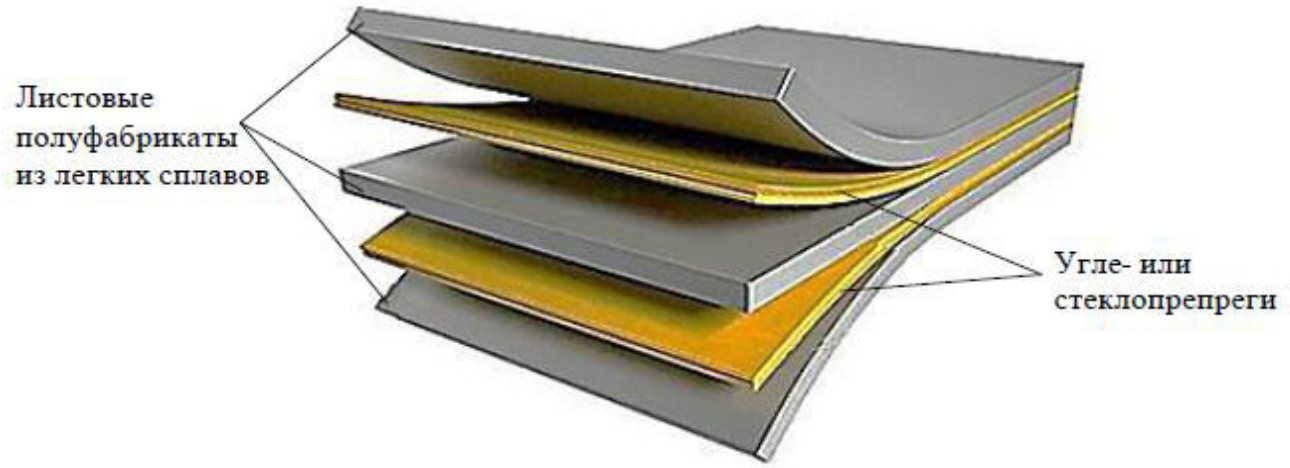


Рисунок 1. Схема титанполимерного композита [1]

В рамках решения задачи по огнезащите отсека перспективного ЛА, находящегося в зоне повышенных (до 150 °С) температур, возникла проблема избыточной массы, выходящей за рамки весового лимита. Это было связано, в первую очередь, с применением таких материалов как стальных (12Х18Н10Т) или титановых листов (ОТ4) и нанесением на них огнезащитного покрытия.

По результатам проведенных расчетов было обнаружено, что применение листов без применения огнезащитного покрытия не обеспечивает необходимой температуры на обратной стороне стенки, из-за чего значения температуры внутри отсека выходили за рамки допустимых.

Для решения этой задачи были рассмотрены варианты применения гибридных материалов, в том числе алюмостеклопластиков и титанполимерных композиционных материалов (ТПКМ).

Известны решения по применению алюмостеклопластиков разработки НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ, в том числе марки СИАЛ-3-5Р [4]. СИАЛ-3-5Р представляет собой конструкционный материал, состоящий из двух тонких (до 0,4 мм) внешних листов с односторонней плакировкой из сплава 1441Т11 и одного тонкого листа из титанового сплава ОТ4-1 (до 0,5 мм) между которыми располагаются два внутренних слоя, состоящих из двух перекрестных монослоев стеклопластика [4].

Механические свойства листов слоистого алюмостеклопластика марки СИАЛ-3-5Р (направление вырезки образцов - долевое (Д)) по паспорту на материал (средние значения):

— Временное сопротивление при растяжении ($\sigma_в$) – 680 МПа;

— Плотность (d) – 2923 кг/м^3;

— скорость роста трещины усталости (СРТУ) (dl/dN) при В=140 мм, ΔK = 31 МПа$\sqrt{м}$ – 0,19 мм/кцикл;

— Отсутствие сквозного прогорания при 1100 °С, 15 мин в условиях вибрации. Максимальная температура с обратной стороны образца 126 °С [4].

Однако рабочая температура данного материала (120 °С) ниже температуры зоны, где предполагалось его применение.

В связи с этим для оценки пригодности к использованию был проведен тепловой расчет пакета гибридного ТПКМ с конфигурацией слоев 1Т-3СП-1Т-5СП-1Т-3СП-1Т. Толщина одного слоя титанового сплава ВТ-20 составляет 0,08 мм, стеклопластика ВПС-32К64 – 0,1 мм. Общая толщина пакета составляет 142 мм.

Средняя плотность рассматриваемой теплозащитной стенки составляет 2281 кг/м^3, что на 28 % меньше, чем аналогичная стенка, выполненная из алюмостеклопластика марки СИАЛ-3-5Р (2923 кг/м^3). Снижение плотности относительно монолитной стенки из титанового сплава ВТ-20 (4450 кг/м^3) – 48,7 %. Также необходимо принимать во внимание повышенную устойчивость к концентраторам напряжений и усталостным нагрузкам слоистого гибрида относительно монолитного листа. ТПКМ обладают низкой чувствительностью к концентраторам напряжений. Главным технологическим ограничением является сложность реализации формообразования элементов двойной кривизны, особенно малых радиусов кривизны. Формообразование таких объектов возможно при выполнении более сложных раскройных схем заготовок. Формообразование плоских и с одинарной кривизной заготовок (рисунок 2) возможно реализовать на простейших типах формообразующей оснастки, являющейся стандартной для технологических процессов изделий из ПКМ. Укрупненная схема технологического процесса показана на рисунке 3.

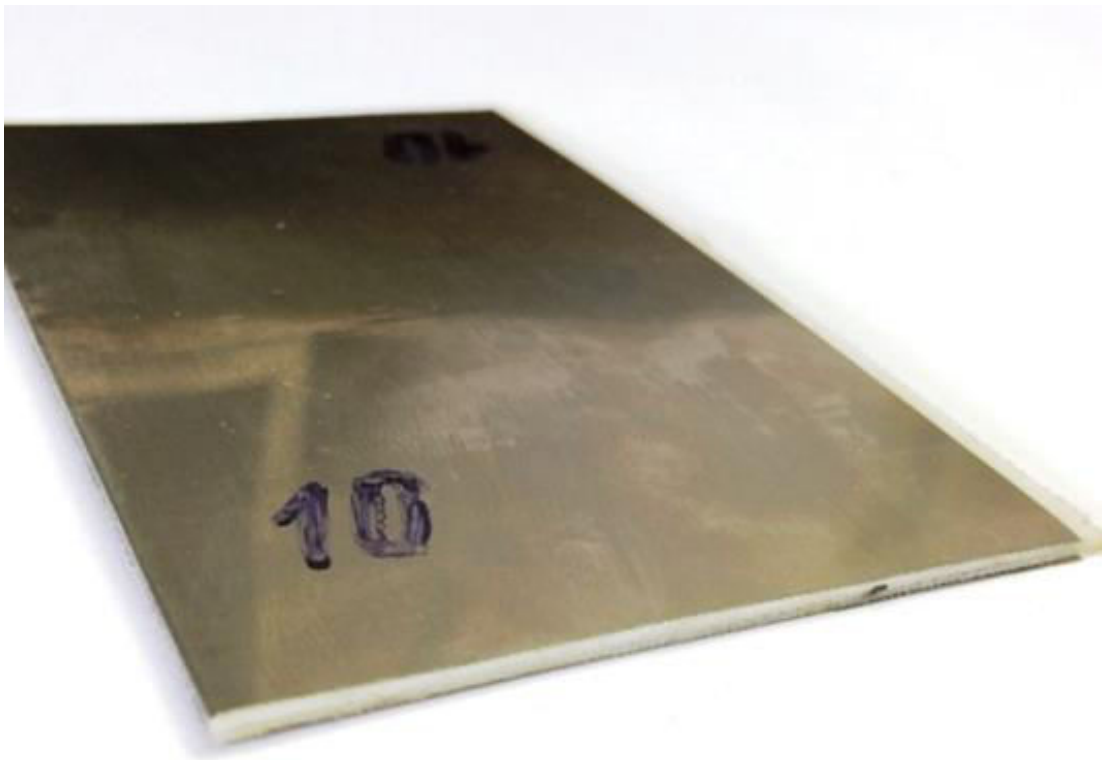


Рисунок 2. Пример фрагмента пакета-заготовки ТПКМ

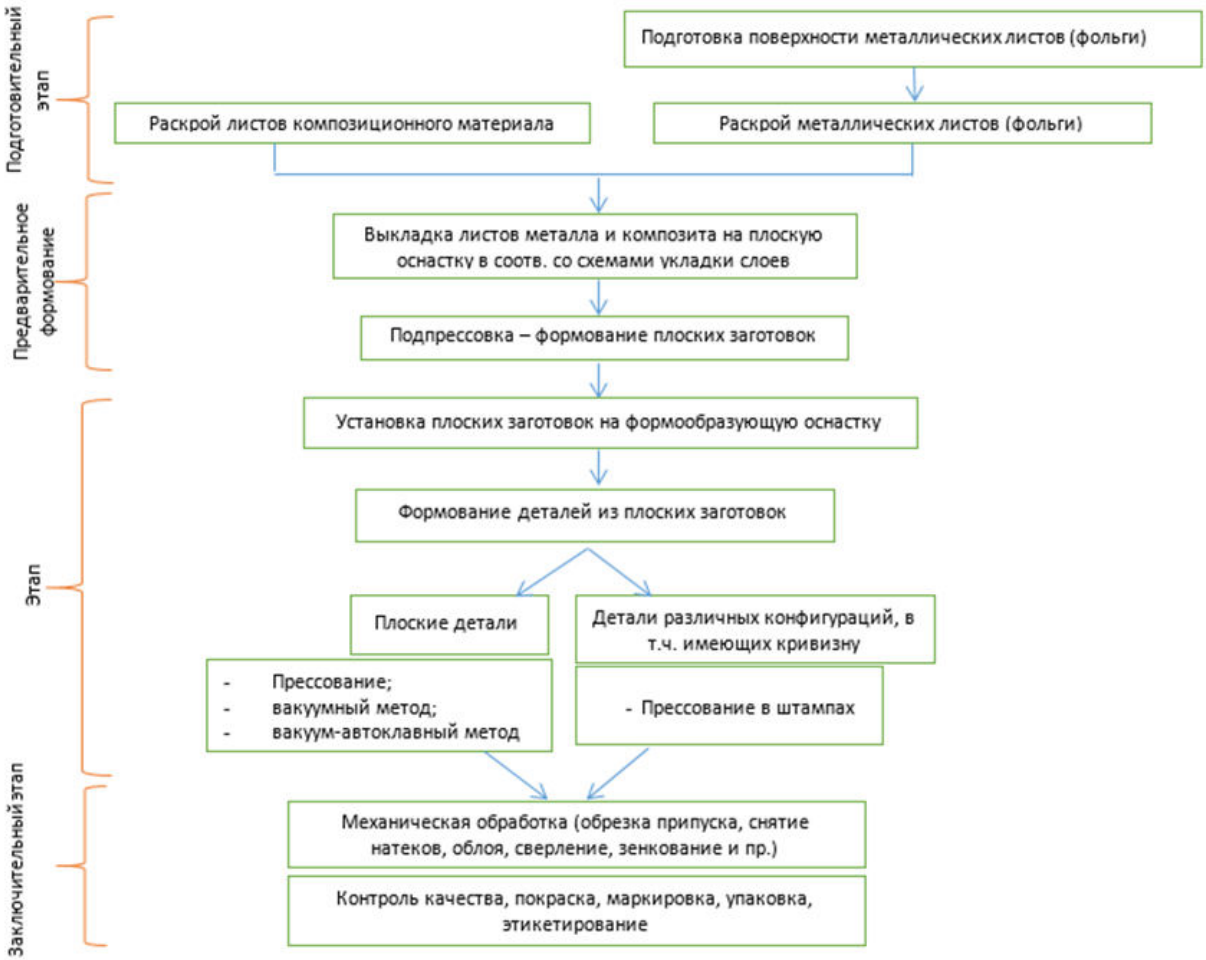


Рисунок 3. Укрупненная схема технологического процесса изготовления деталей из гибридного материала [9]

Некоторые предварительные результаты оценки температур и времени их действия приведены на рисунках 4 - 5.

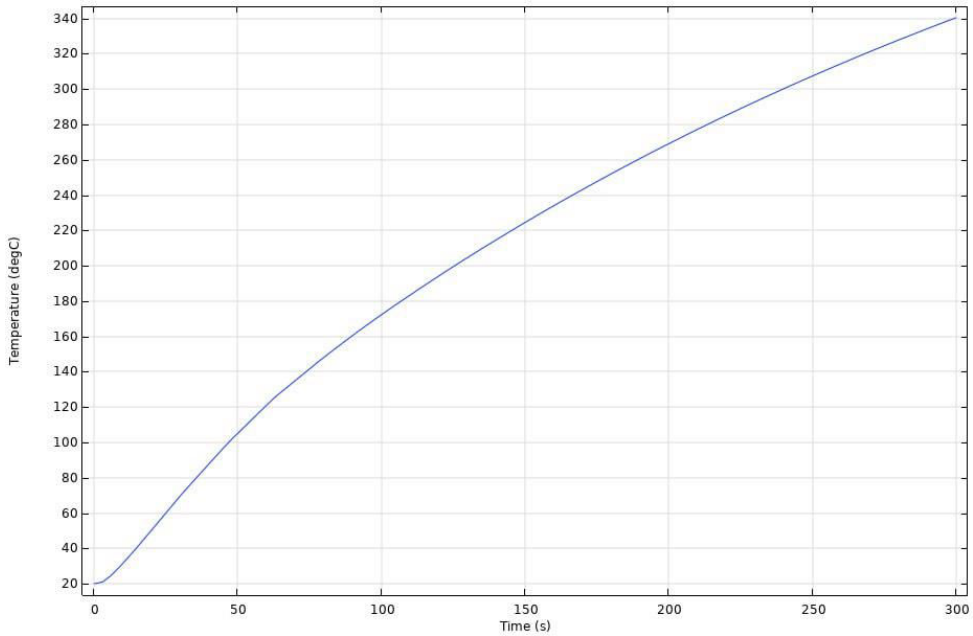


Рисунок 4. Распределение температуры на поверхности холодной стороны теплозащитной перегородки по времени. Температура «горячей зоны» - 1100 °С

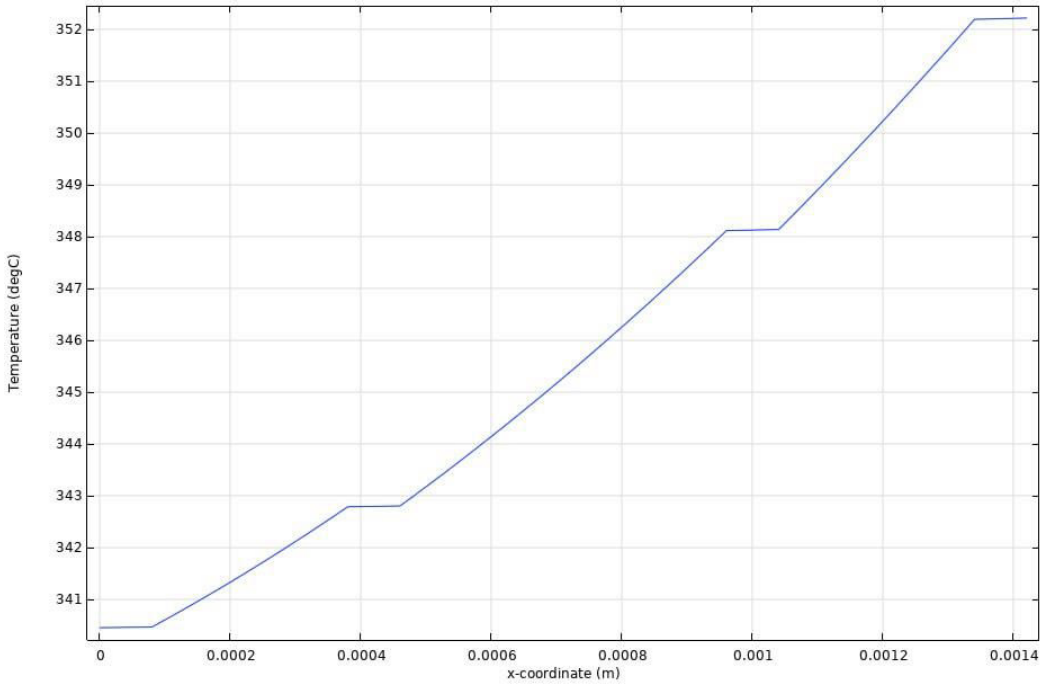


Рисунок 5. Распределение температуры по толщине перегородки после воздействия тепловых нагрузок в течение 15 минут

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Лавров А.В.* Оптимизация структуры гибридных композиционных материалов авиационного назначения / А.В. Лавров, В.С. Ерасов, Н.Ю. Подживотов, В.В. Автаев // Труды ВИАМ. — 2016. — № 11.

2. *Grabilnikov A.S.* Interlaminar fracture toughness of a hybrid composite material of the ALOR type / A.S. Grabilnikov, G.P. Mashinskaya, G.F. Zhelezina, O.M. Zinevich, I.S. Deyev // Mechanics of Composite Materials. — 1994. — Vol. 30, No. 2. — Pp. 136–145.

3. *Mashinskaya G.P.* Laminated fibrous metal-polymer composites / G.P. Mashinskaya, G.F. Zhelezina, O.G. Senatorova // Soviet Advanced Composites Technology Series. — London: Chapman & Hall, 1995. — Pp. 487–570.

4. *Antipov V.V.* Investigation of a new fibre metal laminate (FML) family on the base of Al-Li-alloy with lower density / V.V. Antipov, O.G. Senatorova, T. Beumler, M. Ijpma // Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. — 2012. — No. 4. — Pp. 350–355.

5. *Vermeeren C.A.* J. R. GLARE design aspects and philosophies / C. A. J. R. Vermeeren, T. Beumler, J. L. C. G. De Kanter, O. C. Van Der Jagt, B. C. L. Out // Applied Composite Materials. — 2003. — Vol. 10, No. 4–5. — Pp. 257–276.

6. *Lukina N.F.* Adhesive prepregs and composite materials on their basis / N.F. Lukina, L.A.Dementjeva, A.A. Serezhenkov, E.V. Kotova, O.G. Senatorova, V.V. Sidel'nikov, K.E.Kutsevich // Russian Journal of General Chemistry. 2011. — Vol. 81, No. 5. — Pp. 1022–1024.

7. *Постнов В.И.* Особенности формования крупногабаритных листов металлополимерных композиционных материалов, их структура и свойства / В.И. Постнов, О.Г. Сенаторова, С.А. Каримова [и др.] // Авиационные материалы и технологии. 2009. № 4. — С. 23–32.

8. *Акулинин А.О.* Гибридные титан-полимерные композиционные материалы и развитие технологии их переработки в изделия / А.О. Акулинин, Ф.А. Насонов // Наука и технологии: материалы XXXVIII Всероссийской конференции, посвящённой 75-летию Южно-Уральского государственного университета: в 2 т. Т. 1. — Москва: РАН, 2018. — С. 71–77.

9. Пат. 2708862 Российская Федерация, МПК B32B 7/04, B32B 15/14, B64C 1/00. Способ изготовления детали и деталь из гибридного композиционного материала: № 2019101474: заявл. 18.01.2019: опубл. 11.12.2019 / Филатов А. А., Морозов Б. Б., Попова Ю.

А. [и др.]; заявитель Публичное акционерное общество "Авиационная холдинговая компания "Сухой".

10. *Nasonov F.A*. Experimental production of samples and prototype parts from titanium-polymer composite material / F.A. Nasonov, A.O. Akulinin, B.B. Morozov, U.A. Popova, A.A. Filatov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2020. — Vol. 971. — Article 022062. — DOI: 10.1088/1757-899X/971/2/022062. — Текст: электронный. — URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/971/2/022062 (дата обращения: 22.05.2024).

DETERMINATION OF THE POSSIBILITIES OF USING HYBRID TITANIUM POLYMER COMPOSITE MATERIALS AS HEAT-SHIELDING WALLS IN AVIATION QUIPMENT

Golubkin K.S.[1,2], Volovik P.V.[1]

Supervisor: Nasonov F.A.[1,2], Candidate of Engineering Sciences

([1]«UAC» Sukhoi Design Bureau, Moscow, [2]MAI, Moscow)

Abstract. Work continues on the current topic of hybrid titanium-polymer composite materials. After checking the technological feasibility of two-stage manufacturing processes for flat-shaped and single-curvature parts, identifying opportunities for improving adhesive interaction, work is underway to assess the possibility of varying design parameters to ensure the function of heat-shielding partitions for use in aviation technology.

УДК 544.351.3

ВЗАИМНАЯ РАСТВОРИМОСТЬ ЖЕЛЕЗА И МЕДИ

Гусев Д.Д.

Научный руководитель: Курынцев С.В., доцент, к. э. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается взаимная растворимость железа и меди, а также способы их соединения. Взаимная растворимость этих двух металлов играет ключевую роль в разработке новых сплавов и технологий, особенно в контексте сварки.

Взаимная растворимость металлов – это способность двух или более металлов образовывать сплавы с определенной концентрацией компонентов, сохраняя при этом свою кристаллическую структуру. Металлы в расплавленном состоянии в большинстве случаев образуют однородные жидкие системы и смешиваются друг с другом в любых отношениях. При этом также образуется однородный жидкий раствор, в котором атомы растворимого металла равномерно распределены среди атомов металла-растворителя. В твердом состоянии взаимная растворимость ограничена. Это означает, что в твердой фазе содержание одного металла в другом не может быть больше определенной величины.

Когда кристаллические решетки металлов имеют схожие структуры, они способны растворяться друг в друге в твердом состоянии. Если параметры кристаллических решеток этих металлов близки, они могут бесконечно растворяться друг в друге, что позволяет формировать твердые растворы с любым соотношением составляющих металлов. Однако в большинстве случаев наблюдается ограниченная растворимость твердых металлов, это означает, что содержание одного из них в твердой фазе не может превышать определенного значения.

Железо (Fe) обладает пластичностью и ковкостью, а также образует полиморфные модификации, температура плавления составляет 1539 °C. Чистое железо имеет предельную

рабочую температуру жаростойкости на воздухе 560 °С, но при введении легирующих элементов можно повысить это значение в 2 раза.

Медь (Cu) мягкий и пластичный металл, температура плавления составляет 1083 °С. Жаростойкость меди составляет 400 °С, что довольно мало, но медь имеет хорошую теплопроводностью - 401 Вт/(м·К), в сравнении с железом – 80 Вт/(м·К).

Сварочные процессы, связанные с медью, имеют свои уникальные особенности, которые существенно отличают их от сварки стальных изделий. Эти различия в первую очередь обусловлены теплофизическими свойствами двух металлов. Медь, обладая высокой теплопроводностью и температуропроводностью, создает значительные градиенты температуры в области сварки. Это приводит к быстрому охлаждению и формированию сварочной ванны, которая существует лишь в течение короткого времени. Такое поведение меди требует от сварщиков применения повышенной погонной энергии, чтобы обеспечить достаточное прогревание и поддержание необходимой температуры в процессе сварки. В некоторых случаях также может потребоваться предварительный подогрев заготовок, что, в свою очередь, добавляет дополнительные сложности в технологию сварки. Эти факторы делают процесс соединения меди более сложным по сравнению со сваркой сталей, где такие проблемы не стоят так остро.

Медь склонна к образованию пор в металле шва и околошовной зоне. Причиной образования пор является водород, водяные пары или образующийся углекислый газ при взаимодействии окиси углерода с закисью меди [1].

Растворимость железа в фазах меди и меди в фазах железа ограничена. Так, в фазе аустенита (гамма-Fe) можно растворить не более 18% меди. Для этого необходима высокая температура (около +1400 °С), которая резко должна смениться комнатной для предотвращения повторного разделения. В других условиях получится двухфазная смесь, которую нельзя назвать сплавом железа и меди. Сплав железа и меди имеет эвтектоидную микроструктуру со сменяющими друг друга слоями материала, насыщенного железом и медью [2].

Ухудшает взаимную растворимость железа с медью, содержащийся в железе углерод, улучшает – кремний и марганец. Углерод ухудшает взаимную растворимость железа и меди, потому что медь не даёт химических соединений с углеродом и находится в стали частично в твёрдом растворе, а при избытке выделяется по границам зёрен в виде фазы, состоящей из чистой меди с небольшим количеством железа. Кремний и марганец, наоборот, улучшают растворимость, так как марганец снижает критическую точку Ac3 и расширяет область γ-твёрдого раствора, в котором медь растворяется в значительно большем количестве, а кремний раскисляет сварочную ванну и упрочняет зёрна твёрдого раствора [3].

Соединение стали с медью очень распространено в различных отраслях: машиностроение, нефтехимическая и металлургическая промышленность, электротехника, радиотехника. Изготавливают фурмы доменных печей, эжекторы, кристаллизаторы, химическую аппаратуру, электровакуумные приборы, испарители и многое другое.

Медь, как и говорилось, металл с высокой теплопроводностью, поэтому ее разогрев затруднен. В связи с этим при сварке необходимо использовать методы, которые снижают теплопередачу, а также стоит подбирать специальные режимы.

Для соединения небольших изделий из стали и меди следует использовать аргонодуговую сварку. Процесс протекает в среде инертного газа (аргона), сварка осуществляется плавящимся или неплавящимся (вольфрамовым) электродом, также используют присадочную медную проволоку. В качестве защитных газов используют азот особой чистоты по МРТУ 6-02-375—66, аргон сорта высший по ГОСТ 10157—79, гелий высшей категории качества марок А и Б по ТУ 51-940—80, а также их смеси в соотношении по объему 50—75 % аргона. Несмотря на применение инертного газа, при сварке происходит окисление меди, и для ее раскисления следует применять микролегированные присадочные проволоки, содержащие бор, титан, цирконий. Чтобы шов получился качественным нужно уменьшить концентрацию стали в сварочной ванне, этого можно достичь путем регулировки

нагрева. Поэтому в основном нужно концентрироваться на плавке меди, так как за счет тепловой энергии, поступающей от нее, нагревается сталь.

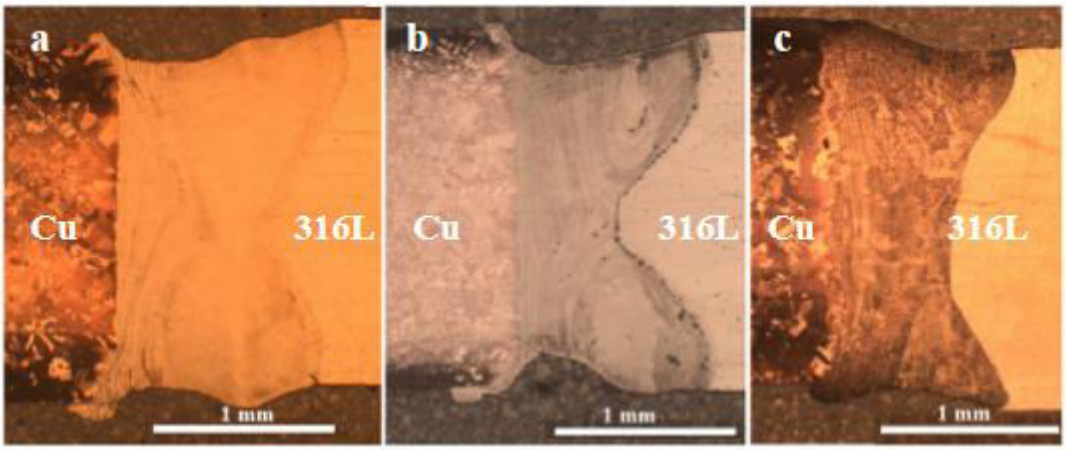


Рисунок 1. Микрофотографии шлифов сварных соединений меди и стали [4]

Также медь можно наплавлять на сталь, это делают для повышения антифрикционных свойств, коррозионно-эрозионной стойкости, прочности при циклических и ударных нагрузках наплавленных изделий. Суть такого способа состоит в том, что, сначала на сталь наплавляют марганцевый слой бронзы, а следующим слоем идет медный сплав. Марганец способен увеличивать взаимную растворимость меди и железа. Это происходит благодаря тому, что марганец снижает температуру, при которой образуется хрупкий интерметаллид - соединение, в котором медь и железо не растворяются, а образуют отдельную фазу. При наличии марганца критическая точка снижается, и медь может растворяться в железе без образования интерметаллида, что увеличивает взаимную растворимость металлов. Примером конкретного применения способа является наплавка меди ручным аргонодуговым методом проволокой марки М102 мм на пластины из сталей марок ЗОХГСА, 34ХНМ толщиной 3 мм на режиме 70-80 А [5]. На пластины предварительно наплавляли подслой из марганцевой бронзы, содержащей 20% марганца, толщиной 2 мм на тех же режимах. Глубина проплавления стали составила 0,3-0,6 мм. При этом межкристаллитного проникновения медного сплава з сталь не обнаружено.

При дуговой сварке под флюсом меди с нержавеющей сталью важным пунктом будет предотвращение образования пористости и трещин. Данные дефекты могут возникнуть из-за несхожих термических и механических свойств материалов. Для того, чтобы данные дефекты не возникли нужно тщательно подготовить поверхности, а именно очистить и обезжирить. Для сварных соединений толщиной от 8 до 10 мм обычно используется асимметричная V-образная канавка с углом 70°. Угол паза со стороны меди составляет 40°, а со стороны нержавеющей стали (1Cr18Ni9Ti) скошен на 30°. Такая асимметрия учитывает разную теплопроводность материалов. Рекомендуется использовать флюс HJ431 или HJ430.

Сварочную проволоку нужно расположить так чтобы она была направлена в сторону меди со смещением 5-6 мм от центральной линии [6].

Медь и нержавеющую сталь также можно соединять с помощью пайки. При этом методе получения неразъемного соединения используются припои на основе серебра, так как они обладают хорошими смачивающими свойствами. До начала соединения следует подготовить поверхности, а также обеспечить правильную посадку и зазор (от 0,002″ до 0,005″). Как и во всех методах, при нагреве источник тепла следует направлять в сторону меди, это предотвратит локальный перегрев материалов.

Таким образом, взаимная растворимость стали и меди представляет собой сложный и многогранный процесс, который существенно влияет на свариваемость этих металлов. После анализа свойств обоих металлов мы пришли к тому, что медь обладает высокой теплопроводностью, поэтому нагрев в большей степени должен приходиться именно на нее, а

сталь будет нагреваться за счет излучения тепловой энергии от меди. Также отмечаем то, что улучшить свариваемость меди с железом можно за счет марганца и кремния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Физико-химические свойства меди – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://weldering.com/svarka-medi (дата обращения: 23.05.2025).

2. Сплав железа и меди: область применения – Текст: электронный. – 2022. – URL: https://vt-metall.ru/articles/797-splav-zheleza-i-medi (дата обращения: 24.05.2025).

3. Технология сварки разнородных металлов и сплавов – Текст: электронный – 2011. – URL: https://textarchive.ru/c-1610174-p2.html (дата обращения: 24.05.2025).

4. Сварка разнородных материалов – Текст: электронный – 2025. – URL: https://dzen.ru/a/aFwhpnXNdjvyAqQ2 (дата обращения: 30.05.2025).

5. Способ наплавки меди и медных сплавов на сталь – Текст: электронный – 2025. – URL: https://yandex.ru/patents/doc/SU1648661A1_19910515 (дата обращения: 02.06.2025).

6. Сварка меди и нержавеющей стали – Текст: электронный – 2025. – URL: https://www.machinemfg.com/ru/how-to-weld-copper-and-stainless-steel (дата обращения: 02.06.2025).

MUTUAL SOLUBILITY OF IRON AND COPPER

Gusev D.D.

Supervisor: Kuryntsev S.V., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses the mutual solubility of iron and copper, as well as ways to combine them. The mutual solubility of these two metals plays a key role in the development of new alloys and technologies, especially in the context of welding.

УДК 006.88

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ ГИБРИДНЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

Денисова К.Д.[1,2], Валько Д.П.[1,3], Родионова А.Д.[1,2]

Научный руководитель: Исхаков В.С.[1,2], инженер-технолог 1 категории

([1]ПАО «ОАК» ОКБ Сухого, г. Москва, [2]МАИ (НИУ), г. Москва,

[3]РХТУ им. Д.Ю. Менделеева, г. Москва)

Аннотация. На данный момент авиационное машиностроение переживает этап активной трансформации, обусловленной внедрением инновационных материалов и передовых технологий. Основными направлениями развития отрасли становятся повышение уровня безопасности эксплуатации, снижение массы конструкций и улучшение эксплуатационных характеристик летательных аппаратов (ЛА). Эти задачи обусловлены как ужесточением международных норм и стандартов безопасности, так и ростом требований к экономической эффективности и экологичности авиационной техники. В этом контексте особое значение приобретают современные технические решения, основанные на гибридизации металлических и полимерных материалов, которые позволяют создавать функционально нагруженные конструкции, сочетающие в себе прочность, лёгкость и многофункциональность.

Одной из наиболее актуальных проблем, требующих незамедлительного решения, является огнезащита отсеков авиационной техники. Это связано с широким использованием горючих материалов, таких как литиевые аккумуляторы и авиационное топливо, которые при возгорании могут привести к катастрофическим последствиям, включая выход из строя критически важных систем ЛА. Традиционные методы огнезащиты, такие как применение

металлических перегородок или специализированных огнеупорных покрытий, зачастую не обеспечивают необходимого уровня защиты или существенно увеличивают массу конструкции, что негативно сказывается на лётно-технических характеристиках. В связи с этим возникает необходимость в разработке инновационных подходов, способных обеспечить надёжную огнезащиту без ущерба для других эксплуатационных параметров.

Перспективным направлением в решении данной проблемы является интеграция тепло- и огнезащитных барьеров непосредственно в типовую силовую конструкцию ЛА. Такой подход позволяет не только повысить уровень огнестойкости, но и сохранить, а в некоторых случаях и улучшить, прочностные и весовые характеристики конструкции. Гибридные материалы, сочетающие металлические и полимерные компоненты, открывают новые возможности для создания многофункциональных конструкций, способных выдерживать экстремальные температурные нагрузки и механические воздействия. Это особенно важно для современных ЛА, где требования к безопасности и эффективности постоянно растут, а традиционные решения уже не всегда способны обеспечить необходимый уровень защиты. Таким образом, разработка и внедрение гибридных огнезащитных конструкций становится одним из ключевых направлений развития авиационного машиностроения.

Создание новых компоновок авиационной техники малой размерности формирует требования к повышению безопасности эксплуатации.

Для работы силовых установок летательных аппаратов (ЛА) применяются горючие вещества (литиевые аккумуляторы, бензин), возгорание которых может привести к выходу из строя критически важных частей ЛА.

Потенциальным решением является интеграция противопожарной обшивки в типовую трехслойную конструкцию с сотовым заполнителем.

Целью работы является исследование влияния высоких температур на трёхслойную конструкцию с интегрированной огнестойкой обшивкой.

Таким образом для достижения цели в работе решаются следующие задачи:

1. Изучение опыта разработки и применения функционально нагруженных конструкций;
2. Изучение подходов создания гибридных конструкций;
3. Выработка решения и оценка его эффективности.

Новизна разрабатываемого решения состоит в применении интегрального подхода для решения функциональной задачи (огнестойкости).

По мере внедрения конструкций из ПКМ, был сформирован «интегральный» подход к проектированию деталей конструкций ЛА. [1] Суть подхода состоит в создании функциональных элементов в типовой силовой конструкции для решения конкретных задач [2 - 5].

Совместно с этим был разработан способ изготовления деталей из титан-полимерного композиционного материала (ТПКМ) [6].

Традиционные решения в области огнезащиты авиационных конструкций, такие как использование металлических противопожарных стенок, несмотря на свою распространённость, обладают рядом существенных недостатков, ограничивающих их эффективность и применимость в современных условиях.

- высокая плотность материала (это неизбежно приводит к увеличению общей массы летательного аппарата (ЛА), негативно сказываясь на его лётно-технических характеристиках, таких как топливная эффективность и грузоподъёмность);
- высокая теплопроводность (снижает способность эффективно локализовать тепловое воздействие, что особенно критично в условиях возгорания горючих материалов);
- сложность обработки (увеличивает стоимость и сроки производства, делая такие решения менее конкурентоспособными в сравнении с современными альтернативами).

Трёхслойные сотовые конструкции, напротив, уже давно и успешно внедряются в типовые силовые элементы деталей ЛА благодаря своим уникальным преимуществам,

которые делают их более предпочтительными для современного авиационного машиностроения.

- низкая удельная плотность конструкции (позволяет значительно снизить массу летательного аппарата без потери прочностных характеристик. Это особенно важно для малогабаритных и беспилотных ЛА, где каждый килограмм массы имеет критическое значение для общей эффективности);

- возможность комбинировать материалы в составе конструкции (позволяет инженерам оптимизировать её свойства под конкретные условия эксплуатации, будь то повышение прочности, огнестойкости или устойчивости к агрессивным средам);

- относительная простота обработки готовой детали (упрощает и удешевляет производственный процесс, делая такие конструкции более доступными и технологичными в изготовлении).

Многокомпонентность сотовых конструкций открывает широкие возможности для реализации дополнительных функциональных задач, что делает их особенно перспективными для применения в авиационной технике.

- Более высокая температура эксплуатации
- Ниже химическая активность
- Уже имеется отлаженный технологический процесс гибридизации.

Стеклопластики, несмотря на свои многочисленные преимущества, такие как лёгкость, прочность и устойчивость к коррозии, обладают рядом ограничений, среди которых особенно выделяются невысокая предельная температура эксплуатации, составляющая всего 120–180 °C, а также низкая стойкость к воздействию открытого огня, что существенно сужает область их применения в условиях, где требуется повышенная огнестойкость, например, в отсеках авиационной техники, где существует риск возгорания горючих материалов; вместе с тем, сотовые заполнители, изготовленные на основе полимерных материалов, демонстрируют значительное преимущество в виде меньшей теплопроводности по сравнению с традиционными алюминиевыми аналогами, что позволяет им более эффективно локализовать тепловое воздействие и замедлять распространение высоких температур внутри конструкции, при этом сохраняя схожие прочностные характеристики, что делает их перспективными для использования в гибридных конструкциях, где требуется сочетание лёгкости, прочности и определённой степени огнестойкости.

Выявлено, что применительно к паре титан - клеевой стеклопластик возникающие при переработке термические напряжения из-за разности КЛТР не существенны, а условный параметр, оценивающий эффективность совместной работы компонентов (фаз) ТПКМ в оболочках имеет достаточно близкую величину.

Данное явление позволяет сформировать металлический огнезащитный слой, при этом сохранив преимущества сотовых конструкций.

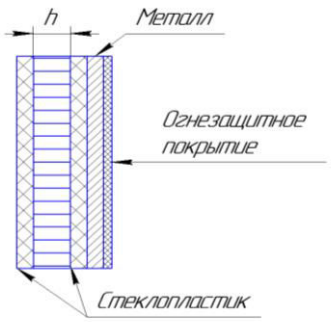


Рисунок 1. Общий вид предлагаемой гибридной сотовой огнестойкой конструкции

Дополнительно, на металлической поверхности можно сформировать огнезащитное покрытие. Окончательное решение о формировании данного вида огнезащиты необходимо принимать после испытаний гибридной сотовой панели.

Выводы, полученные в результате проведённого исследования, демонстрируют значительный потенциал современных отечественных технологий в области проектирования и производства деталей летательных аппаратов (ЛА) с улучшенными теплозащитными характеристиками. Современные достижения отечественной промышленности, включая разработку новых композиционных материалов, передовых технологий обработки и сборки, а также внедрение цифровых методов проектирования, создают прочную основу для создания инновационных конструкций, отвечающих самым строгим требованиям безопасности и эффективности. Эти достижения открывают возможности для внедрения принципиально новых подходов к проектированию авиационной техники, где ключевое внимание уделяется не только прочностным и весовым характеристикам, но и способности конструкций выдерживать экстремальные температурные нагрузки. Таким образом, отечественная промышленность сегодня располагает всеми необходимыми ресурсами для разработки и производства деталей ЛА, обладающих повышенной огнестойкостью и надёжностью, что является критически важным для обеспечения безопасности полётов в современных условиях.

Опыт применения гибридных материалов, таких как алюмостеклопластики и титаностеклопластики, подтверждает их высокую эффективность и перспективность для использования в конструкциях перспективных летательных аппаратов. Эти материалы сочетают в себе прочность и лёгкость, что позволяет значительно снизить массу конструкций без ущерба для их механических свойств. Кроме того, гибридные материалы обладают повышенной стойкостью к высоким температурам и агрессивным средам, что делает их идеальными кандидатами для применения в условиях, где традиционные материалы не способны обеспечить необходимый уровень защиты. Внедрение таких материалов в конструкцию ЛА позволяет не только улучшить их эксплуатационные характеристики, но и повысить общую надёжность и безопасность, что особенно важно для современной авиационной техники, где требования к безопасности постоянно ужесточаются.

Предложенное в ходе исследования решение демонстрирует возможность интеграции функциональной нагрузки в виде огнестойкости непосредственно в структуру трёхслойных конструкций, что является принципиально новым подходом в проектировании авиационной техники. Одним из ключевых преимуществ разработанного решения является возможность регулирования времени работы конструкции до достижения предельных значений температуры за счёт изменения высоты сотового заполнителя. Это позволяет гибко адаптировать конструкцию под конкретные условия эксплуатации, обеспечивая оптимальное сочетание огнестойкости, прочности и массы. Таким образом, предложенное решение не только повышает уровень безопасности ЛА, но и открывает новые перспективы для дальнейшего развития авиационных технологий, где интеграция функциональных свойств в структуру материалов становится одним из ключевых направлений инноваций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Исхаков В.С.* Изготовление интегральных силовых конструкций повышенной теплостойкости: тезисы доклада / В. С. Исхаков, Б. Б. Морозов // Гагаринские чтения – 2021: XLVI Международная молодёжная научная конференция (Москва, 20–23 апреля 2021 г.). — Москва: Московский авиационный ин-т (нац. исслед. ун-т), 2021. — С. 1005–1006.

2. *Акулинин А.О.* Развитие технологии переработки гибридного титан-полимерного композиционного материала в изделия: тезисы доклада / А.О. Акулинин, Е.В. Кузнецова, Ф.А. Насонов // Гагаринские чтения – 2017: XLIII Международная молодёжная научная конференция (Москва, 05–19 апреля 2017 г.). — Москва: Московский авиационный ин-т (нац. исслед. ун-т), 2017. — С. 402–403.

3. *Акулинин А.О.* Исследование возможности создания гибридного титан-полимерного композиционного материала: тезисы доклада / А.О. Акулинин, Е.В. Кузнецова, Ф.А. Насонов // Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли: Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием

(Казань, 10–12 августа 2016 г.): в 2 т. Т. 1. — Казань: Академия наук Респ. Татарстан, 2016. — С. 630–633.

4. *Акулинин А.О.* Опытное изготовление образцов и прототипа детали из титан-полимерного композиционного материала: тезисы доклада / А.О. Акулинин, Ф.А. Насонов // Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли: Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием (Казань, 08–10 августа 2018 г.): материалы докладов: в 2 т. Т. 2. — Казань: Казан. гос. техн. ун-т им. А.Н.Туполева, 2018. — С. 108–111.

5. *Акулинин А.О.* Гибридные титан-полимерные композиционные материалы и развитие технологии их переработки в изделия / А.О. Акулинин, Ф.А. Насонов // Наука и технологии: материалы XXXVIII Всероссийской конференции, посвящённой 75-летию Южно-Уральского государственного университета: в 2 т. Т. 1. — Москва: РАН, 2018. — С. 71–77.

6. Пат. 2708862 Российская Федерация, МПК B32B 7/04, B32B 15/14, B64C 1/00. Способ изготовления детали и деталь из гибридного композиционного материала: № 2019101474 заявл. 18.01.2019: опубл. 11.12.2019 / Филатов А. А., Морозов Б. Б., Попова Ю. А. [и др.]; заявитель Публичное акционерное общество "Авиационная холдинговая компания "Сухой".

THE RECEARCH OF FIRE RESISTANCE OF HYBRID FIBERGLASS PLASTICS

Denisova C. [1,2]***, Valko D.*** [1,3]***, Rodionova A.*** [1,2]

Supervisor: Iskhakov V., First-class engineer-technologist

([1]JSC "United Aircraft Corporation" (UAC) Sukhoi" Design Bureau, Moscow,
[2]Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow,
[3]Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow)

Abstract. Modern technical solutions in the form of hybridization of metal and polymer materials allow creating functionally loaded structures. With regard to the issue of fire protection of aircraft compartments, this approach allows creating a heat and fire protection barrier integrated into a typical power structure.

УДК 629.7

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШТАМПОВКИ НА ДЕФОРМАЦИИ И УСИЛИЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ «ОСНОВАНИЕ» (DEFORM)

Замилов Б.Р.

Научный руководитель: Салина М.С., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе проведено моделирование процесса горячей объемной штамповки с использованием программы DEFORM. Полученные графики различных видов напряжений позволяют глубже понять механические характеристики материала в условиях горячей обработки. Проведенный анализ процесса выявил ключевые факторы, влияющие на качество и точность конечного изделия, что может быть полезно для оптимизации технологий штамповки.

Перспективность методов обработки давлением, в частности горячей объемной штамповки, определяется их способностью интегрировать формообразование и упрочнение в единый технологический цикл. Данные процессы позволяют создавать сложно-профильные компоненты с заданными структурно-механическими свойствами, что обеспечивает их применение при производстве высоконагруженных узлов для аэрокосмических систем и энергетических установок [1, 2, 3].

Горячая объемная штамповка является важной технологией в современном машиностроении, позволяющей производить высококачественные металлические изделия сложной формы. Этот процесс включает в себя нагрев заготовок до высоких температур, что делает материал пластичным и облегчает его деформацию. Моделирование горячей объемной штамповки с помощью программы DEFORM позволяет прогнозировать и оптимизировать процесс, принимая во внимание деформацию металла, распределение температуры и напряжения. Это способствует предотвращению дефектов, повышению производственной эффективности и снижению затрат на изготовление штампов. DEFORM (DEformation FORMing) представляет собой программный комплекс, предназначенный для моделирования различных процессов обработки металлов давлением, включая горячую объемную штамповку. Этапы моделирования включают подготовку модели, выбор методов расчета, анализ результатов и постобработку. Применение DEFORM позволяет выявлять недостатки и устранять их, что, в свою очередь, снижает трудозатраты и расход реальных ресурсов [4].

Проведем моделирование процесса штамповки детали «Основание» в программе DEFORM. В качестве исходных данных используется чертеж детали (рис.1), чертеж поковки (рис.2) и переходы в операции горячей объемной штамповки (рис.3) [5, 6].

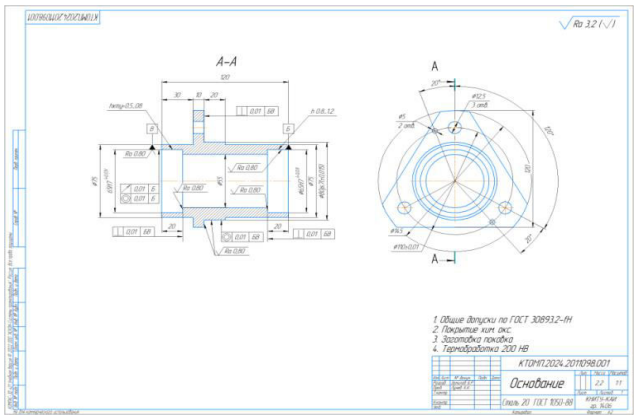


Рисунок 1. Чертеж детали «Основание»

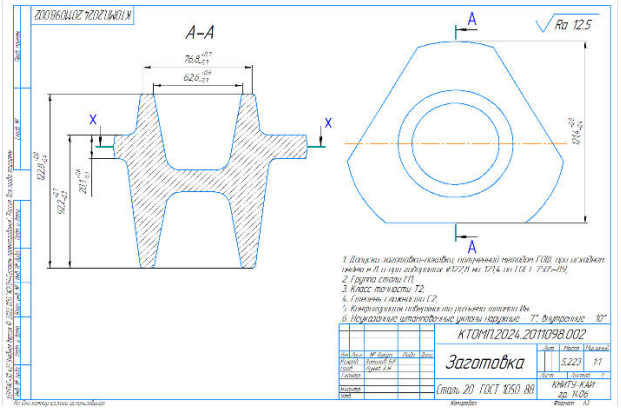


Рисунок 2. Чертеж заготовки детали «Основание»

Для производства поковки применяется штамп кривошипно-горячештамповочного пресса (рис. 4), который нагревает заготовку до высокой температуры, после чего она формируется в штампах под воздействием давления. Эти прессы обеспечивают высокую точность и повторяемость, что позволяет изготавливать детали сложной формы с минимальными затратами времени и материалов. Кроме того, их использование способствует улучшению механических свойств, увеличивая прочность и долговечность материалов [4].

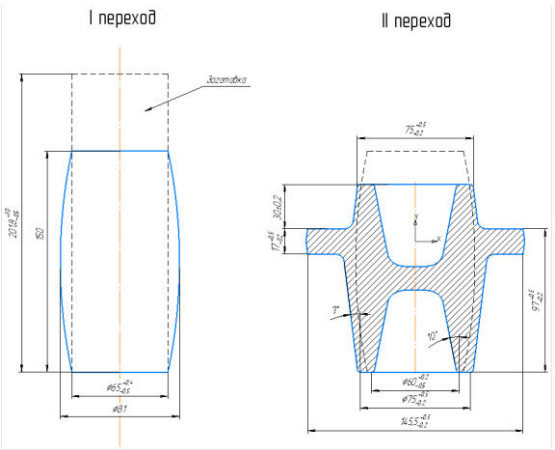


Рисунок 3. Переходы штамповки

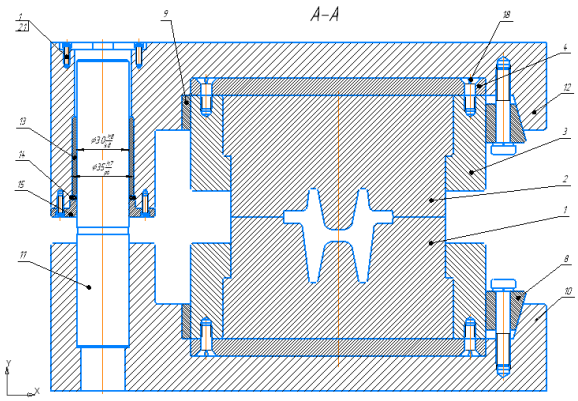


Рисунок 4. Чертеж кривошипно-горячештамповочного пресса

Процесс горячей объемной штамповки как сказано выше включает два перехода. Первый переход - это осадка. В пре-процессоре программы создается упрощенная цилиндрическая модель и ее сетка конечных элементов (рис.5,6), а так же размещаются верхний и нижний штамп относительно заготовки (рис 7, 8) [5-7].

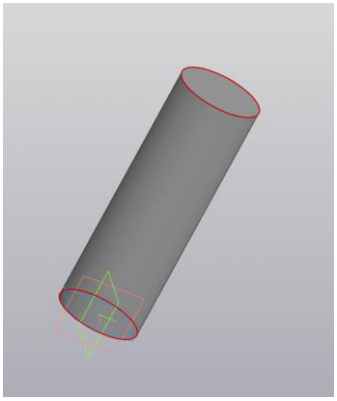


Рисунок 5. Геометрия исходной заготовки

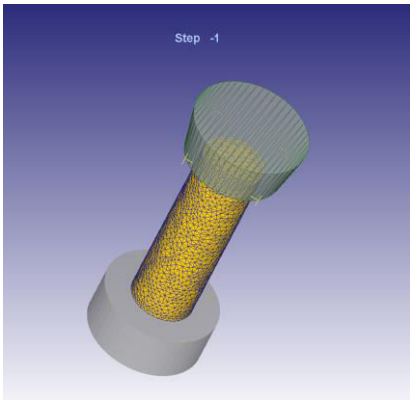


Рисунок 6. Сетка конечных элементов

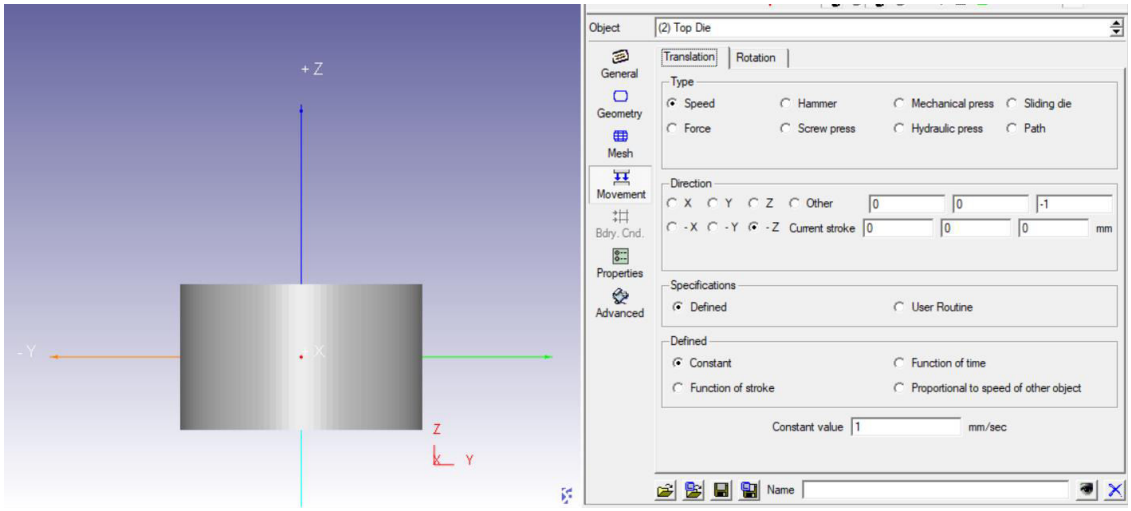


Рисунок 7. Перемещение инструмента

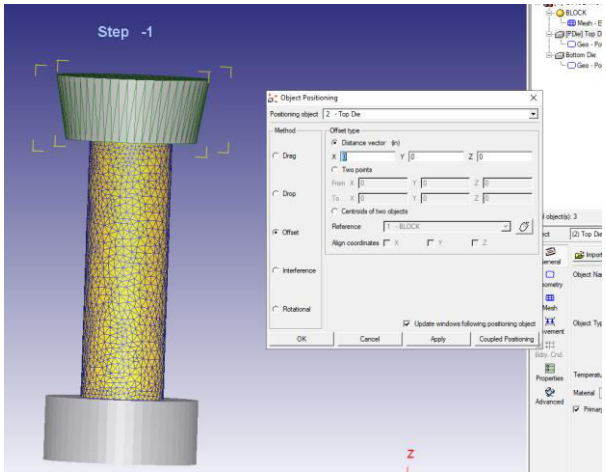


Рисунок 8. Взаимное расположение элементов

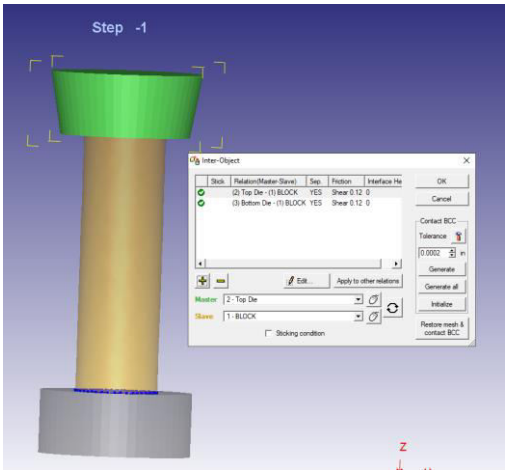


Рисунок 9. Взаимодействие между объектами

Далее моделируется касание штампов и заготовки, и задаются параметры расчета (рис 9, 10).

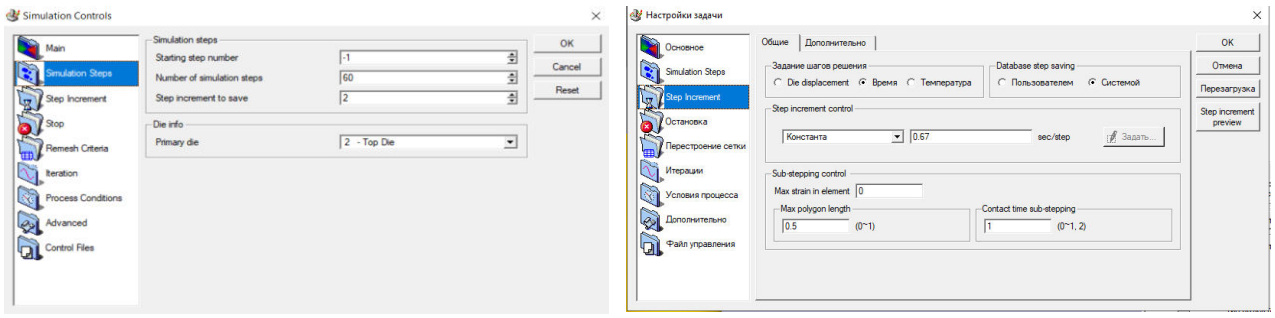


Рисунок 10. Настройки задачи

В завершение этапа подготовки создается база данных, после чего пре-процессор отключается. Затем осуществляется запуск симуляции на основе созданной базы данных. По завершении симуляции активируется пост-процессор, который отображает результаты в виде графиков.

Второй переход операция высадки осаженной заготовки, происходит аналогично первому, меняются только модели штампа (рис 11, 12). В качестве Top Die используем верхний вкладыш, в качестве Bottom Die – нижний вкладыш. Заготовка – осажденная модель, полученная на предыдущем этапе. Количество шагов симуляции – 95, запись каждого 2 шага. Главный инстурмент – верхний. Остановка симуляции при прохождении главным инструментом дистанции в 145 мм по оси –Z, то есть до касания с нижним инструментом. При этом его скорость 0,63 мм/шаг.

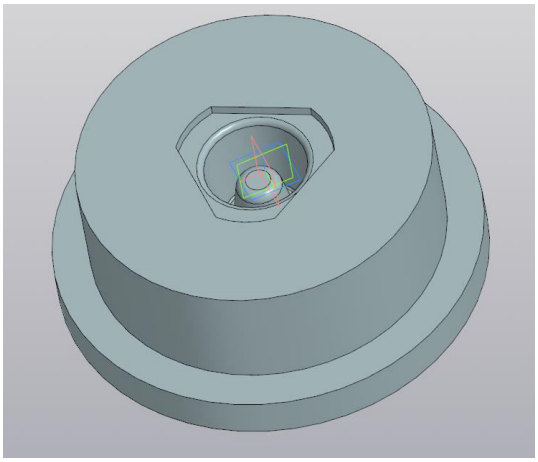


Рисунок 11. Нижний вкладыш

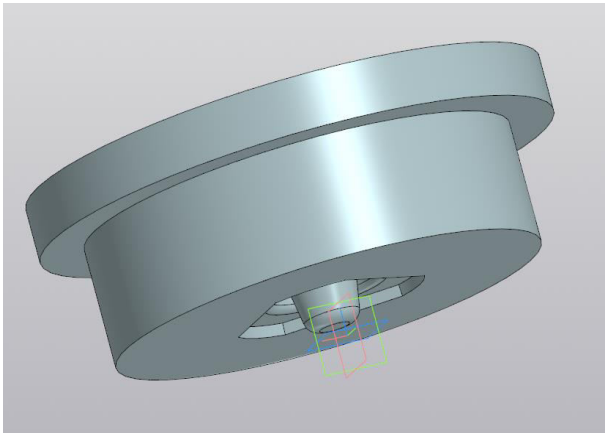


Рисунок 12. Верхний вкладыш

Стадии моделирования высадки показаны ниже (рис.13).

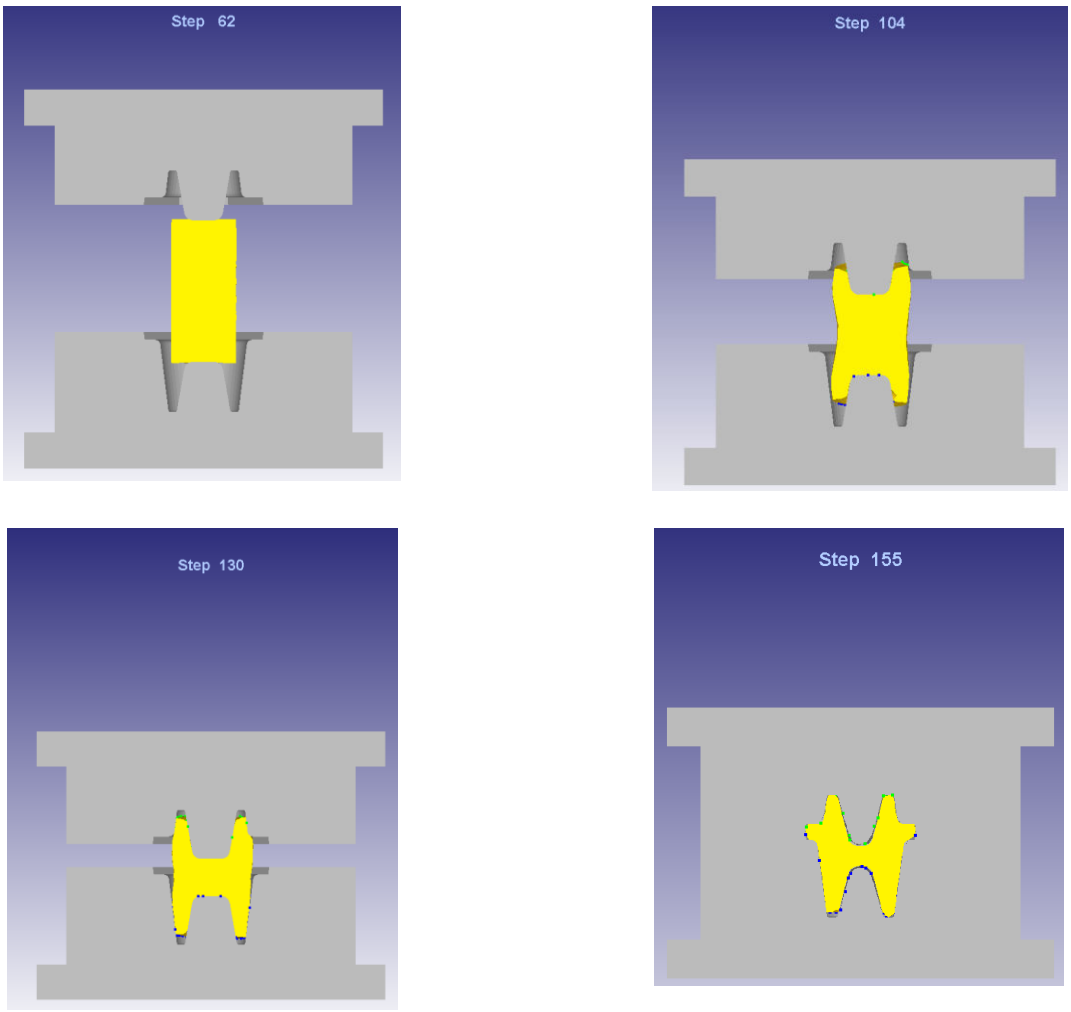


Рисунок 13. Стадии операции высадки

В конце расчета были получены результаты измерений в виде цветных картин распределения напряжений и графика зависимости усилия деформирования от перемещения штампа (рис.14, рис.15, рис. 16, рис. 17).

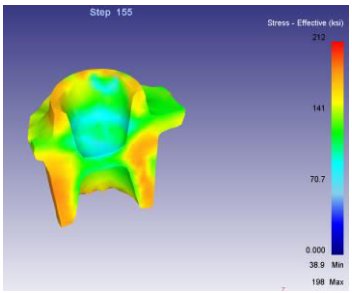


Рисунок 14. Интенсивность распределения напряжений

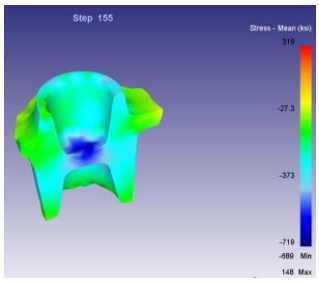


Рисунок 15. Распределение средних напряжений

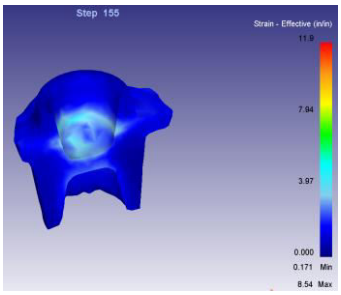


Рисунок 16. Интенсивность распределения деформаций

Из рисунков 15 и 16 видно, что наибольшая интенсивность деформаций и напряжений приходится на места резкого изменения направления сечения детали, скруглений и сужений. Эти места являются локальными концентраторами напряжений.

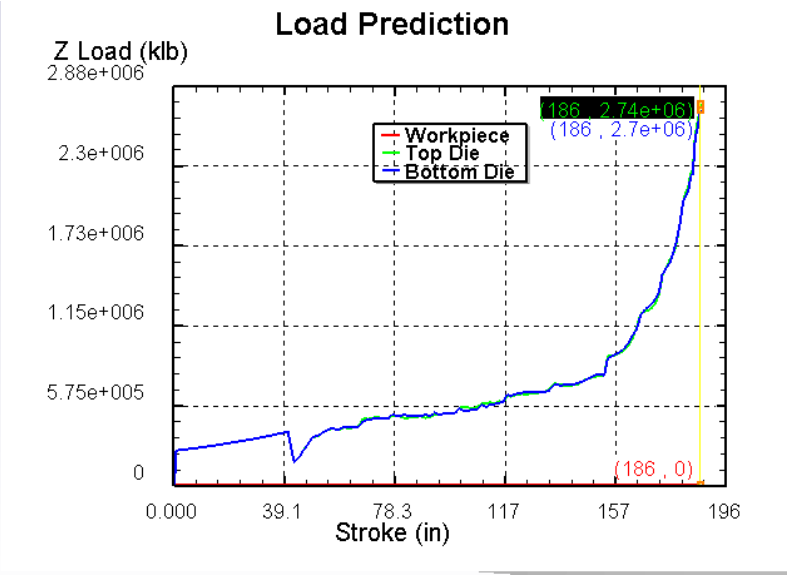


Рисунок 17. Определение усилия при высадке

Из графика видно, что усилие при высадке составляет 288 кН.

В результате был смоделирован процесс горячей объемной штамповки детали «Основание» в программном комплексе DEFORM-3D. При использовании программного комплекса «DEFORM-3D» в результате моделирования получили 1) график зависимости усилия при осадке от перемещения штампа и определили усилие при осадке, которое составило 40,2 кН, 2) график зависимости усилия деформирования от перемещения штампа и определили усилие при высадке, которое составило 288 кН. Были получены картины интенсивности распределения деформаций и напряжений, где наглядно видны места с концентраторами напряжений и правильность заполнения ручья.

Таким образом, можно смоделировать процесс штамповки. Благодаря использованию компьютерного моделирования существенно сокращаются сроки выпуска продукции, повышается ее качество и снижается себестоимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Салина М.С.* Проектирование процесса горячей объемной штамповки поковки "Втулка" в программном комплексе DEFORM-3D // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики (АНТЭ-2024): материалы IX Всероссийской научно-технической конференции, Казань, 03–04 октября 2024 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2024. – С. 416-418.

2. *Салина М.С.* Формообразование из композиционных материалов элементов конструкций летательных аппаратов: специальность 05.07.02 "Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук – Казань, 2016. – 22 с.

3. *Салина М.С.* Деформированное и напряженное состояние при пластическом кручении эллиптических валов / Ю. П. Катаев // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014. – № 1. – С. 52-58.

4. Национальный стандарт Российской Федерации. Поковки стальные штампованные: допуски, припуски и кузнечные напуски: ГОСТ 7505-89. — Введ. 1990-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — IV, 18 с.

5. Национальный стандарт Российской Федерации. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей: общие технические условия: ГОСТ 1050-2013. — Введ. 2015-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2014. — 46 с.

6. Национальный стандарт Российской Федерации. Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый: сортамент: ГОСТ 2590-2006. — Введ. 2007-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — 13 с.

7. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка: в 2 т. Т. 1 / Е.И. Семенов, А.О. Ганаго, Л.И. Живов [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1985. — 567 с.
8. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка: в 2 т. Т. 2 / Е.И. Семенов, А.О. Ганаго, Л.И. Живов [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1985. — 592 с.
9. *Бабенко В.А.* Объемная штамповка: атлас схем и типовых конструкций штампов: учебное пособие для машиностроительных вузов / В.А. Бабенко, В.В. Бойцов, Ю.П. Волик. 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Машиностроение, 1982. — 104 с.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF STAMPING PARAMETERS ON DEFORMATIONS AND FORCE IN THE MANUFACTURING OF THE "BASE" (DEFORM)

Zamilov B.R.
Supervisor: Salina M.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. In this paper, the hot volume stamping process was simulated using the DEFORM program. The obtained graphs of various types of stresses allow a deeper understanding of the mechanical characteristics of the material under hot processing conditions. The conducted process analysis revealed key factors affecting the quality and accuracy of the final product, which can be useful for optimizing stamping technologies.

УДК 658.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ «ГРУЗИК» В СТАНДАРТЕ IDEF3

Иванова Д.В.
Научный руководитель: Егорова Е.И., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Описывается создание прецедента детали «Грузик» для формирования базы знаний обработки деталей с помощью искусственного интеллекта.

В настоящее время машины на предприятиях отличаются высокой производительностью. Наряду с уменьшением их массы и габаритных показателей, скорость работы, надежность и удельная мощность остаются на высоком уровне, что позволяет применять новые высокопрочные конструкционные материалы, обработка которых чаще всего требует повышенных характеристик оборудования. Наравне с этим, на технический прогресс, помимо улучшения конструкции оборудования, также непрерывно влияет технология производства. Проектирование и совершенствование поэтапного изготовления деталей на производстве связано с грамотной разработкой технологической документации, что является важной частью системы, сопровождая продукцию от начала до конца. Опираясь на необходимые нужды изделия при эксплуатировании, технологический процесс требует обеспечить при минимальном вложении средств и времени высокое качество выпускаемой продукции [1-3].

Деталь «Грузик» (рис.1) представляет собой деталь не тела вращения плоскостного из совокупности параллельных торцевых поверхностей, контура сложной геометрический формы с габаритными размерами 8х15х32мм. Деталь содержит стандартные унифицированные элементы такие как сквозные отверстия и пазы. Для изготовления детали применяется квадрат марки Сталь 35ХГСА размером 14х20х38 мм.

Деталь «Грузик» оснащена двумя проходными отверстиями и одним сквозным пазом. Отверстия выполняются с квалитетами Н8, Н11, что обусловлено их важной ролью в изделии и предъявляемыми к ним высокими требованиями к точности размеров. Конструкция детали

обеспечивает свободный подвод инструмента и возможность применения типовых и стандартных технологических процессов: деталь данной конструкции можно обрабатывать на вертикальном обрабатывающем центре с использованием универсальных приспособлений и инструментов. В результате проведенного анализа детали «Грузик» можно сделать вывод, что деталь технологична.

По Общероссийскому классификатору изделий и конструкторских документов ОК ЕСКД (ОК 012-93) [4] деталь «Грузик» имеет следующий код классификационной характеристики: 741474: класс 74 - детали - не тела вращения плоскостные; рычажные, грузовые, тяговые; аэрогидродинамические; изогнутые из листов, полос и лент; профильные; трубы; подкласс 741 - плоскостные с параллельными основными плоскостями; группа 7414 - с основными плоскостями с гладкими пазами; подгруппа 74147 - с контуром в плане криволинейным или комбинированным; вид 741474 - с отверстиями круглыми. Деталь «Грузик» входит в состав изделия «Вильчатые цепи», которые описаны в работе [5]. Данные цепи используются для тяговых механизмов, где стандартные роликовые цепи не подходят. Основная особенность вильчатых цепей - отсутствие пластин, звенья изготовлены из стали или композитных материалов. Цепь может быть разборной или легко разборной, с различными способами крепления звеньев. Вильчатые цепи применяются в скребковых конвейерах, элеваторах, сельхозфермах, мебельных и деревообрабатывающих фабриках, котельных и портовом хозяйстве.

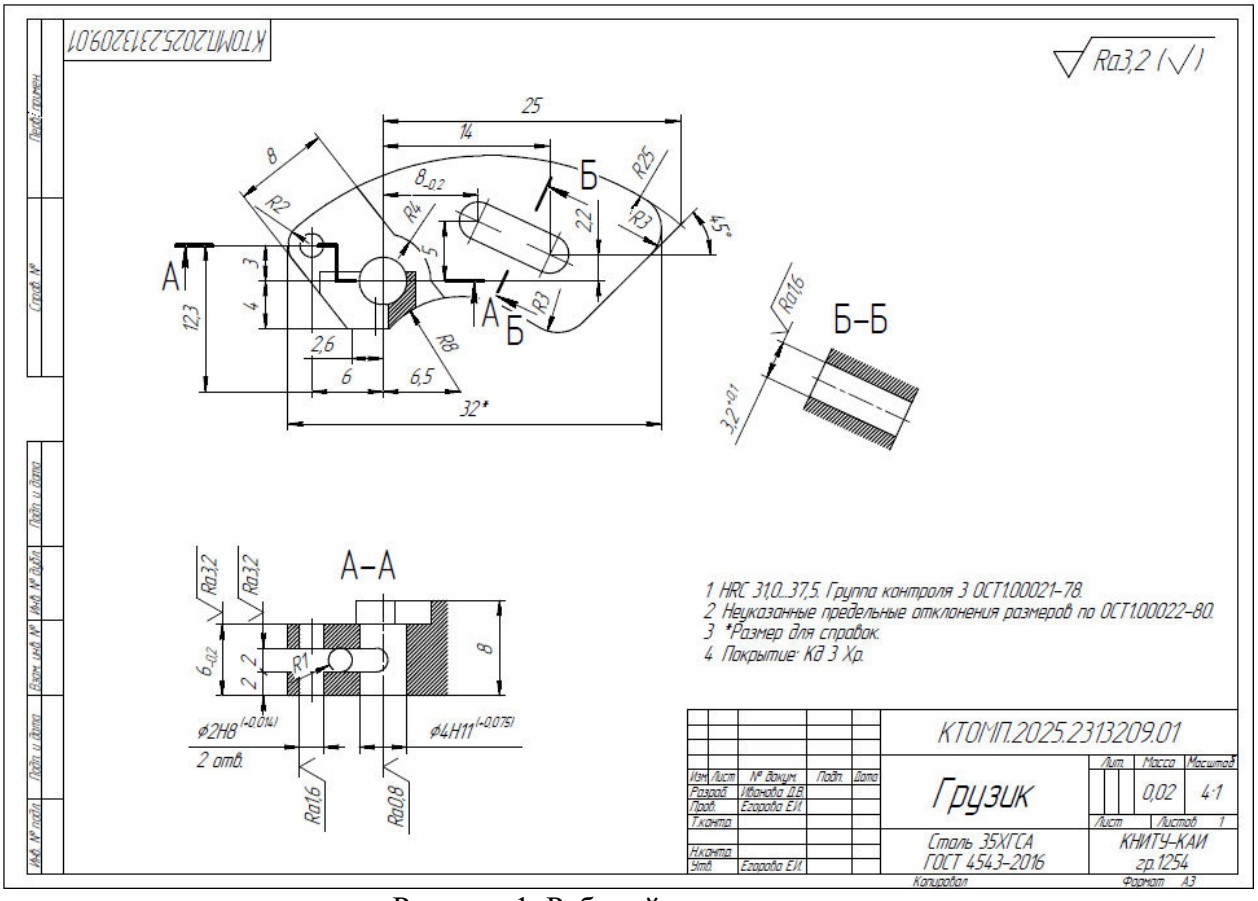


Рисунок 1. Рабочий чертеж детали

Для описания детали с помощью искусственного интеллекта необходимо выполнить подготовку данных для получения прецедента. Для этого проводится кодирование поверхностей детали, описанной в [6]. На рис.2 представлено кодирование поверхностей детали «Грузик». Разметка выполняется в следующей последовательности.

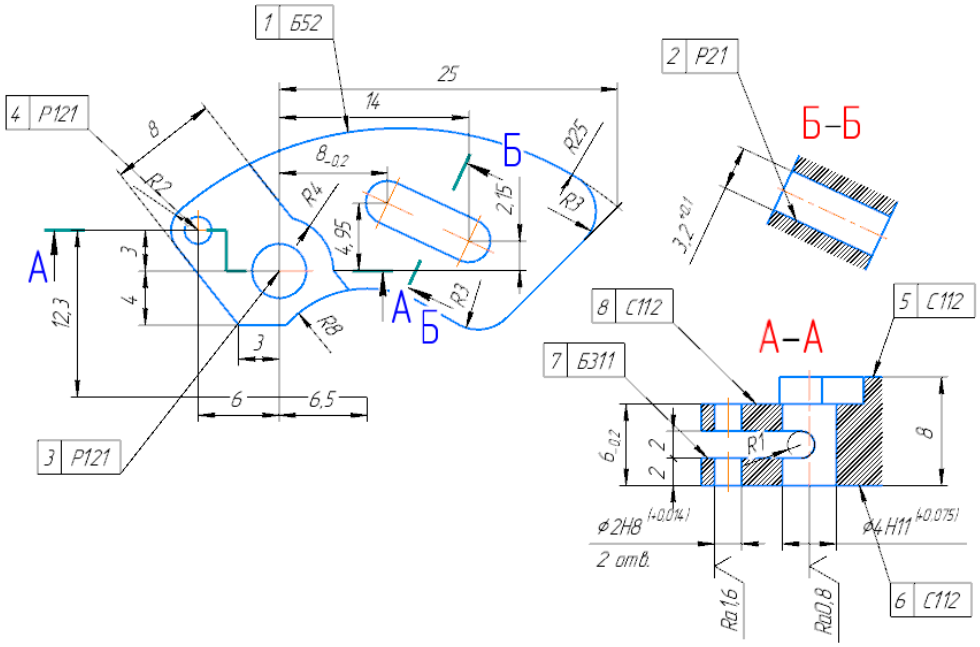


Рисунок 2. Кодирование поверхностей детали «Грузик»

Для каждой обрабатываемой поверхности детали устанавливается установочный базовый комплекс (технологические базы), который должен быть подготовлен на момент обработки поверхности (возможные схемы базирования детали определяются на основе технологического анализа чертежа). Граф поверхностей представлен на рисунке 3.

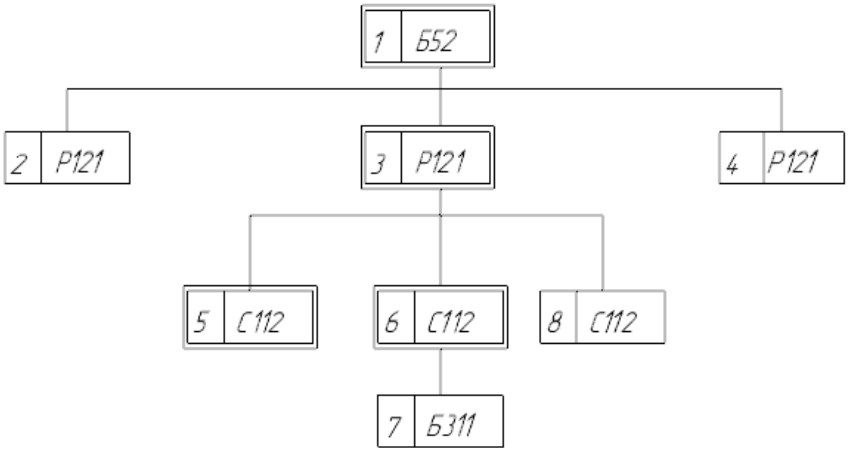


Рисунок 3. Исходный граф поверхностей детали

Для создания моделей структуры технологических процессов целесообразно применять стандартизированные методы и нотации. Для этих целей оптимально подходит стандарт IDEF3, который описывает технологические процессы и задает нотацию для представления метамоделей структуры процессов и последовательности изменений параметров изготавливаемого объекта. Средства документирования и моделирования в рамках стандарта IDEF3 позволяют:

- фиксировать знания о вариантах последовательностей выполнения технологических операций и переходов изготовления изделий определенного класса с целью разработки баз знаний для создания структуры технологического процесса обработки конкретной детали или сборки – сварки сборочной единицы;
- строить диаграммы состояний обрабатываемых объектов в ходе исполнения технологических процессов.

В связи с этим в стандарте IDEF3 выделяют два типа диаграмм, отражающих описание одного и того же технологического процесса с разных точек зрения. Диаграммы первого вида называются «Описание последовательности этапов процесса» (ProcessFlowDescriptionDiagrams, PFDD), а второго – «Состояние объекта и его трансформаций в процессе» (ObjectStateTransitionNetwork, OSTN).

На диаграмме PFDD (рис.4) прямоугольники обозначают функциональные элементы или элементы поведения (UnitofBehavior, UOB), которые описывают стадию процесса или принятие решения. Каждый блок UOB обладает собственным наименованием, выраженным в глагольной форме, а также индивидуальным идентификационным номером. Стрелки или линии символизируют перемещение детали между блоками UOB в процессе выполнения работы.

Таким образом, получен технологический процесс обработки детали «Грузик» в автоматическом режиме, который может быть реализован после дальнейшей детализации искусственным интеллектом для создания базы прецедентов обработки деталей.

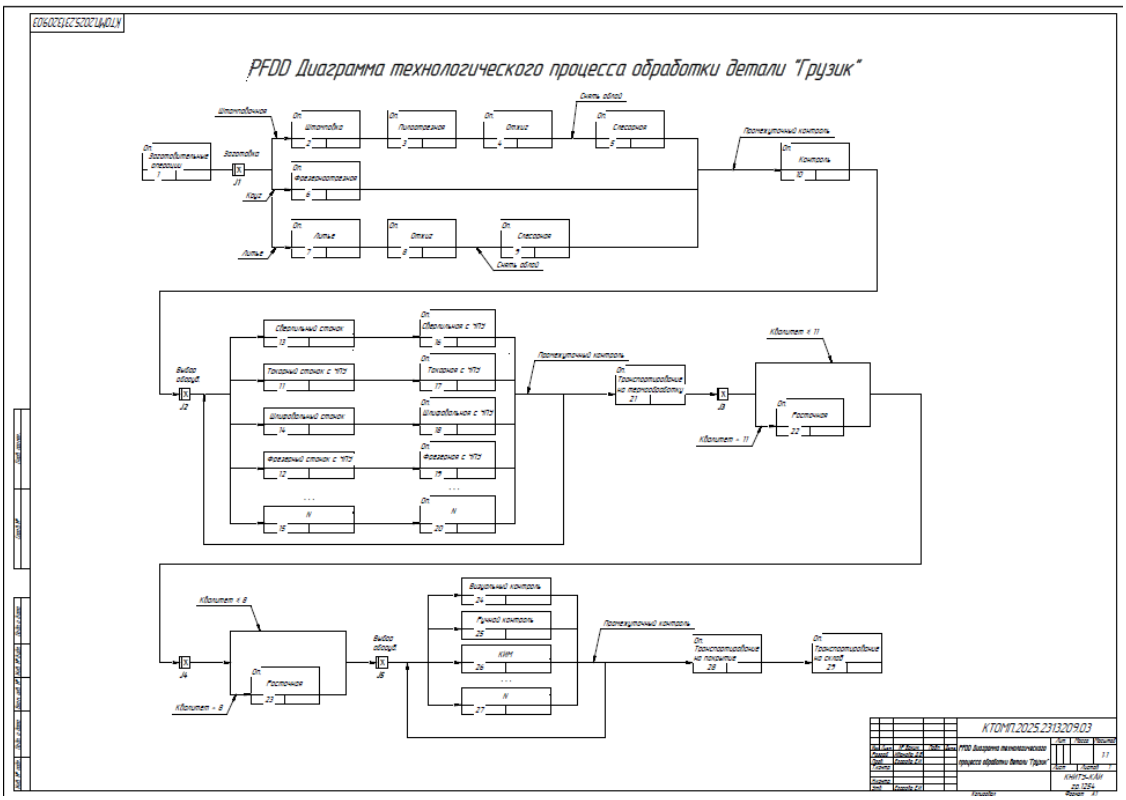


Рисунок 4. PFDD-диаграмма процесса обработки «Грузик»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Егорова Е.И.* Моделирование технологического процесса детали "стакан" на языке UML / Е.И. Егорова, Д.В. Курылев // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. — 2023. — № 4. — С. 189–194.

2. *Egorova E.I.* Modeling the technological process of the "cup" part in UML language / E.I. Egorova, D.V. Kurylev // Russian Aeronautics. — 2023. — Vol. 66, No. 4. — Pp. 864–870.

3. *Егорова Е. И.* Формирование оптимальной маршрутно-операционной технологии механической обработки деталей в интеллектуальной системе построения технологических процессов // Профессиональные коммуникации в научной среде — фактор обеспечения качества исследований: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции (Альметьевск, 2020 г.). Альметьевский филиал Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева–КАИ — С. 11–14.

4. КлассИнформ - все коды общероссийских классификаторов. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://classinform.ru/ok-eskd/kod-741474.html (дата обращения: 21.05.2025).

5. Работа вильчатых цепей. Применение и особенности. – Текст: электронный. –2025. – URL: https://tsepi.su/articles/rabota-vilchatyx-cepej-primenenie-i-osobennosti/?ysclid=mawyu6j9lw38180183 (дата обращения: 21.06.2025).

6. *Егорова* Е.И. Реализация технологических решений с помощью нейронной сети // СТИН. 2022. № 1. С.25-29.

MODELING THE MANUFACTURING PROCESS OF A WEIGHT PART IN THE IDEF3 STANDARD

Ivanova D.V.

Supervisor: Egorova E.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The creation of a precedent for the "Load" part is described for the formation of a knowledge base for processing parts using artificial intelligence.

УДК 629.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ УСИЛИЙ ШТАМПОВКИ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗАГОТОВКИ «ВТУЛКА НАПРАВЛЯЮЩАЯ» В ПРОГРАММЕ DEFORM

Киреева А.А.

Научный руководитель: Салина М.С., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье приведено описание процесса моделирования детали «Втулка» в программной среде DEFORM. В результате была разработана детали и получен график, показывающий место подверженной деформации.

Методы формообразования на основе пластического деформирования, включая горячую объемную штамповку, остаются востребованными благодаря своей способности совмещать изготовление деталей сложной конфигурации с улучшением их структурных и механических свойств. Это определяет их незаменимость при создании высоконагруженных компонентов для ответственных отраслей, где ключевыми требованиями являются эксплуатационная надежность и долговечность изделий [1, 2, 3].

В настоящее время для сохранения конкурентоспособности в авиационной промышленности производители сталкиваются с необходимостью повышения качества и количества выпускаемой продукции, с минимальными финансовыми вложениями, энерго и трудозатратами. Для достижения этой цели необходимо применять современные цифровые технологии. Одним из инструментов цифровизации является применение математического моделирования, позволяющая заменить реальный объект или деталь математической моделью или разработать необходимую деталь по соответствующим параметрам и проводить различные численные эксперименты. Это позволит избежать ошибки, вызванные человеческим фактором, тем самым уменьшить стоимость детали и повысить ее качество. Для разработки деталей на основе математического моделирования существуют различные программные обеспечения (ПО), например, такие как DEFORM, QForm, Transvalor Forge, MSC.SuperForge. Данные ПО позволяют смоделировать разрабатываемую деталь на основе метода конечных элементов и спрогнозировать места возникновения дефектов в металле, имеют развитый графический интерфейс, позволяющий автоматизировано выводить результаты расчета и проводить анализ данных.

В данной статье для моделирования детали была рассмотрена программная среда DEFORM. Данный программный комплекс предназначен для выполнения анализа процесса обработки металлов различными способами, такими как обработка давлением, термическая и

механическая обработки. [4] DEFORM позволяет оптимизировать технологические процессы, проверить, отработать эксперимент, непосредственно в самой среде, тем самым минимизирует ошибки, возникающие на производстве. Это способствует повысить качество выпускаемой детали, снизить ее себестоимость и сократить сроки ее выпуска. Данный программный продукт широко применяется в различных отраслях промышленности, в связи с его эффективностью и точностью.

В данной работе в качестве исходных данных использовался чертеж детали «Втулка направляющая» (рис.1) [5].

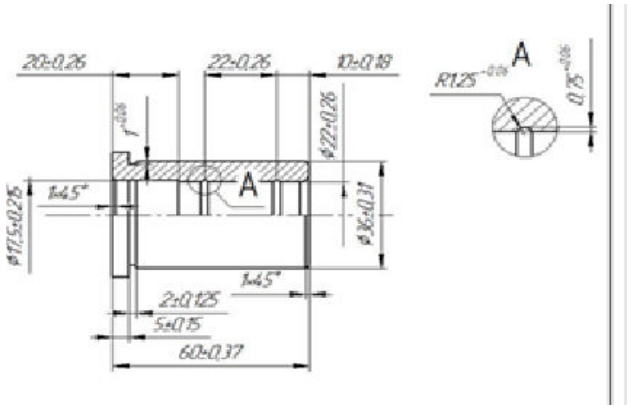


Рисунок 1. Рабочий чертеж детали «Втулка направляющая»

В качестве заготовки для изготовления детали использовалась поковка (рис. 2), проектируемая по [6-9].

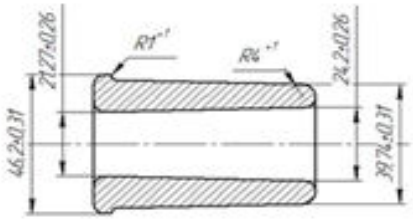
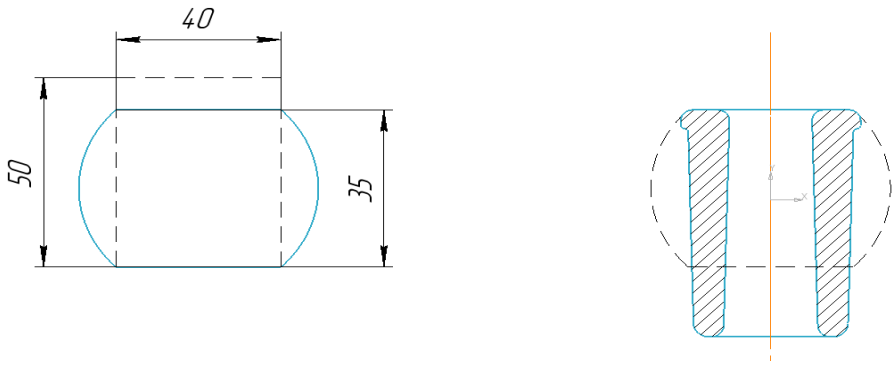


Рисунок 2. Рабочий чертеж поковки

В операции горячей объемной штамповки используется два перехода, показанные на рис. 3:



а б

Рисунок 3. Переходы штамповки: первый переход (а), второй переход (б)

Первый переход - осадка исходной заготовки. Процесс осадки моделируется по следующему алгоритму:

Шаг 1. В среде DEFORM-3D создается исходная заготовка со следующими размерами dзаг = 40 мм и Lзаг = 50 мм.

Шаг 2. Аналогично задается геометрия матрицы и пуансона.

Шаг 3. Указывается материал заготовки сталь DIN-C45[70-2000F(20-1100C).

Шаг 4. Строится сетка из 5300 элементов.

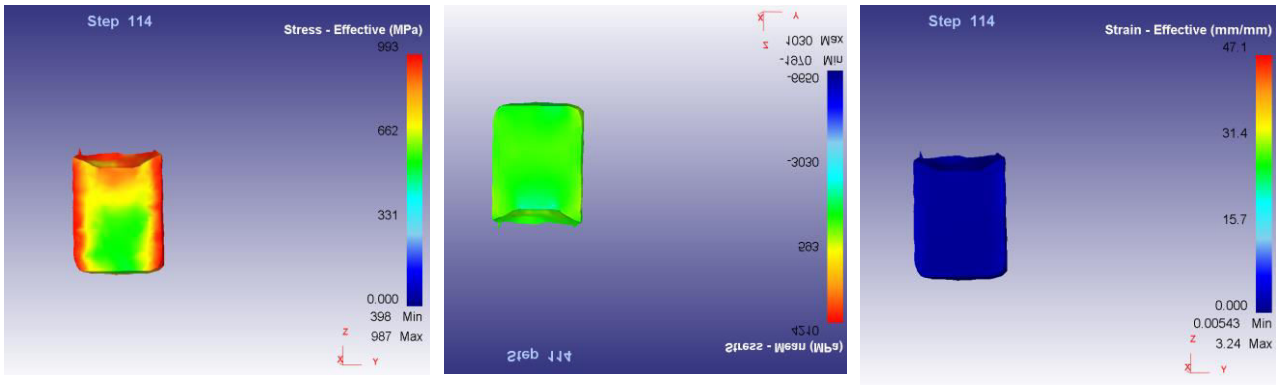
Шаг 5. Создается отношения между объектами, определяется коэффициент трения 0,12 (холодное деформирование).

Шаг 6. Генерируется база данных, проводится расчет процесса осадки.

Шаг 7. После окончания расчета заходим в постпроцессор и на экран выводятся переменные состояния: эффективные деформации, глобальное масштабирование.

Второй переход включает себя операцию высадки осаженной заготовки. Для этого необходимо смоделировать нижние и верхние вкладыши аналогично алгоритму представленному выше. В качестве Top Die использовался верхний вкладыш, в качестве Bottom Die – нижний вкладыш. Заготовка – осажденная модель, полученная на предыдущем этапе. Количество шагов симуляции –300, запись каждого 2 шага. Главный инстурмент – верхний. Остановка симуляции при прохождении главным инструментом дистанции в 28 мм по оси –Z, то есть до касания с нижним инструментом. При этом его скорость принималось равным 0,63 мм/шаг.

В результате расчета получены картины распределения напряжений и деформаций, представленные на рис. 4.



а б в

Рисунок 4. Интенсивность распределения напряжений (а),
средних напряжений (б), деформаций (в)

Из рисунков 4б, в видно, что наибольшая интенсивность деформаций и напряжений приходится на места резкого изменения направления сечения детали, скруглений и сужений. Эти места являются локальными концентраторами напряжений.

На рис. 5 показан график зависимости усилия деформирования от перемещения штампа. Таким образом, усилие при высадке составило 385 кН.

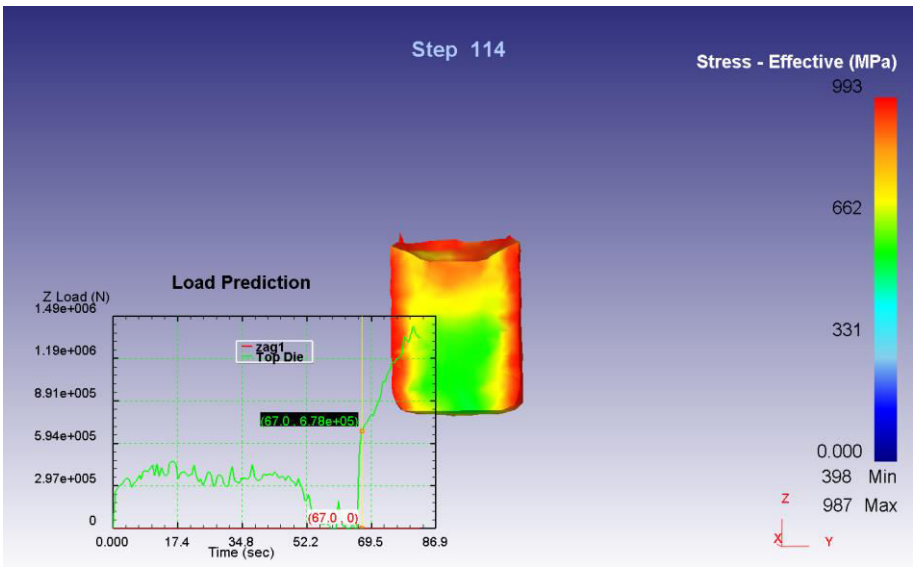


Рисунок 5. Определение усилия при высадке

Таким образом, с применением специализированного программного продукта была спроектирована деталь. Также был проведен эксперимент, в ходе которого определено место в детали, подверженное деформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Салина М.С.* Проектирование процесса горячей объемной штамповки поковки "Втулка" в программном комплексе DEFORM-3D // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики (АНТЭ-2024): материалы IX Всероссийской научно-технической конференции, Казань, 03–04 октября 2024 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2024. – С. 416-418.

2. *Салина М.С.* Формообразование из композиционных материалов элементов конструкций летательных аппаратов: специальность 05.07.02 "Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Салина Марина Сергеевна. – Казань, 2016. – 22 с.

3. *Салина М.С.* Деформированное и напряженное состояние при пластическом кручении эллиптических валов / Ю.П. Катаев // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014. – № 1. – С. 52-58.

4. Национальный стандарт Российской Федерации. Поковки стальные штампованные: допуски, припуски и кузнечные напуски: ГОСТ 7505-89. — Введ. 1990-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — IV, 18 с.

5. Национальный стандарт Российской Федерации. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей: общие технические условия: ГОСТ 1050-2013. — Введ. 2015-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2014. — 46 с.

6. Национальный стандарт Российской Федерации. Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый: сортамент: ГОСТ 2590-2006. — Введ. 2007-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — 13 с.

7. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка: в 2 т. Т. 1 / Е.И. Семенов, А.О. Ганаго, Л.И. Живов [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1985. — 567 с.

8. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка: в 2 т. Т. 2 / Е.И. Семенов, А.О. Ганаго, Л.И. Живов [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1985. — 592 с.

9. *Бабенко В.А.* Объемная штамповка: атлас схем и типовых конструкций штампов: учебное пособие для машиностроительных вузов / В.А. Бабенко, В.В. Бойцов, Ю.П. Волик. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Машиностроение, 1982. — 104 с.

MODELING AND ANALYSIS OF STAMPING FORCES AND DEFORMATIONS OF THE WORKPIECE "GUIDE BUSHING" IN THE DEFORM PROGRAM

Kireeva A.A.
Supervisor: Salina M.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The article describes the process of modeling the part "Bushing" in the DEFORM software environment. As a result, the parts were developed and a graph was obtained showing the place of deformation.

УДК 620.193

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОЦЕССА УГЛЕКИСЛОТНОЙ КОРРОЗИИ СТАЛИ 20 В ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДОВОМ КОМПЛЕКСЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК И ДОЗИРОВОК ИНГИБИТОРОВ

Константинова А.В. [1,2]***, Богатов М.В.*** [1,2]
([1] ООО «Научно-производственный центр «Самара», г. Самара,
[2] Самарский государственный технический университет, г. Самара)

Аннотация. В работе проведено моделирование углекислотной коррозии стали 20 в лабораторных условиях с применением автоклавного комплекса. Установлено, что ингибитор ИК-2 наиболее эффективно снижает скорость коррозии при определенной из эксперимента оптимальной дозировке. Результаты, приведенные в данной статье, подтверждают возможность использования данного метода оценки скорости коррозии трубопроводов для защиты от агрессивных факторов.

В Российской Федерации трубопроводный транспорт является основой логистической инфраструктуры нефтегазовой отрасли. Суммарная длина магистральных трубопроводов на территории страны составляет более 250 тыс. км, при этом их конструктивное исполнение варьируется от подземной прокладки до надземных и подводных модификаций [1–3]. Данный вид транспорта относится ко второму классу опасности, что обусловливает необходимость применения мер, направленных на повышение его надежности и безопасности.

Анализ аварийности показывает, что подавляющее большинство (до 90%) повреждений магистральных трубопроводов связано с коррозионными процессами, как внутренними, так и внешними. Деградация металла под воздействием коррозии не только сокращает срок службы инфраструктуры, но и создает предпосылки для техногенных катастроф, что актуализирует вопросы совершенствования методов диагностики, защиты и восстановления трубопроводных систем [4–6].

Для противодействия коррозии в современном мире применяются следующие мероприятия по снижению либо исключению данного осложняющего фактора:

- Электрохимическая защита;
- Полимерные покрытия (внутренние и наружные);
- Ингибиторы коррозии, механизм действия которых включает [7].

С переходом нефтяной промышленности на поздние стадии разработки месторождений увеличивается доля высокообводненных и сильно минерализованных сред, интенсифицирующих коррозионные процессы. При этом традиционные углеродистые и низколегированные стали демонстрируют низкую коррозионную стойкость, что требует разработки новых высокоэффективных ингибиторов, устойчивых к воздействию H_2S, CO_2 и O_2 [8, 9].

В рамках данной работы проведено моделирование образования углекислотной коррозии стали 20 в лабораторных условиях с целью сравнительной оценки эффективности различных марок ингибиторов коррозии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В современной практике строительства магистральных трубопроводов наибольшее распространение получила низколегированная сталь марки 20 [10-12]. Ее широкое применение обусловлено оптимальным сочетанием эксплуатационных характеристик, технологичности обработки и экономической доступности. Данный материал успешно используется для транспортировки углеводородного сырья, включая нефть, природный газ и продукты их переработки. Химический состав металла исследуемых образцов представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемой стали, масс. %

Исследуемый образец	Массовая доля элементов, %									
	C	Si	Mn	P	S	V	Cr	Ni	Cu	Al
Сталь 20	0,20	0,22	0,48	0,004	0,008	0,003	0,11	0,11	0,18	0,02
Характеристика погрешности Δ по ГОСТ Р 54153-2010	±0,024	±0,03	±0,11	±0,020	±0,024	±0,0016	±0,016	±0,016	±0,020	±0,011

Для проведения коррозионных испытаний были изготовлены продольные образцы на CO_2 коррозию согласно ГОСТ 9.506-87 [13], размером: 40±0,1; 10±0,1; 4±0,1 (ДхШхВ), с отверстием в верхней части ø3 мм для подвеса.

Испытания проводили в автоклавном комплексе, представленном на рис. 1. Данное оборудование предназначено для научно-исследовательских и других видов работ по моделированию физико-химических процессов в условиях повышенного давления, температуры и агрессивных сред с применением модельных сред: нефть, водонефтяная эмульсия, минерализованные воды, в том числе с насыщением коррозионно-активными компонентами, газами – H_2S, CO_2, O_2.

Автоклавный комплекс обеспечивает в течение всего времени испытания стабильное поддержание и контроль параметров испытания (температуры, давления), постоянство объема и состава испытательной среды, возможность продувки аппарата инертным газом с целью деаэрации, введение ингибитора в среду, термостатирование. Автоклавный комплекс оснащен перемешивающим устройством на основе лабораторной магнитной мешалки для создания потока испытательной среды с возможностью варьирования скорости перемешивания. Образцы для испытаний в емкости могут быть как жестко закреплены, так и свободно подвешены, объем автоклава составляет 3 л. Конструкция автоклавного комплекса обеспечивает предохранение емкости и образцов от вибрации и свободный контакт образцов с испытуемой средой.

Рис. 1. Внешний вид оборудования для проведения автоклавных испытаний

В качестве рабочего раствора использовалась модельная среда следующего состава, г/л: хлорид кальция – 2,9; хлорид магния – 3,1; хлорид натрия – 29,5 хлорид бария – 1,1; хлорид стронция - 0,30. Среда насыщалась CO_2 с парциальным давление 8±0,5 МПа; общее давление в системе составляло 5±0,5 МПа; температура проведения испытания 45±2 °С; время выдержки 72±0,5 ч.

К модельной среде добавляли ингибитор коррозии. Были выбраны три марки ингибитора коррозии с условными номерами № 1; 2; 3. На каждой марке было проведено три испытания с изменением дозировки (исходная дозировка; увеличение дозировки в 5 раз; увеличение дозировки в 100 раз) (таблица 2).

Таблица 2

Дозировка исследуемых ингибиторов коррозии

Наименование ИК	ИК-1, мг/л	ИК-2, мг/л	ИК-3, мг/л
Первая дозировка (исходная дозировка)	25	25	30
Вторая дозировка (х5)	125	125	150
Третья дозировка (х100)	2500	2500	3000

Для оценки влияния минеральных отложений на поверхности металла, испытания проводили как на шлифованных образцах, так и на образцах с предварительно нарощенными отложениями. Условия для образования минеральных отложений были следующие: среда, содержащая 12 г/л хлорид натрия и 35 г/л хлорид кальция, насыщенная CO_2 под давлением 4±0,5 МПа; температура проведения испытания 55±2 °С; время выдержки 170±0,5 ч.

Скорость коррозии (ρ, г/(м^2·ч)) оценивалась гравиметрическим методом. Расчет скорости коррозии производился по формуле (1):

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{s \cdot \tau}, \quad (1)$$

где: ρ – скорость коррозии, г/м^{2}ч;
m_1 – масса образца до испытания, г;
m_2 – масса образца после испытания, г;
s – площадь поверхности образца, м^2;
τ – время испытания, ч.

Для пересчета скорости коррозии (К) в мм/год применяли формулу (2):

$$\text{Скорость коррозии} = \frac{{}^{\text{г}}/_{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}}{\text{уд.вес}} \frac{8760}{1000} = \frac{\text{г}}{\text{м}^2} \cdot \text{ч} \cdot \text{К} = \text{мм/год}, \quad (2)$$

где К – коэффициент пересчета скорости коррозии для низколегированных сталей принимается равным 1,12.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты проведенных испытаний шлифованных образцов и образцов с предварительно нарощенными коррозионными отложениями представлены на рис. 2-3.

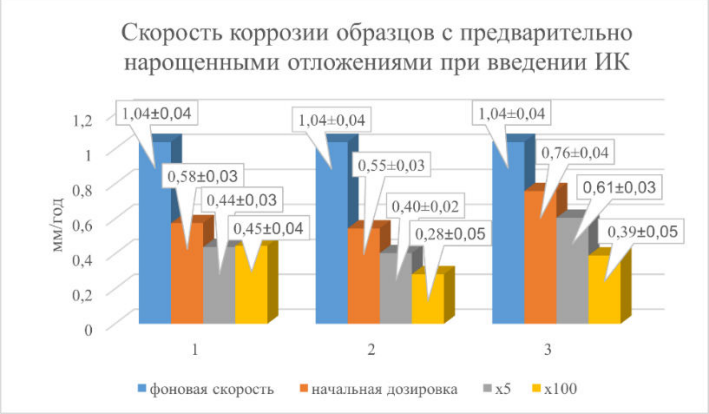


Рис. 2. Скорость коррозии образцов с предварительно нарощенными отложениями при различной дозировке ИК

При проведении эксперимента образцов с минеральными отложениями прослеживается следующая тенденция: чем больше дозировка ИК, тем меньше значение скорости коррозии, кроме ИК-1, у которого увеличение начальной дозировки более, чем в 5 раз не приводит к дальнейшему снижению скорости коррозии, что может быть связано с механизмом действия ИК. Существует адсорбционный механизм действия ИК, при котором на поверхности металла с продуктами коррозии образуется барьерная пленка. Данный механизм заключается во внедрении материала ИК в пространство между продуктами коррозии и, таким образом, происходит замедление процессов или прекращение проникновения коррозионно-активной среды к поверхности защищаемого металла. В данных условиях для ИК-1 оптимальной является дозировка в 125 мг/л, дальнейшее увеличение дозировки не приводит к снижению скорости коррозии. ИК-2 и ИК-3 имеют общую тенденцию к снижению скорости коррозии от увеличения дозировки ингибитора в системе.

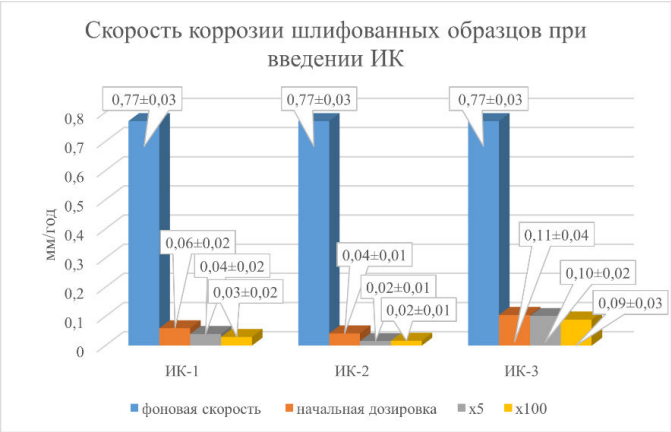


Рис. 3. Скорость коррозии шлифованных образцов при различной дозировке ИК

В другом эксперименте при исследовании шлифованных образцов прослеживается такая же тенденция, как и в предыдущем: чем больше дозировка ИК, тем скорость коррозии ниже при прочих равных условиях. Стоит отметить, что во всех случаях скорость коррозии образцов имеет не высокие значения (рис. 4), что удовлетворяет общепринятым в отрасли (не более 0,1 мм/год) [14]. Здесь также, как и в предыдущем случае стоит отметить низкие значения скорости коррозии образцов при применении ИК-2, которые при добавлении ИК-2 в исходной дозировке варьируются в пределах 0,04±0,01 мм/год, что является довольно низким показателем по сравнению с другими испытанными ИК.

Также сравнение результатов на шлифованных и образцах с коррозионными отложениями можно описать следующим образом. Раствор диоксида углерода в водной фазе образует углекислоту, которая способствует растворению железа с образованием на поверхности стали коррозионного слоя, состоящего из карбоната железа $FeCO_3$. В некоторых исследованиях говорится о том, что малорастворимый осадок $FeCO_3$ может формировать защитные слои [15-17]. Однако защитный слой, образованный осадком $FeCO_3$, является пористым и непрочным и способствует незначительному снижению скорости коррозии благодаря уменьшению массообмена между коррозионной средой и чистой поверхностью стали [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Наименьшую скорость углекислотной коррозии сталь 20 имеет при добавлении в среду ИК-2 как на шлифованных образцах, так и на образцах с минеральными отложениями, при различных дозировках. Данный факт вероятнее всего связан с адсорбционным механизмом действия данного защитного агента, который образует барьерную пленку и препятствует воздействию коррозионно-активной среды на металл.

2. Статистическая обработка экспериментальных данных показала высокую воспроизводимость эксперимента: разброс значений не превышал 0,05%. Данный факт

иллюстрирует повторяемость и достоверность полученных результатов при данных условиях проведениях эксперимента и при определённых дозировках представленных ИК.

3. Ингибитор коррозии на поверхности шлифованных образцов образует пленку, препятствующую растворению железа. При наличии на поверхности образцов предварительно нарощенных минеральных отложений, последние пропитываются ИК, что приводит к уплотнению рыхлых продуктов коррозии и снижению скорости коррозии.

4. Данный эксперимент в автоклавном комплексе позволяет моделировать условия образования коррозионных продуктов по углекислотному механизму, а также определять необходимую дозировку и тип ИК для замедления или прекращения коррозионных процессов при заданных условиях (температура, давление, наличие коррозионно-активных газов и наличие электролита).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Седнев В.А.* Основы подготовки транспортных сооружений к безопасному и устойчивому функционированию в чрезвычайных ситуациях, Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России», no. 1, 2018, pp. 15-23. doi:10.24411/2218-130X-2018-00003.

2. *Торопов Е.С.* Методика мониторинга состояния трубопроводов на основании эксплуатационных данных / Е.С. Торопов, С.Ю. Подорожников, В.С. Торопов // Нефть и газ Западной Сибири: Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Косухина Анатолия Николаевича, Тюмень, 15–16 октября 2015 года. Том III. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2015. – С. 116-119.

3. *Журавлев Д.* Локализация повреждений изоляционных покрытий трубопроводов / Д.Журавлев, А.Жуков, Д.Давыдова // ТехНадзор. – 2014. – № 3(88). – С. 84-86.

4. *Полькин В.И.* Цинк для защиты от коррозии // Фундаменты. – 2021. – № 1(3). – С. 68-71.

5. *Мамбетов Р.Ф.* Контроль коррозии как метод повышения безопасности трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды / Р.Ф. Мамбетов, В.М. Кушнаренко, Н.А. Конькова [и др.] // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2020. – № 3. – С. 109-129. – DOI 10.17122/ogbus-2020-3-109-129.

6. *Дубинец Е.А*. Методы защиты от коррозии // Морские технологии: проблемы и решения - 2021: Сборник статей участников Национальной научно-практической конференции, Керчь, 19–30 апреля 2021 года / Под общей редакцией Е.П. Масюткина. – Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2021. – С. 287-291.

7. *Ившин Я.В.* Защита оборудования ингибиторами коррозии в нефтяной отрасли: учебное пособие / Я.В. Ившин, А.Е. Лестев; под ред. А.Ф. Дресвянникова; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2021. – 112 с.

8. *Кантюков Р.Р.* Анализ применения и воздействия углекислотных сред на коррозионное состояние нефтегазовых объектов / Р.Р. Кантюков, Д.Н. Запевалов, Р.К. Вагапов // Записки Горного института. 2021. Т. 250. С. 578-586. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.11.

9. *Гурбанов Г.Р., Гасымзада А.В.* Ингибиторная защита нефтепромыслового оборудования от коррозии в средах, содержащих сероводород и углекислый газ // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2023. № 3-4. С. 60–64. DOI:10.24412/0131-4270-2023-3-4-60-64.

10. *Миронова Т.Б., Рекадзе П.Д., Прокофьев А.Б.* Виброакустическое моделирование трубопроводной обвязки компрессора // Динамика и виброакустика. - 2024. - Т. 10. - №1. - С. 68-77. doi: 10.18287/2409-4579-2024-10-1-68-77.

11. *Снарский А.С.* Неразрушающий метод определения механических характеристик металла труб магистрального трубопровода / А.С. Снарский, А.Н. Янушонок // Вестник

Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. - 2024. - № 2(50). - С. 135-143. – DOI 10.52928/2070-1616-2024-50-2-135-143.

12. *Давыдова В.А., Зубарев А.М.* Алгоритм выбора защитного покрытия трубопроводной арматуры в сероводородной среде / В.А. Давыдова, А.М. Зубарев, В.С. Болдырев, Б.Б. Богомолов // Необратимые процессы в природе и технике: Труды Одиннадцатой Всероссийской конференции: в 2 т., Москва, 26–29 января 2021 года. Том 2. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. – С. 63-66.

13. *Кузьмин Д.А.* Разработка зависимостей расчета локальных скоростей коррозии и толщин стенок трубопроводов при эрозионно-коррозионном износе / Д.А. Кузьмин, В.И. Бараненко // Тяжелое машиностроение. – 2020. – № 11-12. – С. 20-25.

14. *Вторенко Е.А., Валекжанин И.В., Латыпов О.А., Хакимов А.М.* Определение скорости локальной коррозии насосно-компрессорных труб как необходимый элемент коррозионного мониторинга // Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 4. С. 40–44. DOI: 10.24412/2076-6785-2024-4-40-44.

15. *Nesic S., Nordsveen M.* Proceedings of NACE Corrosion/2001 / S. Nesic, M. Nordsveen, R. Nyborg, A. Stangeland. – NACE, Houston, TX, 2001. – P. 1040.

16. *Videm K., Dugstad A.* Corrosion of carbon steel in an aqueous carbon dioxide environment, Part 1. Solution effects // MP. – 1989. – Vol. 28, № 3.

17. *Lopez D.A., Schreiner W.H.* The influence of carbon steel microstructure on corrosion layers. An XPS and SEM characterization / D.A. Lopez, W.H. Schreiner, S.R. Sanchez de, S.N. Simison // Applied Surface Science. – 2003. – Vol. 207. – P. 69–85.

18. *Moraes de F.D., Shadley J.R., Chen J., Rybicki E.* CO_2 Corrosion Prediction in Pipe Flow Under FeCO3 Scale-Forming Conditions. *Proceedings of NACE*. *Corrosion*. NACE 2000, Orlando, FL, 2000, 30 p.

MODELING OF THE FORMATION OF THE CARBON DIOXIDE CORROSION PROCESS OF STEEL 20 IN A LABORATORY BENCH COMPLEX USING VARIOUS GRADES AND DOSAGES OF INHIBITORS

Konstantinova A.V. [1,2]***, Bogatov M.V.*** [1,2]

([1]LLC "Scientific and Production Center "Samara", Samara,
[2]Samara State Technical University, Samara)

Abstract. The paper presents the modeling of carbon dioxide corrosion of steel 20 in laboratory conditions using an autoclave complex. It has been established that the IR-2 inhibitor reduces the corrosion rate most effectively at an optimal dosage determined by the experiment. The results presented in this article confirm the possibility of using this method to assess the corrosion rate of pipelines for protection against aggressive factors.

УДК 658.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ «КОРПУС» В СТАНДАРТЕ IDEF3

Красноперова И.А.

Научный руководитель: Егорова Е.И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Описывается создание прецедента детали «Корпус» для формирования базы знаний обработки деталей с помощью искусственного интеллекта.

Современное машиностроение, в том числе производство высокочастотной радиоаппаратуры, требует высокой точности, повторяемости и устойчивости к погрешностям

на всех этапах жизненного цикла изделия. Деталь типа «Корпус» занимает центральное место в конструкции радиочастотных соединителей, так как определяет как механическую фиксацию, так и экранирование сигнала. При проектировании и производстве соединителей, большое внимание уделяется точности геометрии, чистоте обработки и соблюдению технологической последовательности операций. Учитывая всё возрастающие требования к цифровому управлению производством, актуальной задачей становится формализация процесса обработки детали «корпус» в виде цифровой модели, понятной как специалистам, так и автоматизированным системам CAM и PLM. Одним из подходящих инструментов является язык UML — универсальный язык визуального моделирования, традиционно применяемый в программной инженерии, но успешно адаптируемый для моделирования технических и производственных процессов [1-3].

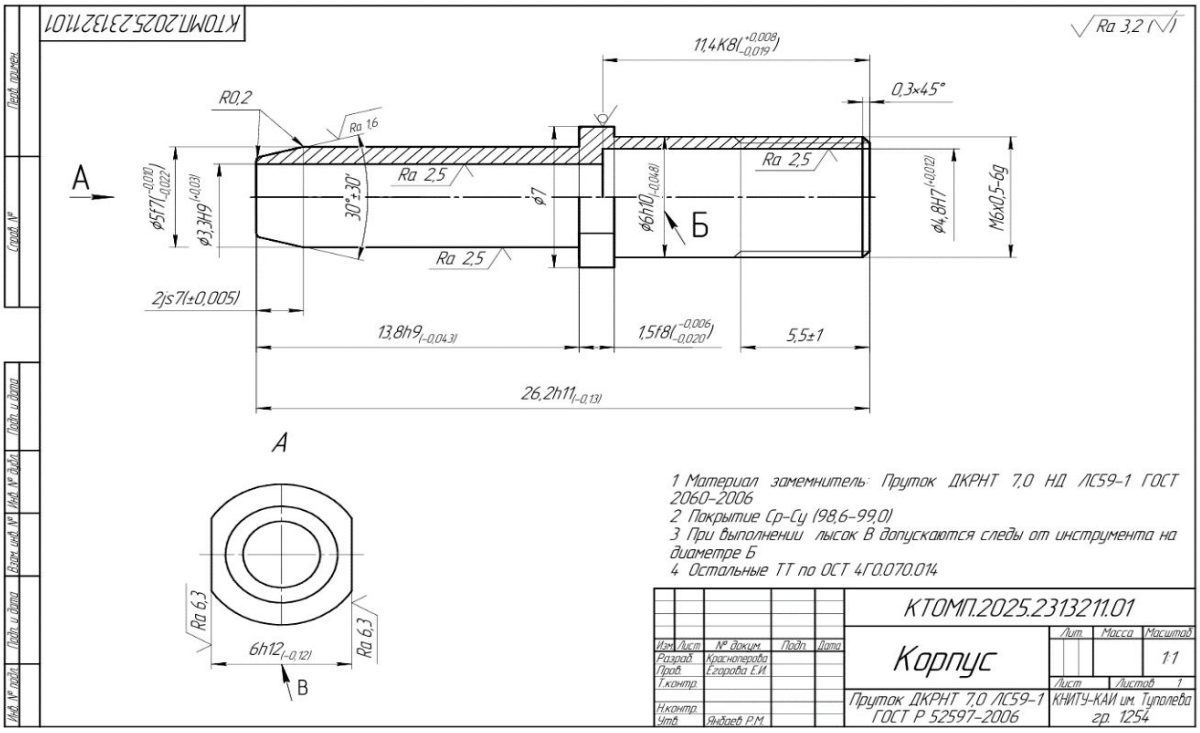


Рисунок 1. Рабочий чертеж детали

Деталь «Корпус» представляет собой деталь типа тела вращения из совокупности поверхностей вращения и торцевых поверхностей простой геометрической формы и имеет габаритные размеры 26,2х7. Деталь «Корпус» содержит стандартные унифицированные элементы такие как: фаски и лыски. Для изготовления детали применяется пруток ДКРНТ 7,0 ЛС59-1. Деталь «Корпус» имеет центральное сквозное отверстие и две параллельные лыски на выступающей части детали. При анализе детали «Корпус» можно увидеть, что данная деталь выполнена с шероховатостью от Ra3,2 до Ra1,6. Это связано с тем, что она является ответственной частью изделия, к которому предъявляются высокие требования по точности изготовления. Деталь имеет центровое отверстие, что повышает её технологичность. Предельные отклонения размеров, указанных только номинальным размером, договариваются в записи технических требований на чертеже: «Общие допуски по ГОСТ 30893.1 – m» (m – класс точности «средний» по ГОСТ 30893.1 – 2002 «Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками»). По Общероссийскому классификатору изделий и конструкторских документов ОК ЕСКД определим шестизначный код детали: класс 71 - детали - тела вращения типа колец, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, осей, штоков, шпинделей и др.; класс 715 - C L св. 2 D с нар. поверхностью цилиндрической; класс 7155 - Без закр. уступов, ступенчатой, с нар. резьбой; класс 71555 - С центр. ступенчатым сквозным цилиндр. отв., без резьбы; класс 715551 - Без пазов и шлицев на нар. поверхности, без отв. вне оси

дет.Код классификатора ЕСКД 715551. [4] Деталь «Корпус» входит в состав изделия коаксиальный радиочастотный соединитель - это устройство, которое обеспечивает механическое и электрическое соединение радиочастотных кабелей, а также соединения внутри и между устройствами. Он состоит из двух или более частей (вилка и розетка), каждая из которых содержит два концентрически расположенных контакта. Он служит для соединения и разъединения линий передачи, компонентов и систем, функционирующих в микроволновом диапазоне частот. Соединитель представляет собой коаксиальную линию, заполненную диэлектриком, с волновым сопротивлением, которое зависит от соотношения диаметров проводников и диэлектрической проницаемости материала [5].

Для описания детали с помощью искусственного интеллекта необходимо выполнить подготовку данных для получения прецедента. Для этого проводится кодирование поверхностей детали, описанной в [6]. На рисунке 2 представлено кодирование поверхностей детали «Корпус». Разметка выполняется в следующей последовательности.

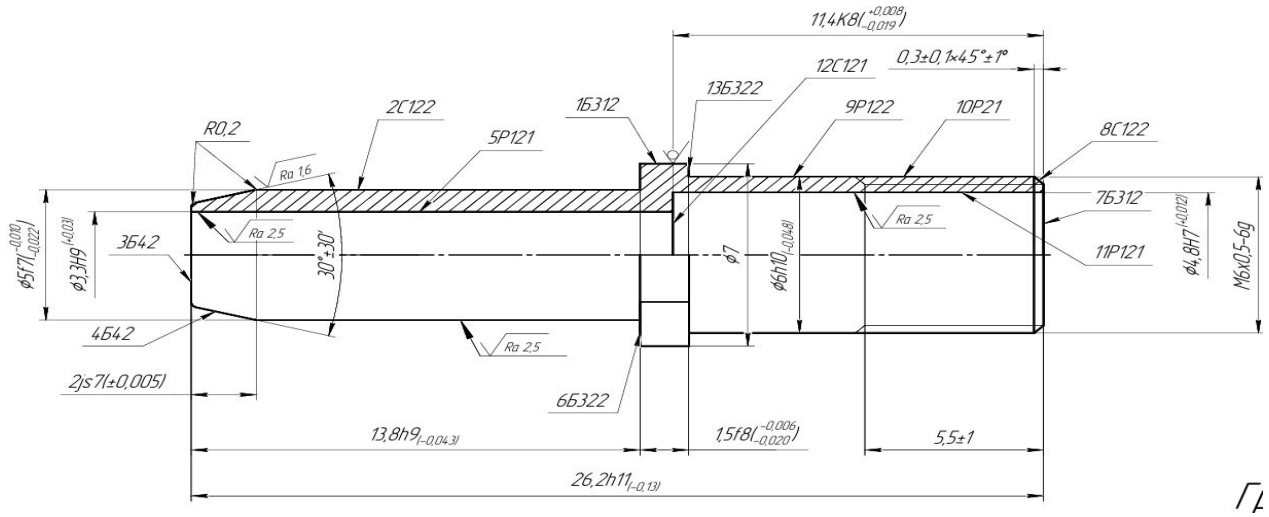


Рисунок 2. Кодирование детали

Для каждой обрабатываемой поверхности детали устанавливается установочный базовый комплекс (технологические базы), контори дожлено бать підготовлено на момент обробітки поверхности (возможные схемы базирования детали определяются на основе технологического анализа чертежа). Граф поверхностей представлена на рисунка 3.

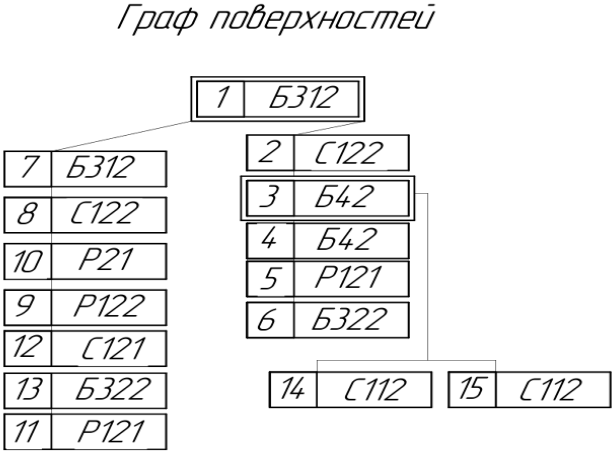


Рисунок 3. Граф поверхностей детали «Корпус»

Для создания моделей структуры технологических процессов целесообразно применять стандартизированные методы и нотации. Для этих целей оптимально подходит

стандарт IDEF3, который описывает технологические процессы и задает нотацию для представления метамоделей структуры процессов и последовательности изменений параметров изготавливаемого объекта. Средства документирования и моделирования в рамках стандарта IDEF3 позволяют:

- фиксировать знания о вариантах последовательностей выполнения технологических операций и переходов изготовления изделий определенного класса с целью разработки баз знаний для создания структуры технологического процесса обработки конкретной детали или сборки – сварки сборочной единицы;
- строить диаграммы состояний обрабатываемых объектов в ходе исполнения технологических процессов.

В связи с этим в стандарте IDEF3 выделяют два типа диаграмм, отражающих описание одного и того же технологического процесса с разных точек зрения. Диаграммы первого вида называются «Описание последовательности этапов процесса» (ProcessFlowDescriptionDiagrams, PFDD), а второго – «Состояние объекта и его трансформаций в процессе» (ObjectStateTransitionNetwork, OSTN).

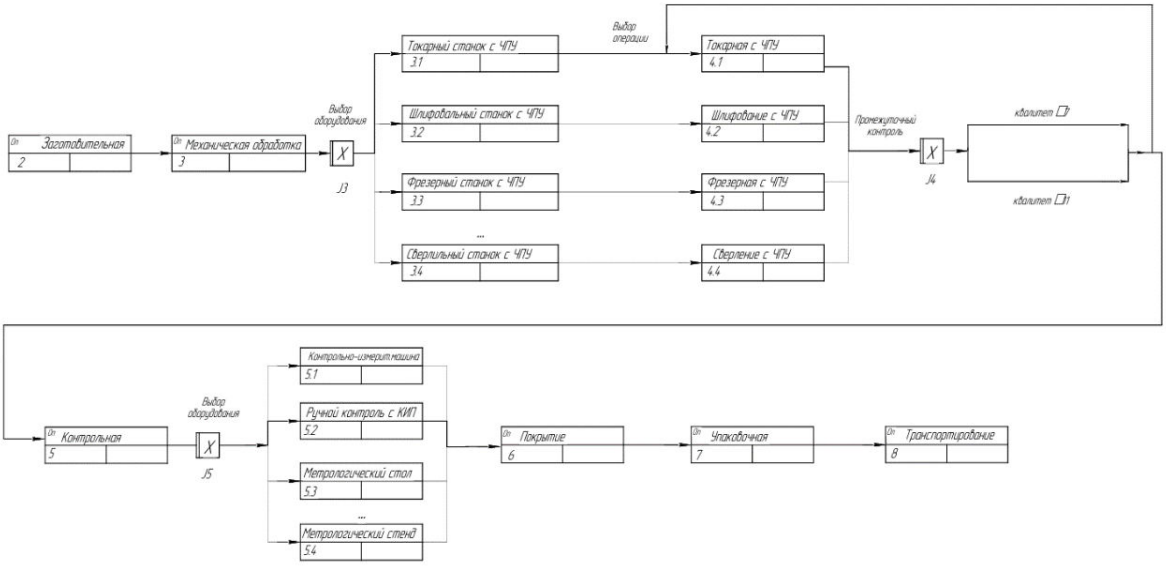


Рисунок 4. PFDD-диаграмма процесса обработки «Корпус»

На диаграмме PFDD прямоугольники обозначают функциональные элементы или элементы поведения (UnitofBehavior, UOB), которые описывают стадию процесса или принятие решения. Каждый блок UOB обладает собственным наименованием, выраженным в глагольной форме, а также индивидуальным идентификационным номером. Стрелки или линии символизируют перемещение детали между блоками UOB в процессе выполнения работы.

Таким образом получен технологический процесс обработки детали «Корпус» в автоматическом режиме, который может быть реализован после дальнейшей детализации искусственным интеллектом для создания базы прецедентов обработки деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Егорова Е.И.* Моделирование технологического процесса детали "стакан" на языке UML / Е.И. Егорова, Д.В. Курылев // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. — 2023. — № 4. — С. 189–194.

2. *Egorova E.I.* Modeling the technological process of the "cup" part in UML language / E.I. Egorova, D.V. Kurylev // Russian Aeronautics. — 2023. — Vol. 66, No. 4. — Pp. 864–870.

3. *Егорова Е.И.* Формирование оптимальной маршрутно-операционной технологии механической обработки деталей в интеллектуальной системе построения технологических процессов / Е. И. Егорова // Профессиональные коммуникации в научной среде — фактор

обеспечения качества исследований: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции Альметьевский филиал Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева–КАИ, 2020. — С. 11–14.

4. КлассИнформ - все коды общероссийских классификаторов. – Текст: электронный. – 2025. – URL:https://classinform.ru/ok-eskd/kod-741474.html (дата обращения: 21.05.2025).

5. *Сафонов Л.А.* Радиочастотные электрические соединители. Вопросы теории и состояния развития производства // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 5. С. 38–45.

6. *Егорова* Е.И. Реализация технологических решений с помощью нейронной сети // СТИН. 2022. № 1. С.25-29.

MODELING THE PROCESS FLOW OF A "HOUSING" PART IN THE IDEF3 STANDARD

Krasnoperova I.A.

Supervisor: Egorova E.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The creation of a precedent for the "Case" part is described for the formation of a knowledge base for processing parts using artificial intelligence.

УДК 667.6, 691.175

О ВАЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА КАК НЕГАТИВНОЙ ГАЗОВОЙ ПРИМЕСИ В СТАЛЯХ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ

Кручинина И.С.[1,2]

Научный руководитель: Попова Ю.А.[1], к. т. н.

([1]ПАО «ОАК» ОКБ Сухого;[2]МАИ (НИУ), г. Москва)

Аннотация. Водород в малых концентрациях содержится практически во всех твёрдых материалах (металлах, пластиках, композитах) [1]. Наличие водорода может отрицательно сказываться на характеристиках надёжности металлов.

Проблема водородной хрупкости имеет два аспекта:

- работоспособность в среде внешнего водорода при различных температурных и силовых воздействиях;
- работоспособность при наличии в металле внутреннего водорода, растворённого в металле при различных технологических процессах [2].

Проникновение водорода в сталь может происходить при:

- выплавке, разливке, сварке и термической обработке;
- в ходе химических и электрохимических процессов (травление окалины, электроосаждение покрытий и пр.);
- при контакте металла с водородосодержащими средами.

Внутренний водород в металле может находиться в молекулярном газообразном состоянии внутри значительных по размеру дефектов (пор, трещин, несплошностей), а также в атомарном (ионизированном) состоянии в дефектах кристаллической решетки [3].

Для проявления охрупчивающего воздействия водорода необходима его определённая концентрация или во всём объёме металла, или на локальных участках, которые при нагружении становятся зонами разрушения.

Воздействие водорода определяется его распределением в металле, диффузионной подвижностью, способом перемещения в зону концентрации напряжений и рядом других параметров.

Диффузионно-подвижный водород (ДПВ) – это атомарный водород, закрепленный на дефектах кристаллической решетки (дислокациях, вакансиях, границах зерен). Первоначально термин ДПВ применялся в основном по отношению к металлу сварного шва и наплавленному металлу. Однако было выявлено, что насыщение металла повышенным содержанием водорода происходит также при выплавке *коррозионностойких сталей аустенитно-мартенситного класса* типа ВНС-5Ш,ВНС-65Ш с использованием электрошлакового переплава [4].

Электрошлаковый переплав – электрометаллургический процесс, при котором металл переплавляется в ванне шлака под действием тепла, выделяющегося в шлаке при прохождении через него электрического тока. Электрошлаковый переплав существенно повышает качество металлов и сплавов, однако при этом происходит насыщение металла водородом, что является недостатком способа.

При определенных условиях ДПВ может перемещаться по детали, создавая пересыщенные локальные участки. Неоднородность напряженного состояния приводит к протеканию процесса диффузии из объема металла в места концентраторов напряжения. Скапливаясь на напряженных участках, водород способствует образованию и развитию трещины [1].

Проблема хрупкого разрушения стальных деталей под действием ДПВ является особо актуальной в авиационной промышленности при изготовлении стального крепежа из вышеупомянутых высокопрочных коррозионностойких сталей, а также в нефтегазовой промышленности, где под действием водорода могут разрушаться трубы газопроводов [3].

Во Всесоюзном Институте Авиационных Материалов (ВИАМ) в 70-80-е гг. был разработан технологический процесс удаление водорода из стали с помощью специального режима термообработки с большим временем выдержки, зависящим от толщины детали. Длительное время выдержки позволяет удалить опасную часть водорода, влияющего на механические свойства стали. Этот технологический процесс получил название *обезводораживающий отпуск*.

После обезводораживающего отпуска проводят контроль ДПВ как особо ответственного параметра. По норме, прописанной в инструкции, концентрация ДПВ в детали должна быть не более 0,15 $см^3$/100 г металла.

Методы определения ДПВ

Общий принцип определения ДПВ состоит в выделении водорода из пробы металла при нагревании в предварительно вакуумированной камере. Измерение количества водорода производится периодически. Содержание ДПВ определяется суммой результатов измерений. Существует три метода определения ДПВ [1]:

- Термокинетический метод анализа ДПВ (разработан ГНЦ ЦНИИЧЕРМЕТ) (Рис. 1). Заключается в анализе десорбируемого водорода в процессе нагрева пробы металла с постоянной скоростью нагрева 5ºС/мин: измерения от 50ºС до 600ºС через каждые 50ºС (10 мин). По результатам измерений строится зависимость (спектродесорбции водорода) количества выделившегося водорода при нагреве пробы металла с изменением температуры и последовательным измерением количества водорода от Т °С до (Т+50) °С. Скорость нагрева пробы постоянна. Определяется количество водорода, выделившегося в интервалах температур 50 ºС - 200 ºС, 250 ºС - 400 ºС, 450 ºС - 600 ºС и суммарное количество водорода, выделившегося в процессе нагрева. Анализируя полученные результаты, делается заключение о механизме наводораживания, склонности к проявлению водородной хрупкости [5].

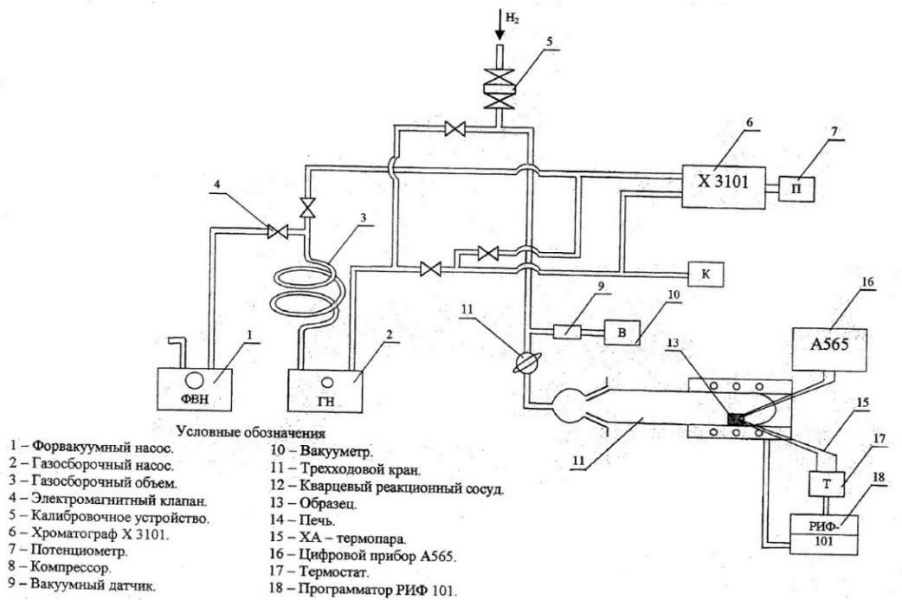


Рисунок 1. Схема установки для термодесорбционного анализа водорода в металле термокинетическим методом [5]

- Термостатический метод (рекомендованный в своё время ВИАМ). Предусматривает определение количества водорода, десорбируемого из металла в процессе изотермической выдержки при 520 °С. Измерения проводятся через каждые 5-10 минут в течение 2 часов или заканчивают, когда по крайней мере при двух последних измерениях фиксируется близкое к нулевому значению количество водорода. Общее количество «диффузионно-подвижного» водорода представляет собой сумму количеств водорода по всем проведённым измерениям.

- Комбинированный метод включает два предыдущих: нагрев образца с постоянной скоростью от 200 ºС до 520 ºС в течение 60 минут (1 час), измерения проводят через каждые 20 минут, выдержка образца в течение 120 минут (2 часа) при постоянной температуре экстракции 520 ºС.

Единственный на сегодня в РФ отечественный анализатор водорода АВ-1, позволяющий определять малые концентрации водорода (до 0, 15 $см^3$/100 г Ме), разработан ООО «НПК ЭПТ». Прибор аттестован ФГУП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева и внесён в государственный реестр СИ ФГИС «Аршин».

АВ-1 представляет собой специализированный высокочувствительный магнитный масс-спектрометр (Рис.2). Прибор настроен на регистрацию водорода, снабжен системой цифровой регистрации для математической обработки результатов измерений. Экстракционно-загрузочный узел служит для высокотемпературной вакуумной экстракции водорода из образцов любого химического состава. Испытанный диапазон массы образца для анализа от 3 мкг до 3 г.

Рисунок 2. Прибор АВ-1, общий вид

Водород в алюминиевых сплавах

Помимо сталей, выплавляемых электрошлаковом переплавом, проблема наличия водорода характерна также и для алюминиевых сплавов [6,7]. Водород является одной из наиболее существенных газовых примесей, оказывающих отрицательное влияние на технологические свойства продукции из алюминия и его сплавов. Основные источники поступления водорода в алюминий – атмосферная влага, шихтовые материалы, флюсы, плавильные инструменты. Растворенный в затвердевшем металле водород способствует образованию газовой и газоусадочной пористости, которая возрастает с увеличением концентрации содержания водорода. Все это негативно влияет на физико-механические и эксплуатационные характеристики алюминия и его сплавов. Величина газовой пористости алюминиевых сплавов определяется степенью пересыщения твердого раствора водородом, пропорциональна разности концентраций водорода в жидком и твердом металле и возрастает с увеличением скорости охлаждения при кристаллизации. При этом чем больше соотношение растворимости водорода в жидком и твердом состоянии конкретного металла или сплава, тем больше будет у него пористость. У алюминия это соотношение составляет ~ 14, что на порядок больше, чем у других металлов.

Для снижения содержания водорода в алюминиевых сплавах на металлургическом заводе применяют следующие методики:

1) отстаивание металла в вакууме перед его заливкой в миксеры;

2) обработку металла в миксерах галогенидсодержащими флюсами с последующей выдержкой расплава;

3) рафинирование металла инертным газом-аргоном;

4) фильтрование металла через пенокерамические фильтры.

Заключение

Величина концентрации водорода существенно влияет на усталостную долговечность полуфабрикатов и деталей, изготовленных из них, провоцируя преждевременное хрупкое разрушение. Поэтому на металлургических заводах при выплавке сталей, алюминиевых, титановых и других сплавов контроль примеси водорода необходим.

В ряде особо ответственных случаев, к примеру, для крепежа, работающего на растяжение, из сталей аустенитно-мартенситного класса контролировать ДПВ требуется в готовых изделиях на образцах-свидетелях от партии.

Для предотвращения попадания металла с повышенным содержанием водорода в продукцию разработаны специальные приборы – газоанализаторы, предназначенные контролировать величину вредной газовой примеси.

Я благодарю руководителя производственной практики В ОКБ Сухого – начальника отдела материаловедения, к.т.н. Попову Юлию Анатольевну и ведущего инженера отдела Акулинина Александра Олеговича за новые знания и помощь в подготовке данного обзора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Яковлев Ю.Я.* Технологический контроль диффузионно-подвижного водорода в сталях / Ю.Я. Яковлев, А.М. Полянский, В.А. Полянский // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2025. — Т. 91, № 2.

2. *Братухин А.Г.* Высокопрочные коррозионно-стойкие стали современной авиации / А.Г. Братухин, О.Ф. Демченко, Н.Н. Долженков, Г.С. Кривоногов. — Москва: Изд-во МАИ, 2006. — С. 497-499.

3. *Цветков А.С.* Водород в металлах: обзорная лекция Самара: НТО «Коррозия в нефтяной и газовой промышленности», 2022.

4. *Вознесенская Н.М.* Влияние водорода на свойства высокопрочной коррозионностойкой стали ВНС-65-Ш (18Х13Н4К4С2АМ3-Ш) и пути устранения водородной хрупкости / О.А. Тонышева, А.В. Леонов, К.В. Дульнев // Труды ВИАМ. — 2018. — № 10 (70). — URL: https://viam-works.ru/ru/articles?year=2018&num=10 (дата обращения: 22.05.2024). — Текст: электронный.

5. *Сергеева Т.К.* Методика определения «диффузионно-подвижного» водорода в металлах и сплавах — Москва: ЦНИИчермет им. И. П. Бардина, 2003.

6. *Шашкова Л.В.* Влияние диффузионно-подвижного и связанного водорода на водородную хрупкость стали / Л.В. Шашкова, Н.А. Манаков, Е.С. Козик, Е.В. Свиденко // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2019. — Т. 85, № 8.

7. *Куликов Б.П.* Исследование поведения водорода в алюминиевом сплаве при производстве мелкой чушки на алюминиевом заводе ОК РУСАЛ / Б.П. Куликов, С.В. Беляев, В.Ф. Фролов [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. — 2019. — Т. 12, № 4. — С. 398-408.

THE IMPORTANCE OF DETERMINING HYDROGEN AS A NEGATIVE GAS IMPURITY IN STEELS AND ALUMINUM ALLOYS

Kruchinina I.S. [1,2]

Supervisor: Popova Yu.A. [1], Candidate of Engineering Sciences

([1]«UAC» Sukhoi Design Bureau, [2]MAI, Moscow)

Abstract. Hydrogen in low concentrations is found in almost all solid materials (metals, plastics, composites). The presence of hydrogen can negatively affect the reliability characteristics of metals.

УДК 629.7

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ НА ПРИМЕРЕ ДЕТАЛИ «ТРОЙНИК»

Малкова В.В.

Научный руководитель: Салина М.С., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается вопрос автоматизации производства в машиностроении на примере разработки технологического процесса изготовления детали «тройник». Основное внимание уделено выбору заготовки, построению маршрута обработки и применению роботизированного комплекса. Продемонстрированы преимущества CAM-системы Siemens NX и интеграции с промышленными роботами.

Современное машиностроительное производство активно развивается в направлении цифровизации и автоматизации, что обусловлено необходимостью повышения производительности, качества и конкурентоспособности продукции.

Современные технологии формообразования направлены на создание деталей с заданными геометрическими и функциональными параметрами. Автоматизация процессов, включающая роботизированные комплексы и системы компьютерного проектирования, обеспечивает высокую точность и повторяемость производства. Актуальность данных методов определяется потребностью в ресурсосберегающих технологиях, гарантированном качестве и гибкости изготовления сложных компонентов для высокотехнологичных отраслей промышленности [1, 2, 3].

Современное машиностроительное производство активно развивается в направлении цифровизации и автоматизации, что обусловлено необходимостью повышения производительности, качества и конкурентоспособности продукции. Внедрение робототехнических комплексов, станков с ЧПУ и интеграция CAM-систем позволяют радикально изменить подход к проектированию и реализации технологических процессов [4, 5]. Наиболее наглядно это можно продемонстрировать на примере разработки процесса

механической обработки ответственной детали — тройника (рис.1), применяемого в топливных системах авиационной техники.

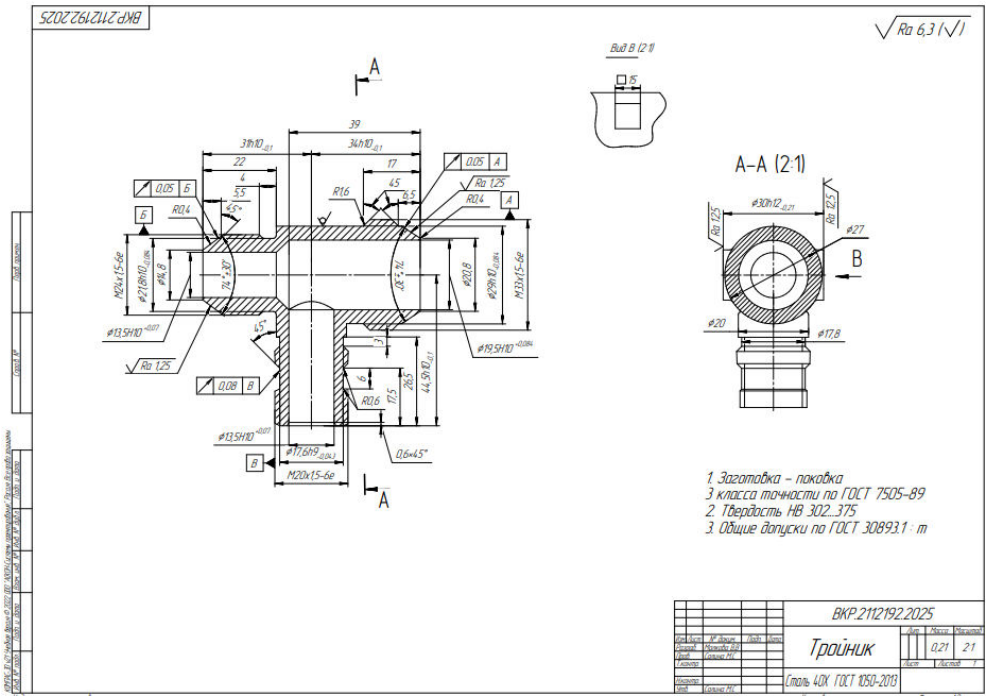


Рисунок 1. Чертеж детали «Тройник»

Деталь «тройник» (рис.2) представляет собой пространственный элемент трубопроводной системы, работающий при высоких давлениях и температурах, что обуславливает повышенные требования к прочности материала, точности изготовления и надежности соединений. В условиях серийного производства оптимальным решением является использование поковки в качестве заготовки, поскольку она обеспечивает высокий коэффициент использования материала (КИМ), минимизирует отходы и позволяет достичь необходимой точности при меньших затратах на механическую обработку. Расчёт КИМ для проката дал значение 0,075, тогда как при использовании поковки — 0,45, что определяет выбор в пользу последнего способа получения заготовки.

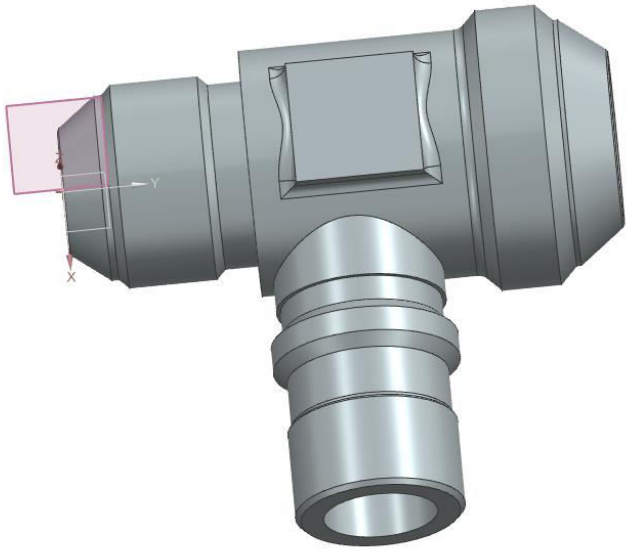


Рисунок 2. 3D модель детали «Тройник»

Основу технологического маршрута составляют черновые и чистовые токарные и сверлильные операции с последующим шлифованием, контрольными и отделочными этапами. При этом применяется координатная система размеров, а базирование выполняется по необрабатываемой части заготовки с помощью двухкулачкового патрона.

Проектирование маршрута обработки предполагает построение совмещённых переходов, что позволяет рассчитать операционные размеры, припуски и допуски, а также разработать корректные размерные цепи. Для расчетов используются как вероятностный метод, так и метод максимум–минимум, в зависимости от точности и длины цепей. При этом параметры припусков уточняются с учетом ГОСТов и ОСТов, а также данных, полученных расчетно-аналитическим методом.

Особое внимание в технологическом процессе уделено выбору оборудования. В качестве основного станка для токарных операций выбран высокотехнологичный станок с ЧПУ INDEX G200, обладающий высокой точностью, мощностью и возможностью автоматической смены инструмента. Для обработки применяются инструменты компании Sandvik Coromant, подбор которых осуществлялся с помощью цифрового инструмента ToolGuide. Программное обеспечение позволяет не только выбрать оптимальные резцы и сверла, но и автоматически рассчитать режимы резания: скорость вращения, подачу, глубину резания. Это существенно сокращает время подготовки производства и снижает вероятность ошибок на этапе планирования.

Ключевым элементом автоматизации является интеграция робототехнического комплекса (рис.3), включающего промышленного робота, осуществляющего загрузку и разгрузку деталей, их перемещение между зонами обработки и позиционирование с высокой точностью [6]. Проект компоновки комплекса предусматривает оптимизацию траектории движения захватного устройства, что позволяет снизить цикл времени обработки и обеспечить стабильную подачу заготовок к станкам. Благодаря внедрению промышленного робота снижается доля ручного труда, повышается безопасность и исключаются перерывы, связанные с человеческим фактором.

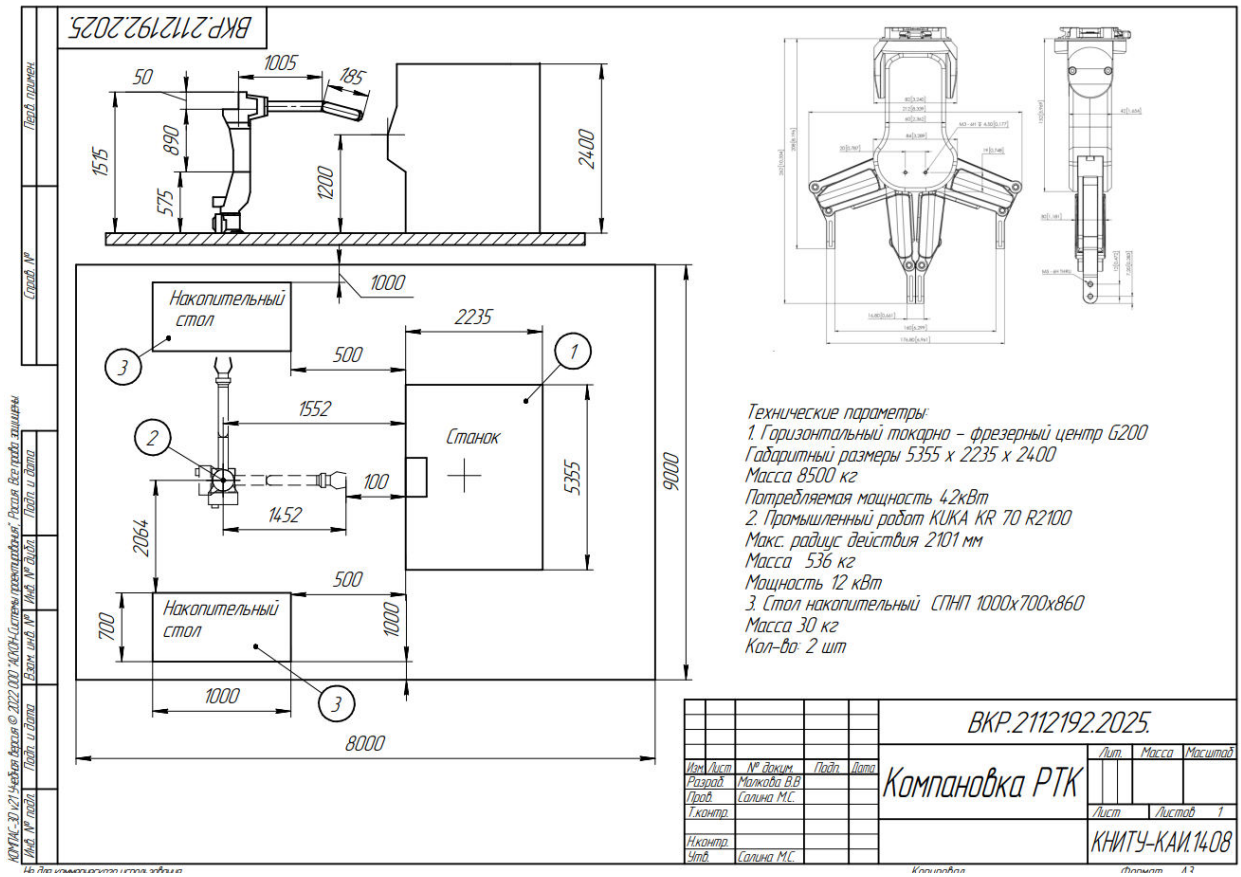


Рисунок 3. Чертеж РТК для производства детали «Тройник»

Технологическая подготовка производства реализована в CAM-среде Siemens NX. На основе 3D-модели детали, созданной в CAD-модуле, формируются траектории инструментов и управляющие программы, обеспечивающие автоматическое выполнение операций на станке. Функции симуляции позволяют предварительно проверить весь процесс обработки, выявить возможные ошибки и отклонения, тем самым снизив количество брака при запуске в производство.

Таким образом, разработка и внедрение автоматизированного технологического процесса изготовления детали «тройник» показывает высокую степень применимости роботизированных комплексов и цифровых систем на практике. Автоматизация позволяет не только снизить себестоимость и трудоёмкость производства, но и повысить качество и повторяемость выпускаемых изделий [6]. Это особенно важно для высоконагруженных и ответственных деталей, таких как тройники, применяемые в авиационной отрасли. Современные технологические решения на основе ЧПУ, CAM-систем и роботизации становятся неотъемлемой частью конкурентоспособного машиностроительного производства и формируют базу для развития цифровых фабрик будущего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Салина М.С.* Формообразование резьбы в полимерных деталях / М.С. Салина, Ю.П. Катаев // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2013. – № 4. – С. 81-86.

2. *Салина М.С.* Формообразование из композиционных материалов элементов конструкций летательных аппаратов: специальность 05.07.02 "Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Салина Марина Сергеевна. – Казань, 2016. – 22 с.

3. *Салина М.С.* Определение эмпирической зависимости скорости резания полимерных материалов от параметров технологического процесса / М. С. Салина // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2015. – № 2. – С. 55-58.

4. *Гаврилов Д.А.* Автоматизация производственных процессов // Академия, 2020. С. 315.

5. *Бакунина Т.А.* Основы автоматизации производственных процессов в машиностроении: учебное пособие / Т. А. Бакунина. — Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. — 192 с. — ISBN 978-5-9729-0373-3. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/124660 (дата обращения: 21.06.2025).

6. *Микерников Н.Г.* Роботизация и автоматизация производства. // М.: Инфра-М, 2021. С. 327.

AUTOMATION OF PRODUCTION IN MECHANICAL ENGINEERING USING THE EXAMPLE OF THE "TEE" PART

Malkova V.V.

Supervisor: Salina M.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan*)

Abstract. The article discusses the issue of production automation in mechanical engineering using the example of the development of a technological process for manufacturing a "tee" part. The main attention is paid to the selection of the workpiece, the construction of the processing route and the use of a robotic complex. The advantages of the Siemens NX CAM system and integration with industrial robots are demonstrated. Modern machine-building production is actively developing in the direction of digitalization and automation, due to the need to increase productivity, quality and competitiveness of products.

УДК 629.7

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ И ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ В ЗАГОТОВКЕ «ВАЛ» ПРИ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКЕ (DEFORM)

Меннибаева С.А.

Научный руководитель: Салина М.С., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Проведено моделирование процесса горячей объемной штамповки в программе DEFORM. Получены графики различных видов напряжений в процессе горячей объемной штамповки и проведен анализ процесса.

Методы формообразования деталей пластическим деформированием, такие как горячая объемная штамповка, сохраняют свою актуальность благодаря способности одновременно решать задачи придания сложной геометрической формы и улучшения эксплуатационных характеристик материала. Ключевое преимущество этих процессов заключается в формировании заданной макроструктуры, обеспечивающей повышенную надежность изделий для критических применений в аэрокосмической промышленности и энергомашиностроении [1, 2, 3].

Горячая объемная штамповка в современном машиностроении представляет собой ключевую технологию для производства высококачественных металлических изделий сложной формы. Этот процесс включает, нагрев заготовок до высоких температур, что позволяет материала стать пластичным и легче поддаваться деформации. Моделирование горячей объемной штамповки в программе DEFORM позволяет предсказать и оптимизировать процесс, учитывая деформацию металла, распределение температуры и напряжения. Это помогает избежать дефектов, повысить эффективность производства и сократить затраты на изготовление штампов. DEFORM (DEformation FORMing) - это программный комплекс, используемый для моделирования различных процессов обработки металлов давлением, включая горячую объемную штамповку. Этапы моделирования процесса включают: подготовку модели, выбор методов расчета, анализ результатов и постобработку. Использование DEFORM позволяет выявить недостатки и устранить их, тем самым снижая трудозатраты и расход реальных ресурсов.

Проведем моделирование процесса штамповки детали «Вал» в программе DEFORM. В качестве исходных данных используется чертеж детали (рис.1), адаптированный из шведского сборника по стандартам ISO для инженерного обучения [4], чертеж поковки [5] (рис.2) и два перехода (штамповочный и разделительный) в операции горячей объемной штамповки [6-9] (рис.3)

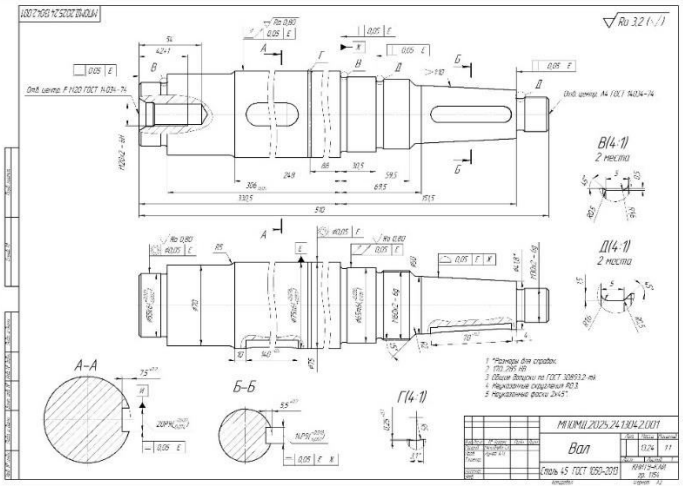


Рисунок 1. Чертеж детали «Вал»

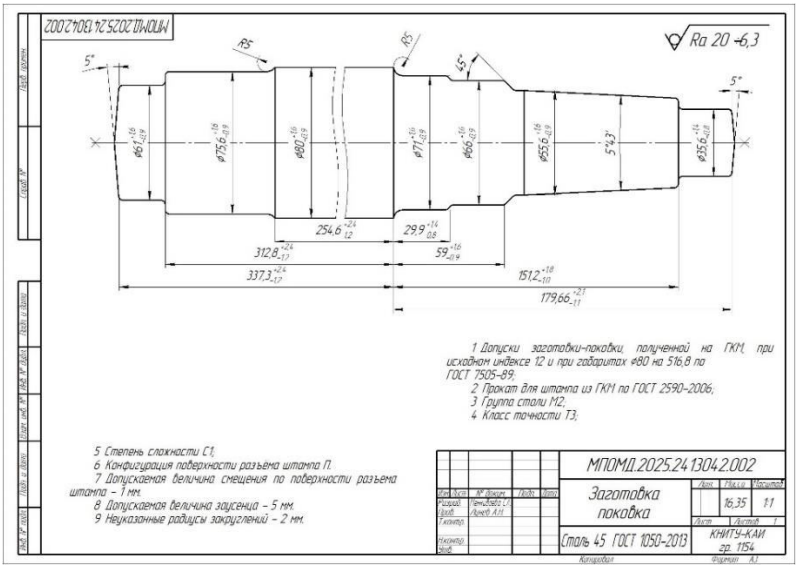


Рисунок 2. Чертеж поковки детали «Вал»

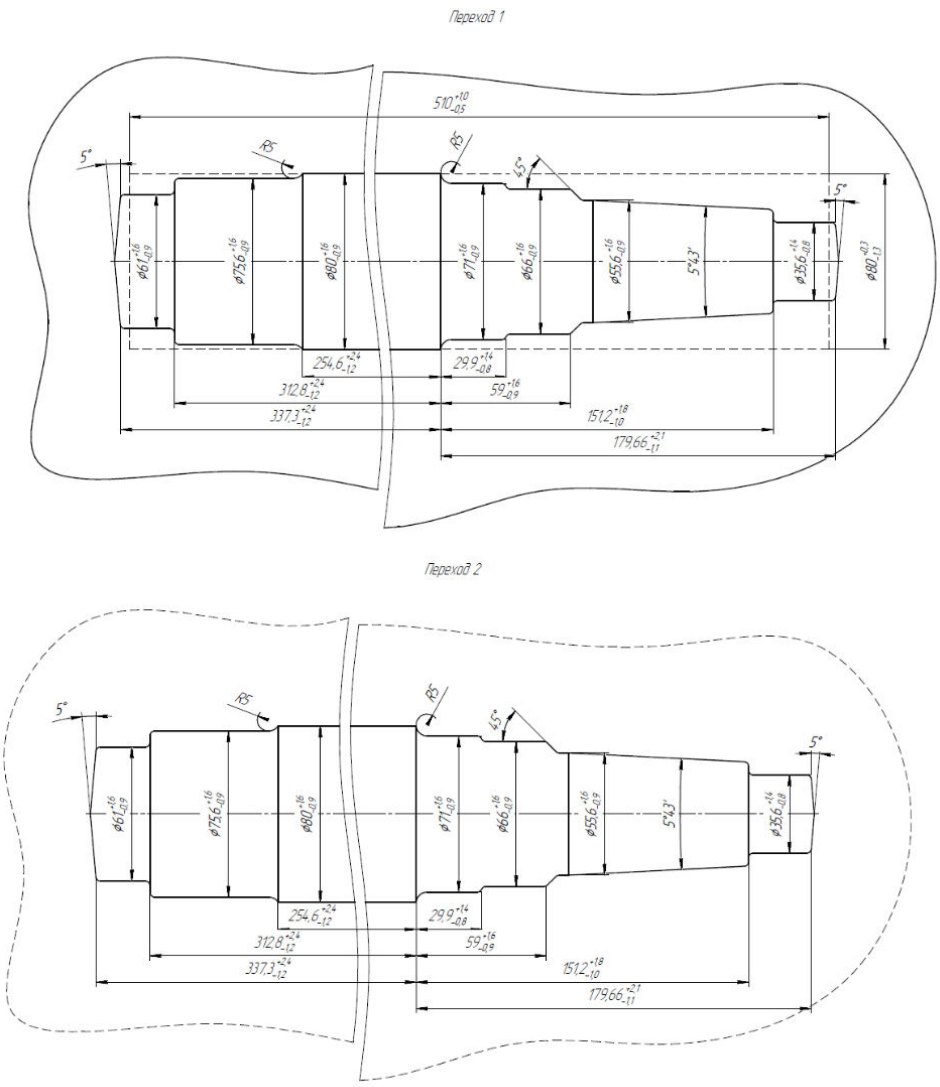


Рисунок 3. Переходы штамповки

Для получения поковки используется штамп кривошипно-горячештамповочного пресса, который нагревает заготовку до высокой температуры, после чего она формируется в штампах под давлением. Эти прессы обеспечивают высокую точность и повторяемость,

позволяя получать детали сложной формы с минимальными затратами времени и материалов. Их применение также улучшает механические свойства, повышая прочность и долговечность материалов.

Процесс горячей объемной штамповки как сказано выше включает два перехода. Первый переход - это штамповочный. В КОМПАС 3D создается исходная заготовка, затем импортируется в пре-процессор DEFORM-3D. Верхний и нижний штамп создается и импортируется аналогично (рис. 4).

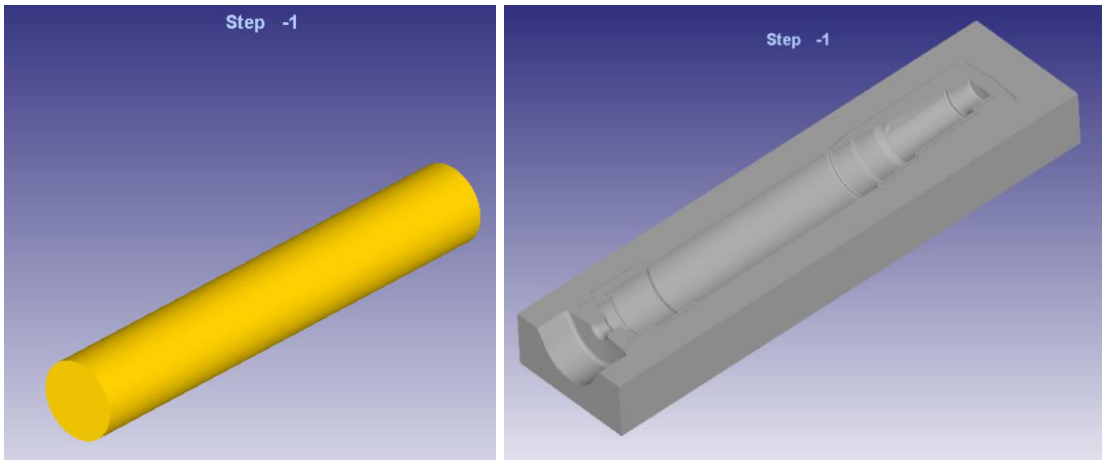


Рисунок 4. Геометрия исходной заготовки и штампа

Далее создается сетка конечных элементов и задается материал исходной заготовки (рис 5).

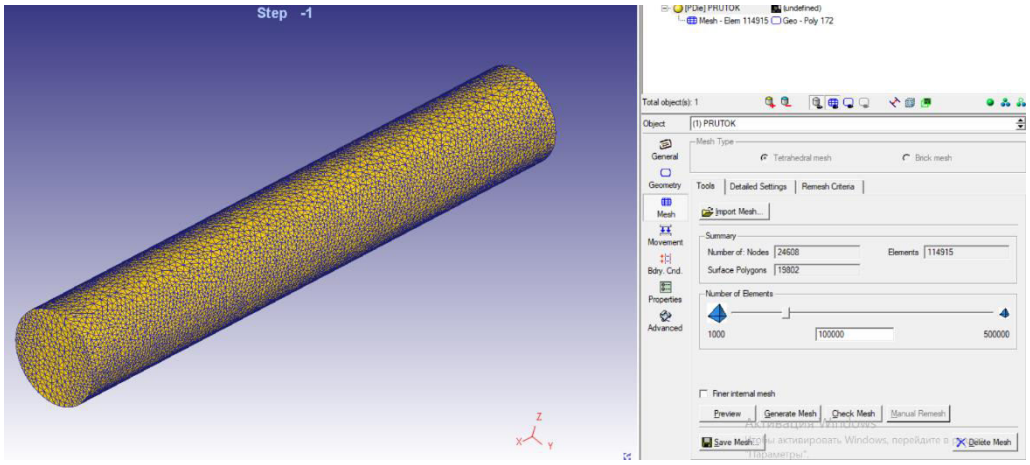
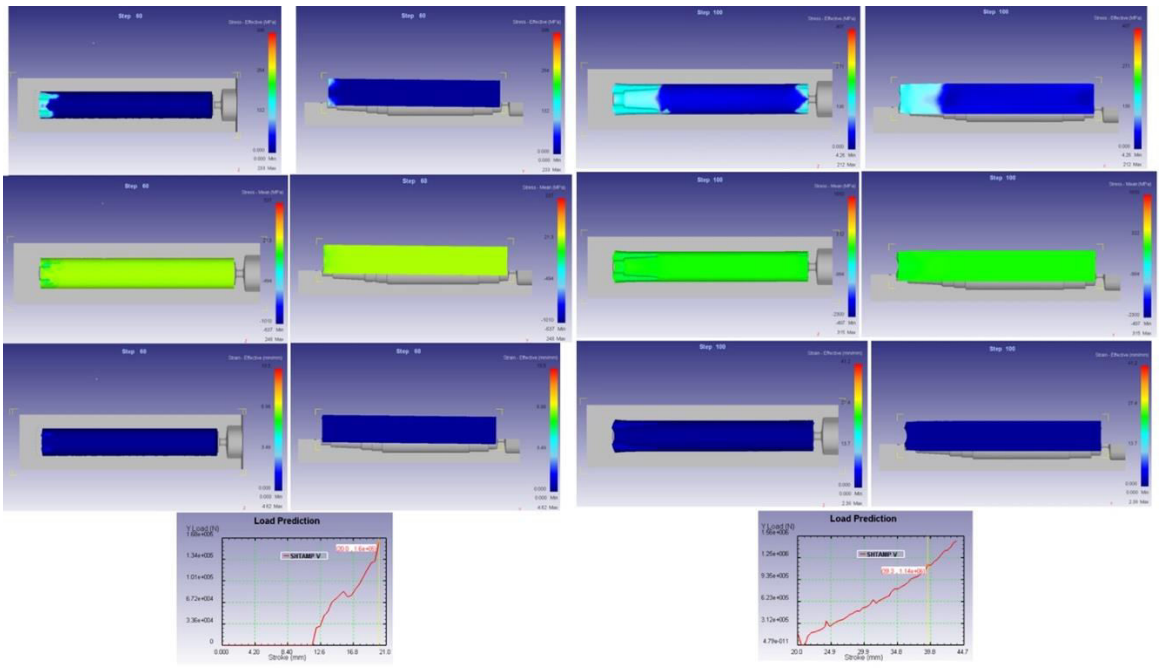


Рисунок 5. Сетка конечных элементов

Затем определяются граничные условия теплообмена и деформации для геометрии заготовки и штампов и задаются параметры расчета, который состоят из теплообмена и ударов.

В конце перехода генерируется база данных и закрывается пре-процессор. Потом запускается симуляция по сформированной базе данных. После окончания симуляции запускается пост-процессор и выводится результат в виде графиков. В результате получаем четыре удара.

В конце расчета были получены результаты измерений в виде цветных картин распределения напряжений и графика зависимости усилия деформирования от перемещения штампа (рис. 6 - 8).



I II

Рисунок 6. Картины распределения напряжений и график зависимости усилия деформирования для первого и второго удара

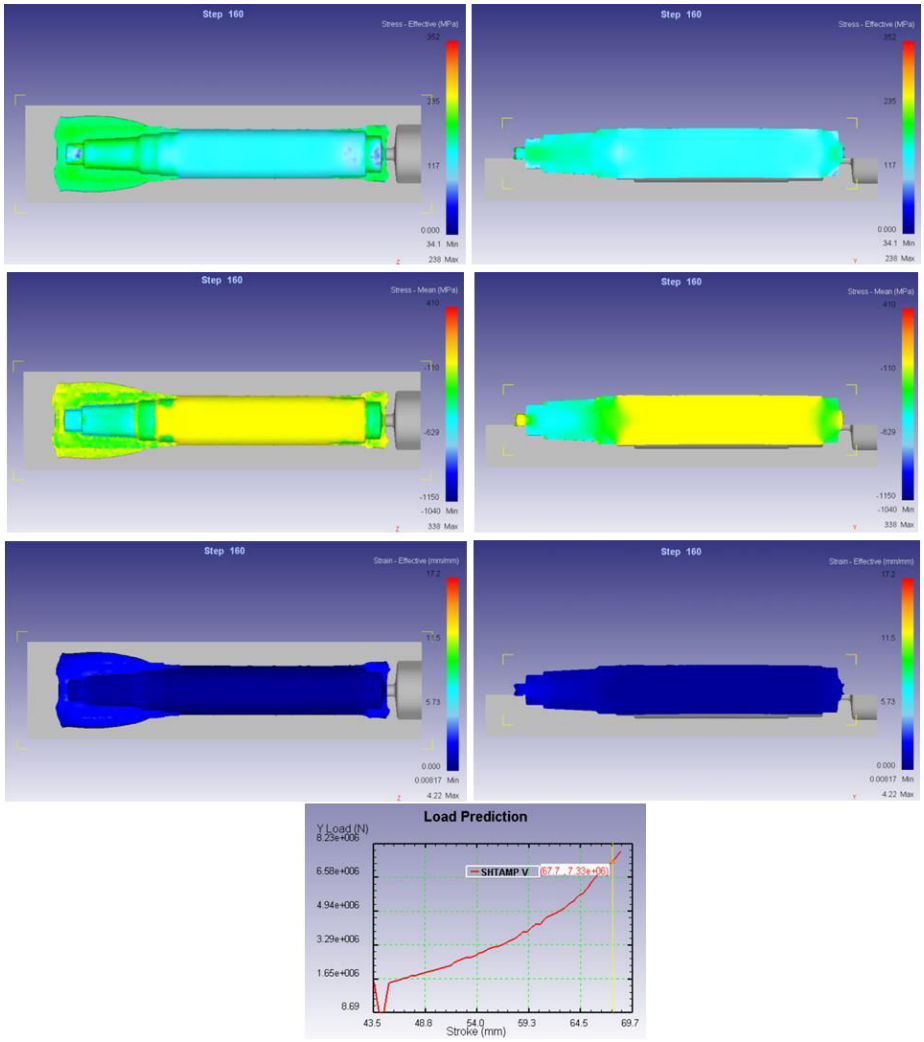


Рисунок 7. Картины распределения напряжений и график зависимости усилия деформирования для третьего удара

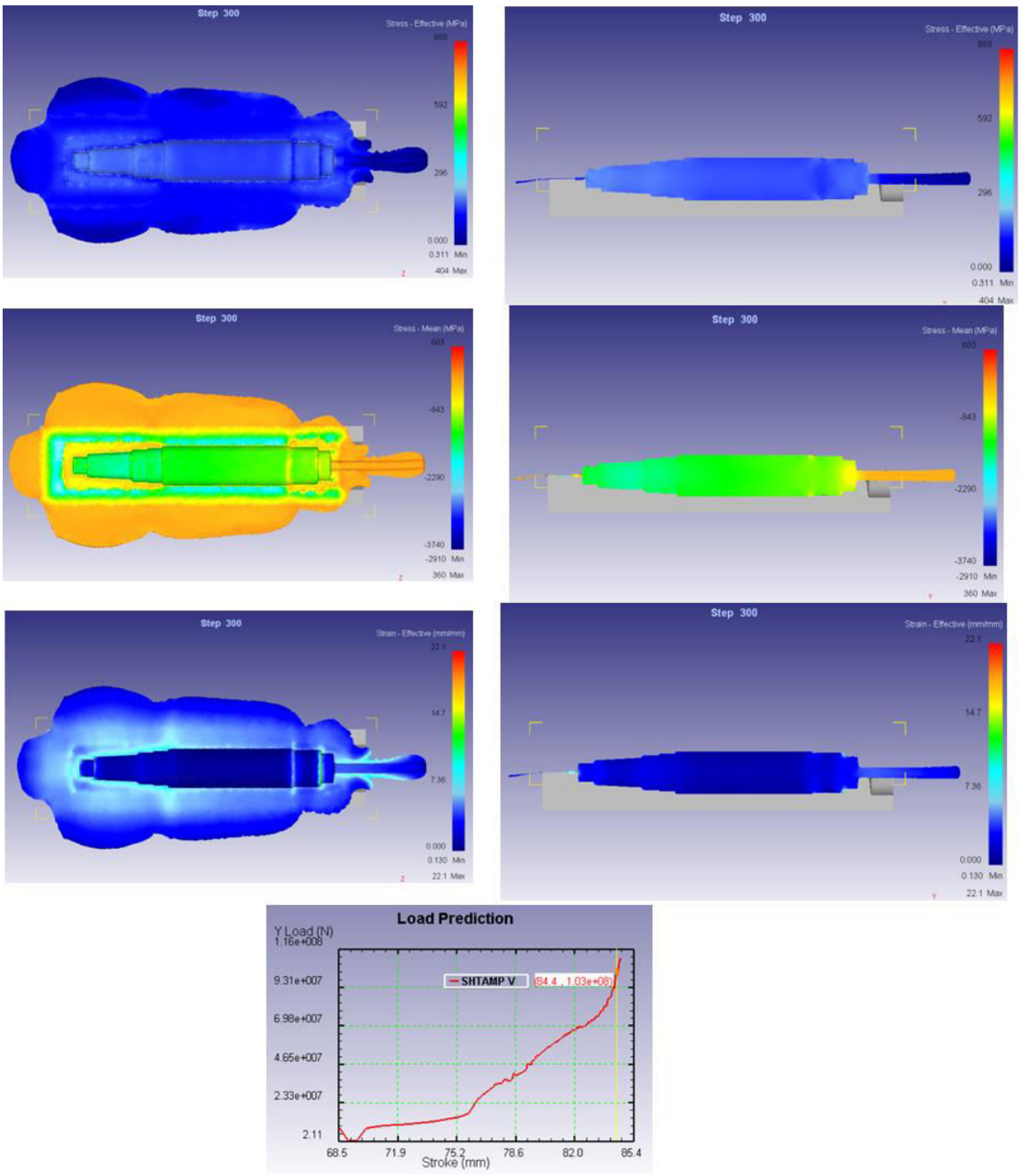


Рисунок 8. Картины распределения напряжений и график зависимости усилия деформирования для четвертого удара

На картинах распределения напряжений можно наблюдать, что наибольшая интенсивность деформаций и напряжений приходится на места резкого изменения направления сечения детали, а именно при образовании облоя и контура изделия, особенно это видно на третьем и четвертом ударе. Эти места являются локальными концентраторами напряжений.

Таким образом в процессе штамповки вала были зафиксированы следующие показатели усилия по ударам:

- Первый удар: 168 кН
- Второй удар: 1,56 МН
- Третий удар: 8,23 МН
- Четвертый удар: 1,16 МН

Анализ результатов показал, что некорректный выбор исходной длины заготовки привёл к избыточному образованию облоя в готовой детали. Это свидетельствует о

необходимости более точного расчёта параметров заготовки для оптимизации процесса штамповки и минимизации отходов производства.

При использовании программного комплекса DEFORM в ходе моделирования были зафиксированы следующие показатели усилия по ударам: 1) первый удар – 168 кН; 2) второй удар – 1,56 МН; 3) третий удар – 8,23 МН; 4) четвертый удар – 1,16 МН. Также были получены изображения распределения деформаций и напряжений, на которых четко видны области с концентрацией напряжений и корректность заполнения канала.

Таким образом, процесс горячей объемной штамповки можно смоделировать. Использование компьютерного моделирования позволяет значительно сократить сроки производства, повысить качество продукции и уменьшить ее себестоимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Салина М.С.* Проектирование процесса горячей объемной штамповки поковки "Втулка" в программном комплексе DEFORM-3D / М. С. Салина // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики (АНТЭ-2024): материалы IX Всероссийской научно-технической конференции, Казань, 03–04 октября 2024 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2024. – С. 416-418.

2. *Салина М.С.* Формообразование из композиционных материалов элементов конструкций летательных аппаратов: специальность 05.07.02 "Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Салина Марина Сергеевна. – Казань, 2016. – 22 с.

3. *Салина М.С.* Деформированное и напряженное состояние при пластическом кручении эллиптических валов / М. С. Салина, Ю. П. Катаев // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014. – № 1. – С. 52-58.

4. Национальный стандарт Российской Федерации. Поковки стальные штампованные: допуски, припуски и кузнечные напуски: ГОСТ 7505-89. — Введ. 1990-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — IV, 18 с.

5. Национальный стандарт Российской Федерации. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей: общие технические условия: ГОСТ 1050-2013. — Введ. 2015-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2014. — 46 с.

6. Национальный стандарт Российской Федерации. Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый: сортамент: ГОСТ 2590-2006. — Введ. 2007-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — 13 с.

7. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка: в 2 т. Т. 1 / Е. И. Семенов, А. О. Ганаго, Л. И. Живов [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1985. — 567 с.

8. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка: в 2 т. Т. 2 / Е. И. Семенов, А. О. Ганаго, Л. И. Живов [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1985. — 592 с.

9. *Бабенко В.А.* Объемная штамповка: атлас схем и типовых конструкций штампов: учебное пособие для машиностроительных вузов / В.А. Бабенко, В.В. Бойцов, Ю.П. Волик. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Машиностроение, 1982. — 104 с.

MODELING OF THE PROCESS OF HOT VOLUMETRIC STAMPING OF A SHAFT PART IN THE DEFORM SOFTWARE PACKAGE

Mennibaeva S.A.

Supervisor: Salina M.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The simulation of the process of hot volumetric stamping in the DEFORM program is carried out. Graphs of various types of stresses in the process of hot volumetric stamping are obtained and an analysis of the process is carried out.

УДК 629.7

ИМИТАЦИЯ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ «КОРПУС УСТАНОВОЧНЫЙ» С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ КРИТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ И НАГРУЗОК

Мехрякова К.И.

Научный руководитель: Салина М.С., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе представлено комплексное исследование процесса горячей объемной штамповки детали «Корпус установочный» с использованием современного программного комплекса DEFORM-3D. В работе рассмотрены этапы технологического процесса штамповки, включая выбор заготовки, проектирование штампа и моделирование двух переходов деформирования с анализом полученных результатов.

Методы обработки давлением, в частности горячая объемная штамповка, сохраняют высокую актуальность в современном машиностроении благодаря комплексному воздействию на материал. Эти процессы обеспечивают не только формообразование, но и целенаправленное улучшение механических свойств за счет формирования оптимальной структуры металла, что отвечает растущим требованиям к надежности деталей в авиастроении, энергетике и других наукоемких отраслях [1, 2, 3].

DEFORM – специализированный инженерный программный комплекс, предназначенный для анализа процессов обработки металлов давлением, термической и механической обработки. DEFORM позволяет проверить, отработать и оптимизировать технологические процессы непосредственно за компьютером, а не в ходе экспериментов на производстве методом проб и ошибок.

В современных условиях развития промышленного производства особую актуальность приобретает внедрение цифровых технологий моделирования технологических процессов. Программный комплекс DEFORM представляет собой инновационное решение, его применение позволяет существенно сократить затраты на производственные эксперименты, оптимизировать работу и повысить качество выпускаемой продукции при одновременном снижении её себестоимости.

Важность исследования обусловлена необходимостью цифровой трансформации производства и перехода к компьютерному моделированию технологических процессов. Использование DEFORM дает возможность проверять и отрабатывать технологические процессы непосредственно на компьютере, что значительно сокращает сроки выпуска продукции на рынок и минимизирует производственные риски.

Целью данной работы является моделирование процесса горячей объемной штамповки детали «Корпус установочный» в программном комплексе DEFORM и получение достоверных данных о параметрах процесса штамповки.

В качестве исходных данных используется чертеж детали «Корпус установочный» (код по ЕСКД: 711752 [4]) (рис. 1), чертеж поковки (по ГОСТ 7505-89 «Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски» [2]) (рис. 2) и переходы в операции горячей объемной штамповки [5], [6] (рис. 3).

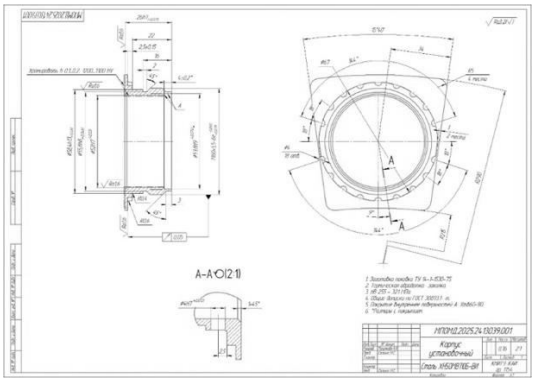


Рисунок 1. Рабочий чертеж детали

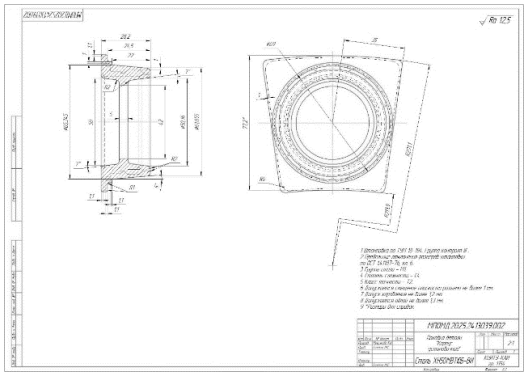


Рисунок 2. Чертеж поковки детали «Корпус установочный»

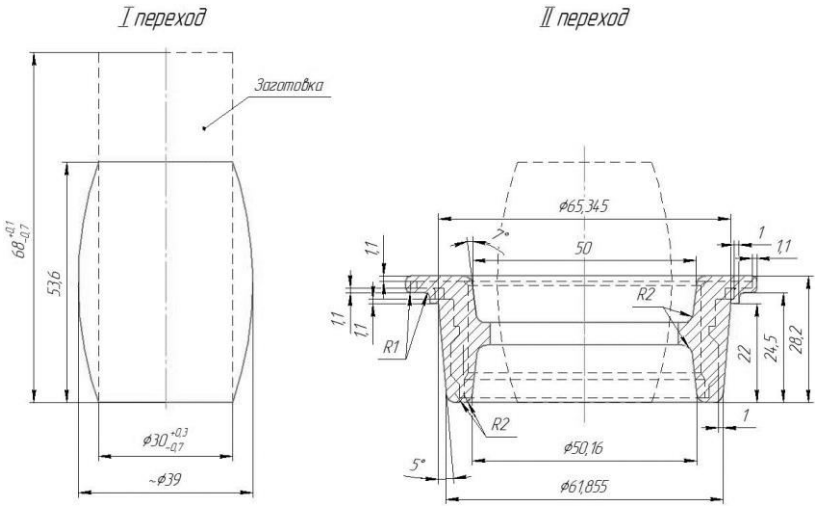


Рисунок 3. Переходы штамповки

В процессе производства поковки применяется штамп, установленный на кривошипно-горячештамповочном прессе [7] (рис. 4). Технология включает предварительный нагрев заготовки до требуемой температуры с последующим формообразованием в штампах посредством приложения давления [8, 9]. Использование данного типа оборудования характеризуется высокой точностью получаемых изделий, стабильность повторяемости результатов, возможностью изготовления деталей сложной конфигурации, оптимизацией временных затрат на производство и рациональным использование материала.

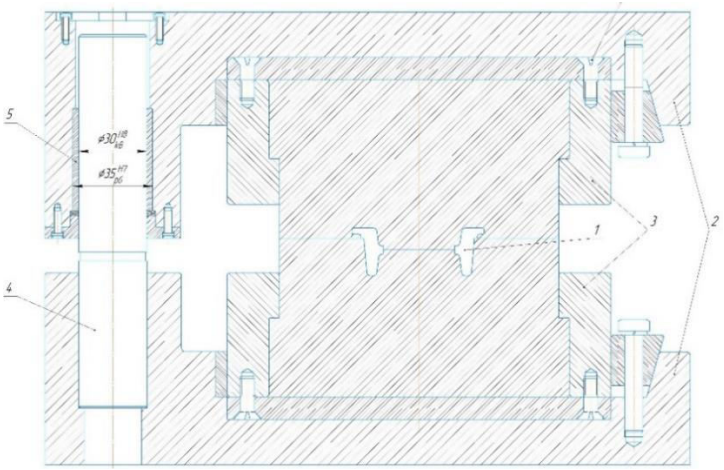


Рисунок 4. Чертеж кривошипно-горячештамповочного пресса (1– поковка, 2 - верхняя и нижняя плита, 3– верхняя и нижняя вставка, 4– направляющая колонна, 5– направляющая втулка, 6– болты)

Процесс горячей объемной штамповки как сказано выше включает два перехода. Первый переход - это осадка. В пре-процессоре программы создается упрощенная цилиндрическая модель и ее сетка конечных элементов, а так же размещаются верхний и нижний штамп относительно заготовки. Далее моделируется касание штампов и заготовки, и задаются параметры расчета: скорость перемещения верхнего инструмента - 2 дюйм/сек, количество шагов симуляции – 60, главный инструмент – верхний, дистанция перемещения - 14,4 мм. Итог – база данных, далее запускается симуляция и в пост-процессоре выводится результат в виде графиков.

Второй переход операция высадки осаженной заготовки, происходит аналогично первому, меняются только модели штампа. Количество шагов симуляции – 90, главный инструмент – верхний, дистанция перемещения - 39,15 мм, скорость - 0,435 мм/шаг.

В конце расчета были получены результаты измерений в виде изображений распределения напряжений и деформаций (осадка – рис. 5, 6, 7, высадка – рис. 9, 10, 11) и графика зависимости усилия деформирования от перемещения штампа (осадка – рис. 8, высадка – рис. 12).

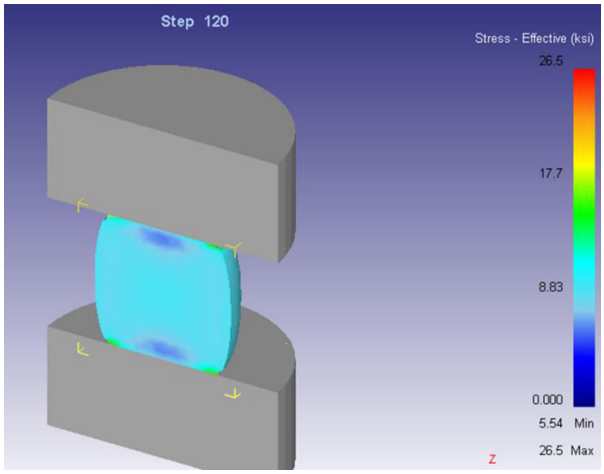


Рисунок 5. Интенсивность распределения напряжений

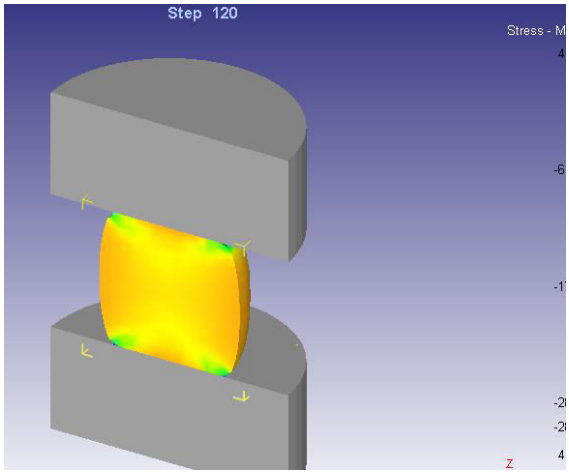


Рисунок 6. Распределение средних напряжений

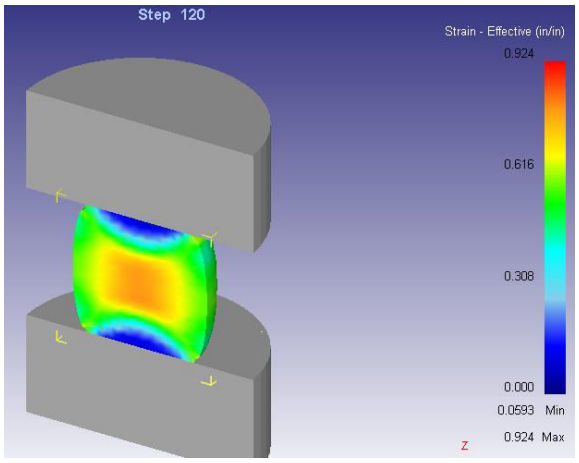


Рисунок 7. Интенсивность распределения деформаций

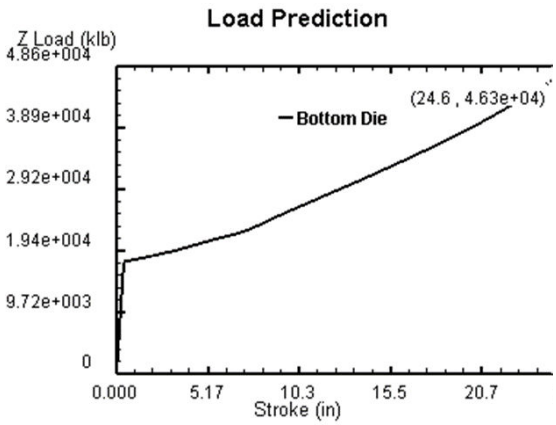


Рисунок 8. График зависимости усилия при осадке от перемещения штампа

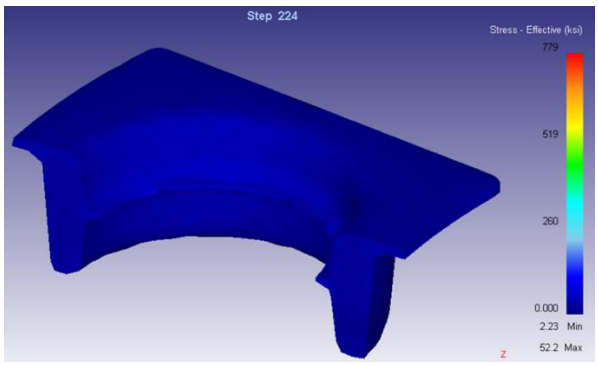


Рисунок 9. Интенсивность распределения напряжений

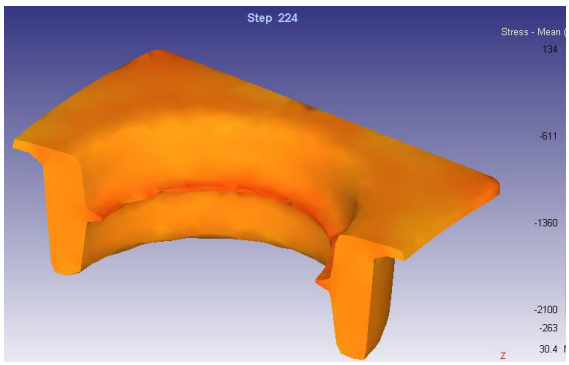


Рисунок 10. Распределение средних напряжений

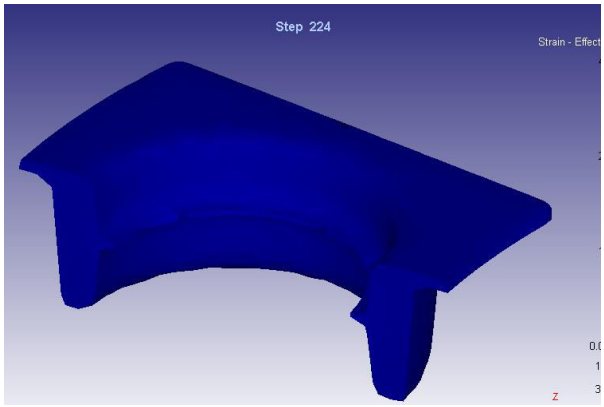


Рисунок 11. Интенсивность распределения деформаций

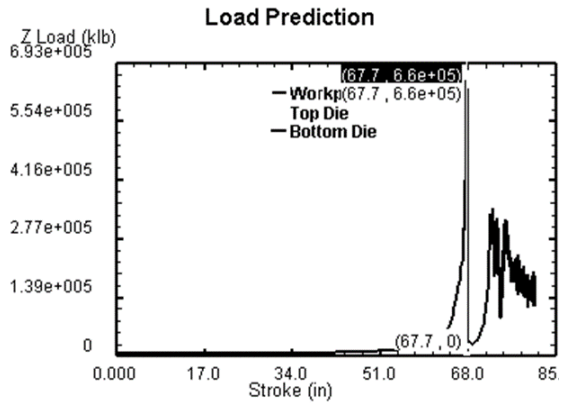


Рисунок 12. График зависимости усилия деформирования от перемещения штампа

На рисунках можно наблюдать локальные концентраторы, то есть места максимальной интенсивность деформаций и напряжений (области резкого изменения сечения, скруглений и сужений). Усилие при осадке - 48,6 кН, усилие при высадке - 693 кН.

В результате проведенного исследования были достигнуты поставленные цели и решены все задачи по моделированию процесса горячей объемной штамповки детали «Корпус установочный» в программном комплексе DEFORM-3D.

Было проведено успешное моделирование двух переходов горячей объемной штамповки, создана достоверная модель процесса штамповки, определены оптимальные параметры процесса деформирования, получена информация о распределении напряжений и деформаций и выявлены зоны концентрации напряжений. Исходя из большой разницы между усилием при осадке и высадке (усилия при высадке не должны сильно превышать усилия при осадке) можно сделать вывод о том, что на первом этапе (осадке) для получения более точных результатов необходимо увеличить мощность удара.

Технологические преимущества применения компьютерного моделирования в DEFORM-3D проявляются в следующих аспектах: повышение качества выпускаемой продукции за счет оптимизации параметров деформирования, возможность прогнозирования и предотвращения дефектов при штамповке, высокая точность расчета усилий деформирования и распределения напряжений.

Таким образом, проведенное исследование демонстрирует высокую эффективность использования программного комплекса DEFORM-3D для моделирования процессов горячей объемной штамповки. Полученные результаты могут служить основой для дальнейших исследований в данной области и способствовать повышению конкурентоспособности производства за счет оптимизации технологических процессов и снижения производственных затрат.

Внедрение компьютерного моделирования в практику проектирования технологических процессов является важным шагом к цифровой трансформации производства и повышению его эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Салина М.С.* Проектирование процесса горячей объемной штамповки поковки "Втулка" в программном комплексе DEFORM-3D / М. С. Салина // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики (АНТЭ-2024): материалы IX Всероссийской научно-технической конференции, Казань, 03–04 октября 2024 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2024. – С. 416-418.

2. *Салина М.С.* Формообразование из композиционных материалов элементов конструкций летательных аппаратов: специальность 05.07.02 "Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Салина Марина Сергеевна. – Казань, 2016. – 22 с.

3. *Салина М.С.* Деформированное и напряженное состояние при пластическом кручении эллиптических валов / М. С. Салина, Ю. П. Катаев // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014. – № 1. – С. 52-58.

4. Национальный стандарт Российской Федерации. Поковки стальные штампованные: допуски, припуски и кузнечные напуски: ГОСТ 7505-89. — Введ. 1990-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — IV, 18 с.

5. Национальный стандарт Российской Федерации. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей: общие технические условия: ГОСТ 1050-2013. — Введ. 2015-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2014. — 46 с.

6. Национальный стандарт Российской Федерации. Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый: сортамент: ГОСТ 2590-2006. — Введ. 2007-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — 13 с.

7. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка: в 2 т. Т. 1 / Е. И. Семенов, А. О. Ганаго, Л. И. Живов [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1985. — 567 с.

8. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка: в 2 т. Т. 2 / Е. И. Семенов, А. О. Ганаго, Л. И. Живов [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1985. — 592 с.

9. *Бабенко В.А.* Объемная штамповка: атлас схем и типовых конструкций штампов: учебное пособие для машиностроительных вузов / В.А. Бабенко, В.В. Бойцов, Ю.П. Волик. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Машиностроение, 1982. — 104 с.

SIMULATION OF THE PROCESS OF HOT VOLUME STAMPING "INSTALLATION HOUSING" WITH DETERMINATION OF CRITICAL DEFORMATIONS AND LOADS

Mekhryakova K.I.

Supervisor: Salina M.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. This paper presents a comprehensive study of the process of hot volumetric stamping of the "Installation housing" part using the modern DEFORM-3D software package. The paper considers the stages of the stamping process, including the selection of a blank, die design, and modeling of two deformation transitions with an analysis of the results obtained.

УДК 629.7

ОПТИМИЗАЦИЯ УСИЛИЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКЕ ДЕТАЛИ «ВТУЛКА» НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ В DEFORM

Михеев А.С.

Научный руководитель: Салина М.С., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В программе DEFORM было выполнено моделирование процесса горячей объемной штамповки, что позволило получить графики различных видов напряжений, возникающих в ходе этого процесса, а также провести его анализ. Горячая объемная штамповка представляет собой одну из основных технологий современного машиностроения, обеспечивая производство высококачественных металлических изделий сложной формы. Данный процесс включает в себя нагрев заготовок до высоких температур, что делает материал пластичным и легким для деформации.

Актуальность методов формообразования деталей в машиностроении способом пластического деформирования, к которым относится горячая объемная штамповка, обусловлена их способностью не только придавать сложную форму, но и существенно улучшать механические свойства материала за счет формирования благоприятной макро- и микроструктуры. Эти процессы являются ключевыми для создания высоконагруженных деталей в таких передовых отраслях, как аэрокосмическая и энергетическая, где к надежности и долговечности компонентов предъявляются исключительные требования [1, 2, 3].

Моделирование горячей объемной штамповки с использованием DEFORM позволяет прогнозировать и оптимизировать процесс с учетом таких параметров, как деформация металла, распределение температуры и напряжения. Это, в свою очередь, помогает уменьшить вероятность возникновения дефектов, повысить эффективность производства и сократить затраты на изготовление штампов. DEFORM (сокращение от DEformation FORMing) представляет собой программное обеспечение, предназначенное для моделирования различных процессов обработки металлов под давлением, включая горячую объемную штамповку.

Процесс моделирования состоит из нескольких этапов: создание модели, выбор расчетных методов, анализ полученных данных и их дальнейшая обработка. Применение DEFORM позволяет не только обнаруживать потенциальные недостатки в процессах, но и эффективно их устранять, что приводит к уменьшению трудозатрат и экономии ресурсов. Более того, эта программа способствует повышению качества конечной продукции и ускорению разработки новых изделий, что делает ее весьма ценным инструментом в сфере металлообработки.

Проведем моделирование процесса штамповки детали «Втулка» в программе DEFORM. Исходных данными используется чертеж детали (рис.1), чертеж поковки [4] (рис.2) и переходы в операции горячей объемной штамповки (рис.3).

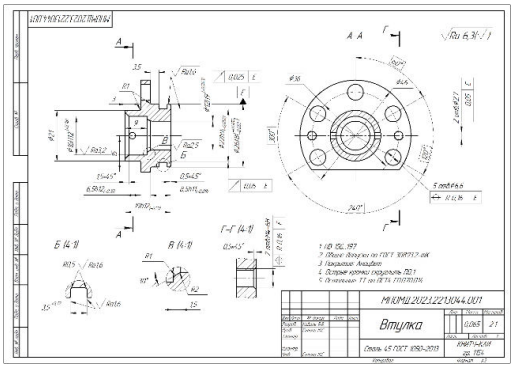


Рисунок 1. Чертеж детали «Полый вал»

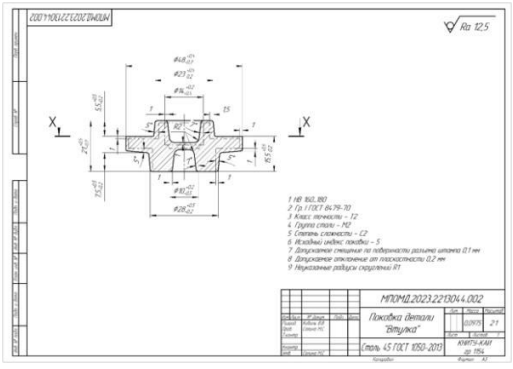


Рисунок 2. Чертеж поковки

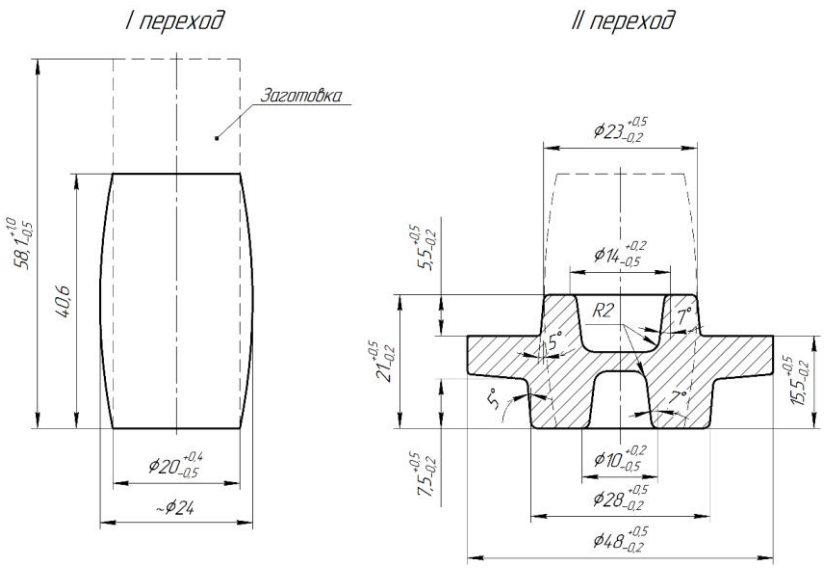


Рисунок 3. Переходы штамповки

Процесс горячей объемной штамповки, как уже упоминалось, делится на два этапа [5]. Первый этап называется осадкой. На предварительном этапе в программе создается упрощенная цилиндрическая модель, формируется сетка конечных элементов (см. рисунки 5 и 6), а также осуществляется размещение верхнего и нижнего штампов относительно заготовки (см. рисунки 7 и 8).

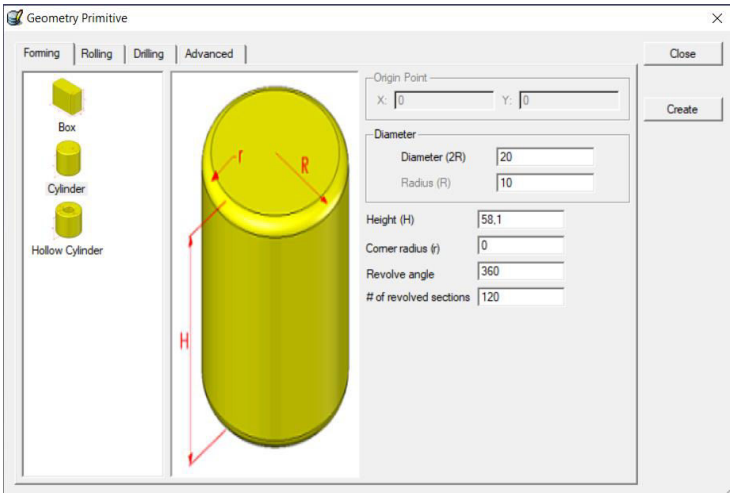


Рисунок 5. Геометрия исходной заготовки

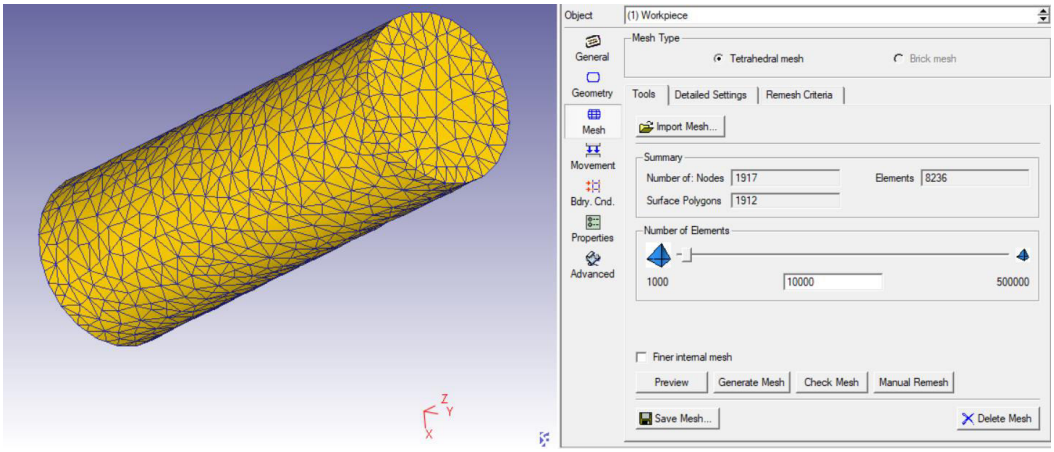


Рисунок 6. Сетка конечных элементов

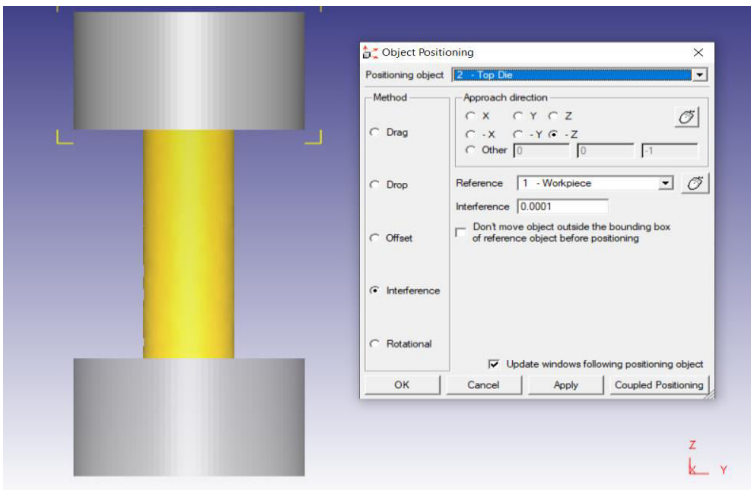


Рисунок 7. Взаимное расположение элементов

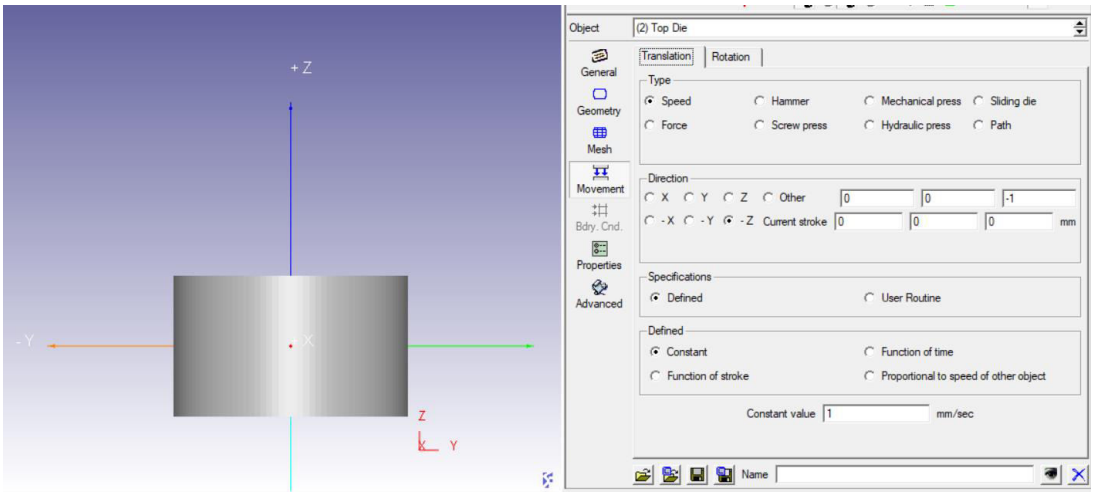


Рисунок 8. Перемещение инструмента

Далее осуществляется моделирование взаимодействия между штампами и заготовкой [6], в ходе которого определяются конкретные параметры для расчетов. Этот этап включает в себя настройку контактных свойств, таких как трение и давление, что позволяет более точно имитировать реальные условия в процессе горячей объемной штамповки (см. рисунки 9 и 10).

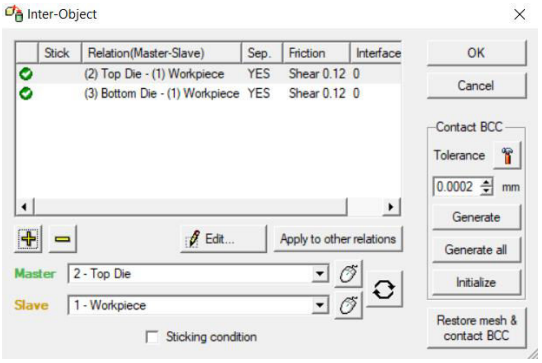


Рисунок 9. Взаимодействие между объектами

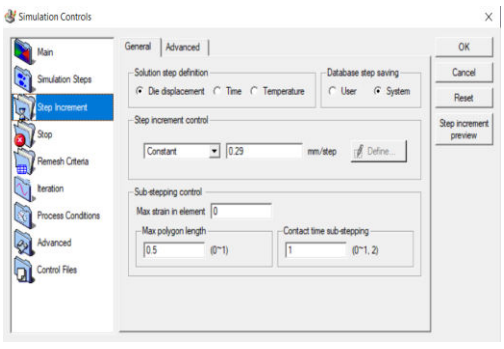


Рисунок 10. Настройки задачи

В конце этапа формируется база данных, и работа пре-процессора завершается. Затем запускается симуляция на основе этой базы данных. По завершении симуляции проводится постобработка, и результаты визуализируются в виде графиков.

Второй этап, представляющий собой процесс высадки осажденной заготовки, осуществляется аналогично первому, но с использованием других моделей штампов. Этот

переход требует обновления параметров и учета специфики новой конфигурации для обеспечения правильного взаимодействия и деформации материала (см. рисунки 11 и 12) [7].

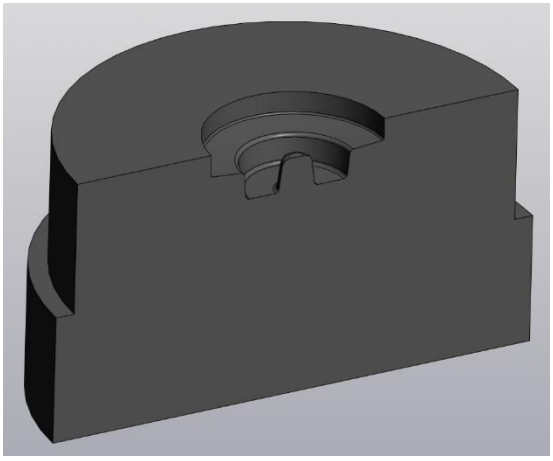


Рисунок 11. Нижний вкладыш

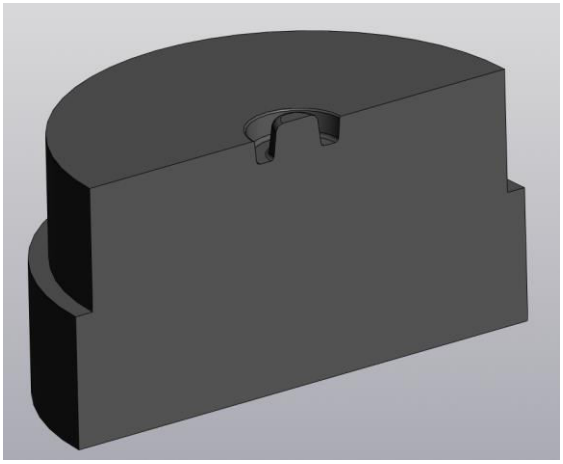


Рисунок 12. Верхний вкладыш

По окончании расчета были получены результаты в виде цветных карт, иллюстрирующих распределение напряжений, а также графика, отображающего зависимость силы деформирования от перемещения штампа. Эти данные позволяют анализировать поведение материала в процессе штамповки и визуализировать критические области, испытывающие максимальные деформации или напряжения. Такой анализ является важным для оптимизации процессов и повышения качества конечного изделия. (рисунок 13).

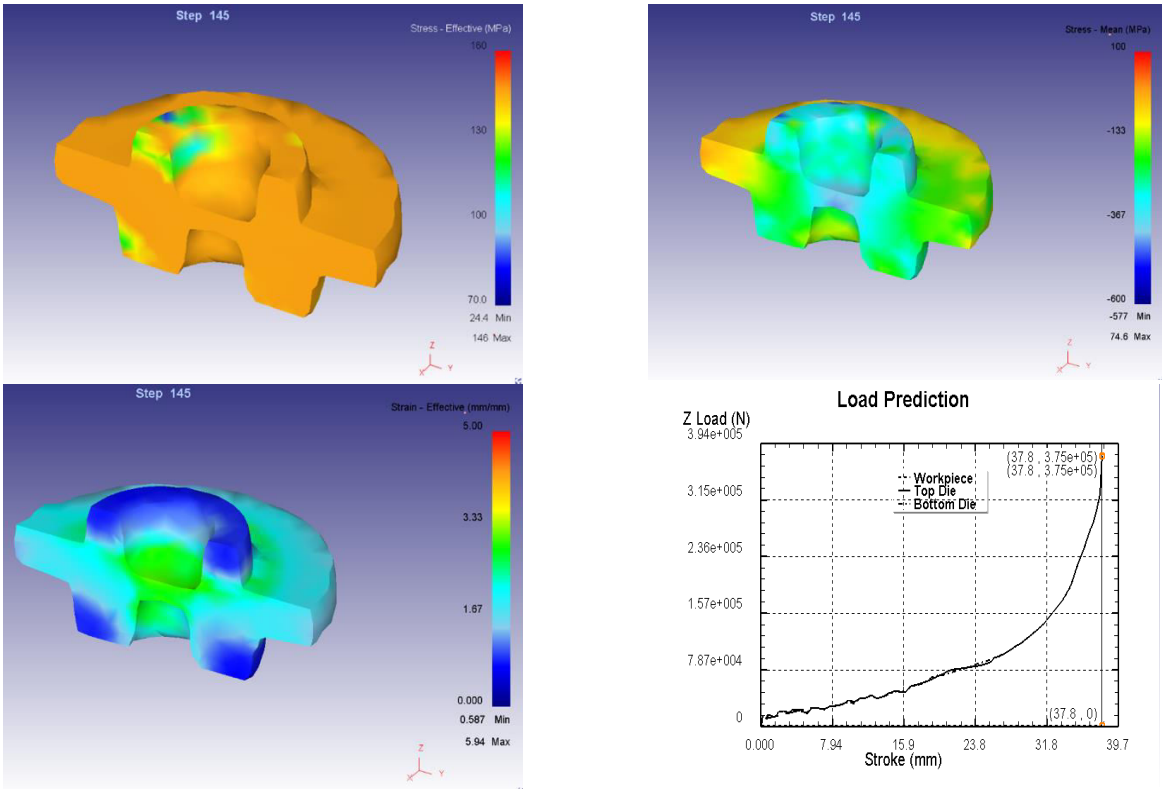


Рисунок 13. Картины распределения напряжений и график зависимости усилия деформирования

На картах распределения напряжений видно, что наибольшая интенсивность деформаций наблюдается в областях с резкими изменениями формы детали, а также в местах с закруглениями и сужениями. Эти участки служат локальными центрами концентрации

напряжений [8]. Исходя из графика, усилие, необходимое для высадки, составляет около 394 кН. Полученные данные подчеркивают важность внимательного анализа критических зон, так как они могут значительно влиять на прочность и целостность конечного изделия в процессе его производства.

В процессе моделирования с использованием программного комплекса DEFORM были получены следующие результаты: построен график зависимости силы деформирования от перемещения штампа, где усилие, необходимое для высадки, составило 394 кН. Также были получены изображения распределения деформаций и напряжений, на которых ясно видны зоны концентрации напряжений, а также подтверждено корректное заполнение канала. Эти результаты предоставляют возможность для детального анализа процесса штамповки и его оптимизации, что станет основой для достижения наилучших характеристик конечного изделия.

Таким образом, процесс горячей объемной штамповки был успешно смоделирован. Применение компьютерного моделирования значительно ускоряет производственные циклы, повышает качество изделий и способствует снижению их себестоимости. Эти преимущества делают использование подобных технологий особенно актуальным в условиях современного конкурентного рынка, где эффективность и качество продукции являются ключевыми факторами для достижения успеха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Салина М.С.* Проектирование процесса горячей объемной штамповки поковки "Втулка" в программном комплексе DEFORM-3D / М. С. Салина // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики (АНТЭ-2024): материалы IX Всероссийской научно-технической конференции, Казань, 03–04 октября 2024 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2024. – С. 416-418.

2. *Салина М.С.* Формообразование из композиционных материалов элементов конструкций летательных аппаратов: специальность 05.07.02 "Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Салина Марина Сергеевна. – Казань, 2016. – 22 с.

3. *Салина М.С.* Деформированное и напряженное состояние при пластическом кручении эллиптических валов / М. С. Салина, Ю. П. Катаев // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014. – № 1. – С. 52-58.

4. Национальный стандарт Российской Федерации. Поковки стальные штампованные: допуски, припуски и кузнечные напуски: ГОСТ 7505-89. — Введ. 1990-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — IV, 18 с.

5. Национальный стандарт Российской Федерации. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей: общие технические условия: ГОСТ 1050-2013. — Введ. 2015-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2014. — 46 с.

6. Национальный стандарт Российской Федерации. Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый: сортамент: ГОСТ 2590-2006. — Введ. 2007-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — 13 с.

7. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка: в 2 т. Т. 1 / Е. И. Семенов, А. О. Ганаго, Л. И. Живов [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1985. — 567 с.

8. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка: в 2 т. Т. 2 / Е. И. Семенов, А. О. Ганаго, Л. И. Живов [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1985. — 592 с.

OPTIMIZATION OF DEFORMATION FORCES IN HOT STAMPING OF A “BUSHING” PART BASED ON MODELING IN DEFORM

Mikheev A.S.

Supervisor: Salina M.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The DEFORM program was used to simulate the process of hot volumetric stamping. As a result, various types of stress graphs that occur during the stamping process were obtained, and a thorough analysis of this process was conducted. This analysis provided valuable insights into the stress distribution and deformation behavior of materials, allowing for a better understanding of the factors affecting the quality and integrity of the final product. Overall, the simulation results contribute to optimizing the hot volumetric stamping process and enhancing production efficiency.

УДК 629.7

ВНЕДРЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ РЕШЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВО ДЕТАЛИ «ПОЛУОСЬ»

Мустафин Р.О.
Научный руководитель: Салина М.С., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В представленной работе рассматривается совершенствование технологического процесса производства деталей типа тел вращения. Основное внимание уделено оптимизации ключевых аспектов изготовления детали «Полуось» посредством внедрения автоматизированных решений. В результате проведенного исследования разработан модернизированный технологический процесс, а также предложена комплексная роботизированная система, обеспечивающая повышение эффективности производства.

Современные тенденции в области машиностроения характеризуются активным внедрением автоматизированных и роботизированных систем, направленных на повышение точности, стабильности и бесперебойности производственных процессов. В данной работе ставится задача проектирования технологии изготовления детали «Полуось» с применением средств автоматизации. Основные этапы исследования включают анализ конструктивных особенностей детали и выбор оптимального типа заготовки, разработку технологического маршрута обработки с обоснованием выбора оборудования, расчет размерных цепей и режимов резания, а также проектирование робототехнического комплекса для автоматизации производства. Теоретической основой исследования послужили принципы технологического проектирования, методы расчета размерных цепей и режимов резания, а также современные подходы к автоматизации машиностроительных производств [1-3].

В исследовательской части был проведен анализ конструкции детали, сделан выбор и обоснование используемой заготовки, разработан технологический процесс изготовления детали и произведен расчет размерных цепей.

Деталь «Полуось» относится к категории тел вращения (классификационный код по ОК ЕСКД: 715453) [4].

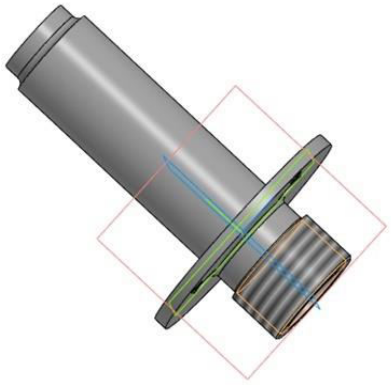


Рисунок 1. 3D модель детали «Полуось»

В качестве материала выбрана сталь марки 40Х, обладающая следующими характеристиками: предел прочности 960 МПа, плотность 7820 кг/м³, твердость после термической обработки 20–25 HRC. Годовой объем выпуска составляет 4800 единиц, что соответствует среднесерийному типу производства. Масса одной детали — 0,16 кг.

Проведен сравнительный анализ двух вариантов заготовок. Первый вариант — стальной прокат диаметром 70 мм с коэффициентом использования материала (КИМ) 0,059, значительным объемом отходов в виде стружки и увеличенным временем механической обработки. Второй вариант — поковка, полученная методом ковки в штампах, с КИМ 0,3, минимальными припусками на обработку и оптимальностью для среднесерийного производства. На основании проведенного анализа выбран второй вариант как наиболее экономически и технологически целесообразный.

Технологический маршрут обработки детали включает заготовительную операцию, термическую обработку (закалка при температуре 800 °С с последующим отпуском при 600 °С), токарную обработку на станке с ЧПУ, повторную токарную обработку с ЧПУ, промывку и контроль качества. Для каждой операции определены основные и вспомогательные переходы, а также подобраны инструменты и режимы обработки.

При расчете размерных цепей был применен вероятностный метод расчета. Для осевого размера А1 исходные данные следующие [5]: номинальный размер 96,5js14 (±0,475) мм, минимальный припуск 1,0 мм, максимальный припуск 1,78 мм. Результат расчета: А1 = 95,11js12 (±0,175) мм. Аналогичным образом определены все операционные размеры с построением соответствующих эскизов.

Проектирование автоматизированного комплекса включало в себя:

1. Выбор оборудования. В качестве основного оборудования выбран токарный центр с ЧПУ модели RAIS T252 2S, обладающий следующими характеристиками: максимальный диаметр обработки 200 мм, мощность 11 кВт, класс точности, соответствующий стандарту DIN 8605–8607 [6].

2. Промышленный робот. Для автоматизации процесса выбран робот Kuka KP 70 R2100 с параметрами: грузоподъемность 85 кг, точность позиционирования ±0,05 мм, количество степеней свободы 6 [7]. Для данного робота была разработана траектория движения, под изготовление детали «Полуось», учитывая время на обработку детали и машинных переходов.

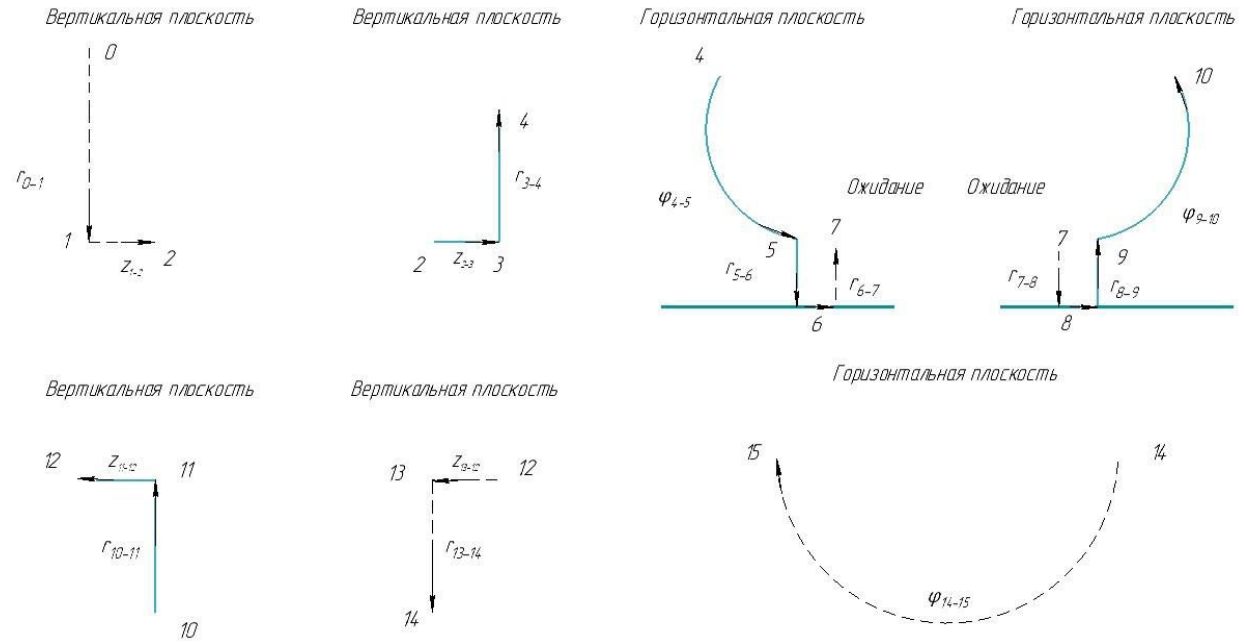


Рисунок 2. Схема траектории робота

3. Расчет производительности. Эксплуатационные показатели автоматизированной системы: цикловая производительность 10,1 деталей в час, коэффициент загрузки робота 0,01, коэффициент использования станка 0,73.

Проведенное исследование позволило достичь значительных результатов в области оптимизации производства детали "Полуось". Разработанный модернизированный технологический процесс демонстрирует существенное повышение эффективности изготовления детали за счет комплексного подхода, сочетающего рациональный выбор заготовки, оптимальные режимы обработки и современные методы автоматизации.

Реализация предложенных решений позволяет достичь комплексной оптимизации производства, что находит прямое отражение в ключевых экономических и технологических показателях. Сокращение производственных издержек достигается за счет глубокой оптимизации материалоемкости, когда минимизация отходов и рациональное использование сырья напрямую влияют на себестоимость единицы продукции. Параллельно повышается точность изготовления деталей, что становится возможным благодаря внедрению современного оборудования с числовым программным управлением, которое исключает субъективный человеческий фактор. Это, в свою очередь, обеспечивает высочайшую стабильность всего технологического процесса, создавая предсказуемые и воспроизводимые условия на каждом этапе. Залогом роста производительности является масштабная автоматизация ключевых и вспомогательных операций, в то время как последовательное вытеснение ручного труда из производственного цикла не только снижает операционные риски, но и высвобождает человеческие ресурсы для решения более сложных задач контроля и управления.

Перспективы дальнейших исследований видятся в углубленном анализе возможностей автоматизации производственного процесса. Это подразумевает создание целостной цифровой экосистемы, где внедрение систем автоматизированного контроля качества на основе машинного зрения и методов предиктивной аналитики позволит не просто фиксировать дефекты, а оптимизировать режимы обработки, предсказывая износ инструмента и предотвращая простои. Столь же значительный потенциал заключается в изучении возможностей применения альтернативных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками, таких как новые алюминиевые сплавы, металлокомпозиты или материалы, созданные аддитивными методами, что может открыть путь к созданию изделий следующего поколения с принципиально новым соотношением массы, прочности и долговечности. Таким образом, развитие данных направлений закладывает основу для перехода от автоматизированного к по-настоящему интеллектуальному и гибкому производству.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Салина М.С.* Формообразование резьбы в полимерных деталях / М.С. Салина, Ю.П.Катаев // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н.Туполева. – 2013. – № 4. – С. 81-86.

2. *Салина М.С.* Формообразование из композиционных материалов элементов конструкций летательных аппаратов: специальность 05.07.02 "Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Салина Марина Сергеевна. – Казань, 2016. – 22 с.

3. *Салина М.С.* Определение эмпирической зависимости скорости резания полимерных материалов от параметров технологического процесса // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2015. – № 2. – С. 55-58.

4. Справочник кодов общероссийских классификаторов. – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://classinform.ru (дата обращения: 01.06.2025).

5. *Авраменко В.Е., Терсков Ю.Ю.* Технология машиностроения. Расчёт припусков и межпереходных размеров // Красноярск: ПИ СФУ, 2007. С.210.

6. ООО «Компания «РуСтан». – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://rustan.ru/tokarnyi-tsentr-s-chpu-s-dvumya-revolvernymi-golovkami-protivoshpindel-t252-2s.htm (дата обращения: 01.06.2025).

7. Роботизация и автоматизация производства. – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://isrobotics.ru (дата обращения: 01.06.2025).

IMPLEMENTATION OF ROBOTIC SOLUTIONS IN THE PRODUCTION OF THE «HALF-AXLE» PART

Mustafin R.O.

Supervisor: Salina M.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The presented work considers the improvement of the technological process of production of parts such as bodies of revolution. The main attention is paid to the optimization of key aspects of the production of the part "Half-axle" by implementing automated solutions. As a result of the conducted research, a modernized technological process was developed, and a comprehensive robotic system was proposed that ensures increased production efficiency.

УДК 629.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ И УСИЛИЙ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКЕ «ПОЛЫЙ ВАЛ» МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В DEFORM

Набиуллин М.Ю.

Научный руководитель: Салина М.С., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В программе DEFORM было проведено моделирование процесса горячей объемной штамповки. В результате были получены графики различных типов напряжений, возникающих в ходе горячей объемной штамповки, а также выполнен анализ данного процесса.

Горячая объемная штамповка — это высокотемпературный процесс получения поковок в закрытых штампах, обеспечивающий формирование оптимальной макроструктуры и высоких механических свойств изделий. Её актуальность обусловлена незаменимостью для производства критически нагруженных деталей в авиакосмической и энергетической отраслях, где ключевое значение имеют требования к усталостной прочности и надежности [1, 2, 3].

Этот процесс подразумевает нагрев заготовок до значительных температур, что делает материал пластичным и легким для деформации. Моделирование горячей объемной штамповки с использованием программы DEFORM предоставляет возможность предсказывать и оптимизировать процесс, принимая во внимание такие параметры, как деформация металла, распределение температуры и напряжения. Это, в свою очередь, помогает минимизировать вероятность появления дефектов, повысить производственную эффективность и снизить затраты на изготовление штампов. DEFORM (сокращение от DEformation FORMing) представляет собой программный пакет, предназначенный для моделирования различных процессов обработки металлов под давлением, включая горячую объемную штамповку. Процедура моделирования включает в себя несколько этапов: создание модели, выбор методов расчета, анализ полученных данных и их последующая постобработка. Применение DEFORM позволяет не только выявлять потенциальные недостатки в процессе, но и эффективно их устранять, что приводит к снижению трудозатрат и экономии реальных

ресурсов. Кроме того, использование этой программы содействует повышению качества конечной продукции и ускорению разработки новых изделий, что делает ее незаменимым инструментом в сфере металлообработки.

Проведем моделирование процесса штамповки детали «Полый вал» в программе DEFORM. Исходных данными используется чертеж детали (рис.1), чертеж поковки [4-6] (рис.2) и переходы в операции горячей объемной штамповки [7-9] (рис.3).

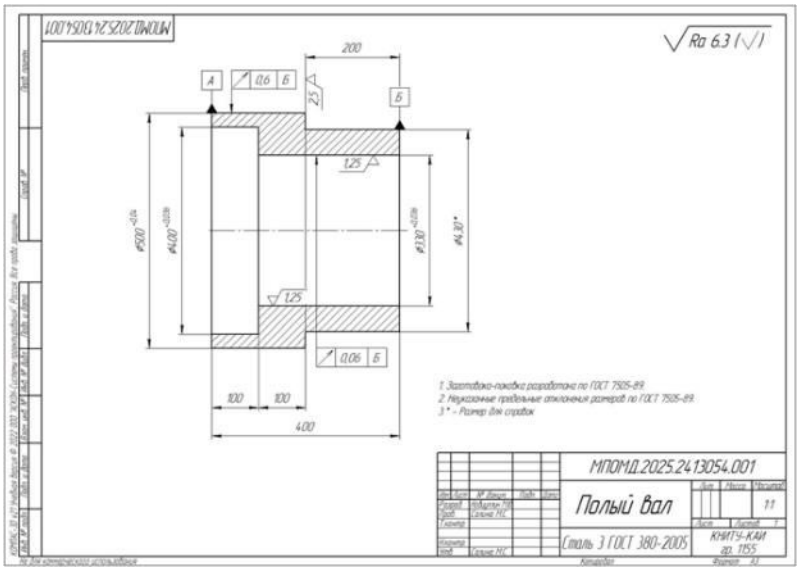


Рисунок 1. Чертеж детали «Полый вал»

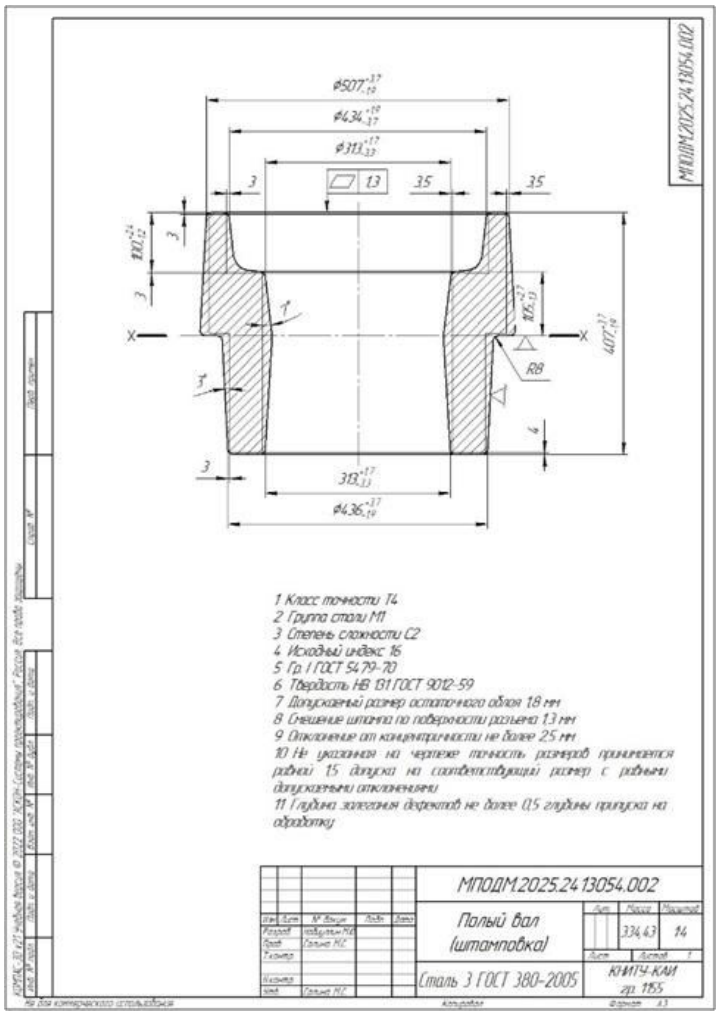


Рисунок 2. Чертеж поковки

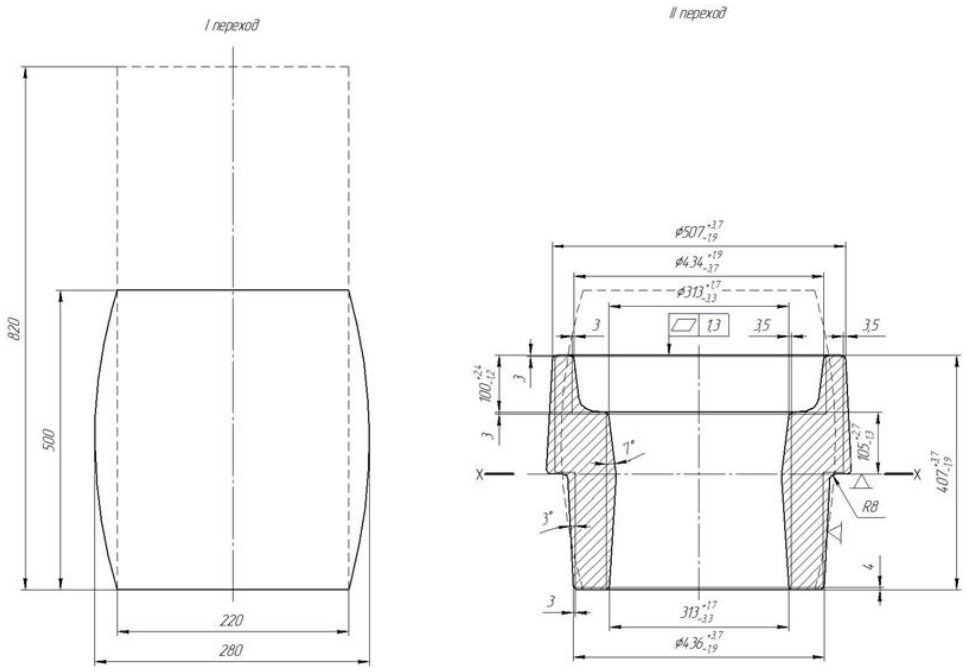


Рисунок 3. Переходы штамповки

Процесс горячей объемной штамповки, как было упомянуто ранее, состоит из двух этапов. Первый этап называется осадкой. В пре-процессе программы создается упрощенная цилиндрическая модель и формируется сетка конечных элементов (рис. 4, 5), а также осуществляется размещение верхнего и нижнего штампов относительно заготовки (рис. 6, 7).

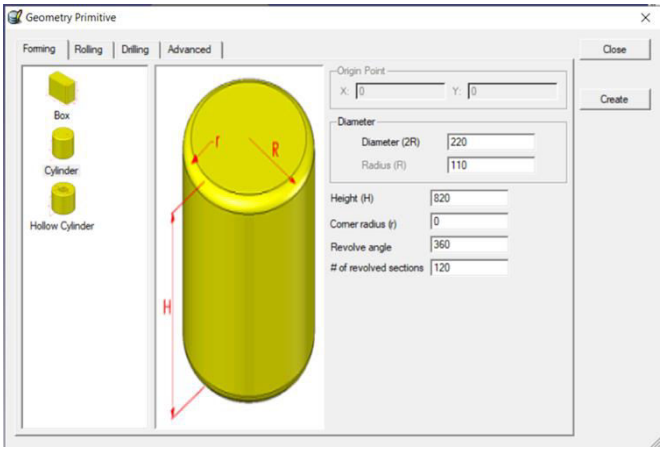


Рисунок 4. Геометрия исходной заготовки

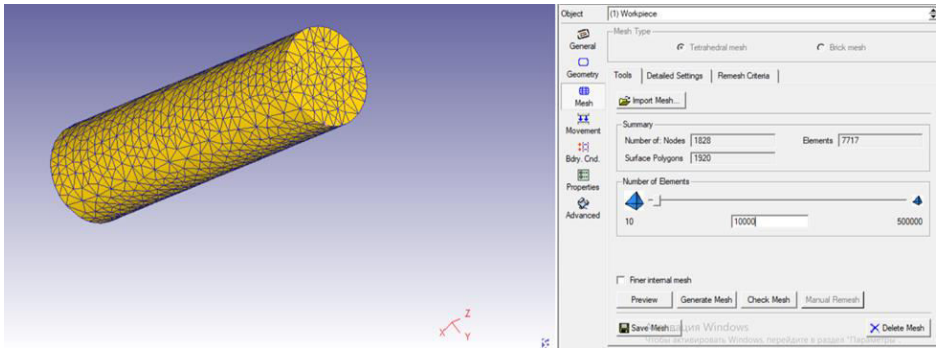


Рисунок 5. Сетка конечных элементов

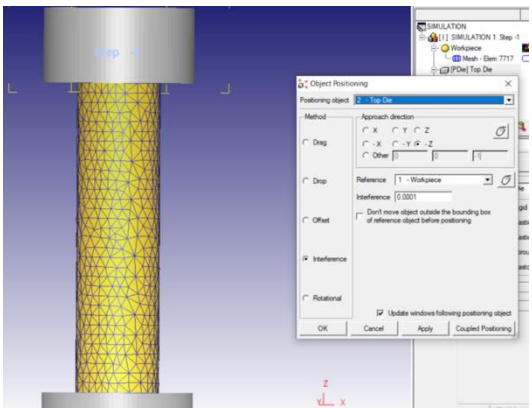


Рисунок 6. Взаимное расположение элементов

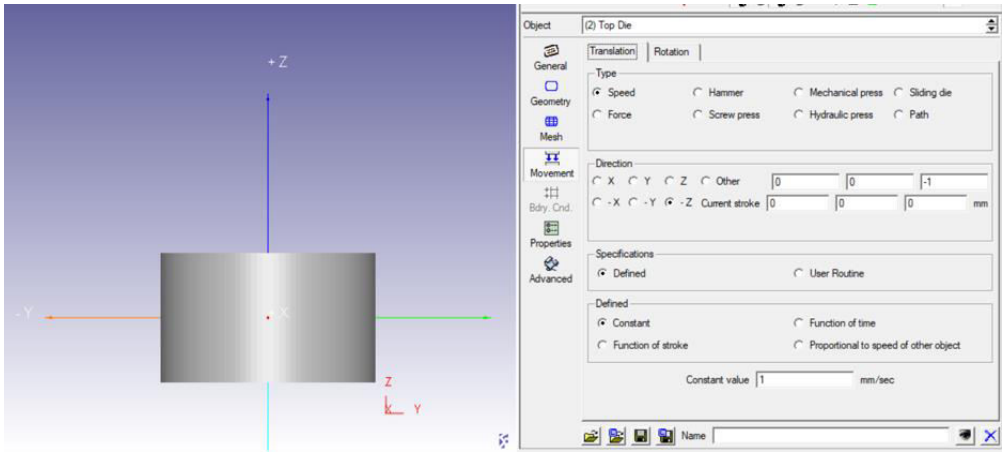


Рисунок 7. Перемещение инструмента

Затем выполняется моделирование взаимодействия между штампами и заготовкой, в ходе которого устанавливаются определенные параметры для расчета. Этот этап включает в себя настройку контактных свойств, таких как трение и давление, что позволяет более точно отразить реальные условия в процессе горячей объемной штамповки (рисунок 8 и 9).

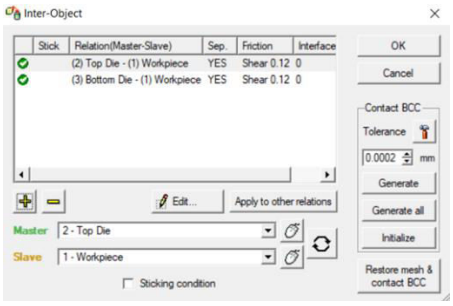


Рисунок 8. Взаимодействие между объектами

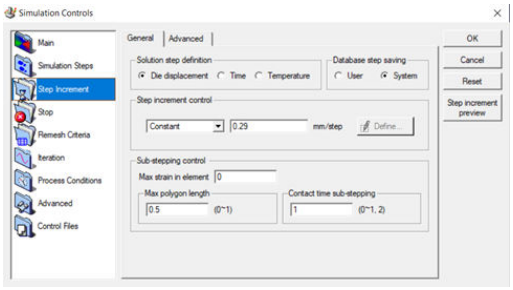


Рисунок 9. Настройки задачи

В завершение этапа создается база данных, после чего пре-процессор завершает свою работу. Затем осуществляется запуск симуляции с использованием сформированной базы данных. Когда симуляция завершена, запускается постобработка, и результаты представляются в виде графиков.

Второй этап, представляющий собой операцию высадки осажденной заготовки, выполняется аналогично первому этапу, однако в данном случае используются другие модели штампов. Этот переход требует обновления параметров, а также учета особенностей новой конфигурации, чтобы обеспечить правильное взаимодействие и деформацию материала (рисунки 10 и 11).

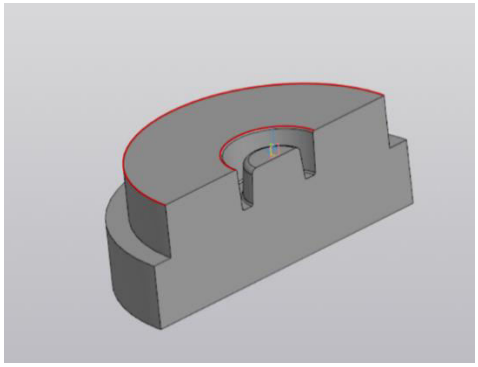


Рисунок 10. Нижний вкладыш

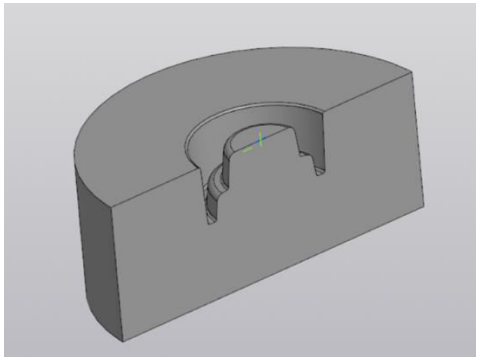


Рисунок 11. Верхний вкладыш

По завершении расчета были получены результаты в виде цветных картин, отображающих распределение напряжений, а также графика, иллюстрирующего зависимость силы деформирования от перемещения штампа (рисунок 12).

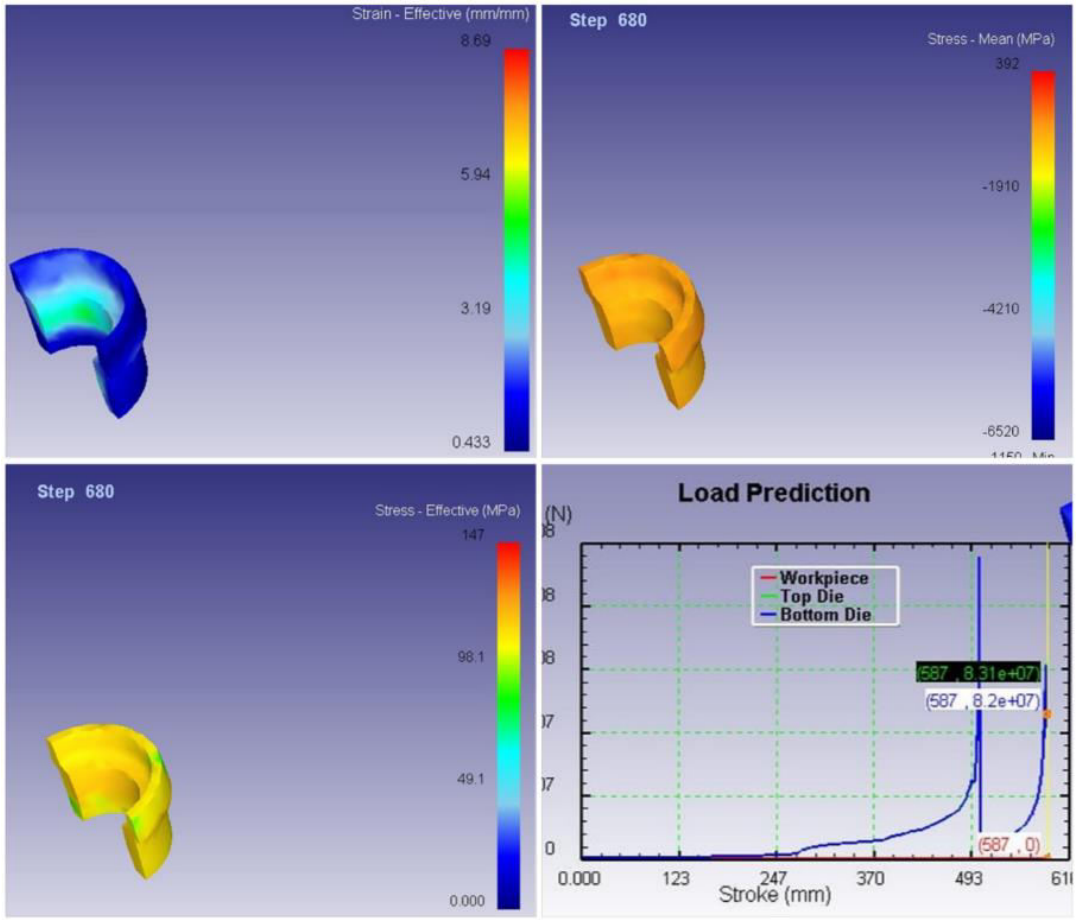


Рисунок 12. Картины распределения напряжений и график зависимости усилия деформирования

На картах распределения напряжений видно, что наибольшая интенсивность деформаций возникает в тех областях, где происходит резкое изменение формы детали, а также в местах скруглений и сужений. Эти участки служат локальными центрами концентрации напряжений. Благодаря графику мы можем определить, что усилие, необходимое для высадки, составляет около 5788,3 кН. Такие данные подчеркивают важность внимательного анализа этих критических областей, так как они могут влиять на прочность и целостность конечного изделия в процессе производства.

В процессе моделирования с использованием программного комплекса DEFORM были получены следующие результаты: построен график зависимости силы деформирования от перемещения штампа, где усилие, необходимое для высадки, составило 5788,3 кН. Кроме того, были получены изображения распределения деформаций и напряжений, на которых четко видны зоны с концентрацией напряжений, а также подтверждение корректности заполнения канала.

Таким образом, процесс горячей объемной штамповки успешно смоделирован. Применение компьютерного моделирования существенно ускоряет производственные циклы, улучшает качество изделий и снижает их себестоимость. Эти преимущества делают использование таких технологий особенно актуальным в современных условиях конкурентного рынка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Салина М.С.* Проектирование процесса горячей объемной штамповки поковки "Втулка" в программном комплексе DEFORM-3D // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики (АНТЭ-2024): материалы IX Всероссийской научно-технической конференции, Казань, 03–04 октября 2024 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2024. – С. 416-418.

2. *Салина М.С.* Формообразование из композиционных материалов элементов конструкций летательных аппаратов: специальность 05.07.02 "Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук – Казань, 2016. – 22 с.

3. *Салина М.С.* Деформированное и напряженное состояние при пластическом кручении эллиптических валов / М.С. Салина, Ю.П. Катаев // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014. – № 1. – С. 52-58.

4. Национальный стандарт Российской Федерации. Поковки стальные штампованные: допуски, припуски и кузнечные напуски: ГОСТ 7505-89. — Введ. 1990-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — IV, 18 с.

5. Национальный стандарт Российской Федерации. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей: общие технические условия: ГОСТ 1050-2013. — Введ. 2015-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2014. — 46 с.

6. Национальный стандарт Российской Федерации. Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый: сортамент: ГОСТ 2590-2006. — Введ. 2007-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — 13 с.

7. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка: в 2 т. Т. 1 / Е. И. Семенов, А. О. Ганаго, Л. И. Живов [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1985. — 567 с.

8. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка: в 2 т. Т. 2 / Е. И. Семенов, А. О. Ганаго, Л. И. Живов [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1985. — 592 с.

9. *Бабенко В.А.* Объемная штамповка: атлас схем и типовых конструкций штампов: учебное пособие для машиностроительных вузов / В. А. Бабенко, В. В. Бойцов, Ю. П. Волик. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Машиностроение, 1982. — 104 с.

STUDY OF DEFORMATIONS AND FORCES IN HOT VOLUME STAMPING OF "HOLLOW SHAFT" BY COMPUTER SIMULATION IN DEFORM

Nabiullin M.Y.

Supervisor: Salina M.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The DEFORM program was used to simulate the process of hot volumetric stamping. As a result, graphs of various types of stresses that occur during hot volumetric stamping were obtained, and an analysis of this process was performed.

УДК 621.74

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИИ АВТОКЛАВНОЙ ОБРАБОТКИ КОРКОВЫХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ И ФОРМ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ НА ВОДНОМ РАСТВОРЕ СИЛИКАТА НАТРИЯ

Сущинский Д.Я.

Научный руководитель: Абзалов А.Р., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Аннотация. В корковом и в литье по выплавляемым моделям большое значение имеет качество поверхности формы. В работе проводится исследование корковых и форм литья по выплавляемым моделям полученных в автоклаве, с применением связующего на основе водного раствора силиката натрия.

Качество точного коркового и литья по выплавляемым моделям зависит от качества литейной формы. Под качеством литейной формы следует понимать прочностные свойства, газопроницаемость и шероховатость рабочей керамической поверхности. В качестве огнеупорных материалов применяются кварцевый песок, маршаллит, электрокорунд, огнеупоры на основе циркония, магния, и некоторые другие. Порошки перечисленных огнеупоров для облицовочных слоев выбираются из принципа соотношения цены и качества. Наиболее применимыми являются порошки М40 – 80. Последующие, облицовочные слои могут быть сформированы более крупной фракцией. Применение для облицовочных слоев порошков менее М40, значительно снижает газопроницаемость и повышает стоимость корки, что недопустимо.

В настоящее время, в качестве связующих материалов применяют термореактивные смолы и гидролизованные растворы этилсиликатов, или готовые растворы этилсиликатов. Например ГС20. ГС 20 не позволяет получить высокопрочные корковые формы. Поэтому приходится обрабатывать ГС20 кислотами, например ортофосфорной, с добавлением соляной кислоты. Гидролиз этилсиликатов сопряжен с определенными технологическими особенностями, и требует высокой квалификации рабочего, или лаборанта на участке литья по выплавляемым моделям. Часто для повышения прочностных свойств литейной формы приходится применять соляную, азотную, и серные кислоты. Вместо метилового спирта применять этиловый. Все вышеперечисленное требует точной дозировки компонентов, что невозможно обеспечить в условиях реального литейного цеха. Живучесть огнеупорных шликеров на основе этилсиликатов для формирования первых ответственных слоев литейной формы составляет от суток до 5 суток максимум. Причем, после отстаивания шликера в смесителе более суток прочностные характеристики литейной формы уменьшаются примерно в 1,5 и более раз по сравнению с формой сформированной на свежем шликере.

Предлагаемая технология получения качественных корковых и форм литья по выплавляемым моделям исключает применение этилсилтикатных связующих и термореактивных смол. В качестве связующего в работе применен водный раствор силиката натрия. Стабилизация геометрических размеров литейной формы проведена в автоклаве при температуре 140 ^{0}С, при избыточном давлении 2-2,5 атм. Форма после формообразования и выплавления модельного состава помещалась в специальную металлическую ванну, заполненную 70% водным раствором уксусной кислоты, с незначительными добавками соляной и ортофосфорной кислоты до 2-х процентов.

Автоклонирование проводилось в течение 3х часов, после чего формы извлекались из автоклава, и помещались в сушильную камеру, а затем в прокалочную муфельную печь периодического действия. Сушка проводилась в течение 4 часов при температуре 80 – 120 ^{0}С. Прокалка осуществлялась при температуре 950 ^{0}С, в течении 50 минут. После высокотемпературной обработки формы извлекались из прокалочной печи и заливались сплавом.

Автоклавирование в растворе уксусной кислоты позволило получить формы высокой прочности, газопроницаемости и с минимальными допусками по геометрии и форме. Поверхность бронзовых и силуминовых отливок после заливки показала средние значения шероховатости Ra 15, Rz 75, Rmax 97. Шероховатости определены на профилографе профилометре.

В процессе исследования технологии формирования корковой литейной формы на основе водного раствора силиката натрия проводились опытные работы стабилизации корки без применения кислот. С одной стороны это возможно. Корка получается прочной и способна выдерживать значительные гидродинамические нагрузки в процессе заливки. Но, такая корка не способна обеспечить требуемую геометрическую точность. В процессе прокалки корка деформируется. Исследование показало, что максимальный увод от плоскостности может составлять от 5 до 12 мм, что недопустимо. Такое поведение связующего на основе водного раствора силиката натрия объясняется наличием свободной и химически связанной воды в формируемой корке. Вода в процессе прокалки оказывает разрушающее действие на корку, что приводит к значительной деформации геометрии и формы.

Проведены экспериментальные заливки алюминиевых и бронзовых отливок массой от 1,2 кг до 11 кг. Формы заливались свободной гравитационной заливкой из поворотного ковша. Предварительно формы прокаливались в муфельной печи сопротивления в течение 50 минут. После чего специальным захватом за горловину литниковой чаши извлекались из печи и в течение 10-20 секунд проводилась заливка металлом. Отсутствовала обечайка и огнеупорная засыпка. Прочность форм была достаточной для заливки отливок. Предварительные расчеты показали, что затраты на электроэнергию в процессе прокалки форм без обечайки и огнеупорной засыпки оказались меньше примерно в 6 раз [1-3].

Для форм литья по выплавляемым моделям исследование показало, что по сравнению с классической технологией на основе этилсиликатных связующих, количество наносимых слоев может быть уменьшено до 4-5. Причем первые два слоя изготавливались при вязкости огнеупорного шликера 10-15 секунд. Последующие 2-3 слоя при вязкости шликера 25-30 секунд. Вязкость определялась по вискозиметру ВЗ-50 с диаметром рабочего отверстия 5 мм. Последующие слои обсыпались крупной фракцией электрокорунда. Отсев 0,16-1,8 мм. Сушка каждого слоя осуществлялась в воздушной вентиляционной камере в течение 2 часов. Общее время изготовления формы составило 16 часов, что равносильно двум рабочим сменам.

В процессе изготовления литейных форм коркового литья на поверхность модельной плиты устанавливалась с помощью штырей и втулок наполнительная рамка. Формовочная смесь состояла из 90% кварцевого песка, 5% водного раствора силиката натрия и 5% воды. Смесь приготавливалась в центробежном смесителе. Живучесть смеси составила примерно 15 минут. После уплотнения смесь прокалывалась шприцеванием водным раствором уксусной кислоты. По завершении процесса отверждения корки наполнительная рамка снималась с модельной плиты. Корка извлекалась из наполнительной рамки. Полное время формообразования корки составило для небольших литейных форм примерно 12 – 15 минут.

Прочность формы определялась классическим испытанием на изгиб лабораторного образца в форме параллелепипеда размером 40х20х5 мм, вырезанных из сформированной корки после высокотемпературной прокалки. Прочность на изгиб составила 0,6-0,7 МПа. Для сравнения прочность корок и форм на этилсиликате всего 0,15-0,2 МПа.

Газопроницаемость форм определялась на стандартном приборе определения газопроницаемости [3-4]. Из готовой формы вырезались образцы цилиндрической формы диаметром 50 мм толщиной 12 мм. В стандартную металлическую гильзу образцы устанавливались через каучуковое уплотнение, промазанное клеем ПВА. Гильза с образцом в таком виде высушивалась в течение суток после чего проводилось исследование на газопроницаемость. Газопроницаемость корки при равных толщинах оказалась ниже на 15-20% по сравнению с классической коркой на этилсиликатном связующем. Это объясняется образованием прочного керамического слоя на поверхности корки в процессе автоклавирования в присутствии уксусной кислоты. Компенсация низкой газопроницаемости

исследуемой корки с запасом обеспечивается меньшим количеством рабочих слоев и, как следствие меньшей толщиной стенок корки. Всего 6-8 мм. [5].

Высокая прочность керамической корки и формы литья по выплавляемым моделям позволяет увеличить высоту заливочной воронки. Возможна установка керамического фильтруещего элемента в воронку [6-8]. Фильтр может быть любой конструкции. С прямыми каналами, пенокерамический или фильтровальная сетка. Наличие фильтра позволяет эффективно рафинировать заливаемый сплав и одновременно стабилизировать расход металла в процессе заливки. В этом случае фильтр работает как дроссель. Дросселирование сплава позволяет исключить газовую пористость в отливках. Следует отметить, что конструкция воронки с фильтром подразумевает наличие вентиляционных каналов в боковых стенках. Каналы необходимы для эффективной эвакуации газовой фазы из сплава и полости литейной формы в процессе заливки.

Следует отметить выявленные недостатки исследуемого процесса. Существенным недостатком является длительное время сушки слоев до двух часов. Также необходимо наличие автоклава. Длительность сушки слоев на классическом этилсиликатном связующем составляет всего 50-60 минут, но в аммиачной камере. Наличие аммиака ухудшает экологичскую обстановку в литейном цехе, но укоряет процесс формообразования корки.

Проведенное исследование показало, что водный раствор силиката натрия в качестве связующего, стабилизированный автоклавированием в водном растворе уксусной кислоты, позволяет получить корковые и формы литья по выплавляемым моделям высокого качества. Предлагаемая технология изготовления форм по сравнению с аналогичными формами на основе этилсиликатных и термореактивных связующих оказалась примерно в 3 раза дешевле. Получаемые литейные формы способны выдерживать заливку крупных отливок до 120 кг без огнеупорной засыпки в обечайках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Иванов В.Н.* Литье по выплавляемым моделям / В. Н. Иванов, Л. С. Карпов, Б. С. Курчман [и др.]; под общ. ред. В. П. Никитенко, В. А. Озерова. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Машиностроение, 1984. — 408 с. : ил.

2. *Иванов В.Н.* Литье по выплавляемым моделям / В. Н. Иванов, С. А. Казённов, Б. С. Курчман [и др.]; под общ. ред. Я. И. Шкленника, В. А. Озерова. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Машиностроение, 1984. — 408 с.

3. *Баландин Г.Ф.* Основы теории формирования отливок: учебное пособие для машиностроительных вузов по специальности "Машины и технология литейного производства". В 2 ч. Ч. 2: Формирование макроскопического строения отливки / Г.Ф. Баландин. — Москва: Машиностроение, 1979. — 335 с.

4. *Эльцуфин С.А.* Литье повышенной точности / С. А. Эльцуфин; под общ. ред. А.М. Липницкого. — 3-е изд., перераб. и доп. — Ленинград: Машиностроение, 1981. — 80 с.

5. *Чулкова А.Д.* Усовершенствование технологии литья по выплавляемым моделям / А.Д. Чулкова // Литейное производство. — 1982. — № 1. — С. 15–16.

6. *Leushin I.O.* Filtration of aluminum melts through ceramic foam filters / I.O. Leushin, M.I. Roshchin, R. M. Yanbaev // Foundry. Technology and Equipment. — 2001. — No. 2. — P. 14–15.

7. *Янбаев Р.М.* Фильтрационное рафинирование черных сплавов при литье по выплавляемым моделям / Р.М. Янбаев, Ф.М. Янбаев, Н.Ф. Гимадеев [и др.] // Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности: материалы международной научно-практической конференции. — 2014. — С. 496–500.

8. *Шестакова Е.А.* Применение аддитивных технологий для получения моделей и выращивания литейных форм для деталей и узлов семейства двигателей КАМАЗ на альтернативных видах топлива /Е.А. Шестакова, Р.М. Янбаев, Ф.М. Янбаев, Е.Ф. Шайхутдинова // Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации

научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности: материалы международной научно-практической конференции. — 2014. — С. 480–487.

STUDY OF THE FEATURES OF THE TECHNOLOGY OF AUTOCLAVE TREATMENT OF CRUST CASTING MOLDS, ON AN AQUEOUS SOLUTION OF SODIUM SILICATE

Sushchinsky D.Ya.
Supervisor: Abzalov A.R., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. In investment casting, the quality of the mold surface is of great importance. The work studies crust casting molds obtained in an autoclave, using a binder based on an aqueous solution of sodium silicate.

УДК 62-233.132

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХПРОЦЕССОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ СБОРНОГО КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

Фазулзянов М.Р.
Научный руководитель: Абзалов А.Р., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена оптимизации технологического процесса изготовления высоконагруженной детали ДВС – щеки коленчатого вала. На основе анализа конструктивных особенностей детали и сборочной единицы предложены два варианта исполнения операций механообработки; выбран из них экономически наиболее выгодный.

В современной машиностроительной промышленности, особенно в сегменте массового производства, все более заметной становится тенденция к использованию сборных коленчатых валов в двигателях внутреннего сгорания. В отличие от традиционных цельнокованых или литых валов, которые изготавливаются как единая деталь, сборный вал состоит из нескольких отдельных элементов — обычно щек и шатунных шеек, которые производятся по отдельности, а затем соединяются с высочайшей точностью, часто методом горячей запрессовки или с помощью болтовых соединений.

Ключевым драйвером этого перехода является значительное сокращение капитальных затрат. Изготовление оснастки (например, штампов для ковки) для цельнолитого вала — это чрезвычайно дорогостоящий и сложный процесс, оправданный только при очень больших объемах производства. Сборная же технология позволяет использовать более простую и дешевую оснастку для производства отдельных, менее габаритных деталей. Кроме того, конструкция сборного вала часто интегрирует функции масляной системы прямо в каналы между соединяемыми частями, что позволяет упростить конструкцию двигателя, отказавшись от отдельного масляного насоса высокой производительности или упростив его. Это также приводит к повышению коэффициента использования материала, так как заготовки для отдельных элементов проще и рациональнее расположить в металлургической заготовке, минимизируя отходы.

Однако вся эта совокупность преимуществ — экономических и конструктивных — становится достижимой только при одном фундаментальном условии: обеспечении безупречной точности размеров и геометрии всех деталей сборочного комплекта. Любое отклонение на микронах приводит к дисбалансу, повышенным вибрациям, ускоренному износу и, в конечном счете, к выходу из строя всего силового агрегата.

Проблема изготовления сборного коленчатого вала заключается в том, что для обеспечения точности сборки требуется обеспечить точность выполнения размеров, определяющих параметры ответственных поверхностей деталей, входящих в сборочный комплект.

На примере доработанного коленчатого вала пускового двигателя ПД-10 [1] (рис. 1) рассмотрим возможные проблемы, связанные с изготовлением деталей.

Рис. 1. Коленчатый вал двигателя ПД-10

Рассмотрим чертеж детали «Щека коленвала левая» (рис. 2). размер, определяющий диаметр отверстия под шатунную шейку, показан в квадратных скобках; в технических требования также есть условие для получения данного размера: обработать в сборе совместно с деталью.

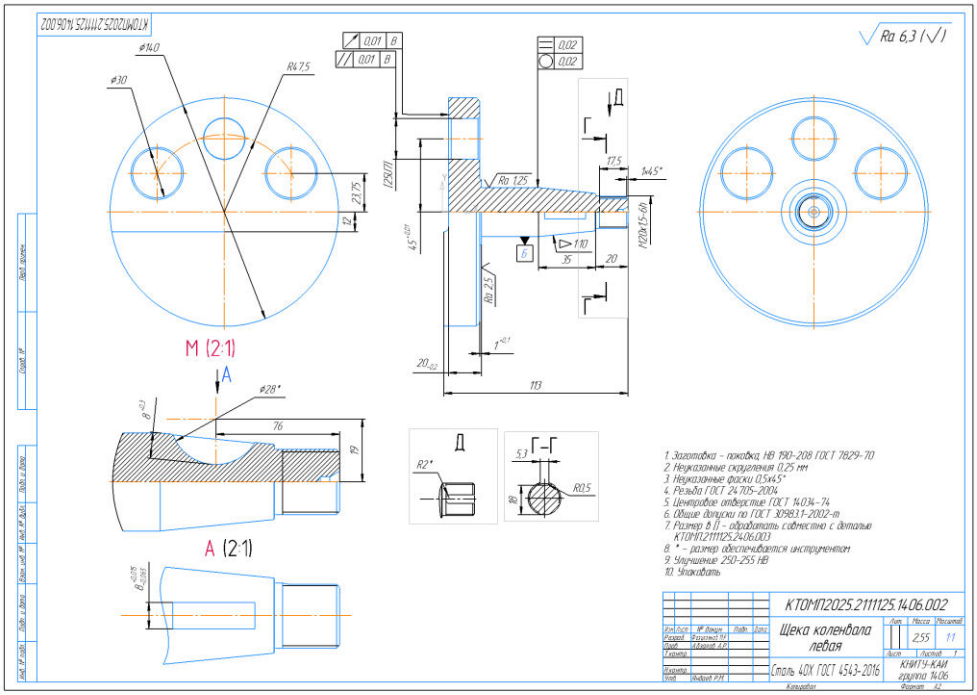
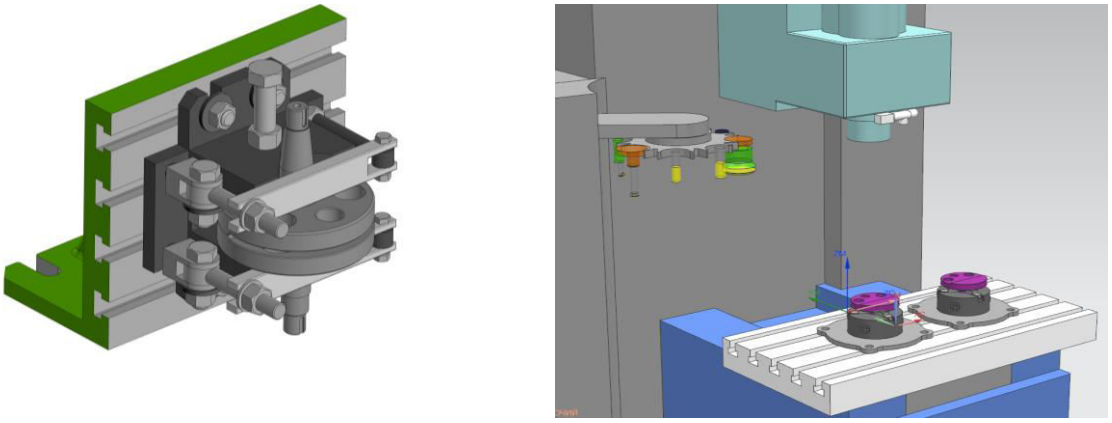


Рис. 2. Чертеж детали «Щека коленвала левая»

При проектировании технологического процесса технолог должен разрабатывать различные варианты техпроцессов для нахождения наиболее выгодного. При этом после выбора основного варианта остальные не забываются, я становятся резервными на случай форс-мажорных обстоятельств. В работе был применен данный метод: предложен первый

вариант исполнения операции Фрезерная с ЧПУ с применением специального наладочного приспособления СНП (рис. 3, а), в котором за один проход начисто получаются отверстия, не имеющие разности диаметров и имеющие погрешность базирования, связанную с неточностью изготовления оснастки. Вторым вариантом является операция Фрезерная с ЧПУ, в которой предусматривается использование универсальных наладочных приспособлений УСП (рис. 3, б), в которые устанавливаются соответственно щеки одного сборочного комплекта, и средств активного контроля, необходимых для корректировки инструмента для получения минимальной погрешности обработки деталей.



а б

Рис. 3. а – вариант операции с использованием СНП;
б – вариант операции с использованием УСП

В первом варианте сложность заключается в сборке как подготовительной операции для обработки. Оператор станка с ЧПУ, на котором обрабатываются детали, должен сначала собрать конструкцию, показанную на рис. 3а, при этом на сборку отводится отдельное время и налагаются требования по точности, чтобы полученная точность отверстий отвечала требованиям конструкторов. В разработанном технологическом процессе предусматривается обработка в операции Фрезерная с ЧПУ предполагается использование отверстия, полученного начерно в предыдущих операциях, как настроечной базы [2] для ввода коррекции на центр отверстия для обеспечения равномерного припуска при обработке.

Во втором варианте в два трехкулачковых патрона, закрепленных на столе фрезерного станка и имеющих привязку к системе координат станка, устанавливаются и закрепляются соответственно заготовки «щека коленвала левая» и «щека коленвала правая» (Рис. 3, б). После обработки одной детали станок производит измерение параметров расточенного отверстия под шатунную шейку при помощи щупа, далее оператор вводит коррекцию на инструмент в управляющую программу станка, чтобы получить размер на ответной детали с минимальной погрешностью позиционного размера. Данная операция заменяет две, уменьшает трудоемкость, материалоемкость технологического процесса.

Однако при проведении сравнительного анализа был произведен оценочный технико-экономический расчет себестоимости изготовления детали [3], который показал, что экономически более выгодно использовать специальное наладочное приспособление. Расчет показал, что изготовление специального наладочного приспособления и введение дополнительной операции для чистовой обработки отверстия под шатунную шейку выходит экономически выгоднее по сравнению с единой операцией, в которой применяются системы активного контроля с учетом их окупаемости при мелкосерийном типе производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Устройство и принцип действия пускового двигателя ПД-10 – Текст: электронный. – 2016. – URL: https://melagrocom.com/articles/ustroystvo-i-printsip-deystviya-puskovogo-dvigatelya-pd-10/ (дата обращения: 09.06.2025).

2. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения – Текст: электронный. – 2016. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200009548 (дата обращения: 09.06.2025).

3. *Абзалов А.Р.* Курс «Основы технологии машиностроения» [Электрон. ресурс] / Абзалов А.Р. // Электрон. дан. - Режим доступа: https://bb.kai.ru/webapps/blackboard/execute/content/blankPage?cmd=view&content_id=_154536_1&course_id=_11128_1&mode=reset (дата обращения: 09.06.2025).

JUSTIFICATION OF DESIGN SOLUTIONS IN THE DEVELOPMENT OF TECHNICAL PROCESSES OF MECHANICAL ENGINEERING PRODUCTION USING THE EXAMPLE OF A ASSEMBLING CRANKSHAFT

Fazulzyanov M.R.

Supervisor: Abzalov A.R., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The article is devoted to optimization of the technological process of manufacturing a highly loaded part of the internal combustion engine – a crankshaft cheek. Based on the analysis of the design features of the part and the assembly unit, two options for performing machining operations are proposed; the most economically advantageous of them is selected.

УДК 62-233.3

АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ СПОСОБОВ ИТЕНСИФИКАЦИИ ЧЕРНОВОГО НАРЕЗАНИЯ ЗУБЪЕВ ТОЧНЫХ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Фазулзянов М.Р.

Научный руководитель: Печенкин М.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассмотрены потенциальные подходы, методы, способы способствующие снижения трудоемкости чернового фрезерования зубьев зубчатых колес, сформированных на делительной поверхности типа «однополостной гиперболоид вращения». Дан анализ известных способов формирования рассматриваемых зубчатых колес.

В традиционном машиностроении получили несколько типов передач с перекрещивающимися осями. Среди них винтовые, гипоидные, червячные и пр. В вышеуказанных передачах для преодоления очевидных технологических трудностей нарезания зубьев происходит замена делительной поверхности гиперболоида вращения на приближенные к нему поверхности. ГОСТом вышеуказанные передачи отнесены к гиперболоидным [1].

Данным видам передач посвящено несколько работ ученых Казанского авиационного института и, впоследствии Казанского национального технического университета им. А.Н. Туполева [2,3,4,5,6]. В данных работах рассмотрены вопросы синтеза данного типа передач и вопросы ее изготовления.

Общеизвестно, что трудоемкими как по времени, так и экономическим затратам являются операции чернового нарезания зубьев при которых удаляется наибольший объем припуска.

В случае зубчатых колес, сформированных на делительной поверхности типа «однополостной гиперболоид вращения», пожалуй, только операция чернового нарезания сможет снизить общую трудоемкость изготовления данного типа зубчатых колес. Связано это с тем, что резкая смена кривизны зуба как по высоте, так и по его длине ограничивают применения многих высокопроизводительных способов обработки зубьев данных зубчатых

колес. Вследствие изменения кривизны боковой поверхности с одного знака на кривизну другого знака нормаль инструмента резко меняет направление – инструмент интерферирует часть боковой поверхности, либо не срезает часть материала и испытывает перегрузки (рис.1).

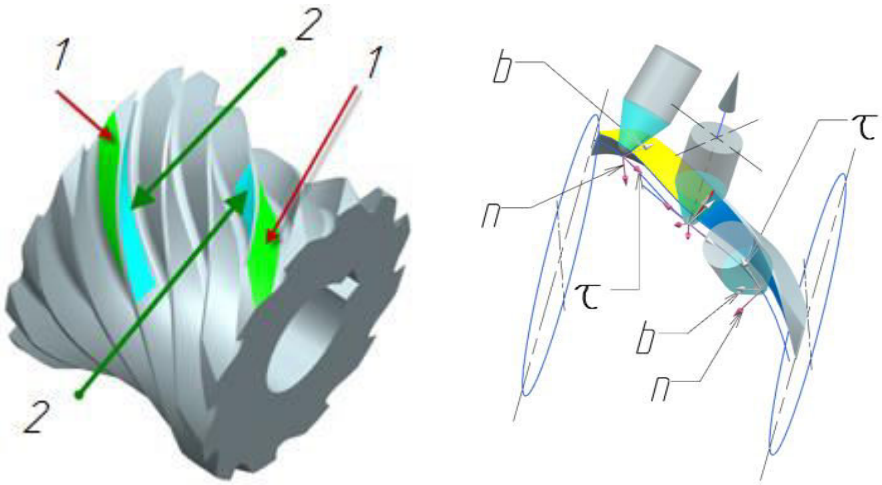


Рис. 1. Изменение нормали режущего инструмента при формировании зуба.
1,2 – выпуклая и вогнутая сторона зубчатого колеса соответственно, τ – орт-вектор касательной, n – орт-вектор нормали, b – орт-вектор бинормали

Возможности интенсификации чернового нарезания данного типа зубчатых колес предпринимаются достаточно давно. Так, в работе [3] описывается устройство для формирования зубьев дисковым инструментом типа «модульная дисковая фреза» (рис.2).

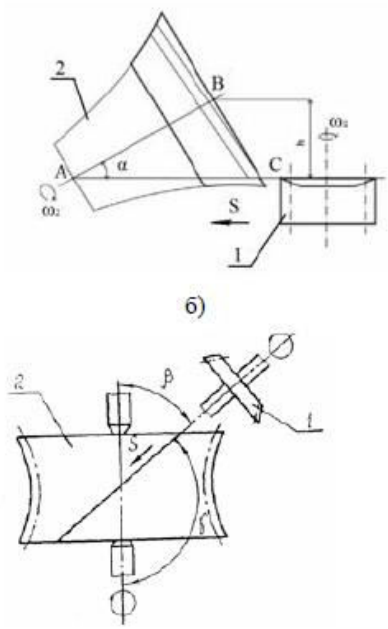


Рис. 2. Схема формообразования, изложенная в [3], где 1-инструмент, 2- нарезаемое зубчатое колесо, S-подача, β-угол скрещивания, ω_1, ω_2-направление вращения

Данная схема, изложенная в [3] не учитывала имеющиеся в настоящий момент возможности станков с ЧПУ и предполагала использование специального приспособления, что усложняло и удлиняло кинематические цепи формообразования, то есть приводила к дополнительным погрешностям.

Помимо рассмотренного инструмента и схемы формообразования можно рассмотреть и потенциально оценить возможность формообразования рассматриваемых зубчатых колес с

помощью инструмента, представляющего собой гиперболоидную двенадцатизаходную фрезу с формированными на ней зубьями, изображенную на рисунке 3.

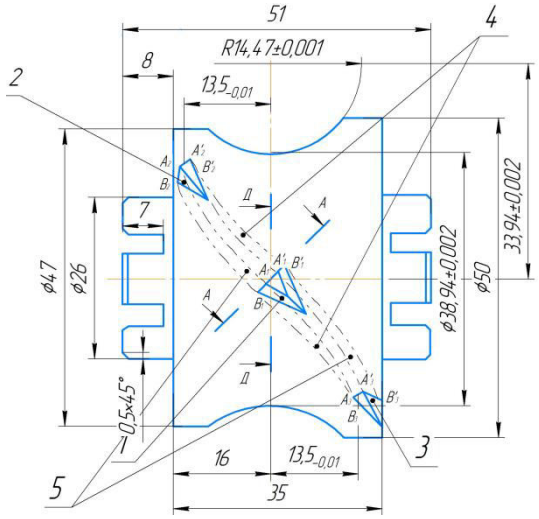


Рис. 3. Потенциальная конструкция фрезы для обработки зубьев зубчатых колес, сформированных на делительной поверхности типа «однополостной гиперболоид вращения»

В последнее время расширяется применение так называемого метода зуботочения (skiving process). Схема метода изображена на рисунке 4.

Формообразование при реализации данного способа осуществляется на скрещивающихся осях при отсутствии возвратно-поступающих движений.

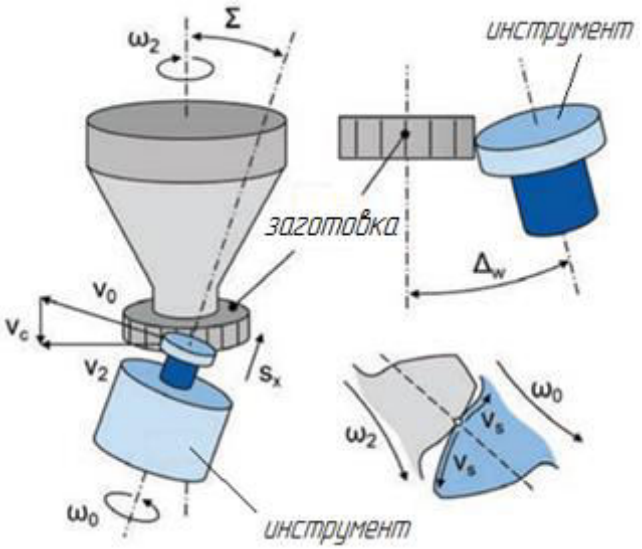


Рис. 4. Общая схема зуботочения
S_x-подача, Σ-угол скрещивания, ω_0, ω_2-направление вращения

Данный способ формообразования зубьев может быть применим и для формообразования зубьев зубчатых колес, сформированных на делительной поверхности типа «однополостной гиперболоид вращения».

Таким образом, имеются потенциальные возможности снижения трудоемкости обработки зубьев зубчатых колес, сформированных на делительной поверхности типа «однополостной гиперболоид вращения» требующие дальнейшей аналитической проработки схемы формообразования.

Помимо анализа схемы формообразования требуется и дальнейшая проработка режущего инструмента для реализации данного способа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Национальный стандарт Российской Федерации. Передачи зубчатые. Общие термины, определения и обозначения ГОСТ 16530-83. — Введ. 1984-01-01. — Москва: ИПК Изд-во стандартов, 2004. — 52 с. — Текст: непосредственный.

2. *Матвеев Г.А.* Некоторые вопросы геометрии и изготовления гиперболоидных колес: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.02.18 — Казань, 1961. — 14 с.

3. *Матвеев Г.А.* Один из способов образования поверхностей зубьев гиперболоидных колес // Труды Казанского авиационного института. — 1960. — Вып. 60. — С. 24.

4. *Печенкин В.М.* Исследование гиперболоидной зубчатой передачи с двумя зонами контакта: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.02.18 / Печенкин Владимир Михайлович. — Новосибирск, 1983. — 262 с.

5. *Печенкин М.В.* Расчет положения производящих линий при формообразовании боковой поверхности зубьев гиперболоидной передачи / М.В. Печенкин, А.Р. Абзалов // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 6. — Текст: электронный. — URL: http://www.science-education.ru/120-16410 (дата обращения: 22.12.2014).

6. *Печенкин М.В.* Кинематика формообразования боковой поверхности зубьев гиперболоидной передачи концевым инструментом / М.В. Печенкин, А.Р. Абзалов // Фундаментальные исследования. — 2014. — № 12-11. — С. 2310–2314.

7. *Абзалов А.Р.* Расчет боковых поверхностей зубьев и моделирование зубчатых колес ортогональных гиперболоидных передач / А.Р. Абзалов, В.Н. Иванова, Д.Е. Яруллина // Фундаментальные исследования. — 2016. — № 12 (ч. 1). — С. 9–13.

ANALYSIS OF POTENTIAL WAYS TO INTENSIFY ROUGH CUTTING OF PRECISION HYPERBOLOID GEARS

Fazulzyanov M.R.

Supervisor: Pechenkin M.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses potential approaches, methods, and methods to reduce the complexity of rough milling of gear teeth formed on a dividing surface of the "single-cavity hyperboloid of rotation" type. An analysis of the known methods of forming the gears under consideration is given.

УДК 629.7

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ПОЛУПЕТЛЯ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДГОТОВКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

Файрузова З.Р.

Научный руководитель: Печенкин М.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Создание роботизированного технологического комплекса для детали «Полупетля» существенное сокращает время изготовления изделия, увеличивает точность размеров и сокращает влияние человеческого фактора. Также написание программы в Siemens NX является неотъемлемой частью автоматизации РТК.

Цель работы – оптимизация изготовления детали "полупетля" через внедрение роботизированного комплекса (РТК) и автоматизированного программирования (Siemens NX)

[1-5]. Ключевые задачи: анализ существующего процесса, проектирование РТК, разработка УП, оценка эффективности.

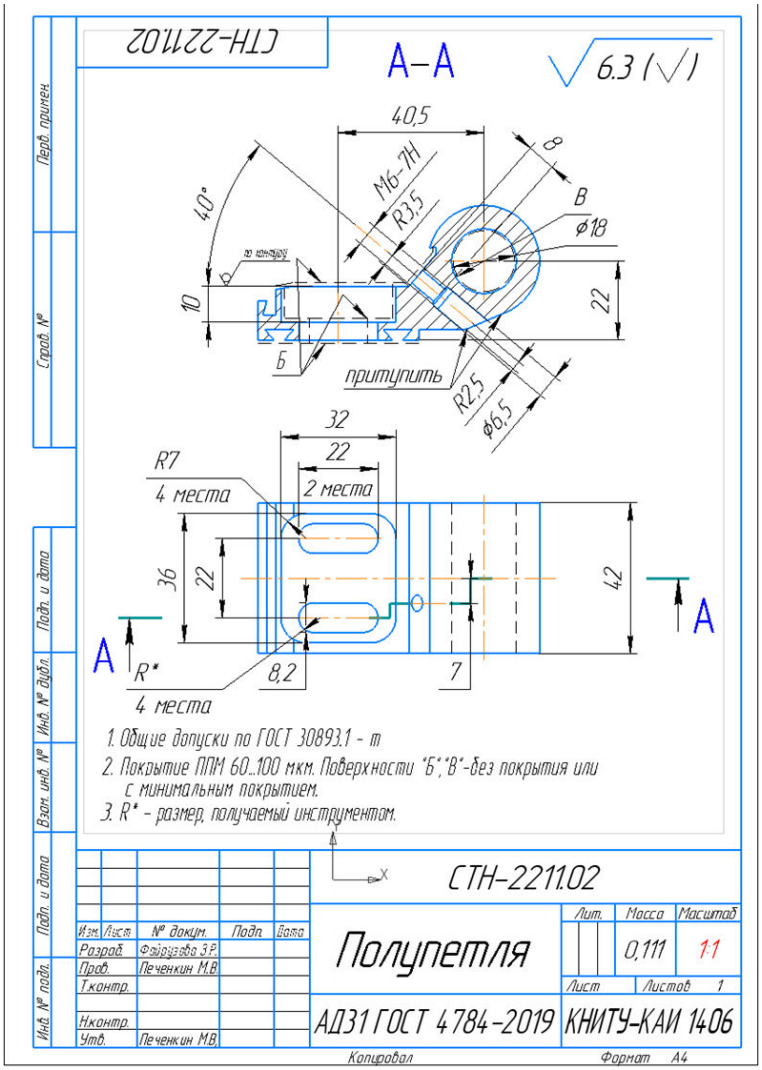


Рис. 1. Чертеж полупетли

Роботизированный технологический комплекс (РТК)

Выбран промышленный робот M-20iA/20M (FANUC)

- Назначение: Автоматизация загрузки/разгрузки, манипуляция заготовками до 20 кг (макс. 35 кг).
- Ключевые преимущества:
  - Высокая скорость/инерция: Минимальное время цикла.
  - Компактность и универсальность: 6 осей, монтаж на полу/стене/потолке (343x343 мм), малая занимаемая площадь.
  - Надежная конструкция: Полые рука (J3) и запястье для встроенной проводки/пневмолиний (IP67), защита кабелей, простота обслуживания.
  - Большая зона действия: Радиус 1813 мм.
  - Точность: Повторяемость ±0.03 мм.

Основные характеристики:

1) Периферийное оборудование

- Вибробункер-ориентатор: Автоматическая сортировка и подача беспорядочно загруженных заготовок. Конструкция: чаша со спиральным лотком, вибропривод, выгрузной лоток с ориентатором.

- Ленточный конвейер: Транспортировка заготовок и готовых деталей "навалом" в ящик.
  - *Конструкция:* Лента (резинотканевая), приводной/натяжной барабаны, роликоопоры, загрузочно-разгрузочные устройства.
  - *Преимущества:* Высокая производительность, надежность.
  - *Недостатки:* Ограничения по липким/очень горячим материалам, необходимость обслуживания.

2) Компоновка РТК

Выбрана кольцевая компоновка:

- Обрабатывающие станки расположены вокруг робота M-20iA/20M.
- Преимущества: Минимизация перемещений робота, сокращение времени цикла, уменьшение занимаемой площади.

3) Траектория захватного устройства

- Построена траектория центра схвата для цикла "взять заготовку -> подать в станок -> взять деталь -> положить деталь"
- Рассчитаны линейные (Vx, Vz) и угловые (ω) скорости перемещений с учетом массы заготовки (M=0.120 кг) и точности позиционирования (Δl=0.03 мм, δ=0.03 мм):

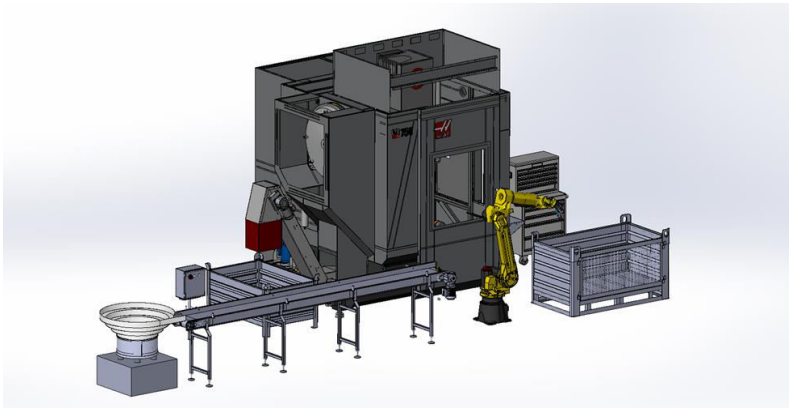


Рис. 2. Компановка РТК

Циклограмма и производительность

- Рассчитано время выполнения каждого элемента траектории;
- Построена циклограмма, согласующая действия робота и станка;

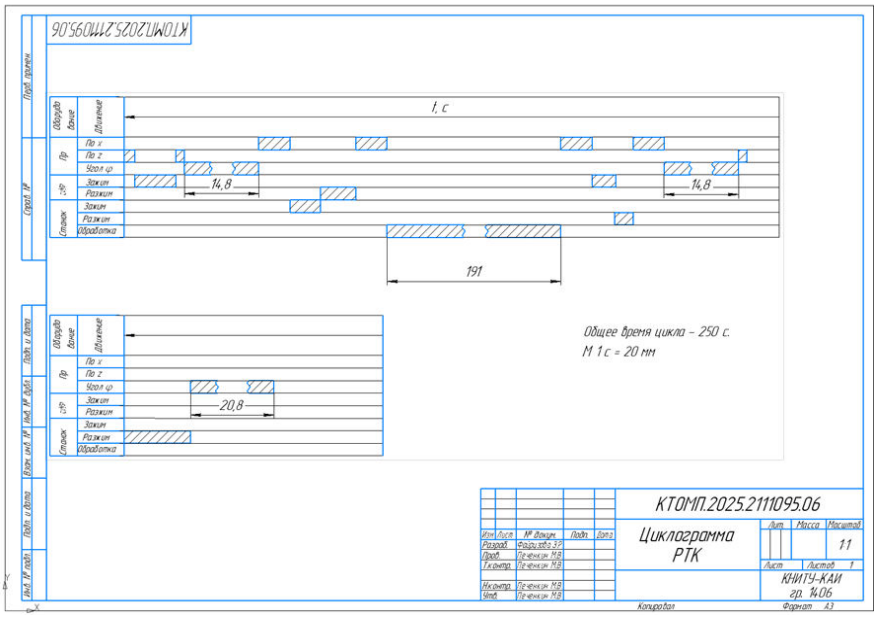


Рис. 3. Циклограмма РТК

Особенности РТК:

- В качестве основного металлорежущего оборудования на операцию выбран Фрезерный обрабатывающий Новый 5-осевой обрабатывающий центр Haas UMC-750SS обеспечивает производительность и надежность мирового класса для одновременной 5-осевой обработки. Его стабильная конструкция и компактная площадь идеально подходят для производства заготовок малого и среднего размера сложной формы.

- используется техоснастка «Башмак», позволяющая точно позиционировать деталь и обрабатывать заготовку за один установ (Рис.4).

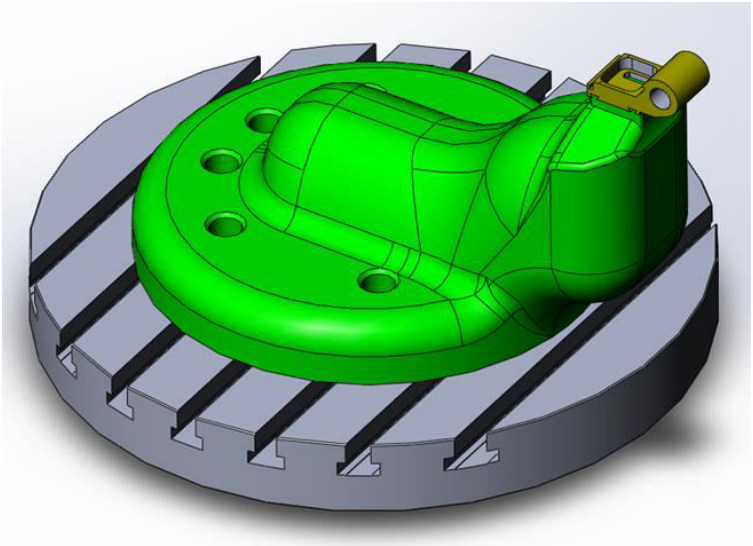


Рис. 4. Башмак

Базирование детали происходит за счет ласточкиного хвоста. Сухари сжимают заготовку вниз после загрузки роботом в оснастку.

2. Разработка УП в Siemens NX (CAM)

2.1. Подготовка

- Создана 3D-модель детали "полупетля" и заготовки;
- Определены Локальные Системы Координат (ЛСК) для операций;
- Созданы родительские группы (сборка, геометрия детали/заготовки).

2.2 Инструментарий

- Подобран и настроен режущий инструмент в CAM NX:
  - Щуп (Renishaw) - T1.
  - Фреза концевая Ø8 мм - черновая/чистовая обработка карманов, пазов.
  - Сверло ступенчатое - отверстия с 2-мя диаметрами.
  - Метчик - нарезание резьбы
  - Фреза концевая Ø16 мм - обработка отверстия Ø18
  - Фреза дисковая - обработка торцов

2.3. Технологические операции

1. Фрезерование карманов: Фреза Ø8 мм. Задание плоскости, стратегия, режимы резания.
2. Фрезерование пазов: Фреза Ø8 мм. Смена плоскости/стратегии.
3. Сверление отверстий: Ступенчатое сверло (1 проход).
4. Нарезание резьбы: Метчик.
5. Растачивание отверстия Ø18: Фреза Ø16 мм (повышение точности/соосности).
6. Обработка торцов: Фреза дисковая.

Заключение и результаты: Внедрение спроектированного РТК на базе робота M-20iA/20M и автоматизированная подготовка УП в Siemens NX позволили существенно оптимизировать процесс изготовления "полупетли":

1. Повышение производительности: Достигнута цикловая производительность 14.4 деталей/час.

2. Снижение трудоемкости: Автоматизация программирования (NX) и манипуляций (робот) сократили ручной труд.

3. Гарантированное качество: Высокая повторяемость робота (±0.03 мм) и точное следование УП обеспечивают стабильность геометрии детали.

4. Гибкость: РТК легко перенастраивается на схожие детали.

Научная новизна: Разработка единого ТП с глубокой интеграцией САПР (NX CAD/CAM) для проектирования, программирования РТК и управления им. Практическая значимость: Решение готово к внедрению в серийное производство для повышения эффективности изготовления деталей класса "полупетля".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Анурьев В.И.* Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. Т. 1 / В.И. Анурьев. — 10-е изд., перераб. и доп. — Москва: Машиностроение, 2011. — 897 с.: ил. — ISBN 978-5-94275-603-0.

2. *Астахов А.И.* Станочные приспособления: в 2 т. Т. 1 / А.И. Астахов, С.В. Бояршинов, Б.Н. Вардашкин. — Москва: Машиностроение, 2011. — 592 с.: ил.

3. *Горошкин А.К.* Приспособления для металлорежущих станков: справочник / А.К. Горошкин. — Москва: Машиностроение, 2012. — 695 с.: ил. — ISBN 978-5-94275-605-4.

4. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: справочник / под ред. В.И. Баранчикова. — Москва: Машиностроение, 1990. — 400 с. : ил.

5. *Бурчаков Ш.А.* Технология машиностроения: учебное пособие для студентов заочного и вечернего обучения / Ш.А. Бурчаков, Н.Н. Ухватов. — Казань: [б. и.], 2013. — 187 с.: ил. — ISBN 978-5-00000-000-0.

IMPROVEMENT OF THE HALF-LOOP MANUFACTURING PROCESS USING AUTOMATED CONTROL PROGRAM PREPARATION SYSTEMS

Fairuzova Z.R.

Supervisor: Pechenkin M.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The creation of a robotic technological complex for the "Half-Loop" part significantly reduces the manufacturing time of the product, increases dimensional accuracy and reduces the influence of the human factor. Also, writing a program in Siemens NX is an integral part of RTK automation.

УДК 629.7

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ «ВИЛКА» В DEFORM-3D

Фатхутдинов А.И.

Научный руководитель: Салина М.С., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе горячей объемной штамповки детали «Вилка» с использованием программного комплекса DEFORM-3D. Использование DEFORM способствует оптимизации технологических процессов обработки металлов под давлением, улучшению качества продукции и снижению ее себестоимости благодаря компьютерному анализу и уменьшению необходимости в проведении производственных экспериментов.

Обработка металлов давлением, в частности горячая объемная штамповка, — это процесс высокотемпературного пластического формоизменения металла в закрытом штампе, обеспечивающий получение заготовок (поковок) с высокими механическими свойствами и точностью. Актуальность данного метода определяется растущими требованиями к надежности и долговечности ответственных деталей в авиа- и ракетостроении, энергомашиностроении и транспортном машиностроении, где только объемная штамповка позволяет сформировать оптимальную волокнистую макроструктуру, повышающую усталостную прочность и сопротивление хрупкому разрушению. Кроме того, развитие аддитивных технологий для изготовления штампов и компьютерное моделирование процессов штамповки открывают новые возможности для оптимизации технологических циклов и снижения себестоимости поковок сложной конфигурации [1, 2, 3].

DEFORM-3D представляет собой программное обеспечение, базирующееся на методе итоговых элементов, которое берется для анализа поведения металла, а также распределения температур, напряжений и деформаций в ходе обработки металлов под давлением. Этот комплекс позволяет воссоздавать различные операции, такие как ковка, штамповка, прокатка и другие процессы пластической деформации.

В качестве объекта исследования выбрана деталь «Вилка», чертеж которой приведен на (рис.1) Заготовкой для изготовления детали служит поковка [1] (рис.2), проектируемая по ГОСТ 7505-89 [4,5] и переходы в операции горячей объемной штамповки (рис.3) [6-8].

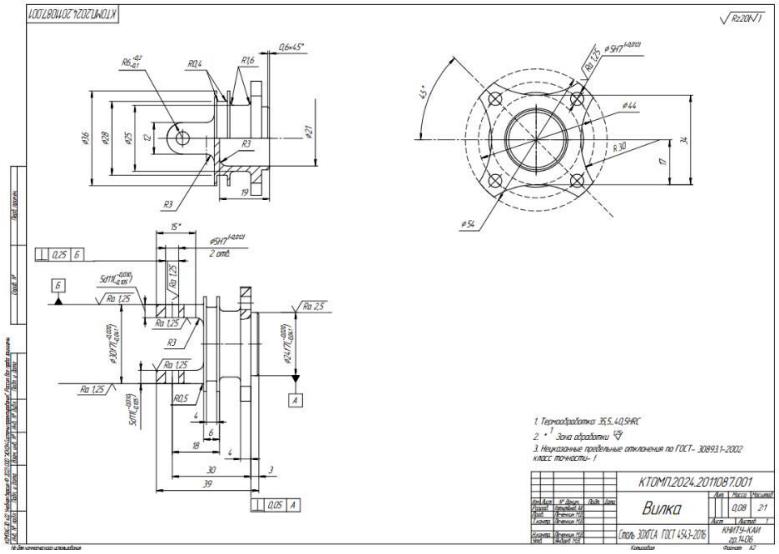


Рисунок 1. Чертеж детали «Вилка»

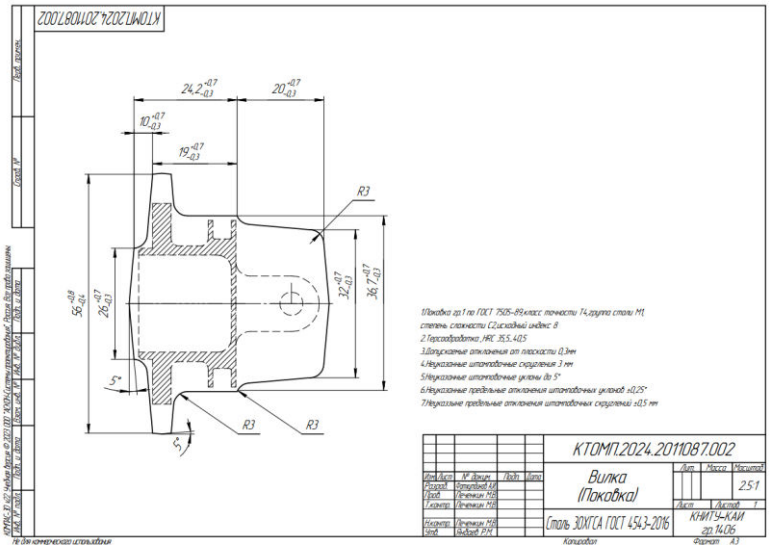


Рисунок 2. Чертеж поковки детали «Вилка»

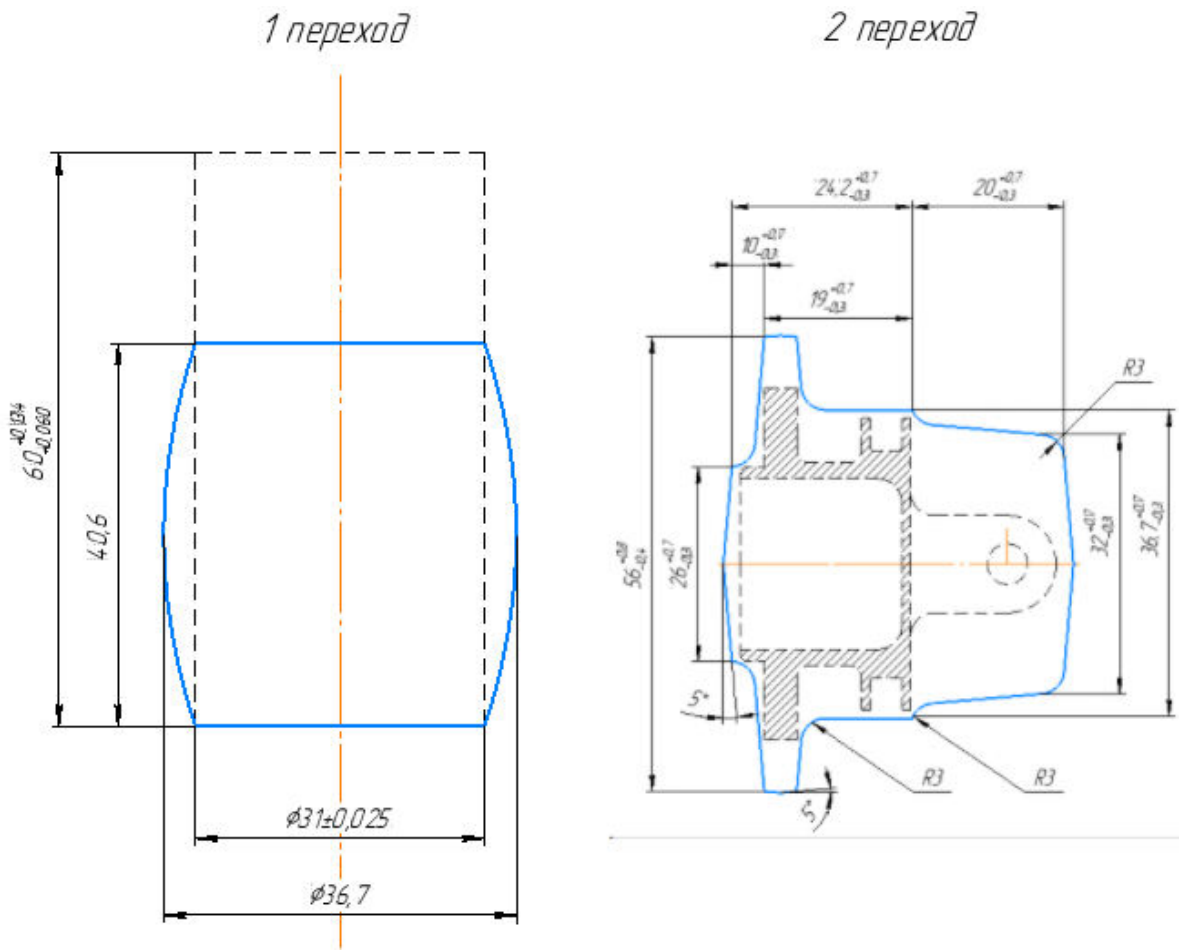


Рисунок 3. Переходы штамповки

Для получения поковки применяется штамп кривошипно-горячештамповочного пресса (КГШП) (см. рис. 4). Этот пресс позволяет выполнять различные операции штамповки, такие как осадка, пережим, гибка, а также предварительная и окончательная штамповка, выдавливание и калибровка, что дает возможность получать поковки сложной формы с высокой точностью. КГШП отличается высокой мощностью и быстродействием, что критически важно для сокращения времени остывания заготовки и обеспечения высокого качества горячей штамповки в серийном и массовом производстве.

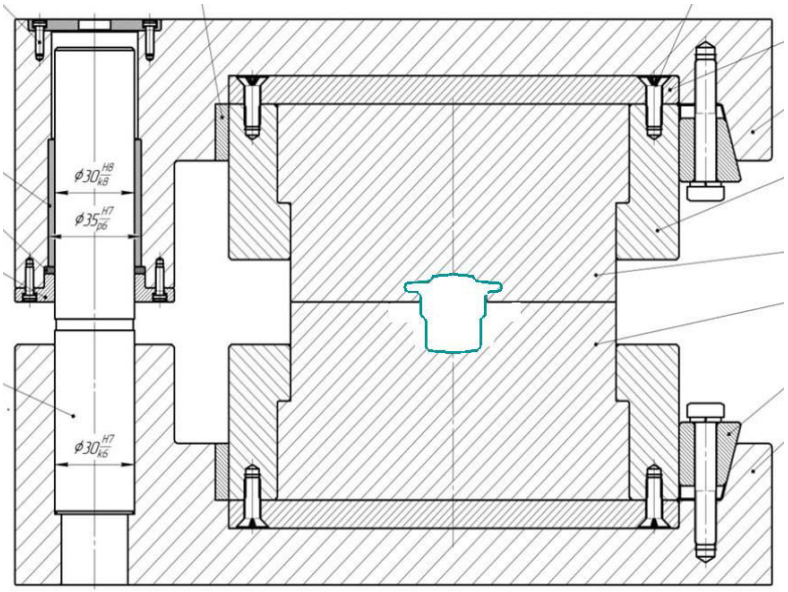


Рисунок 4. Чертеж кривошипно-горячештамповочного пресса

Моделирование первого перехода осадки включает в себя импорт модели заготовки из Компас 3D (рис. 5), установку материала заготовки — стали марки AISI-4340 в температурном диапазоне от 850 до 1200°C, генерацию сетки из 10 000 конечных элементов, а также позиционирование инструментов (матрицы и пуансона) относительно заготовки (рис. 6). Далее задается перемещение верхнего инструмента и определяется коэффициент трения, равный 0,12, для холодного деформирования (рис.7). Настраиваются параметры расчета, такие как количество шагов, запись каждого второго шага, скорость перемещения в мм/шаг и остановка при достижении заданного перемещения по оси Z, после чего проводится расчет с последующим анализом результатов в постпроцессоре.

Далее моделируется касание штампов и заготовки, и задаются параметры расчета.

Создаем базу данных и проводим расчет процесса операции осадки. После завершения расчета переходим в постпроцессор DEFORM-3D для визуализации результатов. Этапы первого перехода штамповки представлены на графиках, а результаты расчета показывают распределения напряжений.

Второй переход включает операцию высадки осаженной заготовки, которая осуществляется по аналогичной технологии, как и в первом переходе, при этом изменяются только модели штамповочного инструмента.

Стадии моделирования высадки показаны ниже (рис.5).

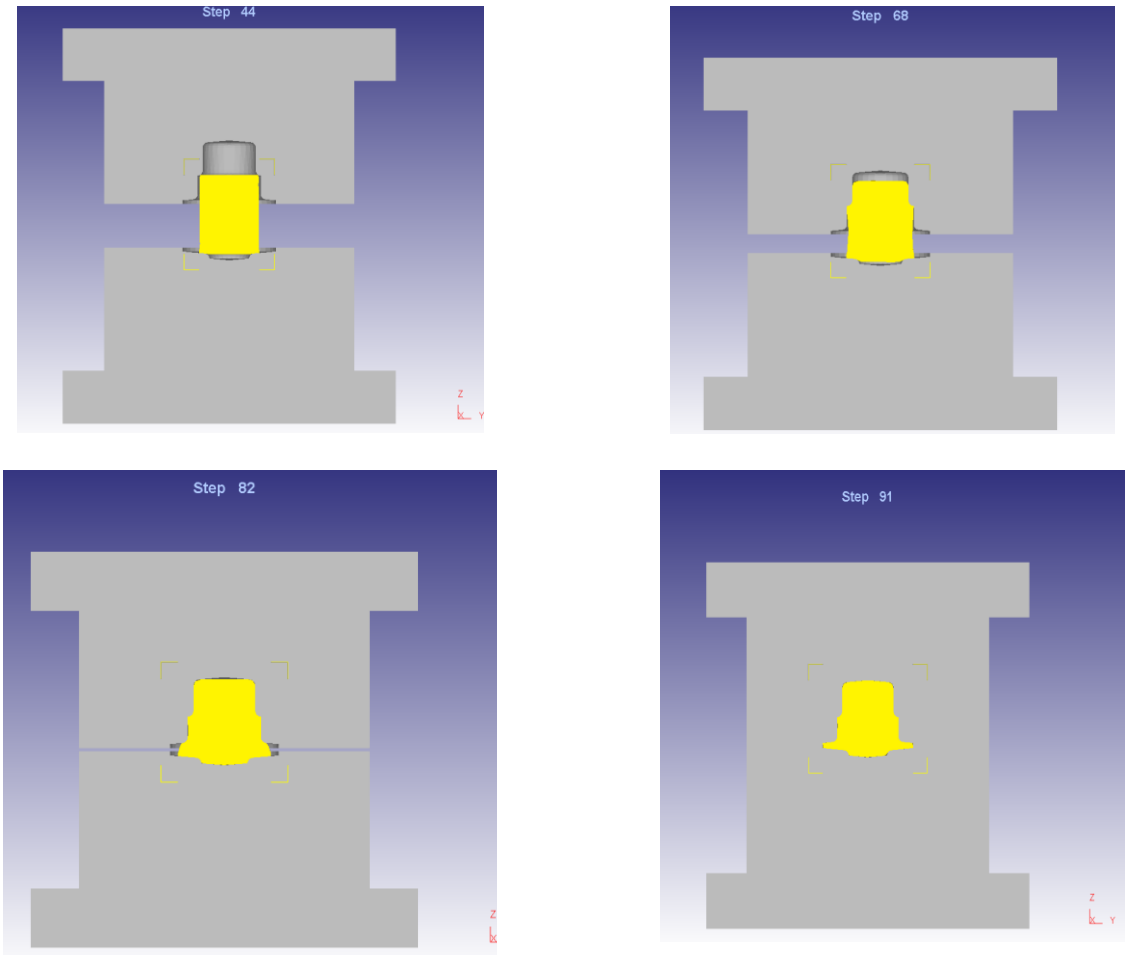


Рисунок 5. Стадии операции высадки

Анализ результатов

По завершении расчёта были получены цветные карты распределения напряжений и график зависимости усилия деформирования от перемещения штампа (рис.6).

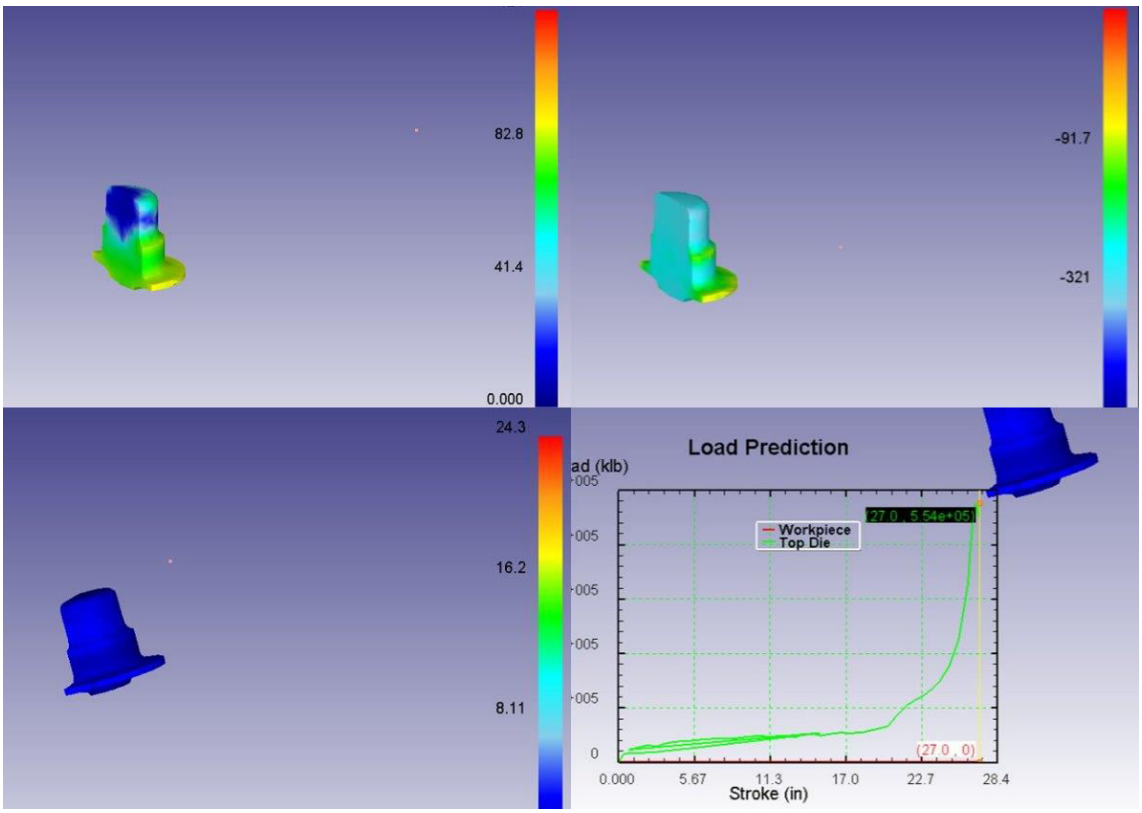


Рисунок 6. Картины распределения напряжений и график зависимости усилия деформирования

На картах распределения напряжений видно, что наибольшая интенсивность деформаций наблюдается в зонах резких изменений формы детали, а также в местах скруглений и сужений, которые выступают в качестве локальных концентраций напряжений. Кроме того, по графику можно определить, что усилие при высадке составляет приблизительно 582 кН.

В процессе работы был проведен анализ и моделирование горячей объемной штамповки детали «Вилка» с использованием программного обеспечения DEFORM-3D. В результате были получены следующие данные: 1) график зависимости усилия осадки от перемещения штампа, где усилие осадки составило 52 кН; 2) график зависимости усилия деформирования от перемещения штампа, где усилие высадки составило 582 кН.

Использование компьютерного моделирования позволяет значительно ускорить производственный процесс, повысить качество продукции и снизить ее себестоимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Салина М.С.* Проектирование процесса горячей объемной штамповки поковки "Втулка" в программном комплексе DEFORM-3D // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики (АНТЭ-2024): материалы IX Всероссийской научно-технической конференции, Казань, 03–04 октября 2024 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2024. – С. 416-418.

2. *Салина М.С.* Формообразование из композиционных материалов элементов конструкций летательных аппаратов: специальность 05.07.02 "Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук – Казань, 2016. – 22 с.

3. *Салина М.С.* Деформированное и напряженное состояние при пластическом кручении эллиптических валов / М.С. Салина, Ю.П. Катаев // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014. – № 1. – С. 52-58.

4. Национальный стандарт Российской Федерации. Поковки стальные штампованные: допуски, припуски и кузнечные напуски: ГОСТ 7505-89. — Введ. 1990-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — IV, 18 с.

5. Национальный стандарт Российской Федерации. Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый: сортамент: ГОСТ 2590-2006. — Введ. 2007-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — 13 с.

6. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка: в 2 т. Т. 1 / Е.И. Семенов, А.О. Ганаго, Л.И. Живов [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1985. — 567 с.

7. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка: в 2 т. Т. 2 / Е.И. Семенов, А.О. Ганаго, Л.И. Живов [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1985. — 592 с.

8. *Бабенко В.А.* Объемная штамповка: атлас схем и типовых конструкций штампов: учебное пособие для машиностроительных вузов / В.А. Бабенко, В.В. Бойцов, Ю.П. Волик. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Машиностроение, 1982. — 104 с.

COMPUTER SIMULATION OF HOT VOLUMETRIC STAMPING OF A «FORK» PART IN THE DEFORM-3D

Fatkhutdinov A.I.

Supervisor: Salina M.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. In this paper, we study the modeling of the process of hot volumetric stamping of the Fork part using the DEFORM-3D software package. The use of DEFORM helps to optimize the technological processes of metalworking under pressure, improve product quality and reduce its cost through computer analysis and reduce the need for production experiments.

УДК 629.7

ИМИТАЦИЯ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ «ШЕСТЕРНЯ-МУФТА» В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM

Федотова Д.А.

Научный руководитель: Салина М.С., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Проведено моделирование процесса горячей объемной штамповки в программе DEFORM. Получены графики различных видов напряжений в процессе горячей объемной штамповки и проведен анализ процесса.

Обработка металлов давлением — это группа процессов формоизменения заготовки путём пластической деформации без нарушения её сплошности. К ним относится, в частности, горячая штамповка. Актуальность темы горячей объемной штамповки обусловлена её ключевой ролью в создании высоконагруженных деталей для критически важных отраслей промышленности [1, 2, 3]. Горячая объемная штамповка является важной технологией в современном машиностроении, используемой для производства сложных металлических изделий высокого качества. Этот процесс включает, нагрев металлических заготовок до значительных температур, благодаря чему материал становится более пластичным и легче поддается деформациям. Использование программы «DEFORM» для моделирования горячей объемной штамповки позволяет заранее предсказать и оптимизировать процесс, учитывая такие факторы, как деформация материала, распределение температур и напряжений. Это, в свою очередь, помогает избежать возможных дефектов, повысить производительность и снизить затраты на изготовление штампов.

«DEFORM» (DEformation FORMing) представляет собой комплекс программного обеспечения, предназначенный для моделирования различных процессов обработок металлов с использованием давления, включая горячую объемную штамповку. Этапы моделирования в этой программе включают подготовку трехмерной модели, выбор необходимых расчетных методов, анализ полученных результатов и последующую обработку данных. Применение DEFORM позволяет не только выявить и устранить недостатки на ранних этапах проекта, но и существенно снизить затраты ресурсов и трудозатрат в процессе производства.

Дополнительно, эффективно применяя моделирование в «DEFORM», предприятия могут исследовать влияние различных параметров на конечный продукт и разработать оптимальные технологии штамповки, что значительно улучшает качество продукции и конкурентоспособность на рынке. В результате интеграции таких решений можно достигать более высоких стандартов качества и надежности, что особенно актуально в условиях роста требований со стороны потребителей и отрасли в целом.

Проведем моделирование процесса штамповки детали «Шестерня-муфта» в программе DEFORM. В качестве исходных данных используется чертеж детали (рис.1), чертеж поковки [3-5] (рис.2) и переходы в операции горячей объемной штамповки [6-9] (рис.3).

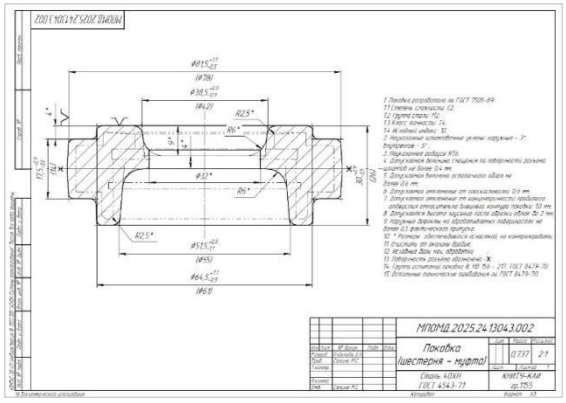


Рисунок 1. Чертеж детали «Шестерня-муфта»

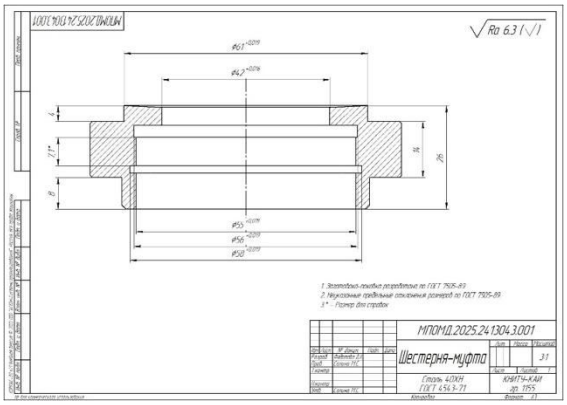


Рисунок 2. Чертеж поковки детали «Шестерня-муфта»

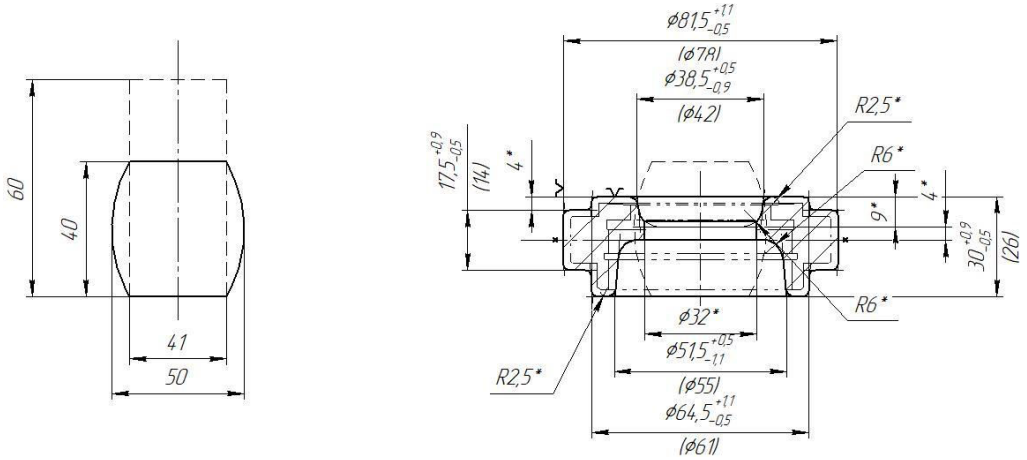


Рисунок 3. Переходы штамповки

Для получения поковки используется штамп кривошипно-горячештамповочного пресса (рис.4), который нагревает заготовку до высокой температуры, после чего она формируется в штампах под давлением. Эти прессы обеспечивают высокую точность и

повторяемость, позволяя получать детали сложной формы с минимальными затратами времени и материалов. Их применение также улучшает механические свойства, повышая прочность и долговечность материалов.

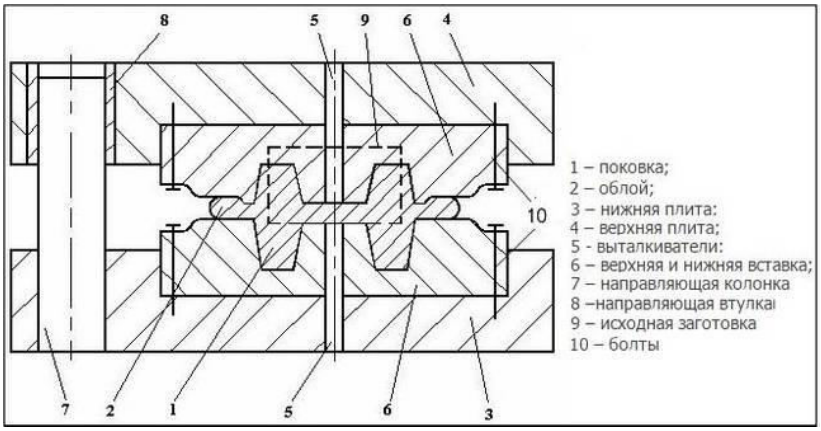


Рисунок 4. Чертеж кривошипно-горячештамповочного пресса

Процесс горячей объемной штамповки, как уже было отмечено, состоит из двух основных этапов. На первом этапе, который называется осадкой, в пре-процессоре программного обеспечения создается упрощенная модель в форме цилиндра, а также формируется сетка конечных элементов (см. рис. 5 и 6). В этом этапе также осуществляется размещение верхнего и нижнего штампа по отношению к заготовке (см. рис. 7 и 8).

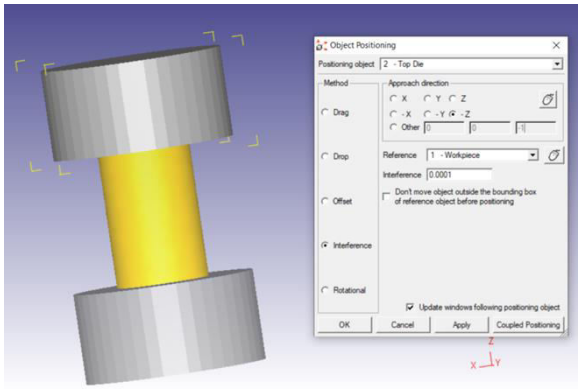


Рисунок 5. Геометрия исходной заготовки

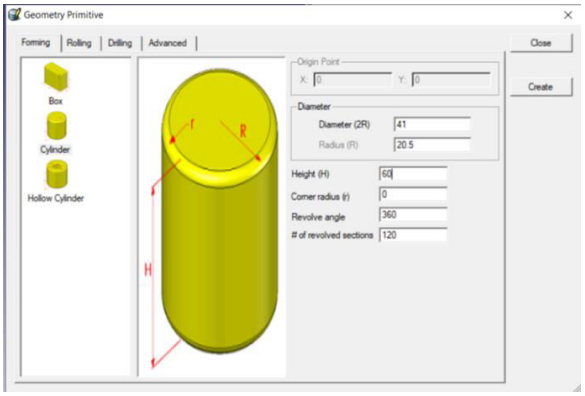


Рисунок 6. Сетка конечных элементов

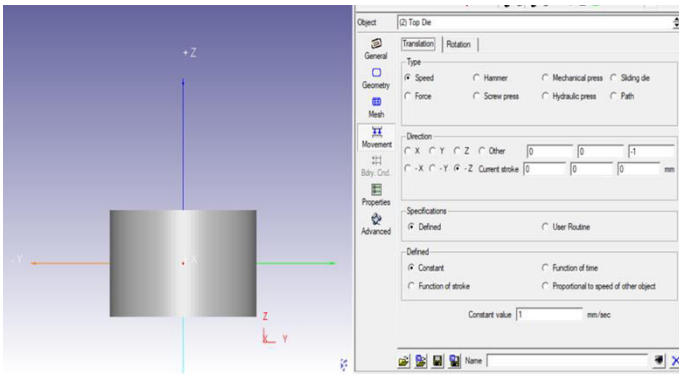


Рисунок 7. Взаимное расположение элементов

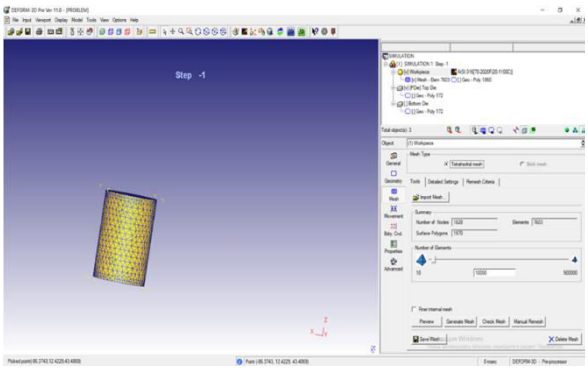


Рисунок 8. Перемещение инструмента

Далее моделируется касание штампов и заготовки, и задаются параметры расчета (рис 9, 10).

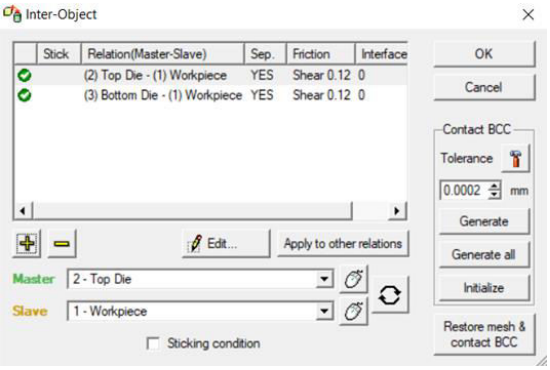


Рисунок 9. Взаимодействие между объектами

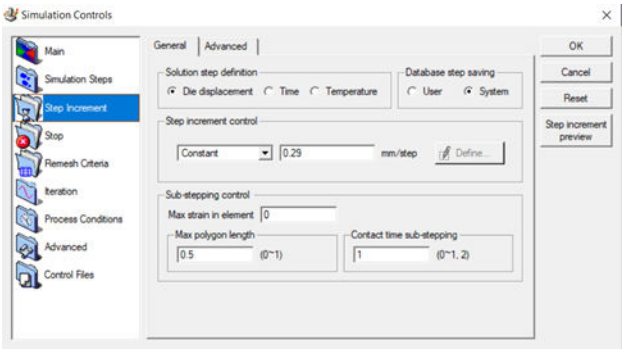


Рисунок 10. Настройки задачи

В конце перехода генерируется база данных и закрывается пре-процессор. Потом запускается симуляция по сформированной базе данных. После окончания симуляции запускается пост-процессор и выводится результат в виде графиков.

Второй переход операция высадки осаженной заготовки, происходит аналогично первому, меняются только модели штампа (рис 11, 12).

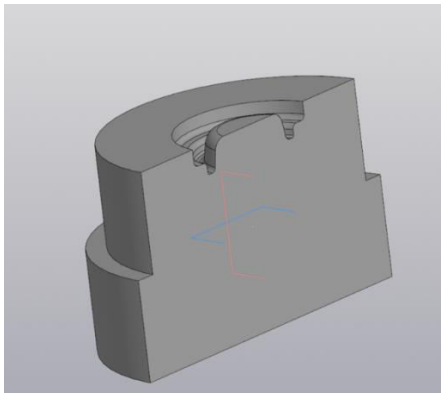


Рисунок 11. Нижний вкладыш

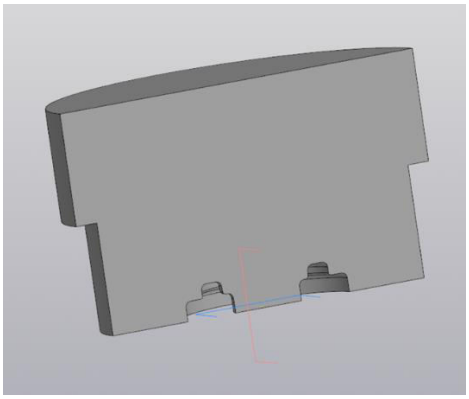


Рисунок 12. Верхний вкладыш

Стадии моделирования высадки показаны ниже (рис.13).

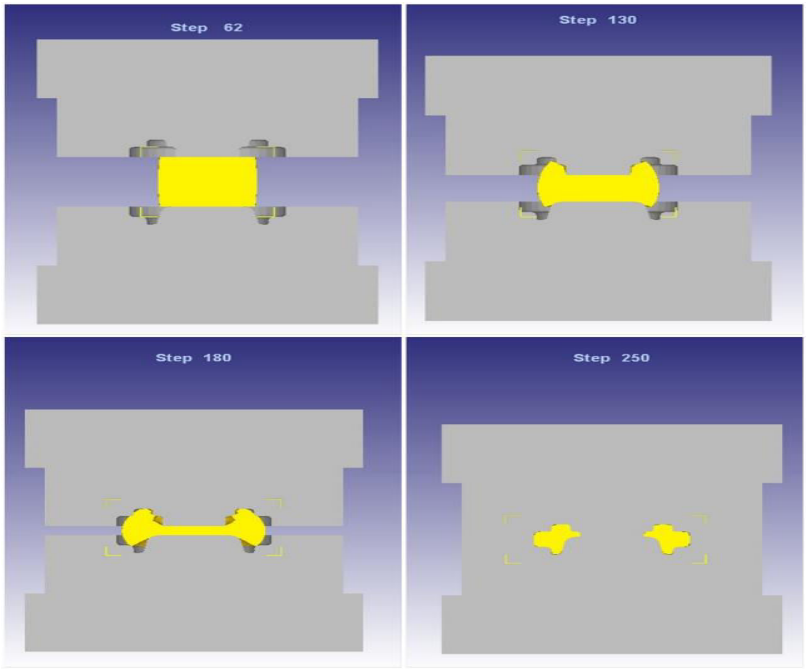


Рисунок 13. Стадии операции высадки

В конце расчета были получены результаты измерений в виде цветных картин распределения напряжений и графика зависимости усилия деформирования от перемещения штампа (рис.14).

На картинах распределения напряжений можно наблюдать, что максимальная интенсивность деформаций сосредоточена в областях, где происходит резкое изменение формы детали, а также в скруглениях и сужениях. Эти зоны выступают в роли локальных концентраций напряжений. А благодарю графику мы узнаем что усилие при высадке составляет порядка 471 кН.

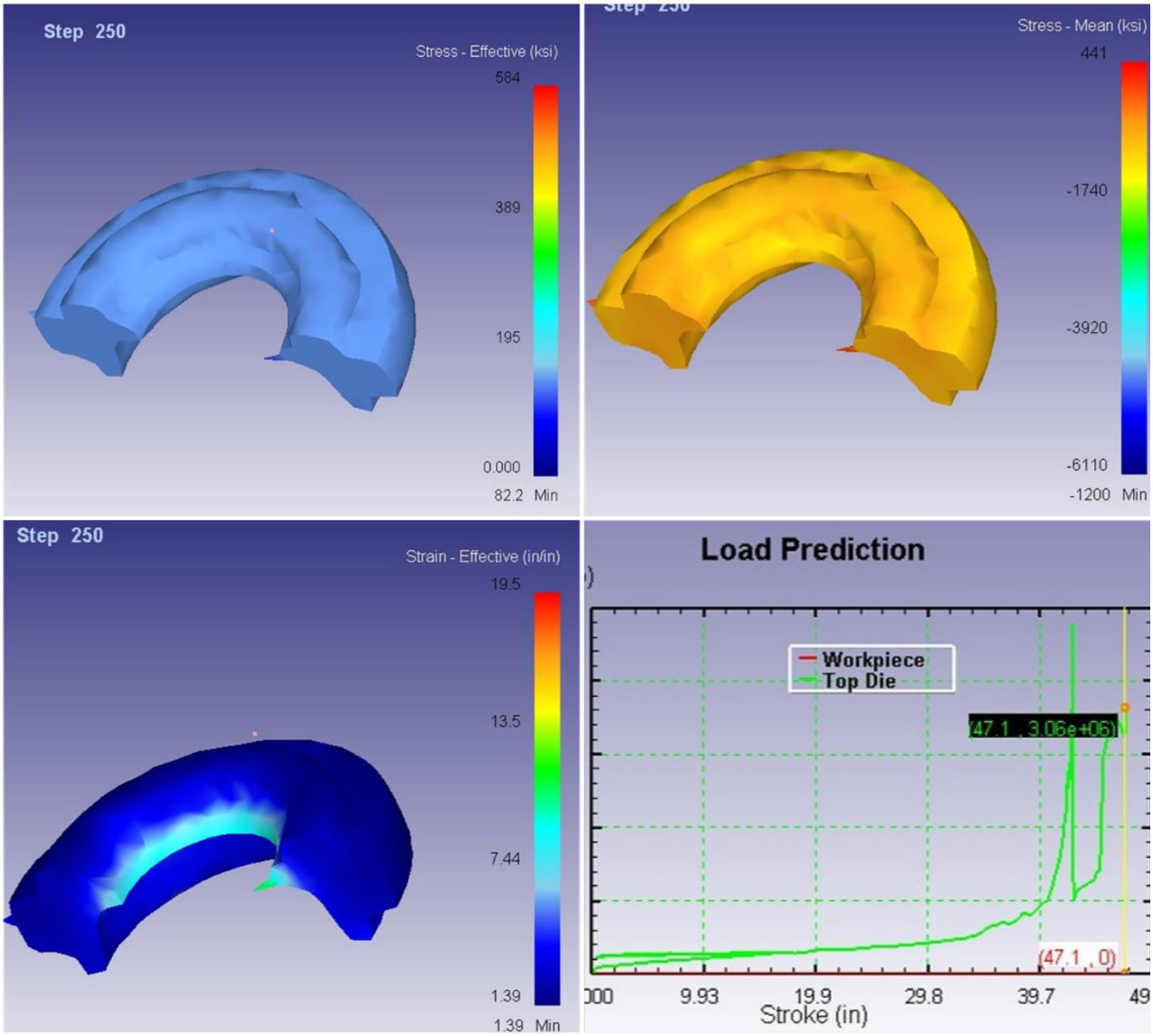


Рисунок 14. Картины распределения напряжений и график зависимости усилия деформирования

При использовании программного комплекса «DEFORM» в ходе моделирования были получены следующие результаты: 1) график зависимости усилия осадки от перемещения штампа, где усилие осадки составило 26,3 кН; 2) график зависимости усилия деформирования от перемещения штампа, где усилие высадки составило 471 кН. Также были получены изображения распределения деформаций и напряжений, на которых четко видны области с концентрацией напряжений и корректность заполнения канала.

Таким образом, процесс горячей объемной штамповки можно смоделировать. Использование компьютерного моделирования позволяет значительно сократить сроки производства, повысить качество продукции и уменьшить ее себестоимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Салина М.С.* Проектирование процесса горячей объемной штамповки поковки "Втулка" в программном комплексе DEFORM-3D // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики (АНТЭ-2024): материалы IX Всероссийской научно-технической конференции, Казань, 03–04 октября 2024 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2024. – С. 416-418.

2. *Салина М.С.* Формообразование из композиционных материалов элементов конструкций летательных аппаратов: специальность 05.07.02 "Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук – Казань, 2016. – 22 с.

3. *Салина М.С.* Деформированное и напряженное состояние при пластическом кручении эллиптических валов / М.С. Салина, Ю.П. Катаев // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014. – № 1. – С. 52-58.

4. Национальный стандарт Российской Федерации. Поковки стальные штампованные: допуски, припуски и кузнечные напуски: ГОСТ 7505-89. — Введ. 1990-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — IV, 18 с.

5. Национальный стандарт Российской Федерации. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей: общие технические условия: ГОСТ 1050-2013. — Введ. 2015-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2014. — 46 с.

6. Национальный стандарт Российской Федерации. Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый: сортамент: ГОСТ 2590-2006. — Введ. 2007-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2006. — 13 с.

7. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка: в 2 т. Т. 1 / Е.И. Семенов, А.О. Ганаго, Л.И. Живов [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1985. — 567 с.

8. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка: в 2 т. Т. 2 / Е.И. Семенов, А.О. Ганаго, Л.И. Живов [и др.]. — Москва: Машиностроение, 1985. — 592 с.

9. *Бабенко В.А.* Объемная штамповка: атлас схем и типовых конструкций штампов: учебное пособие для машиностроительных вузов / В.А. Бабенко, В.В. Бойцов, Ю.П. Волик. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Машиностроение, 1982. — 104 с.

SIMULATION OF THE HOT STAMPING PROCESS OF A PART "GEAR- COUPLING" IN THE DEFORM SOFTWARE PACKAGE

Fedotova D.A.

Supervisor: Salina M.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The simulation of the process of hot volumetric stamping in the DEFORM program is carried out.Graphs of various types of stresses in the process of hot volumetric stamping are obtained and an analysis of the process is carried out.

УДК 621.51 65.012.122

НИИТУРБОКОМПРЕССОР – ВЕДУЩЕЕ НАУЧНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ КАЗАНСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ КОМПРЕССОРОСТРОЕНИЯ

Хабибуллин И.И.

(АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», г. Казань)

Аннотация. Разработка технических решений, применимых на длинном отрезке дистанции, перспективна и всегда актуальна как для отдельных отраслей, так и для компрессоростроения в целом. Для решения современных вызовов Президентом и Правительством предпринимаются различные меры для стимулирования и поддержания разработки и ввода в эксплуатацию новой техники, в том числе и по направлениям

импортозамещения [1, 2, 3]. Также развитие конструкторских и инженерных производств напрямую зависит от грамотного управления рабочей средой научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок для создания проектов, признанных на рынке. В статье на примере АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» показана общая структура работ по созданию условий для появления прорывных методик и разработок в области компрессоростроения.

АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» (НИИТК) в РФ является одним из ведущих представителей действующих научных школ в области компрессоростроения наряду с СПбПУ (Санкт-Петербург), ОМГТУ (Омск) и МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва).

НИИТК, основанный в 1957 года Владимиром Борисовичем Шнеппом, зарекомендовал себя благодаря постоянному участию в развитии и популяризации науки [4] и технологий; кадровому обеспечению; защите интеллектуальной собственности и международному сотрудничеству.

Кадровое обеспечение: проблема подготовки квалифицированных кадров для наукоемких производств является актуальной для любой отрасли и компрессоростороение не исключение. Подготовка специалистов высшей квалификации, способных к самостоятельной реализации проектов, отвечающих современным вызовам, достигается путем использования комплексного подхода и является базой для положительного завершения научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (НИОКР).

Направления деятельности и достигнутые результаты

На сегодняшний день НИИТК поддерживает в силе более 60 патентов на изобретения и полезные модели в этой области, всего же с момента основания НИИТК являлся правообладателем более 300 патентов и свидетельств на ПО для ЭВМ и баз данных. Этому способствует наличие передовых инженерных разработок, актуальных программных комплексов, совершенствование материально-технической базы. Все это позволяет проводить работы по проектированию компрессоров различных типов на высоком уровне и гарантировать достижение заданных характеристик.

Основные направления проводимых научных исследований [5]:

- повышение энергетической эффективности проточной части компрессоров;
- совершенствование конструкции основных элементов компрессоров;
- совершенствование способов антипомпажной защиты и регулирования компрессоров;
- исследование подшипников и уплотнений;
- расширение диапазона рабочих параметров компрессорной техники;
- создание математических моделей и методик расчета.

Совершенствование проточной части компрессоров создает предпосылки для увеличения производительности ступеней сжатия. Это увеличит конкурентные преимущества продукции НИИТК. Наращивание производительности достигается изменением конфигурации и расположения основных элементов узла проточной части [6, 7].

Благодаря постоянной разработке и совершенствованию способов антипомпажной защиты и регулирования компрессоров в НИИТК была решена задача по созданию надежной и быстродействующих устройств для определения границы помпажа [8, 9].

Сотрудники НИИТК ведут активные исследования области устойчивой работы подшипников для различных типов компрессоров. Также одним из значимых направлений исследований в НИИТК стала разработка уплотнений для различных типов газов. Результаты проведенных исследований позволили разработать алгоритм проведения ремонтно-восстановительных работ узлов и деталей подшипников скольжения, а также изготовление новых изделий [10, 11, 12]. Новые исследования позволили прогнозировать применение различных современных материалов и сплавов для изготовления подшипников [13].

Кроме центробежных компрессор в область изучения НИИТК входят и другие типы компрессорного оборудования – турбодетандеры и винтовые компрессоры. Для этих типов

агрегатов сотрудниками НИИТК были проведены исследования в области создания параметрических рядов [14, 15].

Создание математических моделей и методик расчета в процессе НИОКР обеспечивает уменьшение как сроков проведения газодинамических и прочностных расчетов, подготовки конструкторской документации на отдельные узлы агрегата, так и расширение диапазона рабочих параметров компрессорной техники [16, 17].

Сохранения лидерских позиций в области компрессоростроения НИИТК добивается за счет проверки правильности примененных конструкторских решений и технологий изготовления путем создания и испытания модельных стендов [18]. Дополнительным преимуществом НИИТК является применения технологии реверс-инжинеринга [19, 20].

Дополнительно решаются проблемы высокомощных компрессорных установок для проектов СПГ, предназначенных для использования в технологических линиях транспортировки и ожижения природного газа, при температуре газа на входе ниже минус 70°С.

Одной из проблем, возникающих при эксплуатации подобных больших установок является возникновение крутильных колебаний. Они приводят к внезапным изменениям нагрузки в следствии возникновения скручивающих моментов. Это несет опасность превышения номинального момент в несколько раз и может привести к разрушению валопровода. С целью повышения эксплуатационной надежности, в АО НИИТК ведутся работы по исследованию и разработки мероприятий по исключению крутильных колебаний. В рамках данного направления разрабатывается экспериментальный стенд с созданием модели компрессорной установки и имитацией крутильных колебаний совместно с НТЦ Ресурс.

Также при эксплуатации высокомощных компрессорных установок для проектов СПГ в условиях низких и криогенных температур выдвигаются особые требования к используемым в таком оборудовании конструкционным материалам. В рамках проектирования установок совместно с СПбПУ была проведена работа по подбору материального исполнения и экспериментальные работы по влиянию пониженных температур на свойства материалов.

С целью подтверждения работоспособности конструкции и принятых технических решений проведены криогенные испытания (захолаживание) узлов компрессора в криогенных камерах на стенде АО «НИИЭФА». Эти испытания представляют собой ходовые испытание на азоте с температурой рабочей среды на входе в компрессор до минус 160° С, на рабочих (либо максимально допустимых) частотах вращения.

Поскольку в процессе испытаний и эксплуатации компрессоров возникают вопросы, связанные с оценкой реального запаса по прочности рабочих колес и корпусов, требующего верификации результатов в НИИТК используется комплексный способ тензометрирования.

Благодаря отлаженному процессу НИОКР НИИТК ведет работу не только с российскими партнерами, но и с зарубежными [21]. Обширная проектная деятельность ведется для отраслевых гигантов ПАО «НОВАТЭК», ПАО «ГАЗПРОМ», ПАО «СИБУР Холдинг», а также для средних и мелких российских и региональных компаний нефтегазового сектора [22, 23, 24, 25]. Среди зарубежных партнеров можно выделить таких представителей дружественных стран как Исламская Республика Иран.

Новые технологии в НИОКР

Бурно развивающимся направлением в НИОКР различным направлениям являются новые технологии:

- динамическое моделирование, использующееся для анализа всех возможных режимов работы и выявления критических режимов и принятия мер по обеспечению надежной работы за счет как корректного подбора оборудования, так и выработки стратегии управления при различных сценариях работы;

- применение искусственного интеллекта (ИИ) в создании передовых моделей промышленного оборудования;

- машинное обучение для разработки и реализации проектов разработки унифицированных модельных рядов промышленного оборудования;

- нейросети, применяемые в сложных расчетах;

- роботизация технологических процессов в виде полномасштабного внедрения производственных линий под управлением одного оператора или в виде многопрофильных программируемых высокоточных станков;

- аддитивные технологии, применяемые при создании уникальных объектов, узлов и конструкций.

Все эти технологические прорывы современности планируется интегрировать в имеющуюся производственную базу компрессоростроения.

Предприятия внедряют перспективные технологии в свой производственный цикл. Связано это в первую очередь с гонкой производственных мощностей стран мира. из-за возрастающего кадрового голода.

НИИТК как представитель наукоемкого общего машиностроения и ведущая исследовательская организация в отрасли компрессоростроения берет на вооружение интересующие и подходящие современные технологии.

Использование машинного обучения и нейросетей в НИИТК является отличным инструментом для проведения изысканий по созданию малорасходных турбинных ступеней для турбодетандерных агрегатов, а также для расчетно-экспериментальных исследований динамики и прочности валопровода компрессоров мощностью более 65МВт. Также машинное обучение и нейросети оказываются полезными для:

- разработки методики по динамическому моделированию компрессорных станций и проведению газодинамических;

- прочностных расчетов узлов и деталей компрессорного и турбодетандерного оборудования;

- создания типоразмерного ряда и методики расчета мембранных муфт;

- создания типоразмерного ряда мультипликаторов модернизированной конструкции.

Роботизацию технологических процессов в НИИТК планируется представить в виде многопрофильных программируемых высокоточных станков, работающих под управлением одного оператора, для роботизированной сварки при изготовлении рабочих колес с проведением циклических испытаний.

В статье авторы продемонстрировали современное состояние научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок в области компрессоростроения для создания проектов, признанных на рынке, на примере АО «НИИтурбокомпрессор им.В.Б. Шнеппа». Управление рабочей средой, создание условий для появления прорывных методик и разработок в области компрессоростроения, внедрение и эксплуатация передовых технологий для удовлетворения потребностей заказчиков различного уровня в добывающих отраслях не только в РФ, но и в мире.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Правительство РФ. Концепция технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 20 мая 2023 г. № 1315-р. — Москва, 2023. — 45 с. — Текст: электронный. — URL: http://static.government.ru/media/files/SUgW0uqZYGfflT5BzC1RlTkXLXgXx6dC.pdf (дата обращения: 21.05.2024).

2. Президент РФ. Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 г. № 145. — Текст: электронный. — URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202402280018 (дата обращения: 21.05.2024).

3. Правительство РФ. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 года: распоряжение Правительства РФ от 12 апреля 2025 г. № 908-р. — Текст: электронный. — URL: https://base.garant.ru/ (дата обращения: 21.05.2024).

4. *Костылева Е.Е.* Наука в тренде: АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» открывает двери для взрослых и школьников / Е.Е. Костылева, И.И. Хабибуллин – Текст непосредственный // Компрессорная техника и пневматика. - 2025. - № 2. - С. 56.

5. Научная деятельность – Текст: электронный // ОА «НИИтурбокомпрессор им. В.Б.Шнеппа»: официальный сайт. – 2025. – URL: https://niitk-kazan.ru/scientific-activity/ Научная деятельность (дата обращения: 08.04.2025).

6. *Хасанов Н.Г.* Расчётно-экспериментальное исследование высокорасходной модельной ступени центробежного компрессора с повышенным втулочным отношением / Хасанов Н.Г., И.Ф. Хуснутдинов, Р.Ф. Муртазин и др. – Текст непосредственный // Компрессорная техника и пневматика. - 2022. - № 4. - С. 37-39.

7. *Биктимеров Ш.Ш.* Создание ряда высокоэффективных турбинных ступеней турбодетандерных агрегатов. Перспективы применения в различных отраслях промышленности / Ш.Ш. Биктимеров, Р.Ю. Скобелев, Е.В. Дубинин и др. – Текст непосредственный // Труды XIX Международной научно-практической конференции по компрессоростроению, посвященной 100-летию со дня рождения В.Б. Шнеппа. – Казань. – 2024. – С. 197-203.

8. *Гузельбаев Я.З* Экспериментальное определение границы помпажа центробежных компрессоров с масляными и электромагнитными подшипниками без ввода их в помпаж / Я.З Гузельбаев, А.Л. Хавкин. – Текст непосредственный // Компрессорная техника и пневматика. – 2018. – № 3. – С. 25-28.

9. *Хавкин А.Л.* Опыт внедрения антипомпажных систем, разработанных в АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» / А.Л. Хавкин, И.Ф. Хуснутдинов. – Текст непосредственный // Труды XIX Международной научно-практической конференции по компрессоростроению, посвященной 100-летию со дня рождения В.Б. Шнеппа. – Казань. – 2024. – С 230-235.

10. *Соколов Н.В.* Основные моменты реинжиниринга подшипниковых узлов динамического оборудования / Н.В. Соколов, Р.Р. Байбеков, А.Г. Егоров. – Текст непосредственный // Материалы XI-й Международной научно-технической конференции. – 2022. –Ч. 2. – С 124-129.

11. *Соколов Н.В.* Результаты отладочных испытаний на стенде опорных подшипников скольжения центробежных компрессоров / Н.В. Соколов, Д.Е. Якимов, М.Б. Хадиев. – Текст непосредственный // Труды XI Международной научно-технической конференции молодых специалистов. – Казань. – 2022. – С. 294-299.

12. *Хадиев М.Б.* Расчет опорных подшипников скольжения с самоустанавливающимися подушками на гидростатическом подвесе / М.Б. Хадиев, И.В. Хамидуллин, Н.В. Соколов и др. – Текст непосредственный // Материалы 15-й Международной научно-технической конференции. – Омск. – 2025. – С. 20-28.

13. *Соколов Н.В*. Рекомендации к проектированию и применению материалов подшипников скольжения компрессорных машин / Н.В. Соколов, А.Ф. Сарманаева, И.С. Давлетшин и др. – Текст непосредственный // Компрессорная техника и пневматика. – 2024. - № 1. – С. 37-43.

14. *Паранина О.Ю.* Параметрический ряд спиральных компрессоров для систем кондиционирования воздуха / О.Ю. Паранина, Ю.А. Паранин, А.Ф. Сарманаева и др. – Текст непосредственный // Труды XI Международной научно-технической конференции молодых специалистов. – Казань. – 2022. – С. 17-31.

15. *Паранина О.Ю.* Разработка ряда импортозамещающих спиральных холодильных компрессоров О.Ю. Паранина, Ю.А. Паранин, А.Ф. Сарманаева и др. – Текст непосредственный // Компрессорная техника и пневматика. – 2021. - № 3. – С. 39-44.

16. *Паранина О.Ю.* Разработка высокоэффективного ряда импортозамещающих винтовых маслозаполненных компрессоров расширенной области применения / О.Ю. Паранина, К.И. Гарифов, А.Ф. Сарманаева и др. – Текст непосредственный // Компрессорная техника и пневматика. – 2023. - № 1. – С. 21-26.

17. *Хасанов Н.Г.* Численное моделирование характеристик центробежных компрессоров и турбин в АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б.Шнеппа» / Н.Г. Хасанов, Е.В. Дубинин, И.Ф. Хуснутдинов и др. – Текст непосредственный // Компрессорная техника и пневматика. – 2023. - № 2. – С. 28-31.

18. *Конов Д.Е.* Порядок проведения газодинамических испытаний центробежных компрессоров и методы подтверждения параметров / Д.Е. Конов, И.Ф. Хуснутдинов, И.И. Салахов. – Текст непосредственный // Труды XI Международной научно-технической конференции молодых специалистов. – Казань. – 2022. – С. 162-170.

19. *Сарманаева А.Ф.* Импортозамещение компрессорного оборудования иностранного производства посредством реверс-инжиниринга / А.Ф. Сарманаева, Н.В. Соколов, А.М. Ахметзянов и др. – Текст непосредственный // Сборник тезисов XIV научно-практической конференции молодых ученых и специалистов ООО «Газпром трансгаз Казань». – Казань. - 2024. – С.25-33.

20. *Сарманаева А.Ф.* Проблемные вопросы и пути их решения при проведении реверс-инжиниринга узлов компрессорных машин / А.Ф. Сарманаева, Н.В. Соколов, О.Ю. Паранина и др. – Текст непосредственный // Омский научный вестник. Серия авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2024. – Т. 8. - № 3. – С. 53-60.

21. *Сибгатуллин Р.Г.* Разгонно-циклические испытания рабочих колес из материала 18ХГТА. / Р.Г. Сибгатуллин, Ю.А. Абросимов, Е.Н. Поморцев и др. – Текст непосредственный // Компрессорная техника и пневматика. - 2023. - № 3. - С. 42-45.

22. Добыть больше газа позволяют модульные компрессорные установки. / под редакцией С. В. Правосудова. - Текст непосредственный // Журнал «Газпром». - 2020. - № 12. - С. 46-49.

23. *Биктимеров Ш.Ш.* Опыт создания серийной МКУ «Такат» для технологии распределенного компримирования на объектах добычи ПАО «Газпром» / Ш.Ш. Биктимеров, А.Ф. Сарманаева, Ф.Ф. Калимуллин и др. – Текст непосредственный // Компрессорные технологии. – 2021. - № 5. – С. 21-26.

24. *Корнилов А.Р.* Опыт разработки системы автоматизации серийной модульной компрессорной установки для ООО «Газпром Добыча Ямбург» / А.Р. Корнилов – Текст непосредственный // Труды XIX Международной научно-практической конференции по компрессоростроению, посвященной 100-летию со дня рождения В.Б. Шнеппа. – Казань. – 2024. – С 65-80.

25. *Ахметзянов А.М.* Разработка и изготовление оборудования для нефтегазовой промышленности и энергетики / А.М. Ахметзянов, И.В. Николаенко, Д.Е. Якимов и др. – Текст непосредственный // Газотурбинные технологии. - 2024. - № 4 (199). - С. 6-12.

NIITURBOCOMPRESSOR – THE LEADING SCIENTIFIC ENTERPRISE OF THE KAZAN SCIENTIFIC SCHOOL OF COMPRESSOR ENGINEERING

Habibullin I.I.

(JSC NIIturbocompressor n.a. V.B. Shnepp, Kazan)

Abstract. Development of technical solutions applicable on a long distance is perspective and always relevant both for individual industries and for compressor engineering in general. To solve modern challenges, the President and the Government are taking various measures to stimulate and support the development and commissioning of new equipment, including in the areas of import substitution [1, 2, 3]. Also, the development of design and engineering production directly depends on the competent management of the working environment of research and development projects to create projects recognized in the market. The article uses the example of V.B. Shnepp Research Institute of Turbocompressors to show the general structure of work aimed at creating conditions for the emergence of breakthrough methods and developments in the field of compressor engineering.

УДК 621.799

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ

Хисматов А.Р.

Научный руководитель: Солопова Е.А., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе проведен сравнительный анализ структуры и свойств сварных соединений технологических трубопроводов из легированных сталей, полученных механизированной сваркой в смеси газов сварочными проволоками марок Св-08Г2С и Св-08ГСНТ.

Немаловажной задачей нефтегазодобывающей отрасли является снижение потерь при добыче и транспортировке газа. Для этих целей служат узлы коммерческого учета газа, основной частью которых являются технологические трубопроводы. Трубопровод представляет собой конструкцию, состоящую из труб, арматуры и деталей трубопроводов, которые соединены между собой сварными швами и фланцевыми соединениями. Сложность изготовления такой конструкции состоит в том, что она должна надежно работать в условиях Сибири и Крайнего Севера и рассчитана на Т= -60^0 С. К основным материалам и сварным швам предъявляются повышенные требования хладостойкости [1-3].

В качестве основного материала выбрана бесшовная, горячедеформированная труба D=114х12 из конструкционной легированной стали 13ХФА. Данная марка используется в системах транспортирующих газ и нефть, поддержания пластового давления, в технологических трубопроводах. Ее особенность заключается в устойчивости к экстремальным условиям северного климата при температуре окружающей среды от -60 С до +40 С, температурой среды, нагретой от +5 С до +40 С и рабочим давлением до 7,4 МПа. Трубы выпускаются диаметром от 89 до 426, классом прочности не ниже К52. Трубы из 13ХФА отличаются от нефтегазопроводных труб обычного исполнения повышенной хладостойкостью и стойкостью к общей и язвенной коррозии, стойкостью к сульфидному коррозионному растрескиванию и образованию водородных трещин. Были проведены механические испытания образцов труб на соответствие сертификационным данным. Проверка осуществлялась на разрывной машине Р-20, маятниковом копре ИО-5003-0,3, приборах ТШ-2М и ТК-2М. Проведены испытания на статическое растяжение, т.к. конструкция работает при -60 С, испытания на ударный изгиб проводились при температуре -50 С на образцах с V-образным концентратором напряжений, был произведен замер твердости основного материала. Согласно нормативной документации, берутся средние значения замеров. Испытания показали, что механически свойства образцов (Таблица 1-3) соответствуют требованиям ТУ 1317-006.1-593377520-2003.

Таблица 1

Результаты испытаний на статическое растяжение

Маркировка образца	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, кгс/мм^2	Предел текучести $\sigma_т$, кгс/мм^2	Относительное удлинение δ_5, %	Отношение $\sigma_т/\sigma_в$
1	56,5	44,8	29,0	0,79

Таблица 2

Результаты испытаний на ударный изгиб

Маркировка образца	Ударная вязкость KCV, кгс м/см^2	Среднее значение KCV, кгс м/см^2
2	27,0	29,0
3	31,2	
4	28,8	

Таблица 3

Твердость основного металла

HRB	Среднее значение HRB
85,87,86	86

В нормативных документациях «Сварка сосудов, аппаратов и трубопроводов из углеродистых и низколегированных сталей» и «Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов», рассматриваемую марку стали рекомендуется варить дуговыми способами сварки в среде защитных газов с применением сварочных проволок Св-08Г2С, Св-08ГС, Св-08ГСНТ. Но информация о термообработке – противоречива: для конструкций, работающих при температуре от -70 до +475, которые свариваются в смесях активных и инертных газов, нормализация сварных соединений не требуется, для конструкций, работающих при температурах от -70 до +475, которые свариваются в углекислом газе, нормализация сварных соединений не требуется, но ограничивается погонная энергия до 18 кДж/см, а для конструкций, работающих при температурах от -60 до +475, сваренных в углекислом газе, требуется обязательная нормализация сварных соединений. О предварительном подогреве для таких толщин – вообще ничего не говорится. Что касается выбора сварочных материалов, то указаний на конкретные марки в нормативной документации нет.

Цель данной работы – проведение сравнительного анализа структуры и свойств сварных соединений по различным вариантам технологии с применением сварочных проволок Св-08Г2С (табл. 4) и Св-08ГСНТ (табл. 5).

Таблица 4

Характеристики сварочной проволоки Св-08Г2С

	C, углерод	Mn, марганец	Si, кремни	S, Сера	P, Фосфор 0.010
Св-08Г2С	0.060	1.80	0.88	0.012	0,010
ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛЛА ШВА ПОСЛЕ СВАРКИ					
Защитный газ	Предел прочности, МПа.	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %		Ударная вязкость Дж/см^2
C02	540	440	29		200
Смесь 80% Ar + 20% C02	550	422	29		200

Таблица 5

Характеристики сварочной проволоки СВ-08ГСНТА

Марка проволоки			Условное обозначение проволоки		Тип носителя проволоки	Номер плавки	Номер партии		Дата произ-водста		Масса проволоки нетто,кг
СВ-08ГСНТА			1,2 Св-08ГСНТА-0		Моток МП_60	к 1283	0001		09.01.14		500
Химический состав проволоки, %											
Al	C	Cr	Си	N	Mn	Ni	Ti	P	S	Si	V
0,021	0,070	0,110	0,190	0,0011	1,470	0,890	0,087	0,0050	0,0070	0,740	0,008
Механические свойства проволоки											
Временное сопротивление разрыву, МПа						σв			1210,00		
Свойства проволоки											
Суммарное содержание меди						%			не более 0,25		
Толщина медного покрытия						мкм			не менее 0,20		

Механические свойства проволоки		
Временное сопротивление разрыву, МПа		492,00
Ударная вязкость -20, Дж	KV^{20}	69.10
Состояние поверхности проволоки: поверхность проволоки чистая, гладкая, без трещин, плен, закатов, раковин, забоин окалины, ржавчины, масла, технологической смазки и других загрязнений		

В качестве защитного газа нормативная литература рекомендует - 100% углекислый газ, аргон, смесь Ar+20%CO_2, Ar+5%O_2. Чистый аргон дорог по цене, при сварке в углекислом газе возрастает объём механических работ по зачистке сварных швов, в результате была выбрана смесь аргона и 20% углекислого газа.

Объектом исследования являются сварные швы, выполненные механизированной сваркой в смеси аргона и углекислого газа сварочными проволоками Св-08Г2С и Св-08ГСНТ с диаметрами 1,2 мм. Подготовка кромок и параметры швов соответствуют ГОСТу 16037-80, тип соединения С-17 (Рис. 1), швы стыковые, односторонние, с одинаковым скосом обеих кромок.

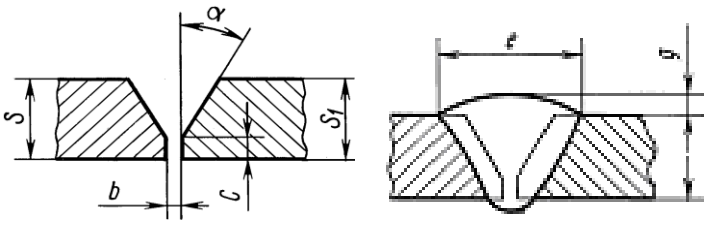


Рис.1. Форма разделки кромок и сварного шва С-17 по ГОСТ 16037-80

Таблица 6

Геометрические размеры подготовки кромок и параметры и шва

S=S1 мм	b, мм	c, мм	α, град, ±3°	g, мм
12,0	2^{+1}	$1^{\pm0,5}$	$30^{\pm3}$	$2^{+2}_{-1,5}$

Ширина шва $b=18^{\pm4}$ мм

кол. слоев N=3

Процесс сварки проходил в три прохода с послойной зачисткой поверхности каждого валика, сварка производилась с предварительным подогревом и без него. Химический состав и механические свойства (ГОСТ 6996) проволок оценивались по результат протоколов аттестации сварочных материалов завода производителя ООО «Судиславского завода сварочных материалов», испытания сварных швов проводились на основе испытательной лаборатории «Спектр», металлографические исследования – на кафедре «МС и ПБ» КНИТУ-КАИ.

Результаты механических испытаний сварных соединений, выполненных проволокой СВ-08ГСНТА и СВ-08Г2С с предварительным подогревом кромок до 100 ºС представлены в таблице 7-10.

Таблица 7

Результаты испытаний сварного соединения на статическое растяжение

Марка проволоки	Временное сопротивление $\sigma_в$, МПа	Место разрушений	Среднее значение $\sigma_в$, МПа	Нормативное значение $\sigma_в$, МПа
Св-08ГСНТ	518,0	Основной металл	521,0	510
	521,0	Основной металл		
	524,0	Основной металл		
Св-08Г2С	536,0	Основной металл	540,0	510
	551,0	Основной металл		
	532,5	Основной металл		

Таблица 8

Результаты испытаний сварного соединения на статический изгиб

Марка проволоки	Угол изгиб	Результат испытания
Св-08ГСНТ	180º	Удовл.
Св-08Г2С	180º	Удовл.

Таблица 9

Результаты испытаний сварного соединения на ударный изгиб

Марка проволоки	Ударная вязкость KCV, кгс м/см^2	Нормативное значение KCV, кгс м/см^2
Св-08ГСНТ	76,2	30
	73,8	
	67,8	
	85,2	
Св-08Г2С	41,4	30
	73,8	
	116,4	
	107,4	

Таблица 10

Твердость металла шва сварного соединения

Марка проволоки	HB, не более 240	HRB, не более 92
Св-08ГСНТ	212,217,207,193	73,75,75,77
Св-08Г2С	237,228,233,238	73,75,70,81

Результаты механических испытаний сварных соединений, выполненных проволокой Св-08ГСНТА и Св-08Г2С без предварительного подогрева кромок, показали, что предел прочности образцов соответствует ≈540 МПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Стандарт организации. Сварка сосудов, аппаратов и трубопроводов из углеродистых и низколегированных сталей: СТО 00220368-013-2009. — [Введен в 2009]. — [Б. м. : б. и.], 2009.

2. Национальный стандарт Российской Федерации. Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах: ГОСТ 32569-2013. — Введ. 2015-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2014. — IV, 50 с.

3. Стандарт предприятия. Каталог аналогов импортных и отечественных основных и сварочных материалов, применяемых при [указать область применения]: СТП 26.260.486-2005. — [Введен в 2005]. — [Б. м. : б. и.], 2005.

THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF WELDED JOINTS OF TECHNOLOGICAL PIPELINES OF ALLOY STEEL

Khismatov A.R.

Supervisor: Solopova E.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper provides a comparative analysis of the structure and properties of welded joints of technological pipelines made of alloy steels obtained by mechanized welding in a mixture of gases with welding wires of grades Sv-08G2S and Sv-08GSNT.

СЕКЦИЯ 9
ТЕПЛОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 536:537

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОЗДАНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ МЕТАНОВЫХ ЖИДКОСТНЫХ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ОДНО– И МНОГОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Абдуллин М.Р., Алексенко И.В.

Научный руководитель: Алтунин В.А., профессор, д. т. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Аннотация. На основе обзора и анализ научно-технической литературы, а также на основе результатов экспериментальных исследований проводится анализ возможности создания конструктивных схем метановых жидкостных реактивных двигателей для летательных аппаратов одно – и многоразового использования. Материалы доклада могут использоваться при создании жидкостных ракетных двигателей (ЖРД), воздушно-реактивных двигателей (ВРД) летательных аппаратов различного назначения и применения.

К.Э. Циолковский в своих трудах указывал, что для осуществления полётов в воздушной среде и в космосе возможно применять различные жидкие и газообразные («болотные газы») углеводородные горючие [1-10].

Газообразные углеводородные горючие и охладители (УВГ и УВО) для летательных аппаратов (ЛА) начали использовать позднее, чем жидкие УВГ и УВО. Так, в 90-е годы в нашей стране [1-14], практически по инициативе конструкторов и инженеров, были закончены экспериментальные исследования возможности использования сжиженного природного газа метана (СПГ) на самолётах, где в качестве экспериментального образца использовался самолёт «Ту-154» с различными новыми двигателями и системами (эти модификации были названы «Ту-155» и «Ту-156»). Самолёт «Ту-156» после более 100 успешных полётов показал возможность использования вместо керосина марки ТС-1 нового топлива – СПГ, о чём было доложено Правительству РФ. Но для серийного запуска нового отечественного самолёта у Правительства тогда не нашлось 12,5 млн. долл.

Более 15 лет в Республике Татарстан (РТ) реализуется пилотный проект по переводу дизельных базовых автомобильных и вспомогательных поршневых двигателей («КамАЗ») и судовых (река – море) поршневых и газотурбинных (ГТД) двигателей на газообразное топливо. Авиационные ГТД марки «НК» (НК-16СТ, НК-18СТ и др.) уже давно переведены на газообразное топливо и широко применяются ГАЗПРОМом на станциях газоперекачки [9-11].

В наши дни создаются новые проекты самолётов, вертолётов и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с двигателями на природном метане. Большую роль сыграл метан и в ракетно-космической науке и технике [1-12]. Уже много лет осуществляется совместный проект России и Индии по созданию космических ракет «Рикша», «Рикша-1» и «Рикша-2» с жидкостными ракетными двигателями (ЖРД) и ЖРД многоразового использования (ЖРДМИ) на СПГ. РОСКОСМОС планирует начать разработку нового ракетного двигателя на природном газе в ближайшее время. Финансирование соответствующей разработки заложено в проекте Федеральной космической программы на 2016–2025 годы (ФКП). В ЦСКБ «Прогресс» посчитали, что использование двигателей на СПГ позволит обеспечить относительно низкую стоимость пуска – в 1,5-2 раза ниже, чем на керосиновых двигателях, высокую экологичность, более высокие удельные характеристики, единый тип двигателя и топлива «СПГ + жидкий кислород», что значительно упростит наземную инфраструктуру.

Главный конструктор НПО «Энергомаш» Владимир Чванов в своих докладах [8, 9] утверждал, что с конструкционной точки зрения метан привлекателен при создании многоразовых носителей: чтобы освободить полости двигателя, нужно только пройти цикл испарения, т.е. двигатель легче освобождается от остатков продуктов; за счёт этого

метановое топливо более приемлемо, с точки зрения создания двигателя многоразового использования и ЛА, КЛА многоразового применения; в то же время удельный импульс у двигателя на СПГ высокий, но это преимущество нивелируется тем, что у метанового топлива меньшая плотность, поэтому в сумме получается незначительное энергетическое преимущество.

В ряде других аэрокосмических КБ и НИИ РФ также проведены экспериментальные исследования на существующих, модернизированных и новых ЖРД и ЖРДМИ, в которых использовался СПГ. Метановый двигатель упоминают применительно к полётам на Марс: считается, что марсианскую ракету есть смысл комплектовать метановым двигателем, так как метан можно синтезировать из воды и двуокиси углерода из атмосферы Марса.

В настоящее время также перспективным направлением развития космического двигателестроения является использование двигателей малой тяги на экологически чистых топливах, например, ЖРД малой тяги многоразового использования (ЖРДМТМИ). К таким топливам относится такие композиции как кислород-природный газ и, в частности, кислород-метан. Переход на кислородно-метановое топливо обуславливается нарастающим дефицитом вырабатываемых из нефти топлив, большими запасами, доступностью и относительной дешевизной природного газа, а также экологическими преимуществами его применения. Исследования характеристик топливной пары кислород-метан показали, что она способна удовлетворить основным требованиям к стоимости, надежности, экологической безопасности жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) при высоком показателе их энергомассовых характеристик.

Важным аспектом возможностей использования этого вида топлива является его применимость, как унифицированного топлива, при создании объединенной двигательной установки (ОДУ), которая будет включать в себя и ракетные двигатели малой тяги (РДМТ), как основные органы в системе управления, стабилизации и ориентации летательного аппарата в космическом пространстве.

В перспективных двигателях ЛА и космических ЛА (КЛА) одно- и многоразового использования будет применяться метан как в жидком (сжиженном) состоянии, так и в газообразном. Перспективным считается направление по использованию метана, полученного при конверсии жидких УВГ и УВО (эти исследования актуальны для разработки и создания новых двигателей и их систем охлаждения, а также – для охлаждения теплонапряжённых частей корпусов и деталей КЛА и гиперзвуковых ЛА (ГЛА)).

Ещё одно перспективное направление – это применение нового горючего, полученного от конверсии самого метана, находящегося в сжиженном состоянии. СПГ, в котором содержится максимальное количество метана, получается путём сжижения газообразного метана: при добыче нефти и газа из скважин; при создании биогаза. Однако тепловые процессы в природном метане (в сжиженном и газообразном состояниях) исследованы и изучены не в полном объёме. Доклад посвящён исследованию метана в газообразном состоянии.

В связи с переводом техники на метановое горючее [1-14], необходимо более глубоко исследовать и изучать особенности тепловых процессов в сжиженном природном газе (СПГ) (в метане), а также в его газообразном состоянии.

При переводе отечественной техники на газообразные сжиженные метановые горючие и охладители возникают проблемы, связанные с отсутствием полной информации об их термодинамических состояниях в топливно - охлаждающих каналах двигателей и энергоустановок летательных аппаратов (ЛА), гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА), космических летательных аппаратов (КЛА).

Известно, что при определённых условиях сжиженный природный газ (СПГ) – метан переходит в газообразное состояние (см. рис. 1).

В экспериментальных и перспективных жидкостных ракетных двигателях (ЖРД) одно – и многоразового использования (ЖРДМИ) сжиженный метан подаётся в рубашку

охлаждения, а затем – в топливную головку с дальнейшим распылом через форсунки горючего и сжиганием в камере сгорания.

При прохождении через каналы наружной рубашки охлаждения ЖРД, ЖРДМИ из-за больших температур нагрева (особенно в области критического сечения сопла) сжиженный метан частично превращается в газообразное состояние.

Расчёты показывают, что этот процесс начинается уже на входе в рубашку охлаждения, т.е. до прохождения области критического сечения сопла. В итоге к форсункам подаётся не сжиженный метан, а его смесь с газообразным метаном, что затрудняет эффективную работу всего двигателя.

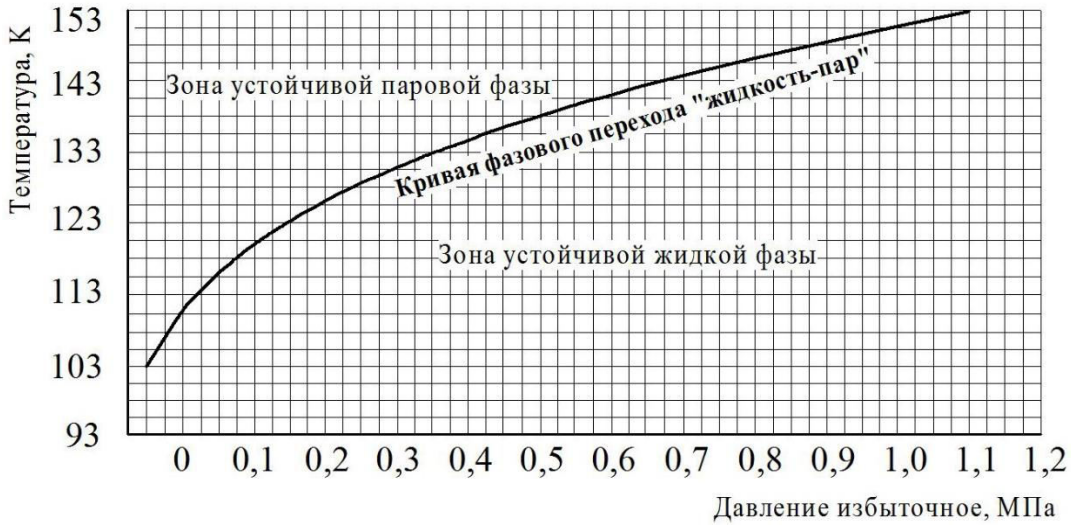


Рисунок 1. Граница начала кипения сжиженного метана при различных давлениях и температурах

Экспериментальные исследования авторов доклада посвящены исследованию газообразного метана в условиях его естественной и вынужденной конвекции, исследованию возможности интенсификации теплоотдачи к нему.

Для расширения знаний об особенностях тепловых процессов в газообразном метане были созданы экспериментальные установки и рабочие участки по естественной и вынужденной конвекции газообразного метана, проведены всесторонние экспериментальные исследования.

Для интенсификации теплоотдачи к газообразному метану в экспериментах использовались магнитные и электростатические поля.

Результаты экспериментальных исследований показали, что:

- повышение давления способствует увеличению коэффициента теплоотдачи к газообразному метану;
- при повышенных температурах нагрева рабочих участков на металлических поверхностях появляется слой углеродистого осадка светло-серого цвета и рыхлой структуры;
- скорость осадкообразования в 10 раз меньше, чем в жидких углеводородных горючих и охладителях;
- магнитные поля не влияют на тепловые процессы в газообразном метане;
- электростатические поля, наоборот, оказывают существенное влияние на увеличение коэффициента теплоотдачи и на предотвращение осадкообразования.

На основе экспериментальных исследований:

- созданы новые методики расчёта тепловых процессов в газообразном метане без влияния и с влиянием электростатических полей;

- созданы новые алгоритмы учёта особенностей тепловых процессов в газообразном метане при проектировании, расчёте и создании новых двигателей и энергоустановок различного назначения, применения и базирования;

- разработаны новые конструктивные схемы жидкостных реактивных двигателей (ЖРД) одно – и многоразового использования (ЖРДМИ) на СПГ - метане.

Теоретически и экспериментально установлено, что при прохождении СПГ по каналам системы наружного регенеративного охлаждения реактивного двигателя происходит частичная конверсия сжиженного метана, т.е. частично он превращается в газообразный метан.

В зоне нагрева каналов до конверсии СПГ происходит опасный процесс – термоакустические автоколебания (ТААК) давления, которые могут привести к образованию локальных зон перегревов и прогаров стенки с дальнейшим возникновением пожара и взрыва всего двигателя [7-14].

Процесс конверсии СПГ происходит не в полном объёме, т.е. к форсункам горючего поступает двухфазная смесь, состоящая из жидкой и газообразной фаз, из-за чего формируется неустойчивая и опасная работа двигателей.

Авторами доклада разработаны новые конструктивные схемы двигателей, в которых обеспечивается:

- полное разделение жидкой фазы СПГ от газообразной (без применения электростатических полей, с полями);

- полная и эффективная предтопливная подготовка углеводородного горючего (метана) с применением электростатических полей для его сжигания в камере сгорания: в газообразном и сжиженном состояниях одновременно; в газообразном состоянии.

Доклад сопровождается новыми конструктивными схемами метановых ЖРД, ВРД одно – и многоразового использования.

Применение материалов доклада будет способствовать созданию новых отечественных метановых двигателей повышенных характеристик по ресурсу, надёжности и эффективности одно- и многоразового использования для различных ЛА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гапоненко О.В.* Основные направления развития прорывных технологий в космической деятельности России и проблемы их разработки и внедрения // Инженерный журнал: наука и инновации, 2019, вып. 6 (1).

2. *Чернощеков Л.Н.* Природный газ метан – топливо будущего // АГЗК+АТ, 2010, № 2 (50). С. 58-61.

3. *Белов Е.А., Богушев В.Ю., Клепиков И.А. и др.* Результаты экспериментальных работ в НПО «Энергомаш» по освоению метана как компонента топлива для ЖРД // Труды НПО «Энергомаш» им. академика В.П. Глушко. 2000. Т. XVIII. С. 86-100.

4. *Клепиков И.А., Буканов В.Т. и др.* ЖРД на метановом горючем. История, состояние и перспектива // Сб. тр. НПО Энергомаш, 2000, № 18. С. 192–204.

5. *Алемасов В.Е., Дрегалин А.Ф., Тишин А.П.* Теория ракетных двигателей: учебник для вузов. / Под ред. В.П. Глушко/. М.: Изд-во «Машиностроение», 1989. 464 с.

6. *Яновский, Л.С., Иванов В.Ф., Галимов Ф.М., Сапгир Г.Б.* Коксоотложения в авиационных и ракетных двигателях. Казань: Абак, 1999. 284 с.

7. *Алтунин В.А.* Способ повышения надёжности ЖРД одно – и многоразового использования // Патент на изобретение РФ № 2287715. Бюлл. № 32 от 20.11.2006 г.

8. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Абдуллин М.Р., Платонов Е.Н., Яновская М.Л.* Некоторые пути развития реактивных двигателей летательных аппаратов // Журнал «Военмех. Вестник БГТУ», № 55, 2019. С. 419 - 424.

9. *Алтунин К.В., Абдуллин М.Р. и др.* Исследование тепловых процессов в газообразном метане для создания перспективных двигателей и энергоустановок наземного, воздушного, аэрокосмического и космического базирования // Тр. 51-ых чтений, посвящ.

разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. РАН. РАКЦ. Сек. № 2: «Проблемы ракетной и космической техники». (г. Калуга, 20-22 сентября 2016 г.). РАН. РАКЦ. Казань: Изд-во Казанского университета, 2017. С. 169-177.

10. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Абдуллин М.Р. и др.* Разработка конструктивных схем метановых жидкостных ракетных двигателей // Современные проблемы ракетной и космической техники: сб. научных статей (полных докладов) 56 научных чтений памяти К.Э. Циолковского по сек. № 2: «Проблемы ракетной и космической техники». (Калуга, 21-22 сентября 2021 г.). РАН. РАКЦ. Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2022. С. 87-98.

11. *Абдуллин М.Р., Алтунин В.А., Жилякова А.Е., Пронин К.А., Платонов Е.Н., Яновская М.Л.* Исследование возможности создания конструктивных схем метановых жидкостных реактивных двигателей для высокоскоростных и гиперзвуковых летательных аппаратов // Сб. тез. докл. 47-х Академ. чтений по космонавтике. (Москва, 24-27 января 2023 г.). Сек. № 15: «Комбинированные силовые установки для гиперзвуковых и воздушно-космических летательных аппаратов». РАН. РАКЦ. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023. Т. 3. С. 131 – 133.

12. *Алтунин В.А., Платонов Е.Н., Абдуллин М.Р., Пронин К.А., Юсупов А.А. и др.* Некоторые пути совершенствования жидкостных ракетных двигателей (100-летию со дня рождения академика В.Е. Алемасова – посвящается) // Современные проблемы ракетной и космической техники. Сборник статей, 2024. РАН. РАКЦ. Казань: редакционно-издательский центр «Школа», 2024. С. 125-133.

13. *Алтунин В.А., Платонов Е.Н., Абдуллин М.Р., Пронин К.А., Юсупов А.А., Алексенко И.В., Жилякова А.Е., Яновская М.Л.* Проблемы создания жидкостных ракетных двигателей многоразового использования // Материалы 59-ых Научных чтений, посвящённых разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Секция № 2: «Проблемы ракетной и космической техники». РАН. Калуга: ИП Стрельцов И.А. (Изд-во «Эйдос»). 2024. Часть 1. С. 178-182.

14. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Абдуллин М.Р., Чигарев М.Р., Алиев И.Н., Яновская М.Л.* Экспериментальное исследование тепловых процессов в газообразном метане при его естественной конвекции // Инженерный журнал: наука и инновации. № 5 (113). 2021. DOI: 10.18698/2308-6033-2021-5-2080.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF CREATING DESIGN SCHEMES OF METHANE LIQUID JET ENGINES FOR SINGLE-USE AND REUSABLE AIRCRAFT

Abdullin M.R., Aleksenko I.V.

Supervisor: Altunin V.A., Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Based on the review and analysis of scientific and technical literature, as well as on the results of experimental studies, an analysis of the possibility of creating design schemes of methane liquid jet engines for single- and multiple-use aircraft is carried out. The materials of the report can be used in the creation of liquid rocket engines (LRE), air-breathing engines (ABE) of aircraft for various purposes and applications.

УДК 621.452

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВЕДУЩИХ СТРАН: КОНСТРУКЦИЯ, ПАРАМЕТРЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Аль Аффи Хади

Научный руководитель: Шевченко И.В., профессор, д. т. н.

(Московский энергетический институт, г. Москва)

Аннотация. В докладе представлен комплексный анализ современных газотурбинных двигателей (ГТД), разработанных в России, США, Великобритании и Китае. Исследование охватывает конструктивные особенности ключевых узлов (компрессоров, камер сгорания, турбин) и сравнительные характеристики (тяга, ресурс, температура газов перед турбинной и др.). Результаты представлены в виде сравнительных таблиц и графиков, что позволяет оценить конкурентные преимущества и недостатки различных моделей ГТД. На основе проведенного анализа выделены ключевые тенденции развития авиационных двигателей.

Доклад основан на анализе Российских и зарубежных ВРД [1-13].

Материалы доклада - это результат обзора отечественной и зарубежной научно-технической литературы за последние годы.

Доклад сопровождается не только сравнительными таблицами, но и иллюстрационным материалом конструктивных схем и общих видов ВРД различного класса и назначения.

Первым производится обзор и анализ отечественных Российских ВРД.

I. Российские двигатели

Современные российские газотурбинные двигатели [1, 5-7] сочетают проверенную надежность, адаптацию к экстремальным условиям и перспективные технологические решения.

В этом разделе представлены ключевые модели, определяющие развитие отечественного авиастроения:

1. Истребительная авиация

- **АЛ-31Ф**
  - Базовая модель для Су-27/Су-30/Су-35.
  - Одноконтурная схема с низкой степенью двухконтурности (m=0.571).
  - Устойчивость к пыли, обледенению и некачественному топливу.
- **РД-33**
  - Разработан для легких истребителей МиГ-29.
  - Модульная конструкция (упрощает обслуживание).
  - Улучшенная система охлаждения лопаток турбины.
  - Модернизированные версии (РД-33МК, РД-33МКВ) для палубной авиации и экспорта.

2. Гражданская и транспортная авиация

- **ПС-90А**
  - Для Ил-76, Ил-96, Ту-204.
  - Высокая топливная эффективность (m=4.5).
- **ПД-14**
  - Флагман гражданского авиастроения (МС-21).
  - Композитные материалы, сниженный шум.

3. Ключевые преимущества российских ГТД

- Работа в экстремальных условиях (–50°С...+50°С).
- Устойчивость к боевым повреждениям (АЛ-31Ф, РД-33).
- Ремонтопригодность (модульный дизайн РД-33).
- Оптимизация для сверхзвука (АЛ-31Ф).

Сравнительный анализ характеристик Российских ВРД приведён на рис. 1.

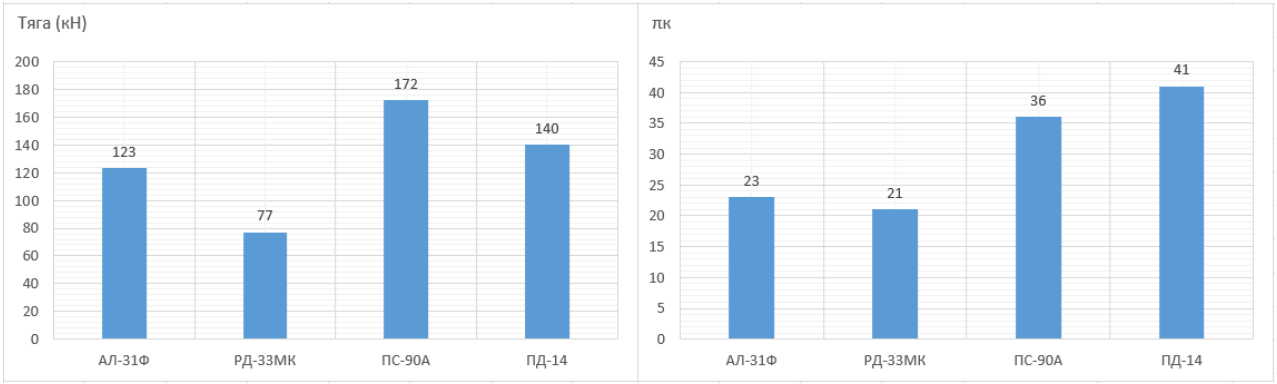


Рисунок 1. Тяга и πк Российских авиадвигателей

II. Двигатели США

Американские газотурбинные двигатели задают глобальные стандарты технологичности, топливной эффективности и ресурса. В этом разделе рассматриваются ключевые модели, обеспечивающие лидерство США в военной и гражданской авиации:

1. Истребительная авиация

- **F-110 (General Electric)**
  - Устанавливается на F-15E, F-16 Block 50/52.
  - Степень двухконтурности: **0.87.**
  - Особенности:
    - Полностью цифровая система управления (FADEC).
    - Ресурс до **6000 часов.**
    - Модификации: F110-GE-129 (тяга **131 kN**).
- **F-414 (General Electric)**
  - Основной двигатель для F/A-18E/F Super Hornet.
  - Применение:
    - Базовый для Saab Gripen E.
    - Перспективный для KF-21 Boramae (Южная Корея).
- **F-135 (Pratt & Whitney)**
  - Двигатель 5-го поколения (F-35 Lightning II).
  - Рекордная тяга: **130 kN** (F135-PW-600).
  - Инновации:
    - Модульная конструкция для быстрого ремонта.
    - Встроенная система диагностики.

2. Транспортная и стратегическая авиация

- **F-117 (Pratt & Whitney)**
  - Устанавливается на C-17 Globemaster III.
  - Степень двухконтурности: **5.9.**
  - Ключевые преимущества:
    - Высокая топливная эффективность.
    - Ресурс **20 000 часов.**

3. Ключевые технологические преимущества

- Цифровое управление (FADEC) – точный контроль параметров.
- Модульность – сокращение времени ремонта (F-135, F-110).
- Интегрированная диагностика – прогнозирование отказов.
- Глобальная унификация – совместимость с техникой союзников.

Сравнительный анализ ВРД США приведён на рис. 2.

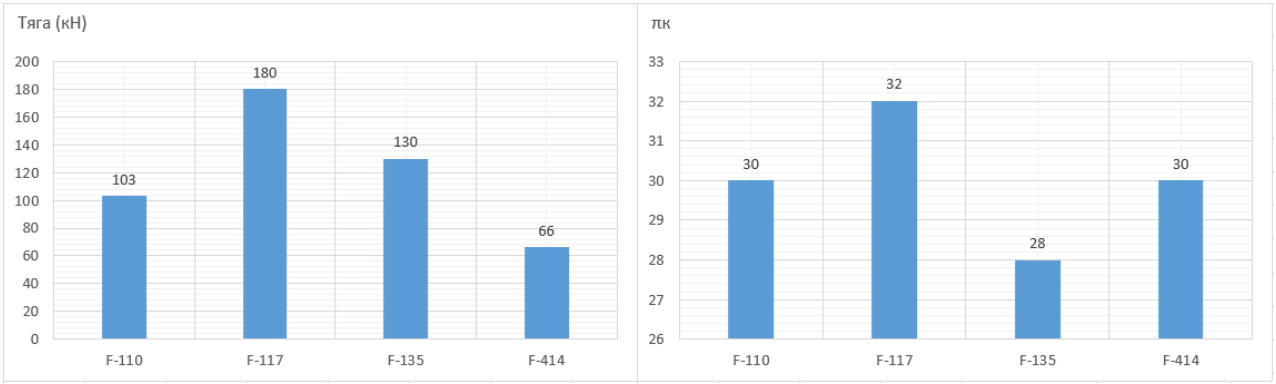


Рисунок 2. Тяга и πк Американских авиадвигателей

III. Двигатели Великобритании

Британские газотурбинные двигатели, разработанные компанией Rolls-Royce, являются эталоном надежности, топливной эффективности и инновационных решений в гражданской и военной авиации. В этом разделе представлены ключевые модели, определяющие глобальные стандарты авиастроения:

1. **Гражданская авиация**

- **Trent 700**
  - Устанавливается на Airbus A330.
  - Степень двухконтурности: **4.8.**
  - Особенности:
    - Оптимизирован для дальнемагистральных перелетов.
- **Trent 800**
  - Основной двигатель для Boeing 777.
  - Степень двухконтурности: **5.5**.
  - Применение:
    - Обеспечивает высокую тягу (до **383 kN**).
    - Модификации: Trent 892 (для Boeing 777-300ER).
- **Trent 900**
  - Разработан для Airbus A380.
  - Степень двухконтурности: **8**.
  - Инновации:
    - Сниженный уровень шума и выбросов.
    - Улучшенная система охлаждения.
- **UltraFan (перспективная разработка)**
  - Степень двухконтурности: **15.0**.
  - Ключевые преимущества:
    - Снижение расхода топлива на **25%.**
    - Использование углеродных композитов.

2. **Военная авиация**

- **EJ-200**
  - Устанавливается на Eurofighter Typhoon.
  - Степень двухконтурности: **0.4.**
  - Особенности:
    - Оптимизирован для сверхзвуковых режимов.
    - Высокая надежность в боевых условиях.
- **Pearl 15**
  - Перспективный двигатель для бизнес-авиации и истребителей.
  - Степень двухконтурности: **10.0**.
  - Применение:
    - Базовый для самолетов Gulfstream G700.

- Потенциал для интеграции в Tempest (6-го поколения).

2. **Ключевые технологические преимущества**

- Высокая степень двухконтурности – топливная эффективность (Trent 900, UltraFan).
- Модульная конструкция – упрощение обслуживания (EJ-200, Pearl 15).
- Экологичность – снижение выбросов CO_2 и шума (UltraFan).
- Цифровые технологии – интеллектуальные системы мониторинга.

Сравнительный анализ ВРД Великобритании показан на рис. 3.

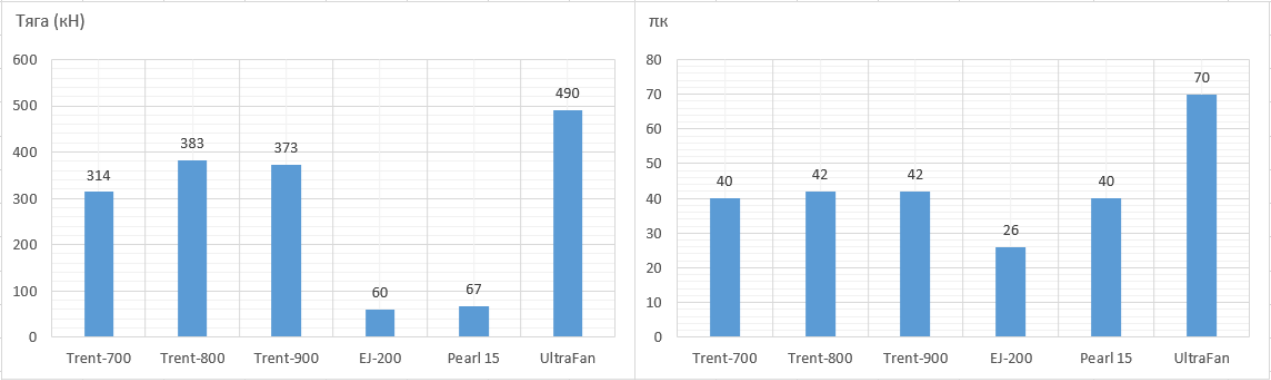


Рисунок 3. Тяга и πк Британских авиадвигателей

IV. Двигатели Китая

Китайские газотурбинные двигатели демонстрируют стремительный прогресс в преодолении технологических барьеров, сочетая импортозамещение с инновационными разработками. Ключевые модели охватывают военную и гражданскую авиацию, формируя основу для технологической независимости.

1. **Истребительная авиация:**

- **WS-10 «Тайхан»**
  - Устанавливается на J-10C, J-11B, J-16, J-20 (временная замена АЛ-31Ф).
  - **Особенности:**
    - Первый серийный китайский ТРДДФ с полным циклом разработки.
    - Модификация WS-10B включает управляемый вектор тяги (УВТ), испытанный на J-10B.
- **WS-15 «Эмэй»**
  - **Назначение:** основной двигатель для J-20B (5-го поколения).
  - **Особенности:**
    - Тяга 160–180 кН, температура турбины 1950 К, степень двухконтурности **0.45**.
    - Режим supercruise (сверхзвук без форсажа) и повышенная маневренность.
    - Серийное производство начато в 2023 г. после решения проблем с перегревом лопаток.
- **WS-13 «Тайшань»**
  - Устанавливается на лёгкие истребители JF-17 (Пакистан) и J-31.

2. **Гражданская авиация: конкуренция с западными аналогами**

- **CJ-1000A**
  - **Цель:** замена LEAP-1C на лайнере Comac C919.
  - Технологии:
    - Вентилятор диаметром 1,95 м с 18 титановыми лопатками.
    - 3D-печать форсунок, степень двухконтурности = **9**.

Сравнительный анализ ВРД Китая приведён на рис. 4.

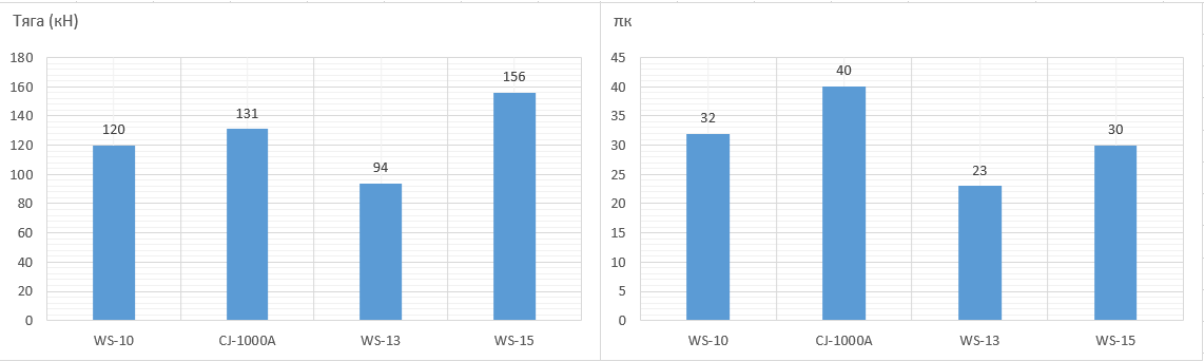


Рисунок 4. Тяга и πк Китайских авиадвигателей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Фалалеев С.В.* Конструкция ТРДДФ АЛ-31Ф [Электронный ресурс]: электронное учебное пособие / С.В. Фалалеев; Министерство образования и науки Российской Федерации, Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). – Самара, 2013.

2. *Rolls-Royce.* The UltraFan® engine [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rolls-royce.com/innovation/ultrafan.aspx (дата обращения: 20.05.2025).

3. *Rolls-Royce.* Pearl 15 – the new engine for business aviation [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rolls-royce.com/products-and-services/civil-aerospace/business-aviation/pearl-15.aspx (дата обращения: 20.05.2025).

4. *Rolls-Royce.* EJ200 – Powering the Eurofighter Typhoon [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rolls-royce.com/products-and-services/defence/aerospace/combat-jets/ej200.aspx (дата обращения: 20.05.2025).

5. *Иноземцев А.А.* Авиационный двигатель ПС-90А / А.А. Иноземцев, Е.А. Коняев, В.В. Медведев [и др.]; под ред. А.А. Иноземцева. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 320 с.

6. *Авиационная энциклопедия* «Уголок неба». Двигатель РД-33 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.airwar.ru/enc/engines/rd33.html.

7. *Объединённая двигателестроительная корпорация* (ОДК). Двигатель ПД-14 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.uecrus.com/products-and-services/products/grazhdanskaya-i-transportnaya-aviatsiya/dvigatel-pd-14/ (дата обращения: 20.05.2025).

8. *Rolls-Royce.* Trent 700 – Powering the Airbus A330 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rolls-royce.com/products-and-services/civil-aerospace/widebody/trent-700.aspx (дата обращения: 20.05.2025).

9. *Rolls-Royce.* Trent 800 – Powering the Boeing 777 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rolls-royce.com/products-and-services/civil-aerospace/widebody/trent-800.aspx (дата обращения: 25.05.2025).

10. *Rolls-Royce.* Trent 900 – Powering the Airbus A380 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rolls-royce.com/products-and-services/civil-aerospace/widebody/trent-900.aspx (дата обращения: 25.05.2025).

11. *GE Aerospace.* F110 Engine [Электронный ресурс]. – URL: https://www.geaerospace.com/military-defense/engines/f110.

12. *Pratt & Whitney.* F117 Engine [Электронный ресурс]. – URL: https://www.prattwhitney.com/en/products/military-engines/f117.

13. *Pratt & Whitney.* F135 Engine [Электронный ресурс]. – URL: https://www.prattwhitney.com/en/products/military-engines/f135.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MODERN GAS TURBINE ENGINES OF LEADING COUNTRIES: DESIGN, PARAMETERS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Al Affi Hadi

Supervisor: Shevchenko I.V., Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Moscow Power Engineering Institute, Moscow)

Abstract. The report presents a comprehensive analysis of modern gas turbine engines (GTE) developed in Russia, the USA, Great Britain and China. The study covers the design features of key components (compressors, combustion chambers, turbines) and comparative characteristics (thrust, service life, gas temperature before the turbine, etc.). The results are presented in the form of comparative tables and graphs, which allows us to evaluate the competitive advantages and disadvantages of various GTE models. Based on the analysis, key trends in the development of aircraft engines are identified.

УДК 621.039.5

ТОРИЕВЫЕ РЕАКТОРЫ КАК АЛЬТЕРНАТИВА УРАНОВЫМ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК

Вахитов И.Ф.

Научный руководитель: Вилданов Р.Р., доцент, к. т. н.

(Казанский Государственный Энергетический Университет, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы использования ториевых ядерных реакторов в качестве альтернативы традиционным урановым энергетическим системам. Анализируются преимущества ториевого топливного цикла, включая повышенную безопасность, снижение объема долгоживущих радиоактивных отходов и нераспространение ядерных материалов. Приводятся данные о текущих разработках в области ториевой энергетики в различных странах, обсуждаются технологические и экономические вызовы, а также возможные пути их преодоления.

Современная ядерная энергетика базируется преимущественно на урановом топливном цикле, однако его ограничения, такие как истощение запасов урана-235, проблемы с радиоактивными отходами и риски распространения делящихся материалов, стимулируют поиск альтернатив. Одним из наиболее перспективных направлений является использование тория в качестве топлива для ядерных реакторов [1-6].

Торий (*Th*-232) не является делящимся материалом, но при поглощении нейтронов превращается в уран-233 (*U*-233), который эффективно поддерживает цепную реакцию. Этот процесс открывает новые возможности для создания более безопасных и устойчивых энергетических систем.

Преимуществом ториевого топливного цикла являются:

- Безопасность. Ториевые реакторы обладают более низким давлением в активной зоне, так как многие проекты (например, на расплавах солей, *MSR*) работают при атмосферном давлении, что снижает риск аварий, связанных с разгерметизацией. Также следует отметить отрицательный температурный коэффициент реактивности – при повышении температуры реактивность снижается, что уменьшает вероятность неконтролируемого разгона реакции. Кроме этого, меньшее образование плутония и других актинидов снижает риски ядерного распространения;
- Эффективность использования топлива. Торий в 3–4 раза более распространен в земной коре, чем уран, а его изотоп *Th*-232 почти полностью используется в реакторе, в отличие от *U*-235, доля которого в природном уране составляет всего 0,7%;
- Снижение объема радиоактивных отходов. Ториевый цикл производит значительно меньше долгоживущих трансурановых элементов, таких как плутоний и америций. Период полураспада большинства отходов ториевого цикла составляет сотни, а не тысячи лет, что упрощает их захоронение.

В последние десятилетия интерес к ториевой энергетике значительно возрос, что привело к запуску исследовательских программ в ряде стран:

- Индия, обладающая одними из крупнейших мировых запасов тория, рассматривает его как основу долгосрочной энергетической стратегии. В рамках национальной программы

Thorium-Based Advanced Nuclear Energy Systems реализуется трехэтапный план, включающий переход от тяжеловодных урановых реакторов к ториевым системам, таким как *Advanced Heavy Water Reactor* (*AHWR*), использующих торий в смешанном топливе (*Th-U*-233);

- Китай также активно развивает это направление, делая ставку на реакторы с жидкосолевым топливом. В 2022 году в провинции Ганьсу был запущен экспериментальный реактор *TMSR-LF1*, демонстрирующий потенциал тория в комбинированных энергетических системах;

- В США исследования поддерживаются в рамках государственных программ *Advanced Reactor Demonstration Program* (*ARDP*) и *Nuclear Energy University Program* (*NEUP*), а частные компании, такие как *ThorCon* и *Flibe Energy*, разрабатывают коммерческие проекты модульных ториевых реакторов;

- Европейский Союз финансирует исследования через программу *Horizon Europe*, уделяя особое внимание реакторам типа *Molten Salt Fast Reactor* (*MSFR*).

В России ториевая энергетика пока не получила такого развития, как в некоторых других странах, но интерес к этой технологии существует на уровне научных исследований и перспективных разработок.

Российская ядерная программа традиционно ориентирована на урановый цикл, что объясняется как историческими причинами, так и развитой инфраструктурой атомной отрасли. Однако в последние годы наметился определенный сдвиг в сторону изучения потенциала тория.

История исследований ториевого цикла в России восходит к советским временам, когда рассматривались различные варианты ядерных технологий. В постсоветский период эти работы продолжились, хотя и не стали приоритетным направлением. Ведущие научные организации, такие как Курчатовский институт и НИИАР в Димитровграде, проводили эксперименты с ториевым топливом, изучая его поведение в различных реакторных системах. Эти исследования показали, что торий может быть эффективно использован в комбинации с традиционными ядерными материалами.

Росатом, являясь ключевым игроком в российской атомной энергетике, рассматривает торий скорее, как дополнение к существующим технологиям, чем как их замену. Особый интерес представляет возможность использования тория в реакторах на быстрых нейтронах, которые разрабатываются в рамках проекта «Прорыв».

Такие реакторы могли бы работать в гибридном режиме, используя как уран, так и торий, что позволило бы расширить топливную базу и повысить эффективность использования ресурсов.

Российские вузы, включая МФТИ и МИФИ, также вносят свой вклад в исследования ториевого цикла. Их работы сосредоточены в основном на теоретических аспектах - моделировании физических процессов, расчетах безопасности и оптимизации топливных композиций. Эти исследования важны для понимания потенциала ториевых технологий, даже если их практическое внедрение пока не планируется.

Перспективы ториевой энергетики в России во многом зависят от развития ситуации на мировом рынке. Если такие страны, как Индия и Китай, добьются успеха в коммерциализации ториевых реакторов, это может стимулировать и российские разработки.

У России есть все необходимые компетенции, чтобы в случае необходимости быстро включиться в этот процесс, используя свой опыт в области ядерных технологий и существующую научно-производственную базу.

В настоящее время наиболее вероятным сценарием представляется постепенное внедрение ториевых компонентов в существующие реакторные системы, а не создание чисто ториевых энергоблоков. Такой подход позволит минимизировать риски и затраты, одновременно накапливая опыт работы с этим видом топлива.

В долгосрочной перспективе торий может занять важное место в российской атомной энергетике, особенно если будет доказана его экономическая эффективность и преимущества с точки зрения безопасности.

Однако, несмотря на активные разработки, внедрение ториевых технологий сталкивается с серьезными вызовами. Одной из ключевых проблем является коррозия конструкционных материалов в условиях высоких температур и нейтронного облучения. Кроме того, отсутствие готовой инфраструктуры для переработки ториевого топлива и регуляторные барьеры, связанные с лицензированием, замедляют переход к промышленному использованию.

С экономической точки зрения торий обладает рядом преимуществ, включая низкую стоимость сырья и широкую географическую распространенность. Однако высокие затраты на научно-исследовательские работы и строительство первых реакторов пока делают эту технологию менее конкурентоспособной по сравнению с традиционной урановой энергетикой. В долгосрочной перспективе ториевые реакторы могут стать более выгодными за счет сокращения расходов на хранение отходов, возможности использования в гибридных системах и развития малых модульных решений для удаленных регионов.

Прогнозируется, что коммерческое внедрение ториевых реакторов начнется не ранее 2030–2040 годов. Ключевыми факторами успеха станут государственная поддержка, международное сотрудничество и интеграция с возобновляемыми источниками энергии.

Таким образом, ториевые реакторы представляют собой перспективную альтернативу урановым технологиям, предлагая повышенную безопасность, снижение объема радиоактивных отходов и устойчивость топливного цикла.

Хотя на пути их массового внедрения остается множество технологических и экономических барьеров, текущие исследования и пилотные проекты демонстрируют возможность их преодоления.

В будущем торий может занять важное место в глобальной энергетической системе, особенно в условиях ужесточения экологических требований и необходимости декарбонизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Вилданов Р.Р.* Ядерная энергетика сегодня и завтра / Р.Р. Вилданов, В.А. Патунин // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 110-19. С. 19-21.

2. *Исанов К.А.* Тяжеловодный уран-ториевый реактор-размножитель на тепловых нейтронах / К. А. Исанов, М. Ю. Егоров // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2022. № 4. С. 5-18.

3. *Карпович Г.В.* Выжигание малых актинидов в водо-водяных реакторах. 2. Использование уранового и ториевого топлив для выжигания малых актинидов, производимых многими реакторами ВВЭР / Г. В. Карпович, Ю. А. Казанский, Н. Д. Васечкин, К. А. Баханцов // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2024. № 3. С. 44-58.

4. *Шмелев А.Н.* О топливном цикле ядерной энергетики РФ с незначительным по количеству привлечением тория и о роли тин (термоядерного источника нейтронов) с Th-бланкетом / А.Н. Шмелев, Г.Г. Куликов // Ядерная физика и инжиниринг. 2015. Т. 6, № 7-8. С. 427-432.

5. *Ашраф О.* Предварительное исследование о переходе к ториевому топливному циклу в жидкосолевом реакторе SD-TMSR / О. Ашраф, А.Д. Смирнов, С.Н. Рыжов, Г.В. Тихомиров // Вестник Национального исследовательского ядерного университета "МИФИ". 2020. Т. 9, № 4. С. 305-314.

6. *Вилданов Р.Р.* Экономический аспект интеграции и синергии ядерной энергетики и возобновляемых источников энергии / Р.Р. Вилданов, В.А. Карсакова, Е.Р. Иванкив, Р.Н. Газизова // Экономика и управление: проблемы, решения. 2025. Т. 12, № 2(155). С. 5-10.

THORIUM REACTORS AS AN ALTERNATIVE TO URANIUM: CURRENT STATE OF DEVELOPMENT

Vakhitov I.F.
Supervisor: Vildanov R.R., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Kazan State Power Engineering University, Kazan)

Abstract. The article examines the prospects for using thorium nuclear reactors as an alternative to traditional uranium power systems. The advantages of the thorium fuel cycle are analyzed, including increased safety, reduced volume of long-lived radioactive waste, and non-proliferation of nuclear materials. Data on current developments in the field of thorium energy in various countries are provided, technological and economic challenges are discussed, as well as possible ways to overcome them.

УДК 683.878.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОВОЙ ГОРЕЛКИ ПОХОДНОГО ТИПА

Гадельшин Т.Э.
Научный руководитель: Алтунин К.В., доцент, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Приведены результаты экспериментального исследования с газовой горелкой походного типа марки «Следопыт» на открытой местности. Получены значения энергоэффективности при нагреве различных объемов пресной воды.

Известно, что в разных странах мира каждый день применяется большое множество газогорелочных устройств как в бытовых условиях, так и в промышленности, и в энергетике. При этом существует ряд проблем, включая проблему невысокого уровня энергоэффективности из-за больших тепловых потерь. Вместе с этим цены на жидкие и газообразные горючие продолжают расти каждый год.

К примеру, в некоторых странах Европы в 2024 г. произошел значительный рост цен на природный газ по сравнению с 2023 г. (за 1 куб. м): Литва – на 96 % (с 76 до 149 рублей), Австрия – на 38 % (с 109 до 151 рубля) [1]. Вполне возможно, что в скором времени природный газ в РФ будет дорожать на 10 % два раза в год [2]. Вместе с природным газом постепенно дорожают и другие горючие (пропан, бутан и т.п.).

Рисунок 1. Газовая горелка «СЛЕДОПЫТ – Паучок»

Эти факты заставляют искать новые конструктивные решения повышения экономичности и энергоэффективности газовых горелок, применяемых в промышленных, бытовых и походных условиях.

Проведено экспериментальное исследование энергоэффективности газовой горелки марки «Следопыт», предназначенной для приготовления пищи и разогрева воды в походных условиях.

Газовая горелка «Следопыт – Паучок» представляет собой компактное устройство, предназначенное для приготовления пищи с использованием сжиженного газа. Основные элементы конструкции:

- Горелка: Обеспечивает сжигание газовой смеси и передачу тепла посуде.
- Пьезоэлектрический розжиг: Обеспечивает запуск горения без использования внешних источников огня.
- Ветрозащитная система: Предназначена для защиты пламени от задувания порывами ветра.
- Газовый шланг: Соединяет горелку с газовым баллоном.
- Соединение для газового баллона: Предназначено для подключения к газовым баллонам различных типов.
- Тканевый чехол: Обеспечивает удобство транспортировки и хранения.

Основные характеристики: вес - 260 г., мощность горелки - 3,2 кВт, расход газа - 140 г/ч, диаметр горелки - 50 мм, размеры в походном положении - 220х220х150 мм, размеры в сложенном виде - 70х70х150 мм, максимальный диаметр используемой посуды - до 20 см, максимальная вертикальная нагрузка: 5 кг (рис. 1) [6].

При этом применялось следующее основное оборудование: газовая горелка, баллоны с газовой смесью пропан-бутан, электронные весы, смартфон с секундомером, цифровые термометры Mastech MS6500 с одной термопарой (рис. 2).

Рисунок 2. Газовая горелка марки «Следопыт» модель «Паучок», применяемая для нагрева воды

В каждом баллоне находилась смесь сжиженных газов пропана и бутана в соотношении 20 % и 80 % соответственно. Подсчитана примерная плотность газовой смеси, которая составила 2,38 кг/м^3.

Всего было проведено 9 опытов с несколькими баллонами сжиженных газов пропан-бутан объемом 0,52 л. Опыты проводились на основе матрицы планирования с разной последовательностью (главный фактор – масса пресной воды). Перед проведением экспериментов были изучены теплофизические свойства таких газов, как пропан и бутан в разных агрегатных состояниях [3].

Энергетическая эффективность газовой горелки была подсчитана по формуле [4]:

$$EE_{gas\ burner} = \frac{E_{theoretic}}{E_{gas\ burner}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $EE_{gas\ burner}$ – энергетическая эффективность газовой горелки, %; $E_{theoretic}$ – минимальное количество теплоты потребленного газа, МДж, определенное теоретическим путем; $E_{gas\ burner}$ – количество теплоты потребленного газа, МДж.

При этом значение $E_{gas\ burner}$ рассчитывалось по формуле:

$$E_{gas\ burner} = Q_н \cdot V_г, \quad (2)$$

где $Q_н$ – низшая теплота сгорания газообразного горючего (или смеси горючих), МДж/м^3; $V_г$ – объем сгоревшего газообразного горючего (или смеси горючих), м^3.

Значение $E_{theoretic}$ рассчитывалось с учетом массы воды $m_в$ [кг], удельной массовой теплоёмкости воды $C_в$ [МДж/(кг·К)], массы металлического сосуда m_{Me} [кг] и его удельной массовой теплоемкости C_{pMe} [МДж/(кг·К)]:

$$E_{theoretic} = (C_{pв} \cdot m_в + C_{pMe} \cdot m_{Me})\Delta T. \quad (3)$$

Для расчетов энергоэффективности горелки походного типа были рассчитаны и приняты следующие значения: $Q_н$ =112,66 МДж/м^3 – для смеси пропан-бутан; $C_{pв}$ = 4,2·10^{-3} МДж/(кг·К) – для пресной воды; C_{pMe} = 2,7 10^{-3} МДж/(кг·К) – для алюминиевого сплава А5; m_{Me} = 0,45 кг – масса кастрюли из алюминиевого сплава А5; ΔT – было взято из экспериментов (например, $\Delta T = T_к - T_{fн}$, где $T_к$ – температура кипения пресной воды, К; $T_{fн}$ – начальная температура пресной воды, К).

На рис. 3 представлены результаты расчета энергоэффективности газовой горелки походного типа марки «Следопыт» (модель «Паучок»).

После обработки данных и построения рис. 3 было рассчитано среднее значение энергоэффективности газовой горелки, которое составило 43,78 % (среднее арифметическое значение).

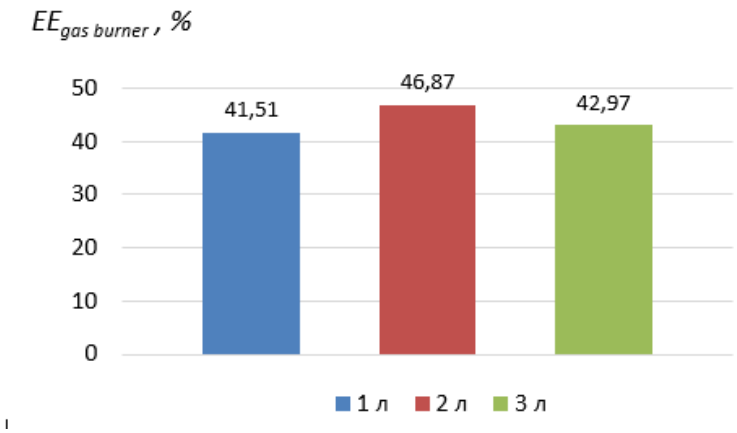


Рисунок 3. Значения энергоэффективности газовой горелки походного типа марки «Следопыт» при доведении до кипения разных объемов пресной воды

Таким образом, в результате расчетов установлено, что энергоэффективность газовой горелки марки «Следопыт» модели «Паучок» меньше 50 %. Этот факт говорит о больших тепловых потерях при работе горелки и о необходимости модернизации ее конструктивной схемы для получения более экономичной модели. Также на базе новой конструкции можно разработать более энергоэффективную мультитопливную горелку [5].

Намечены дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Рейтинг стран по стоимости газа для населения. – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://svspb.net/novosti/stoimosti-gaza/ (дата обращения 03.06.2025г.).

2. Газ будет дорожать на 20% каждый год. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://newizv.ru/news/2025-06-03/gaz-budet-dorozhat-na-20-kazhdyy-god-kak-ostanovit-nenasytnyy-gazprom-437056?ysclid=mbhjjq32vr1186498 (дата обращения 03.06.2025г.).

3. *Варгафтик Н.Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: ООО Старс, 2006. – 720 с.

4. ГОСТ 33859-2016. Энергетическая эффективность. Жарочные шкафы, варочные панели и воздухоочистители бытовые и аналогичного применения. Проектирование с учетом воздействия на окружающую среду (Межгосударственный стандарт). – М.: Стандартинформ, 2019. – 20 с.

5. *Алтунин К.В., Гадельшин Т.Э./* Разработка мультитопливной горелки повышенной энергетической эффективности // Республиканская научно-практическая конференция (с международным участием) «Теплоэнергетика и теплофизические свойства веществ», 27-28 ноября 2023г. – Душанбе: Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими, 2023. - С. 24-27.

6. Плита порт. газовая «СЛЕДОПЫТ – Паучок». – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://sledopyt.net/catalog/turizm/gazovoe_oborudovanie/plity_portativnye/plita_port_gazovaya_sledopyt_pauchok_40/#desc (дата обращения 03.06.2025г.).

RESEARCH OF ENERGY EFFICIENCY OF A CAMPING-TYPE GAS BURNER

Gadelshin T.E.

Supervisor: Altunin K.V., Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The results of an experimental study with a camping-type gas burner of the "Sledopyt" brand in an open area are presented here. Energy efficiency values were obtained for heating different volumes of fresh water.

УДК 662.951.26

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВОГО ГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ УГЛЕКИСЛОТНОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

Голосова П.В., Вегера А.Н.

Научный руководитель: Осипов С.К., доцент, к. т. н.

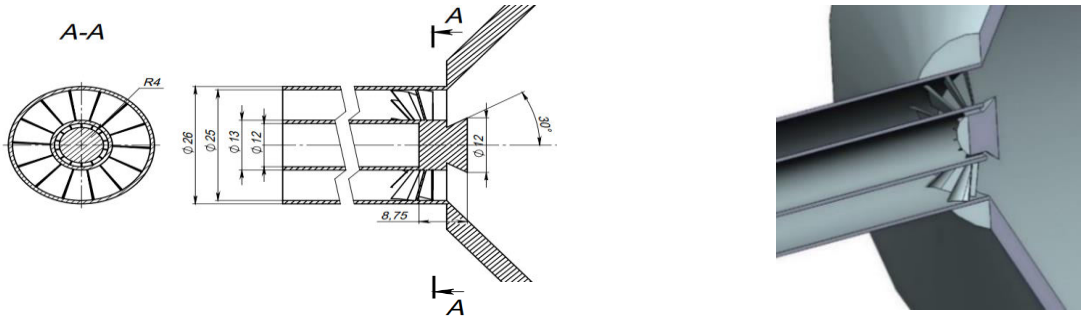
(Московский энергетический институт, г. Москва)

Аннотация. В работе представлена разработка конструкции вихревого горелочного устройства для кислородно-топливной камеры сгорания, обеспечивающего устойчивое горение природного газа в среде кислорода и диоксида углерода. Методами численного моделирования определены оптимальные, с точки зрения количества вредных выбросов в дымовых газах и надежной работы конструкции, параметры процесса (коэффициент избытка окислителя 1,05-1,1, массовая доля CO_2 в смеси окислителя и разбавителя до 87%) и предложена конструкция горелки, снижающая выбросы CO до 340 ppm.

Переход к кислородно-топливным энергетическим комплексам, работающим по циклу Аллама, является перспективным направлением для снижения выбросов углекислого газа от тепловых электростанций [1]. В таких установках ключевым элементом является камера сгорания, где происходит горение природного газа в среде чистого кислорода и диоксида углерода. Одной из важнейших задач при проектировании камеры сгорания является разработка конструкции горелочного устройства, обеспечивающего устойчивое горение и минимальный уровень недожога. На данный момент существуют исследования, в которых описан опыт использования вихревых горелочных устройств в углекислотных камерах сгорания [2].

В данной работе представлены результаты численного моделирования процесса горения в вихревом горелочном устройстве с использованием следующего подхода: в программном комплексе Ansys CFD Fluent было проведено пространственное моделирование процесса горения в объеме камеры сгорания. Далее в программе Energico расчетный объем был разделен на реакционные зоны, для удобного переноса всех полученных данных в программу Chemkin Pro, в которой была создана сеть химических реакторов для точного определения состава дымовых газов, по которому будут сделаны выводы о полноте сгорания топлива и наличии вредных выбросов в продуктах горения. Основное внимание уделено исследованию влияния параметров смеси на процесс горения и разработке новой конструкции горелки, позволяющей значительно снизить выбросы вредных веществ.

Существует базовая конструкция вихревого горелочного устройства, представляющая собой горелку типа «труба в трубе», где по центральному каналу подается топливо и на выходе из горелки установлено конусообразное плохообтекаемое тело, а по кольцевому каналу подается смесь окислителя и разбавителя и на выходе установлен лопаточный завихритель [3]. Чертеж конструкции и ее 3D-модель представлены на рисунке 1.



а) б)

Рисунок 1. Конструкция базового горелочного устройства: а) – чертеж; б) – 3D-модель

Известно, что сжигание метана в среде чистого кислорода и диоксида углерода протекает при высоких температурах, более 2200 K. При высокой температуре диоксид углерода начинает диссоциироваться при одновременной диссоциации водяных паров, что приводит в свою очередь к высокому содержанию монооксида углерода и несгоревших углеводородов в продуктах сгорания, что является крайне нежелательным с точки зрения эффективной работы цикла Аллама. Поэтому необходимо провести исследование влияния содержания кислорода и диоксида углерода на количество выбросов монооксида углерода и несгоревших углеводородов. Исследование будет проведено с использованием базовой конструкции горелочного устройства.

Коэффициент избытка окислителя, определяемый по (1), варьировался в диапазоне от 0,95 до 1,2, с целью исследования бедной, стехиометрической и богатой смесей. Уровень диоксида углерода, а именно значение коэффициента γ (2) при изменении значения коэффициента избытка окислителя оставался неизменным и был принят 0,804.

$$\alpha = \frac{G_{\text{ок.факт}}}{G_{\text{ок.теор}}} = \frac{G_{O2}}{4G_{CH4}} \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{G_{CO2}}{G_{CO2} + G_{O2}} \quad (2)$$

В (1), (2) G_{O2} – массовый расход окислителя, в роли которого выступает кислород, G_{CH4} – массовый расход топлива, G_{CO2} – массовый расход разбавителя, в роли которого выступает диоксид углерода.

Численные моделирования проводились при следующих граничных условиях: мощность горелки – 15 кВт (эскиз жаровой трубы камеры сгорания на 15 кВт представлен на

рисунке 2), тогда массовый расход топлива и его температура составят G_{CH4}=0,0004 кг/с, T_{CH4}=655 К. Для топлива примем, что массовое содержание метана – 100%. Массовый расход смеси окислителя и разбавителя (смеси CO2 и O2) составил G_{CO2_O2}=0,00858 кг/с, а ее температура равна T_{CO2_O2}=831 К. Все компоненты подаются при сверхкритическом давлении 30 МПа. Для моделирования горения использовалась встроенная модель горения Partially Premixed Combustion, дополнительно подгружался кинетический механизм UOS, который является наиболее подходящим для моделирования процесса кислородно-топливного горения [4]. Предварительно было проведено исследование на сеточную сходимость, которое показало, что при количестве элементов более 800 000, с максимальным размером элемента 3,2 мм наблюдается погрешность в результатах менее чем 1%, что говорит о достаточном уровне сеточной сходимости.

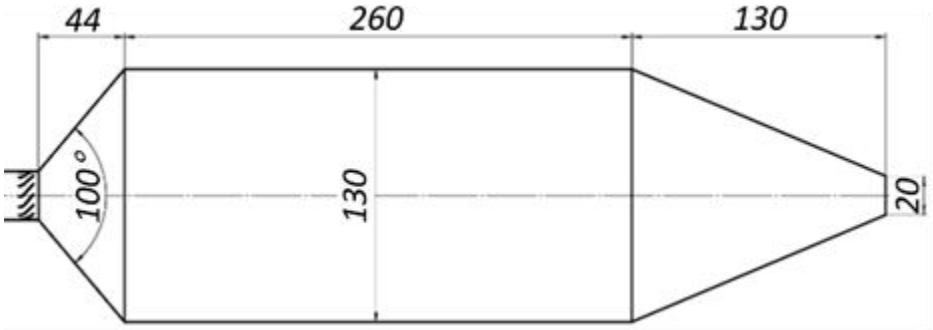


Рисунок 2. Эскиз жаровой трубы камеры сгорания мощностью 15кВт

По результатам проведенных численных моделирований были составлены графики зависимостей количества образующихся монооксида углерода и несгоревших углеводородов от значения коэффициента избытка окислителя приведенные на рисунках 3 и 4.

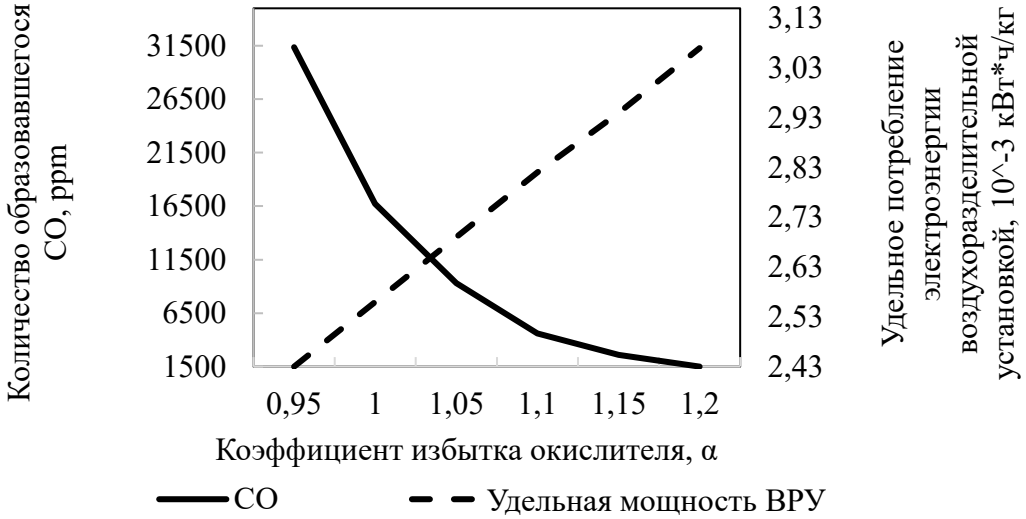


Рисунок 3. График зависимости количества образующегося монооксида углерода и удельного потребления мощности ВРУ от коэффициента избытка окислителя

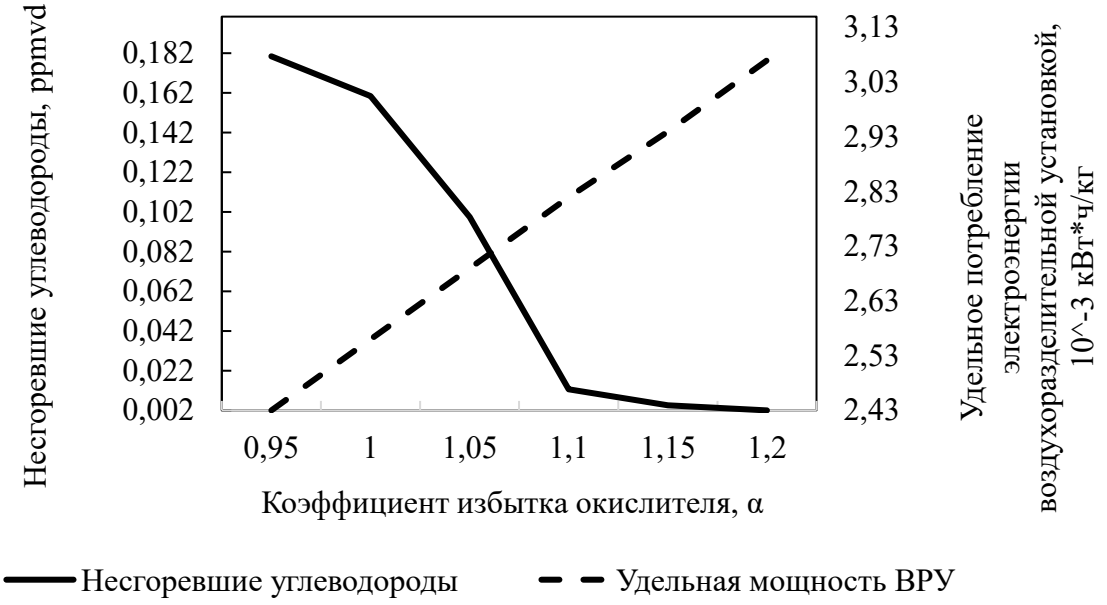


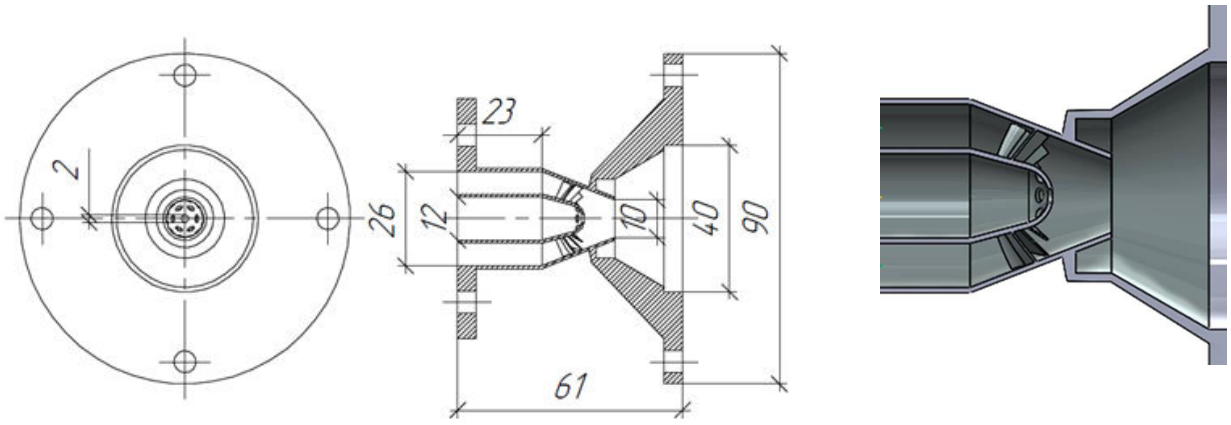
Рисунок 4. График зависимости количества образующихся несгоревших углеводородов и удельного потребления мощности ВРУ от коэффициента избытка окислителя

Проведенное исследование влияния коэффициента избытка окислителя показало, что его увеличение с 0,95 до 1,2 приводит к значительному снижению выбросов монооксида углерода и несгоревших углеводородов. Однако с учетом коррозионного износа элементов камеры сгорания и увеличения затрат на собственные нужды воздухоразделительной установки оптимальным диапазоном коэффициента избытка окислителя является 1,05–1,1. При таких значениях уровень выбросов CO снижается более чем в 3 раза, а содержание несгоревших углеводородов в продуктах сгорания более чем в 2 раза, таким образом достигается баланс между экологичностью и экономической эффективностью работы установки.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что для снижения выбросов CO наиболее рационально увеличивать соотношение диоксида углерода к кислороду, то есть увеличивать коэффициент γ. Но, так как диоксид углерода является ингибитором реакции горения, при его повышенном содержании возможен отрыв пламени, который приводит к дальнейшему затуханию. Для организации устойчивого процесса горения необходимо, чтобы турбулентная скорость распространения пламени компенсировала ингибирующее действие диоксида углерода, поэтому при большем значении турбулентной скорости распространения пламени можно использовать большее значение коэффициента γ.

Путем численного моделирования процесс горения в кислородно-топливной камере сгорания с базовой горелкой, было установлено, что при фиксированном коэффициенте избытка окислителя на уровне 1,05 и увеличением содержания диоксида углерода с 0,804 до 0,82 наблюдается снижение максимальной температуры в зоне горения с 1960 К до 1875 К. Также снижается интенсивность термической диссоциации диоксида углерода, но вследствие увеличения массового расхода CO2 абсолютное количество CO и O2 в ходе реакции разложения CO2 растет. Выделившийся кислород вступает в реакцию с топливом увеличивая полноту сгорания и снижая количество углеводородов с высокой реакционной способностью. В связи с этим уровень выбросов CO снижается с 9300 ppm до 5740 ppm, а уровень несгоревших углеводородов с 0,099 ppmvd до 0,03 ppmvd. Но при дальнейшем увеличении значения коэффициента γ в базовой конструкции горелки наблюдался отрыв пламени, это говорит о том, что необходимо проводить модернизацию конструкции горелочного устройства, для того чтобы максимально увеличить значение массовой доли диоксида углерода, но при этом сохранить устойчивое горение.

Разработанная конструкция горелочного устройства содержит полусферическое перфорированное плохообтекаемое тело, установленное по потоку топлива. С целью сохранения качества смешения топлива и окислителя, канал подачи топлива на выходе из горелочного устройства имеет форму конфузора, а лопатки завихрителя наклонены под углом 45° для подачи смеси CO2 и O2 навстречу потоку топлива. Также для более быстрого смешения топлива и окислителя было принято решение изменить участок на выходе из горелочного устройства путем уменьшения площади канала. Для уменьшения площади канала был установлен диффузор с углом раскрытия меньшим чем у диффузора камеры сгорания на 10-15 градусов. Чертеж конструкции и ее 3D-модель представлens на рисунке 5.



а) б)

Рисунок 5. Конструкция разработанного горелочного устройства: а) – чертеж; б) – 3D-модель

Сравнение количества выбросов, полученных в ходе моделирования базовой и модернизированной конструкций представлено в таблице 1. Выбросы CO уменьшились относительно результатов, полученных при моделировании с базовой конструкцией горелки на 306,2 ppm, а недожог снизился в 1,2 раза.

Таблица 1

Количество выбросов при использовании разных конструкций горелочных устройств

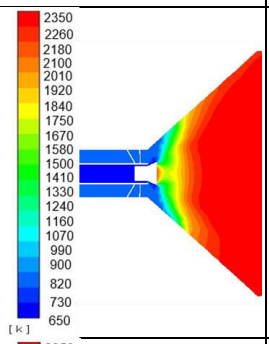
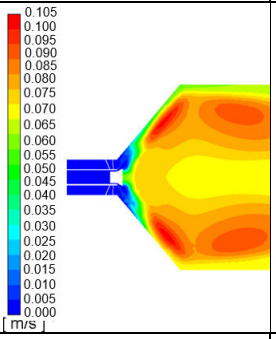
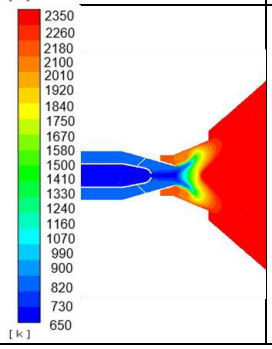
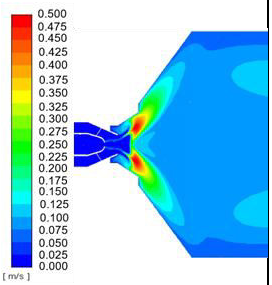
Конструкция	Выбросы CO, ppm	Несгоревшие углеводороды, ppmvd
Базовая конструкция	6354,3	$5{,}954 \cdot 10^{-10}$
Модернизированная конструкция	6048,1	$4{,}978 \cdot 10^{-10}$

Распределения температур и турбулентных скоростей для в продольных сечения горелочных устройств, полученные входе численных моделирований представлены в таблице 2. Из представленных результатов, можно сделать вывод, что скорость распространения пламени увеличивается в 4,5 раза по сравнению с базовой конструкций, что говорит о том, что можно увеличить массовое содержание диоксида углерода и при этом сохранить устойчивое горение.

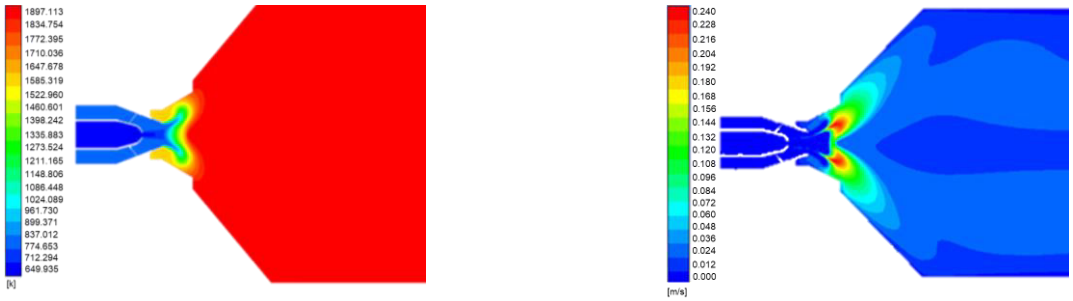
По результатам серии моделирований, было определено, что предельным значением коэффициента γ для модернизированной конструкции является 0,87. Температурное поле, полученное при моделировании с массовой долей CO2 в смеси окислителя и разбавителя равное 0,87, представлено на рисунке 5 а). Анализ результатов показывает, что наблюдается снижение температуры горения с 2317 К до 1897 К. На рисунке 6 б) изображена эпюра турбулентной скорости распространения пламени.

Таблица 2

Результаты пространственного численного моделирования

Конструкция	Максимальная температура продуктов сгорания, T_{max}, К	Распределение температуры в горелочном устройстве	Максимальная скорость распространения пламени, w_{max}, м/с	Распределение турбулентных скоростей	$\frac{w_{max\,i}}{w_{max}}$
Базовая	2336,90		0,112		1
Модернизированная	2317,49		0,506		4,52

При увеличении доли диоксида углерода турбулентная скорость распространения пламени снизилась в 2 раза по сравнению с результатами, полученными при моделировании при массовой доле диоксида углерода равной 0,804, но той же конструкции. Выбросы CO в данном случае составляют 339,6 ppm, а недожог – $2{,}442 \cdot 10^{-10}$ ppmvd. Таким образом, при увеличении массовой доли диоксида углерода заметно снижается уровень выбросов CO (в 17,5 раз).



а) б)

Рисунок 6. Результаты численного моделирования при сжигании метана в модернизированной конструкции и увеличении массового содержания CO2 до 0,87: а) – температурное поле; б) – распределение турбулентной скорости

Таким образом, разработанная конструкция вихревого горелочного устройства демонстрирует высокую эффективность и устойчивость горения при повышенном содержании диоксида углерода, что делает ее перспективным решением для кислородно-

топливных энергетических установок. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию геометрии горелки и экспериментальную проверку полученных результатов.

Исследование проведено в Национальном исследовательском университете «МЭИ» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № FSWF-2023-0014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Allam R. et al.* Demonstration of the Allam Cycle: an update on the development status of a high efficiency supercritical carbon dioxide power process employing full carbon capture // Energy Procedia. 2017. V. 114. P. 5948-5966.

2. *С.К. Осипов, Т.П. Карев, А.И. Губанова [и др.]* Исследование процесса смешения компонентов горючей смеси в вихревых горелочных устройствах // Новое в российской электроэнергетике. – 2023. – № 9. – С. 39-51.

3. РТМ 24.022.11 – 74.

4. *Harman-Thomas J.M., Hughes K.J. and Pourkashanian M.,* The development of a chemical kinetic mechanism for combustion in supercritical carbon dioxide // Energy 255, 2022.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A VORTEX BURNER FOR A CARBON ACID COMBUSTION CHAMBER

Golosova P.V., Vegera A.N.

Supervisor: Osipov S.K., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Moscow Power Engineering Institute, Moscow)

Abstract. The paper presents the development of a vortex burner design for an oxygen-fuel combustion chamber that ensures stable combustion of natural gas in an oxygen and carbon dioxide environment. Numerical modeling methods were used to determine the optimal process parameters (oxidizer excess ratio of 1.05-1.1, mass fraction of CO_2 in the oxidizer and diluent mixture up to 87%) in terms of the amount of harmful emissions in the flue gases and the reliable operation of the design, and a burner design was proposed that reduces CO emissions to 340 ppm.

УДК 536+537+621+629

СУЩЕСТВУЮЩИЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ПРОЦЕССОМ ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ В ДВИГАТЕЛЯХ И ЭНЕРГОУСТАНОВКАХ НА УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГОРЮЧИХ И ОХЛАДИТЕЛЯХ

Жилякова А.Е., Сафина А.И., Вахитова А.Р.

Научные руководители: Алтунин В.А., профессор, д. т. н., Алтунин К.В., доцент, д. т. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, г. Казань)*

Аннотация. Проведён анализ нагрева жидких и газообразных углеводородных горючих и охладителей (УВГ и УВО) в наземных, воздушных, аэрокосмических и космических двигателях и энергоустановках одно – и многоразового использования. Показана негативность аномального теплового процесса – осадкообразования, из-за которого уменьшается ресурс двигателей и энергоустановок, возникают аварийные ситуации, связанные с их пожаром и взрывом. Подробно рассмотрены и классифицированы существующие и перспективные способы борьбы с осадкообразованием в жидких и газообразных УВГ и УВО.

В докладе рассмотрены тепловые процессы в двигателях и энергоустановках на жидких и газообразных углеводородных горючих (УВГ) и охладителях (УВО) наземного, воздушного, аэрокосмического и космического базирования.

Подробно раскрыто осадкообразование в топливных и охлаждающих системах двигателей летательных аппаратов и наземных энергоустановок.

По причине осадкообразования неожиданно и несанкционировано сокращается ресурс, надёжность, безопасность и эффективность двигателей и энергоустановок одно – и многоразового использования [1-5].

В докладе всесторонне классифицированы и проанализированы способы борьбы с осадкообразованием [1-16].

К существующим способам борьбы с осадкообразованием относятся:

а) способы и методы по предотвращению осадка:

- применение специальных антиокислительных, антиосадкообразующих, моющих и др. присадок;
- уменьшение контакта горючих и охладителей с окружающим воздухом;
- удаление кислорода из топливных и охлаждающих систем;
- заполнение парового пространства над горючим (охладителем) инертными газами;
- правильный выбор топлива для данных двигателей ЛА;
- осуществление контроля за топливными фильтрами и распылителями;

б) способы и методы по уменьшению осадка:

- своевременная смена фильтрующих элементов;
- выбор металла (для изготовления деталей, контактирующих с топливом) с наименьшей скоростью осадкообразования на их поверхностях;
- удаление кислорода воздуха из топливной системы; осуществление контроля за топливными фильтрами и распылителями;

в) способы и методы по удалению осадка:

- промывка систем различными моющими средствами; механическая очистка деталей и каналов от осадка (с разборкой) (физико-механический способ);
- промывка каналов топливной системы при помощи специальных жидкостей на установке с термоакустическими автоколебаниями (ТААК) давления (с разборкой) (физико-химический способ);
- выжигание твёрдого углеродистого осадка в богатом пламени метана (химико-термический способ);
- своевременная смена фильтрующих элементов; замена закоксованных деталей и агрегатов топливной системы на новые.

К перспективным способам борьбы с осадкообразованием относятся:

а) способы и методы по предотвращению осадка:

- разработка и создание новых топлив с высокими свойствами по границе высокотемпературного разложения;
- разработка и создание новых антиосадкообразующих присадок, способных защитить топлива от осадкообразования при температурах нагрева более 373К;
- обеспечение необходимого охлаждения стенки до температуры менее 373 К (100 ^{0}C) путём разработки способов, методов или устройств;
- применение электростатических полей;

б) способы и методы по уменьшению (и ограничению) осадка:

- применение контактирующих с топливом металлических поверхностей, выполненных в виде конусной резьбы с высотой зубьев (2-5) мм (рост осадка ограничивается на высоте зубьев);
- создание полированной поверхности (осадок будет появляться, но позднее и медленнее);
- конструктивно-технологический метод создания электроизолирующего слоя на поверхностях металлических деталей, контактирующих с топливом;
- обеспечение минимального давления при запуске и останове двигателя;
- применение электростатических полей;

в) способы и методы по удалению осадка:

- конструктивный метод создания резервных каналов, форсунок, фильтров, распылителей; конструктивный метод применения (для каналов и форсунок) внутренних соосных игл – для контроля за осадкообразованием и его удалением;

- конструктивный метод применения гофрированных топливных каналов, выполненных из металлов с «памятью форм», которые при нагреве (или остывании) будут сжиматься или разжиматься, разрушая при этом слой твёрдого углеродистого осадка;

- конструктивный метод применения гофрированных металлических топливных каналов, приводимых в сжатое и разжатое состояния (для удаления осадка) при помощи специального устройства – в ручном, полуавтоматическом и автоматическом режимах;

- применение свойств ТААК давления по удалению твёрдых углеродистых осадков в топливно-охлаждающих каналах ЖРД в ходе молчания двигателя на орбите, т.е. без разборки двигателя, с дальнейшей утилизацией собранных твёрдых осадков в сопле в горящем потоке ЖРД или их выбросом в открытый космос.

Перспективные способы борьбы с осадкообразованием были разработаны в ходе проведения экспериментальных исследований тепловых процессов в жидких и газообразных УВГ и УВО при их естественной и вынужденной конвекции при различных давлениях и температурах, т.е. при термодинамических условиях, которые возникают в двигателях и энергоустановках различного базирования, назначения и использования, с применением электростатических полей и без их применения [5-16].

Авторами [5-16] были получены патенты на изобретения РФ:

№№ 2215671, 2213291, 2212364, 2228456, 2287715, 2289078, 2452896, 2504843, 2458305, 2541022, 2541570, 2738300, 2482413, 2504676, 2447362, 2388966, 2467195, 2116494, 2116381, 2224126, 2033546, 2372382, 2556091, 2568732, 2388966, 2447362, 2287715, 2289078, 2228456, 2155910, 2215671, 2452896, 2467195, 2213291, 2482413, 2372382, 2224126, 2116381, 20335446 и др.

В этих патентах на изобретение РФ - раскрываются новые способы борьбы с осадкообразованием и с ТААК давления, новые конструктивные схемы топливных форсунок, фильтров, каналов, новые датчики и системы контроля за этими аномальными тепловыми процессами в двигателях и энергоустановках с выводом данных:

- для летательных аппаратов - в бортовой компьютер и на информационное табло лётчика – космонавта, а также – в наземный компьютер наземного оператора и на его информационное табло;

- для наземных техносистем – в бортовой компьютер наземного оператора и на его информационное табло.

При разработке и создании новых двигателей и энергоустановок необходимо заранее учитывать все особенности тепловых процессов в топливных и охлаждающих системах, правильно подбирать и использовать все способы борьбы с ТААК давления, с осадкообразованием, включая способы борьбы без использования электростатических полей, с их использованием, гибридно (т.е. одновременно использовать существующие и перспективные способы без применения электростатических полей и с их использованием).

При применении электростатических полей необходимо использовать алгоритм правильного использования электростатических полей в жидких и газообразных горючих и охладителях, который был ранее разработан авторами [5-16].

Также необходимо учитывать, что до 40 ^{0}C жидкие и газообразные УВГ и УВО являются диэлектриками, при 40 ^{0}C - в них появляются (+) (-) заряженные частицы и эти жидкие и газообразные УВГ и УВО становятся электропроводными средами, при 100 ^{0}C в жидких УВГ и УВО появляются диполи, которые активно участвуют в процессе осадкообразования, в газообразных УВГ и УВО – процесс осадкообразования начинается при температуре более 400 ^{0}C.

Применение данных способов борьбы с осадкообразованием будет способствовать созданию новых отечественных двигателей и энергоустановок повышенных характеристик

различного назначения и базирования по ресурсу, надёжности, безопасности, эффективности, экономичности и экологичности [1-16].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Яновский Л.С., Дубовкин Н.Ф., Галимов Ф.М. и др.* Инженерные основы авиационной химмотологии. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2005. 714 с.

2. *Большаков Г.Ф.* Химия и технология компонентов жидкого ракетного топлива. Л.: Изд-во «Химия», 1983, 320 с.

3. *Большаков Г.Ф.* Физико-химические основы образования осадков в реактивных топливах. Л.: Изд-во «Химия», 1972, 232 с.

4. *Братков А.А., Серёгин Е.П., Горенков А.Ф. и др.* Химмотология ракетных и реактивных топлив / Под ред. А.А. Браткова /. М.: Изд-во «Химия», 1987, 304 с.

5. *Алтунин В.А.* Исследование особенностей теплоотдачи к углеводородным горючим и охладителям в энергетических установках многоразового использования. Книга первая. Монография. Казань: Изд-во «Казанский гос. ун-т им. В.И. Ульянова – Ленина», 2005, 272 с.

6. *Алтунин В.А.* Исследование влияния электростатических и магнитных полей на особенности теплоотдачи к углеводородным горючим и охладителям. Книга вторая. Монография. Казань: Изд-во «Казанский гос. ун-т им. В.И. Ульянова – Ленина», 2006, 230 с.

7. *Алтунин К.В.* Функционально - стоймостной анализ горелочных устройств и форсунок: монография. Казань: Изд-во КНИТУ – КАИ, 2020. 156 с.

8. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н. и др.* Некоторые пути повышения эффективности жидкостных реактивных двигателей летательных аппаратов на углеводородных и азотосодержащих горючих и охладителях / Под общ. ред. доктора технических наук, профессора Л.С. Яновского /. Монография. Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2020. 148 с.

8. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Абдуллин М.Р. и др.* Некоторые пути повышения эффективности жидких и газообразных углеводородных и азотосодержащих горючих для двигателей летательных аппаратов // Тепловые процессы в технике. 2019. Т. 11. № 10. С. 453-479.

9. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Абдуллин М.Р., Львов М.Л., Щиголев А.А., Платонов Е.Н., Юсупов А.А., Алиев И.Н., Яновский Л.С., Яновская М.Л.* Некоторые пути совершенствования двигателей и энергоустановок марки «НК». Часть 1. // Тепловые процессы в технике. 2021. Т. 13. № 12. С. 530-542. DOI: 10.34759/tpt-2021-13-12-530-542.

10. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Абдуллин М.Р., Львов М.Л., Щиголев А.А., Платонов Е.Н., Юсупов А.А., Алиев И.Н., Яновский Л.С., Яновская М.Л.* Некоторые пути совершенствования двигателей и энергоустановок марки «НК». Часть II // Тепловые процессы в технике. 2022. Т. 14. № 1. С. 9–21. DOI: 10.34759/tpt-2022-14-1-9–21.

12. *Алтунин В.А., Абдуллин М.Р. и др.* Особенности тепловых процессов в жидких и газообразных углеводородных горючих и охладителях в двигателях летательных аппаратов // Сб. научных статей 8-ой международ. научно-практ. конф. «Академические Жуковские чтения», посвящ. 100-летнему юбилею Военно-воздушной академии (Воронеж, 25-26 ноября 2020 г.). Главное командование ВКС России. ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина. Воронеж: Изд-во ВУНЦ ВВС «ВВА», 2020. С. 20-22.

13. *Altunin V.A., Altunin K.V., Aliev I.N., Gortyshov U.F., Dresvyannikov F.N., Obukhova L.A., Tarasevich S.E., Yanovskaya M.L.* Analysis of investigations of electric fields in different media and conditions. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2012, vol. 85, no. 4, pp. 959–976.

14. *Алтунин К.В.* Разработка методики расчета температуры внутренней стенки мультитопливной форсунки с целью предотвращения осадкообразования и перегрева // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. № 6 (735). 2021. С. 37-47.

15. *Алтунин К.В.* Разработка новых удельных параметров реактивного двигателя // Вестник МАИ. Секция: Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов. Т. 27. № 3. 2020. С. 146-154.

16. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Абдуллин М.Р., Пронин К.А., Баданов Н.С., Алексенко И.В., Жилякова А.Е., Яновская М.Л.* Применение новых способов борьбы с осадкообразованием при разработке новых конструктивных схем топливных форсунок для реактивных двигателей воздушных и аэрокосмических летательных аппаратов // Матер. 59-ых Научных чтений, посвящ. разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Сек. № 2: «Проблемы ракетной и космической техники». РАН. РАКЦ. Калуга: Изд-во «Эйдос». 2024. Часть 1. С. 186-191.

EXISTING AND PROSPECTIVE WAYS TO COMBAT THE PROCESS OF SEDIMENTATION IN ENGINES AND POWER PLANTS ON HYDROCARBON FUEL AND COOLANTS

Zhilyakova A.E., Safina A.I., Vakhitova A.R.
Supervisors: Altunin V.A., Professor, Doctor of Engineering Sciences,
Altunin K.V., Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Abstract. The article analyzes heating of liquid and gaseous hydrocarbon fuels and coolants (LHCF and CFC) in ground, air, aerospace and space engines and power plants of single and multiple use. The article shows the negative nature of the abnormal thermal process - sedimentation, which reduces the service life of engines and power plants, and causes emergency situations associated with their fire and explosion. The existing and promising methods of combating sedimentation in liquid and gaseous LHCF and CFC are considered and classified in detail.

УДК 66.047.7

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА С УВЛАЖНЕННОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЕЙ

Зайнутдинова Д.А., Полунин Я.В.
Научный руководитель: Зайнутдинова Д.А., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе проводились численные исследования взаимодействия сушильного агента с увлажненной сферической частицей в программной среде COMSOL Multiphysics. Авторы статьи рассмотрели влияние на кинетику процесса сушки таких параметров, как температура сушильного агента, начальная относительная влажность частицы и ее диаметр. Выяснилось, что они имеют существенное влияние на продолжительность сушки.

При взаимодействии сушильного агента с высушиваемой частицей происходит удаление влаги, которое сопровождается процессом тепломассообмена. Теплообмен происходит следующим образом. Нагретый газ повышает температуру поверхности частицы за счёт конвекции: молекулы газа, проходя над поверхностью, передают частице тепло, создавая тепловой пограничный слой вокруг нее. Внутри самой частицы тепло распространяется за счёт теплопроводности: тепло, поступившее на поверхность, расходуется на повышение температуры всей массы частицы. Также происходит массообмен – перенос вещества (влаги) из области с большей концентрацией в область с меньшей концентрацией [1]. В данной работе таким веществом является вода. Влага бывает поверхностной и связанной. Поверхностная влага – это вода, находящаяся на поверхности

частицы и легко удаляется с ее поверхности. Связанная влага – вода, которая физически или химически удерживается в материале за счет связей, а не свободно находится в порах частицы. Формы связи подразделяются на три группы: химическая связь, физико-химическая связь, физико-механическая связь [2]. Химическая связь влаги наиболее прочно удерживается и при нагревании до 120–150 °С не удаляется. Химически связанная влага может быть удалена при химическом взаимодействии с определенным веществом или при прокаливании. Физико-химическую связь влаги разделяют в целом на два вида: адсорбционно-связанную и осмотически связанную. Адсорбционно-связанная влага образуется в результате адсорбции молекул пара из окружающей среды вследствие воздействия молекулярного силового поля на внешней и внутренней поверхности материала. Осмотически связанная влага образуется как в результате осмотического поглощения влаги клеткой, так и вследствие захвата жидкости при образовании коллоидного тела. Причиной осмотической связи влаги является осмотическое давление, вызывающее диффузию влаги через полупроницаемые стенки клеток материала. Физико-механическая связь возникает при нахождении жидкости в капиллярах, смачивании поверхности тела и прилипании влаги.

Таким образом, главной характеристикой материала является ее относительная влажность W. Относительная влажность – это отношение массы влаги, содержащейся в частице, к общей ее массе, выраженное в процентах [2]:

$$W = \frac{m_{\text{вл}}}{m_{\text{ч}}} 100\%,$$

где $m_{\text{вл}}$ – масса влаги, содержащейся в частице; $m_{\text{ч}}$ – масса частицы.

При сушке материалов также важно понимать кинетику процесса. Она сопровождается тремя этапами: прогрев материала, испарение поверхностной влаги, удаление связанной влаги. Наиболее проблематичной является удаление связанной влаги [3].

Целью данной работы является исследование взаимодействия потока газа с увлажненной сферической частицей в процессе ее сушки численным методом.

Взаимодействие нагретого потока газа и увлажненной частицы моделировалось в программной среде COMSOL Multiphysics [4]. Данная модель описывает ламинарный поток газа, обдувающий неподвижную увлажненную частицу керамзита сферической формы, закрепленную в центре сушильной камеры. Схема модели при обтекании сферической частицы ламинарным потоком газа представлена на рис. 1.

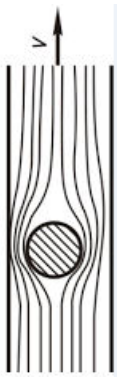


Рис. 1. Обтекание сферической частицы ламинарным потоком газа

В данной работе в качестве сушильного агента были взяты продукты сгорания пропана, движущиеся со скоростью 0,3 м/с, число Рейнольдса Re=831. Рассматривалось три варианта влияющих факторов на процесс сушки: температура газа, начальная относительная влажность частицы и ее диаметр. Результаты представляют собой зависимости относительной влажности частицы в ее центре от времени. На рис. 2 показан результат для трех значений температур сушильного агента: 50 °С, 100 °С и 150 °С при начальной влажности частицы, равной 70 %, и ее диаметре 1 см.

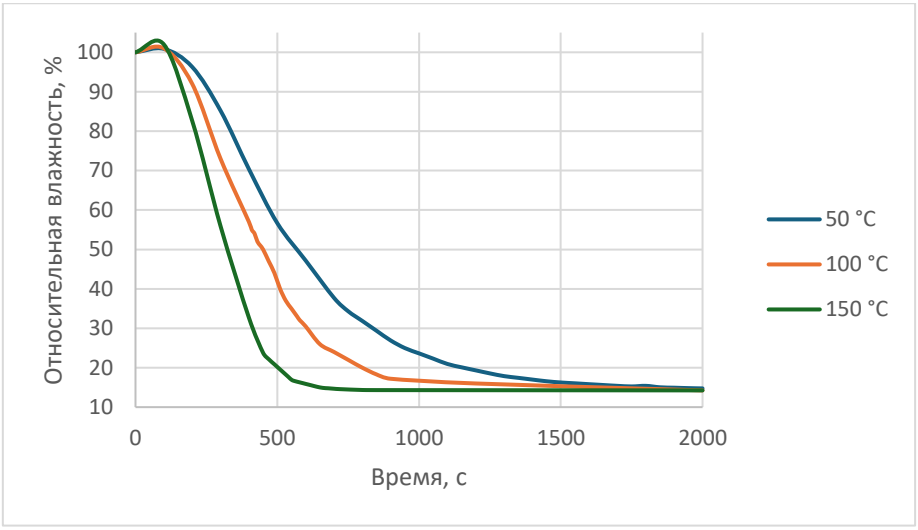


Рис. 2. График зависимости относительной влажности от времени при температуре газа 50 °C, 100 °C и 150 °C

Как можно видеть из графика, повышение температуры газа с 50°C до 150°C ведет к сокращению времени сушки: с 1700 с до 700 с. Также здесь можно выделить участок прогрева частицы и два периода сушки: удаление поверхностной влаги и удаление связанной влаги. Прямолинейный участок на графике соответствует удалению свободной влаги, покрывающей поверхность частицы, далее – участок, соответствующей удалению связанной влаги. Каждый период также сокращается по времени с увеличением температуры газа.

На рис. 3 показан график зависимости относительной влажности от времени при начальной влажности частицы, равной 50 %, 70 %, 90 %. Температура газа в данном случае равна 150 °C, диаметр частицы – 1 см.

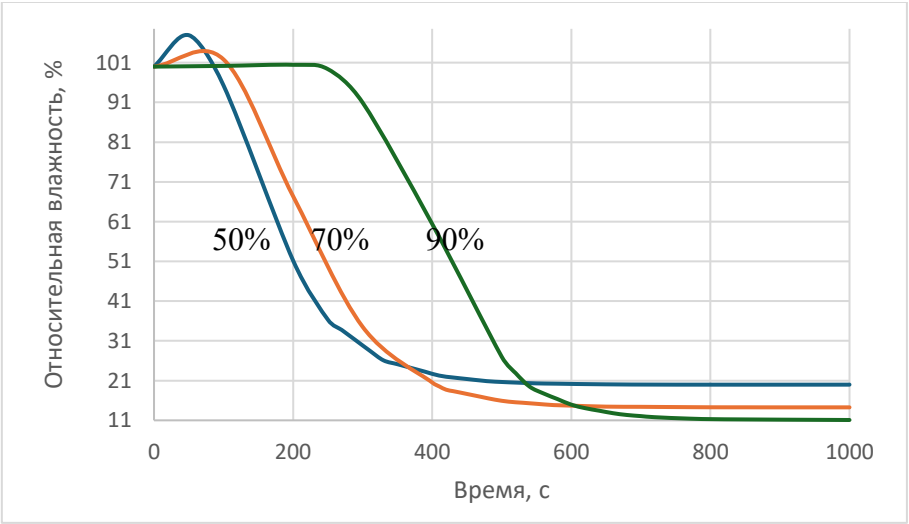


Рис. 3. График зависимости относительной влажности от времени при начальной относительной влажности частицы 50 %, 70 %, 90 %

Данный график показывает, что при увеличении начальной относительной влажности частицы, время сушки увеличивается и составляет: 450 с, 550 с и 700 с соответственно. Но в то же время прогрев частицы происходит более равномерно, и влага удаляется до более меньших значений равновесной влажности, при которых удаление влаги больше невозможно.

Влияние диаметра частицы (0,5 см, 1 см и 1,5 см) на взаимодействие ее с потоком газа показано на рис. 4. При проведении испытаний начальная относительная влажность частицы составляла 70 %, а температура сушильного агента оставалась такой же – 150 °C.

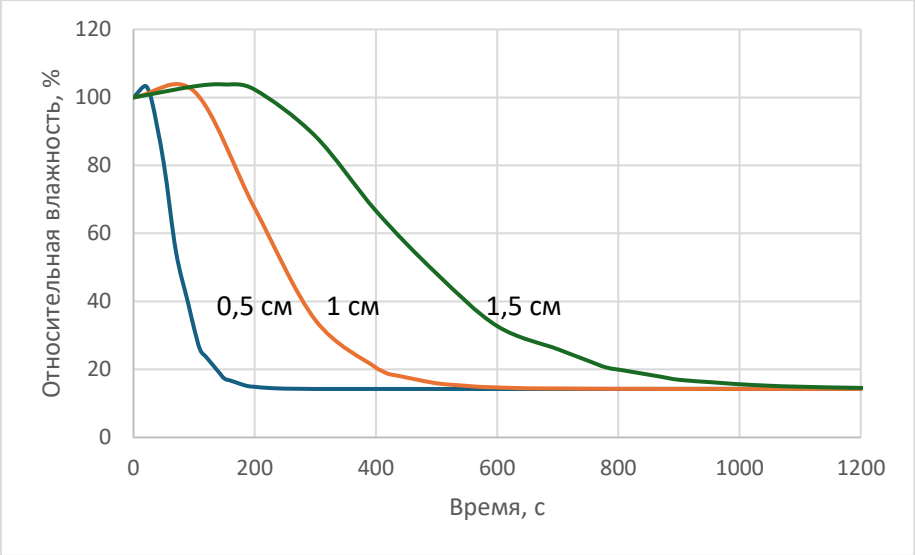


Рис. 4. График зависимости относительной влажности от времени при диаметрах частицы, равной 0,5 см, 1 см, и 1,5 см

Анализируя данный график, можно прийти к выводу, что размер частицы имеет существенное влияние на время сушки. Чем больше размер высушиваемой частицы, тем большее время нужно затратить на ее сушку, так как увеличивается время на прогрев из-за большей поверхности на удаление поверхностной влаги и из-за большого радиуса частицы - на удаление связанной влаги (замедляется процесс диффузии влаги изнутри частицы к ее поверхности).

Заключение. Таким образом, при исследовании взаимодействия сушильного агента с увлажненной сферической частицей керамзита выяснилось, что такие параметры, как температура сушильного агента, начальная относительная влажность частицы и ее диаметр существенно влияют на кинетику процесса сушки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Митропов В.В., Цветков О.Б.* Основы теории массообмена – СПб: университет ИТМО, 2019. – 126 с.

2. *Акулич, П.В.* Конвективные сушильные установки: методы и примеры расчета: учебное пособие / П.В. Акулич, А.В. Акулич. – Минск: Вышэйшая школа, 2019. – 376 с.

3. *Ефремов Г.И.* Моделирование кинетики сушки с периодом прогрева // Материалы VI Minsk International Heat and Mass Transfer Forum MIF 2008. Minsk, 19–23 мая 2008. С. 1–6.

4. COMSOL Multiphysics User's Guide, 2019.

NUMERICAL STUDIES OF THE INTERACTION OF A DRYING AGENT WITH A MOISTENED SPHERICAL PARTICLE

Zaynutdinova D.A., Polunin Ya.V.

Supervisor: Zaynutdinova D.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In this paper, numerical studies of the interaction of a drying agent with a moistened spherical particle were carried out in the COMSOL Multiphysics software environment. The authors of the article considered the influence of parameters such as the temperature of the drying agent, the initial relative humidity of the particle and its diameter on the kinetics of the drying process. It turned out that they have a significant effect on the drying time.

УДК 656.135

РАСЧЁТ ВЯЗКОСТНОЙ МУФТЫ ПРИВОДА НАСОСА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ

Закиров А.Ф., Салахов Р.Р.

Научный руководитель: Ермаков А.М., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе проведён аналитический расчёт вязкостной муфты привода насоса системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания грузового автомобиля. Также для расчёта использовались геометрические параметры самой вязкостной муфты и расходно-напорные характеристики жидкостного насоса.

Грузовые автомобили широко применяются для перевозки грузов в различных отраслях жизни, таких как строительство, промышленность, сельское хозяйство и т.п. Одним из факторов, влияющих на эффективность и конкурентоспособность, является топливная экономичность [1,2].

Повышению топливной экономичности способствует снижение нагрузки потребителей на привод коленчатого вала. При применении вязкостной муфты привода насоса системы охлаждения удастся снизить нагрузку в некоторых режимах работы, а также уменьшить время прогрева двигателя внутреннего сгорания до рабочего режима, что актуально при Российских климатических условиях в зимний период эксплуатации.

В данной работе представлены расчёты параметров вязкостной муфты [3], чтобы подтвердить корректность разработанной конструкции (см. рис. 1).

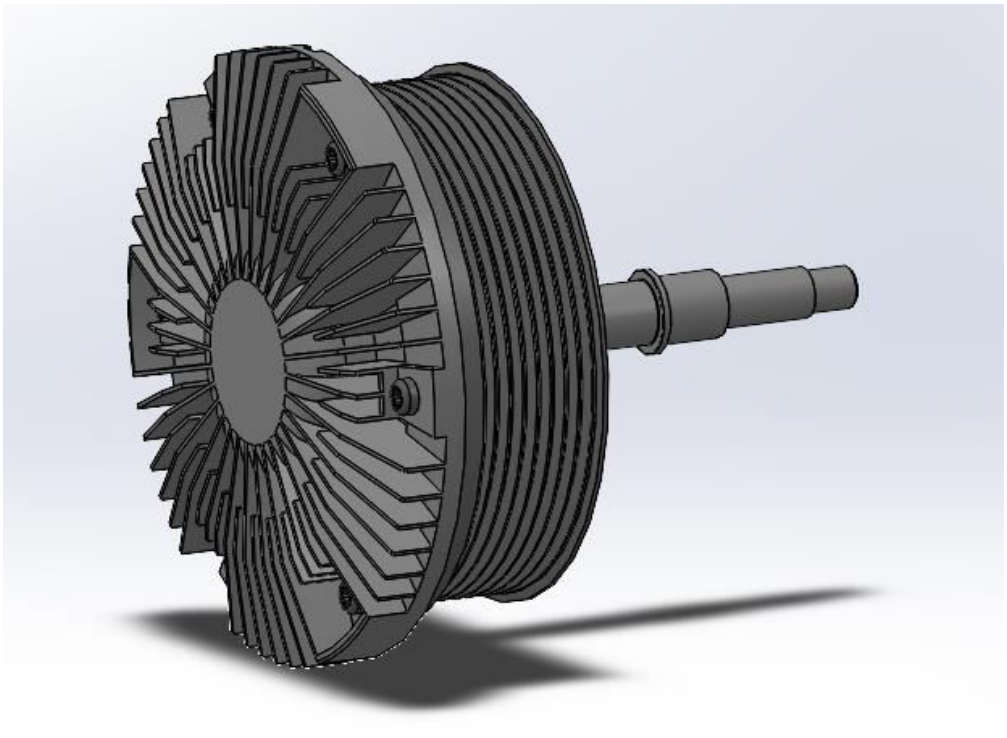


Рисунок 1. Общий вид вязкостной муфты привода насоса системы охлаждения

Вязкостная муфта состоит из 12 внешних и внутренних рабочих пластин (рёбер), которые способствуют распределению и передаче крутящего момента (см. рис.2). Вертикальный зазор между пластинами составляет менее 1 мм.

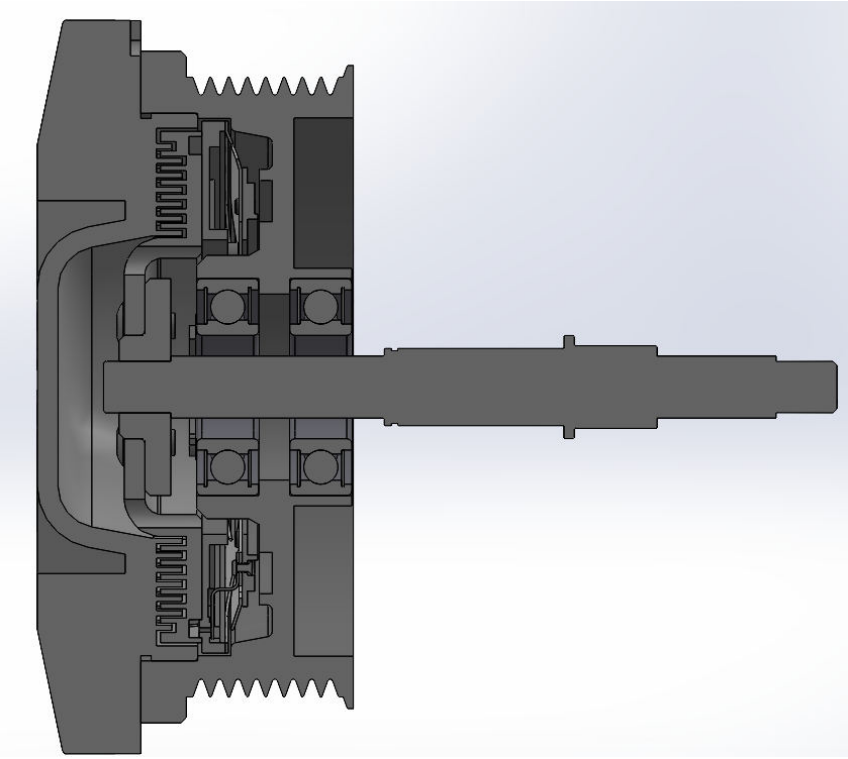


Рисунок 2. Вязкостная муфта в разрезе

В ходе расчётов были подобраны параметры силиконовой жидкости, необходимой для корректной работы вязкостной муфты во всех режимах эксплуатации. Наиболее распространенной силиконовым маслом является ПМС-10000 с кинематической вязкостью 100 Ст при 25 °С.

Сперва рассчитывался крутящий момент вязкостной муфты на номинальном режиме:

$$T_q = \frac{1}{15} * \pi^2 * \mu_{smin} * \Delta n * K_g, \quad (1)$$

где T_q — крутящий момент, способный передать вязкостная муфта, Н*м;

μ_{smin} — динамическая вязкость рабочей жидкости при 25 °С, Па*с;

Δn — проскальзывание вязкостной муфты, об/мин;

K_g — геометрический коэффициент, определяемой вертикальным и горизонтальным зазорами между рабочими пластинами.

Также рассчитывался крутящий момент, создаваемый крыльчаткой насоса, используя данные расходно-напорной характеристики насоса:

$$T_{hydr} = \frac{\rho * g * Q * P}{\omega * \eta}, \quad (2)$$

где T_{hydr} — крутящий момент, создаваемый крыльчаткой насоса, Н*м;

ρ — плотность жидкости, используемой в системе охлаждения, кг/м^3;

Q — расход жидкости, используемой в системе охлаждения, л/мин;

P — напор жидкости, м;

ω — частота вращения крыльчатки насоса, об/мин;

η — КПД насоса.

В ходе расчётов было определено: Крутящего момента, передаваемого вязкостной муфтой при вращении крыльчатки с частотой 3240 об/мин будет достаточно для вращения крыльчатки с проскальзыванием 114 об/мин, что соответствует экспериментальным данным с погрешностью 15%. Такая погрешность вполне допустима с учётом неточности средств измерений во время испытаний.

Также были проведены тепловые расчёты корпуса вязкостной муфты. Для теплового расчёта применялись следующие основные компоненты:

1) Тепловой поток, генерируемый при сцеплении в вязкостной муфте — Q_1;

2) Тепловой поток, передаваемый из рабочего объема через корпус вязкостной муфты — Q_2;

3) Тепловой поток между внешней поверхностью вязкостной муфты и окружающей средой — Q_3.

По уравнению теплового баланса должно выполняться неравенство:

$$Q_3 \cong Q_1 + Q_2, \quad (3)$$

По результатам расчёта, при критической температуре 80 °C вязкостная муфта будет полностью функциональна. В ходе теплового расчёта Q_3 выше Q_1+ Q_2 примерно на 300 Вт, уравнение теплового баланса не выполняется, в данном расчёте это происходит из-за пренебрежения тепловыделений от самой охлаждающей жидкости, а также тепловыделений от трения в механических передачах и опорах (ременная передача, подшипники).

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Yin, Zhihong, Kegang Zhao, Wenbin Shangguan, Liming Song.* Analytical and experimental characterization of viscous fan clutch performances including thermal dynamics // Proc. IMechE Part C: J. Mechanical Engineering Science. — 2015. — Vol. 0, no. 0. — P. 1–16. — DOI: 10.1177/0954406215619448.

2. *Xu, Enhua, Xiaojing Lv*. Performance calculation of silicone oil fan clutch // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. — 2019. — Vol. 330. — P. 032050. — DOI: 10.1088/1755-1315/330/3/032050.

3. Полиметилсилоксановая жидкость ПМС-200 [Электронный ресурс] // Сайт производителя. — URL: https://pms200.ru/members.html (дата обращения: 22.06.2024). — Режим доступа: свободный. — Текст: электронный.

CALCULATION OF THE VISCOSITY COUPLE OF THE PUMP DRIVE COOLING SYSTEM

Zakirov A.F., Salakhov R.R.

Supervisor: Ermakov A.M., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents an analytical calculation of the viscous coupling of the cooling system pump drive of a truck engine. The calculation also used the geometric parameters of the viscous coupling itself and the flow and pressure characteristics of the liquid pump.

УДК 536.222

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ РАБОЧИХ ВЕЩЕСТВ. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ГЕКСИЛОВОГО СПИРТА

Игумнов И.Д.

Научный руководитель: Александров И.С., директор института, д. т. н.

(*Калининградский государственный технический университет, г. Калининград)*

Аннотация. Выполнен сбор и анализ экспериментальных данных о коэффициенте теплопроводности гексанола-1. На основе сформированного массива надежных экспериментальных данных разработана корреляционное уравнение для расчета теплопроводности исследуемого вещества. Уравнение разработано в переменных «температура-плотность» и применимо в диапазоне температур от тройной точки до 600К и

при давлениях до 60 МПа. Отклонения расчетных значений теплопроводности от экспериментальных составляет 1,0 – 2,0 %.

Гексиловый спирт (гексанол-1) является веществом технически важным, которое широко используется как растворитель в лакокрасочной промышленности, в производстве смол и пластификаторов, а также в синтезе многих органических соединений. Использование спиртов в промышленности делает их важными веществами, для которых необходима подробная информация о теплофизических свойствах.

Для описания теплопроводности использовалась следующая форма уравнения, предложенная Леммоном и Якобсеном [1]

$$\lambda(\rho,T) = \lambda^0(T) + \lambda^r(\delta,\tau) + \lambda^c(\delta,\tau), \quad (1)$$

где $\lambda^o(T)$ – теплопроводность разреженного газа при нулевой плотности; $\lambda^r(\delta,\tau)$ – избыточная теплопроводность; $\delta = \rho/\rho_r$; $t = T_r/T$; ρ_r, T_r – опорные значения плотности и температуры (как правило, принимают критические значения); $\lambda^c(\delta,\tau)$ - флуктуационная добавка.

Теплопроводность разреженного газа, в свою очередь, определяется как

$$\lambda^0(T) = N_1\left[\frac{\eta^0(T)}{1\,мкПа\cdot с}\right] + N_2\tau^{t_2} + N_3\tau^{t_3}, \quad (2)$$

где $\eta^o(T)$ – вязкость разреженного газа при нулевой плотности, мкПа·с, определяемая по формулам (3) и (4).

Вязкость разряженного газа определяется как

$$\eta^0(T) = \frac{0{,}0266958\cdot(MT)^{1/2}}{\sigma^2 S^*_\eta(T^*)}, \quad (3)$$

где M – масса киломоля, кг/кмоль; T – температура, K; σ – линейный масштабный параметр потенциала Леннарда – Джонса, нм; ε/k_B – энергетический масштабный параметр, K; S^*_η – приведенный эффективный интеграл столкновений, аппроксимированный уравнением (5); T^* – приведенная температура $T^* = k_B T/\varepsilon$.

Для интеграла столкновений предлагается использовать формулу Нойфилда [2]

$$S^*_\eta(T^*) = 1{,}16145\left(T^*\right)^{-0{,}14874} + 0{,}52487\exp(-0{,}773207\cdot T^*) + 2{,}16178\exp(-2{,}43787\cdot T^*) \quad (4)$$

Избыточная теплопроводность аппроксимирована уравнением

$$\lambda^r(\delta,\tau) = \sum_{i=4}^{n} N_i \tau^{t_i} \delta^{d_i} \exp(-\delta^{l_i}) \quad (5)$$

где: $\delta = \rho/\rho_r$; $\tau = T_r/T$; ρ_r, T_r – опорные значения плотности и температуры (как правило, принимают критические значения, которые для гексанола-1 равны T_c = 610,3 К и ρ_c = 2,584 кмоль/м^3).

Таблица 1

Коэффициенты и показатели степени уравнений (2) и (5)

i	N_i	t_i	d_i	l_i
1	0,10477795588*10^3	-	-	-
2	0,15005916896*10^3	3,34907	-	-
3	-0,20586702519*10^3	4,00937	-	-
4	-0,111049117016*10^2	3,22128	1	-
5	-0,557241021664*10^1	4,21934	2	-
6	0,560737149461*10^1	4,11988	5	1
7	0,435587694730*10^1	0,29375	6	1
8	0,383232410076*10^2	5,08652	7	2
9	-0,309984151948*10^2	5,39861	7	2

Для описания критической аномалии теплопроводности Олхови и Зенгерс [3] разработали кроссоверное уравнение, применимое в широкой окрестности критической точки жидкость – газ

$$\lambda^c(\delta,\tau) = \rho c_p \frac{kR_0T}{6\pi\xi\eta(T,\rho)}(\tilde{\Omega}-\tilde{\Omega}_0), \tag{6}$$

где

$$\tilde{\Omega} = \frac{2}{\pi}\left[\left(\frac{c_p - c_v}{c_p}\right)\tan^{-1}(\xi/q_D) + \frac{c_v}{c_p}(\xi/q_D)\right], \tag{7}$$

$$\tilde{\Omega}_0 = \frac{2}{\pi}\left\{1-\exp\left[\frac{-1}{(\xi/q_D)^{-1} + \frac{1}{3}(\xi/q_D)^2(\rho_c/\rho)}\right]\right\}. \tag{8}$$

Корреляционная длина ξ определяется как

$$\xi = \xi_0\left[\frac{\tilde{\chi}(T,\rho) - \tilde{\chi}(T_{ref},\rho)\frac{T_{ref}}{T}}{\Gamma}\right]^{\nu/\gamma}, \tag{9}$$

$$\tilde{\chi}(T,\rho) = \frac{p_c\rho}{\rho_c^2}\left(\frac{\partial\rho}{\partial p}\right)_T, \tag{10}$$

где в уравнениях (6) – (10): *k* – постоянная Больцмана; $R_0 = 1{,}03$ – универсальная амплитуда; ν = 0,63, γ= 1,239 – критические индексы; T_{ref} = 1,5* T_c; параметр обрезания q_D = 0,5 нм, и параметры ξ_0 = 0,194 нм и Γ = 0,0496.

Изобарная и изохорная теплоемкости, а также частная производная от плотности по давлению в уравнениях (7) и (10) определялись по авторскому уравнению состояния для гексанола-1 [4].

Так как теплопроводность, рассматриваемого здесь, вещества не исследована в критической области, то расчет критической аномалии носит оценочный характер и слагаемое λ^c в уравнении (1) может не учитываться при расчете теплопроводности за пределами критической области.

В таблице 2 представлены результаты сравнения экспериментальных данных о теплопроводности 1-гексанола с расчетами по разработанному уравнению, а на рис.1 показана диаграмма состояния «теплопроводность – температура».

Таблица 2

Результаты сравнения экспериментальных данных о теплопроводности гексанола-1 с рассчитанными по уравнению (1) значениями

Год	Автор	Число точек	Интервал по температуре и давлению		СОО, %
			T, К	*P*, МПа	
1988	Ассаэль [5]	10	300,47-339,44	0,101	6,354
2003	Баширов [6]	106	291,5-602,0	0,1-60,0	0,737
1964	Мухаметзянов [7]	11	305,07-401,77	0,101	3,047
1982	Огивара [8]	10	293,22-340,81	0,101	2,849
1981	Раал [9]	10	256,41-353,13	0,101	0,912

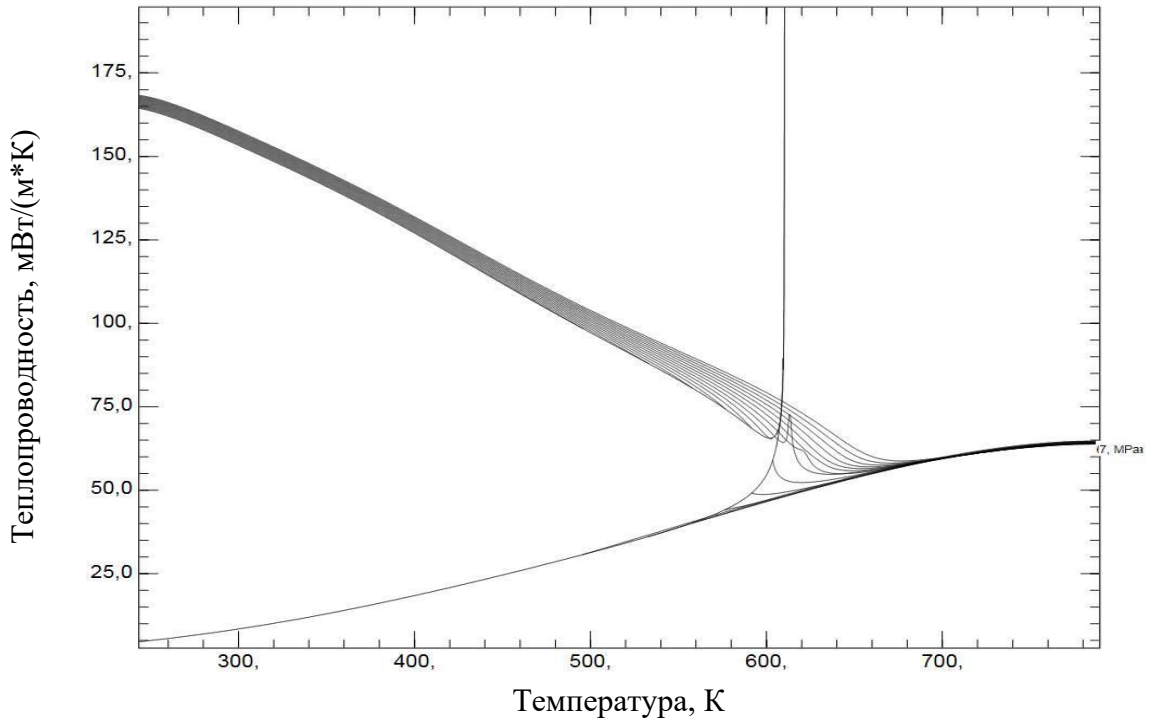


Рисунок 1. Диаграмма состояния «теплопроводность – температура» для гексанола-1

Основу обрабатываемого массива экспериментальных данных составили данные Баширова [6].

Измерения проводились модифицированным методом цилиндрического трикалориметра высокого давления в диапазоне температур 291,5 - 602,0 К и давлений 0,1 - 60 МПа.

Погрешность определения теплопроводности не превышала 1,5 – 1,8 %.

Указанные экспериментальные данные описываются новым уравнением с погрешностью близкой к 0,8 %.

Как видно из таблицы 2, данные остальных авторов охватывают узкий диапазон температур при атмосферном давлении.

Разработанное уравнение является новым, экспериментально обоснованным и позволяет с высокой точностью рассчитывать теплопроводность гексанола-1 в диапазоне температуры от тройной точки до 600 К при давлениях до 60 МПа.

Погрешность расчета составляет 1,0 – 2,0 %.

Уравнение также применимо и в критической области, которая определяется диапазоном по плотности $0{,}7 \le \rho/\rho_c \le 1{,}3$ и температуре $T_s \le T \le 1{,}02T_c$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Lemmon E.W., Jacobsen R.T.* Viscosity and thermal conductivity equations for nitrogen, oxygen, argon and air // Int. J. Thermophys. 2004. V. 25. № 1. P. 21-69.

2. *Neufeld P.D., Janzen A.R., Aziz R.A.* Empirical Equations to Calculate 16 of the Transport Collision Integrals for the Lennard-Jones (12-6) Potential // J. Chem. Phys. 1972. 57. P. 1100.

3. *Olchowy G.A.* A simplified representation for the thermal conductivity of fluids in the critical region // Int. J. Thermophys. 1989. V. P. 417-426.

4. ГСССД 465-2025 Гексанол-1. Термодинамические свойства (плотность, теплоемкость, энтальпия, энтропия, скорость звука) в диапазоне температуры от тройной точки до 700 К при давлениях до 100 МПа (ПРИКАЗ Росстандарта № 1151 от 06.06.2025 Фонд ГСССД: № 1044-2025 кк).

5. *Assael M.J., Charitidou E., Nieto de Castro C.A.* Absolute measurements of the thermal conductivity of alcohols by the transient hot-wire technique // Int. J. Thermophys. 1988. V.9. P. 813.

6. *Баширов М.М., Назиев Я.М.* Исследование теплопроводности взаимных растворов метанол-н-гексанол при высоких параметрах состояния // ТВТ. 2003. Т 41. № 4. С. 527–533.

7. *Мухамедзянов Г.Х., Тарзиманов А.А., Усманов А.Г.* Экспериментальное исследование теплопроводности нормальных спиртов // Известия вузов. Нефть и газ. 1964. № 1. С. 73-76.

8. *Ogiwara K., Arai Y., Saito S.* Thermal conductivities of liquid alcohols and their binary mixtures // J. Chem. Eng. Jpn.. 1982. V.15. P. 335-342.

9. *Raal J.D., Rijsdijk R.L.* Measurements of alcohol thermal conductivities using a relative strain compensated hot-wire method // J. Chem. Eng. Data. 1981. V. 26. P. 351-359.

THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF TECHNICALLY IMPORTANT ORGANIC WORKING SUBSTANCES. THERMAL CONDUCTIVITY OF HEXYL ALCOHOL

Igumnov I.D.

Supervisor: Aleksandrov I.S., Director of the Institute, Doctor of Engineering Sciences

(Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad)

Abstract. Experimental data on the thermal conductivity coefficient of hexanol-1 were collected and analyzed. Based on the formed array of reliable experimental data, a correlation equation was developed to calculate the thermal conductivity of the substance under study. The equation was developed in the variables "temperature-density" and is applicable in the temperature range from the triple point to 600K and at pressures up to 60 MPa. Deviations of the calculated values of thermal conductivity from the experimental ones are 1.0 - 2.0%.

УДК 621.89.017

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СМАЗОЧНЫХ МАСЛАХ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ильина М.А.

Научный руководитель: Яновский Л.С., член-корреспондент РАН, начальник отдела, профессор, д. т. н.

(*Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, г. Черноголовка*)

Аннотация. В обеспечение повышения надежности и безопасности эксплуатации авиатехники с ГТД проведены исследования термического окисления, вспениваемости и самовоспламенения перспективных смазочных масел 220 и 225 на основе полиэфиров в сравнении с маслами-аналогами.

Определена скорость изменения физико-химических и эксплуатационных свойств опытных образцов масел 220 и 225 в сравнении с маслами-аналогами АСМО-200 и ИПМ-10, в том числе с учетом влияния эксплуатационных примесей (долив свежего масла, топливо, вода и морская вода), в зависимости от температуры и времени термического окисления.

Повышена стойкость к пенообразованию опытных масел 220 и 225 с помощью опытной антипенной присадки Syntech-2. Определена её оптимальная концентрация – 0,005% масс. Эффективность присадки подтверждена лабораторным методом и с помощью электроприводной системы смазки (ЭСС).

Исследовано влияние добавок воды и реактивного топлива ТС-1 на задержку самовоспламенения масловоздушных смесей с помощью ударной трубы. Установлено, что добавки снижают задержку воспламенения и тем самым повышают вероятность самовоспламенения масловоздушной смеси в масляных полостях ГТД.

Разработаны рекомендации по применению опытных масел 220 и 225 в авиационных ГТД.

Надежная и безопасная работа современных авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) возможна при условии бесперебойного функционирования маслосистемы, обеспечивающей, главным образом, смазку и охлаждение узлов трения. Температура масла на линии откачки из масляных полостей достигает 200-215 °С, температура стенок масляных полостей опор ротора достигает 350 °С и выше [1].

Наддув масляных полостей приводит к попаданию воздуха в маслосистему в количестве 50-80% по объёму. Распыл масла форсунками, высокие обороты ротора и высокая температура приводят к диспергированию и частичному испарению масла. Условия работы масла в маслосистеме ГТД приводят к его термическому окислению, а также вспениванию и создают условия для самовоспламенения масловоздушной смеси в масляных полостях.

При эксплуатации потери масла компенсируются доливом свежего масла. Негерметичность топливных агрегатов в случаях нештатной работы маслосистемы приводит к попаданию топлива в маслосистему. Конденсация влаги в результате перепада ночных и дневных температур, а также эксплуатация авиатехники в приморской зоне приводят к попаданию воды и морской воды в маслосистему. Попадание в маслосистему эксплуатационных добавок и примесей, может оказывать влияние на процессы термического окисления, вспенивания и самовоспламенения [2,3].

Исследование процесса термического окисления, а также влияния на него эксплуатационных примесей проведено с помощью авторского метода, включающего определение скорости изменения свойств масла в процессе термического окисления масла и времени достижения нормативных значений свойств масла [4].

Температура окисления образцов масел их смесей составляла 200 °С, 225 °С и 240 °С. Определение свойств образцов проводилось до окисления и далее каждые 10 часов в течение 50 часов. Определялись кинематическая вязкость, кислотное число, количество осадка, коррозионная агрессивность, смазывающие свойства на ЧШМ, воздействие на уплотнительные резины и пенообразующие свойства (Рис. 1). Остальные условия окисления образцов соответствуют требованиям ГОСТ 23797.

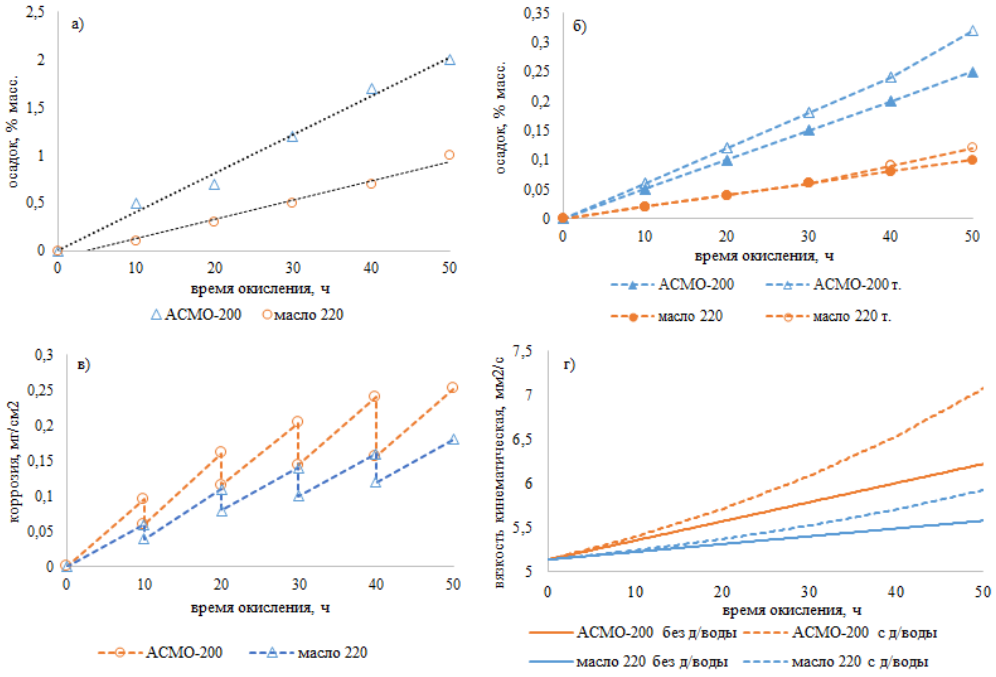


Рисунок 1. Зависимость изменения параметров авиационных масел АСМО-200 и масла 220 от времени – а), от добавки топлива – б), от долива свежего масла – в), от добавки дистиллированной и морской воды – г) при температуре 225 °С

Долив свежего масла в количестве 50 % масс. проводился каждые 10 часов. Долив топлива в количестве 20 % масс. и 40 % масс. осуществлялся перед окислением и далее каждые 10 часов. Добавка дистиллированной воды и морской воды проводилась перед окислением и далее каждые 10 часов. Во всех экспериментах объём образца оставался 100 $см^3$.

Результаты исследования показали, что опытные масла 220 и 225 работоспособны при температуре 225 °С (максимальная температура масел-аналогов – 200 °С), а усреднённое время достижения нормативных значений свойств опытных масел 220 и 225 больше на 10 и 21 % времени масел-аналогов АСМО-200 и ИПМ-10, соответственно.

Долив свежего масла не влияет на скорость изменения свойств масел. Уровень свойств смеси изменяется пропорционально количеству долитого масла до его уровня свойств. При периодическом доливе влияние свежего масла на уровень свойств маслосмеси снижается.

Добавка реактивного топлива ТС-1 повышает скорость изменения свойств масла при его термическом окислении. Низкая испаряемость (12,5 % об. за 10 часов при 240 °С) из маслотопливной смеси приводит к накоплению топилива и к значительному ухудшению эксплуатационных свойств смеси, особенно противопожарных и смазывающих свойств.

При нагреве водномасляной эмульсии до температуры окисления наблюдается выкипание воды в течение 10-15 минут. Вода не накапливается в масле, но за время выкипания ускоряет процесс термического окисления масла на 5-10 % при её добавлении в количестве 0,5-1% масс. Отмечается повышение коррозионной агрессивности масла на 70-100% к меди при добавлении дистиллированной воды и на 350-400% при добавлении морской воды (очищенная вода Черного моря).

Недостаточная стойкость масла к пенообразованию может приводить к нештатной работе маслосистемы – выбросу вспененного масла в выхлопной патрубок двигателя – «дымлению». Кроме того, вспененное масло обладает худшими смазывающими и теплофизическими свойствами. Электроприводные маслосистемы перспективных ГТД могут быть чувствительными к пенообразующим свойствам масла, так как повышение мощности откачивающих насосов за счет производительности электроприводов ограничено.

Стойкость масла к пенообразованию может быть повышена за счет введения в состав антипенной присадки, которая должна препятствовать пенообразованию и не оказывать влияние на остальные эксплуатационные свойства.

В состав опытных масел 220 и 225 была включена опытная антипенная присадка Syntech-2. Определена её оптимальная концентрация в маслах – 0,005 % масс. Эффективность присадки подтверждена лабораторными методами исследования и испытаниями в составе электроприводной системы смазки (ЭСС), применяемой для изучения параметров маслосистем перспективных ГТД.

ЭСС имеет масляную полость с зоной масляной полости подшипника и предмасляными полостями с вращающимся ротором. Нагретое масло подаётся к подшипникам качения через форсунки. Регулируемый наддув воздухом предмасляных полостей приводит к повышению кратности Кр нагнетаемого объёма масла и откачиваемых объёмов масловоздушной смеси (Рис 2).

Вспенивание масла снижает эффективность откачивающего шестеренчатого насоса за счет потерь в зазорах шестерен. Для компенсации потери производительности повышается число оборотов электропривода насоса. Таким образом, с повышением склонности масла к пенообразованию повышается мощность электропривода насоса при неизменной кратности прокачки. Пределом повышения мощности электропривода является ток автоматического выключателя электросети.

Результаты исследования показали, что добавка опытной присадки Syntech-2 к опытным маслам 220 и 225 обеспечивает снижение мощности откачивающего насоса ЭСС на 48 % и 41 %, соответственно.

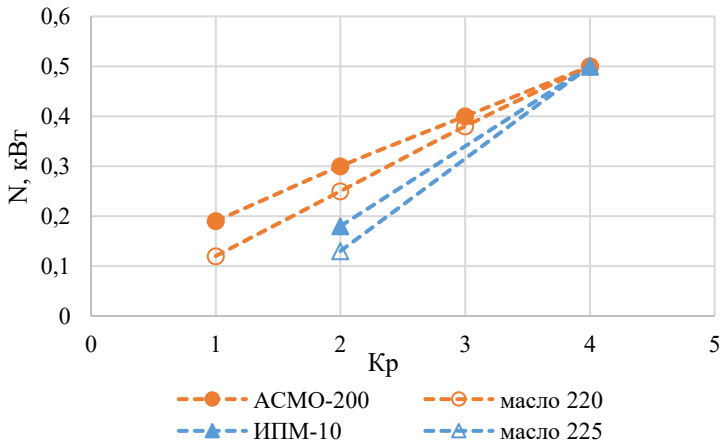


Рисунок 2. Влияние пенообразующих свойств авиационного масла на мощность откачивающего насоса

Наддув масляных полостей опор ротора ГТД воздухом, высокая температура стенок полостей и интенсивность диспергирования капель приводят к газификции масла и образованию масловоздушной смеси. Создаются условия для самовоспламенения газифицированной масловоздушной смеси.

Современные маслосистемы надежно предотвращают самовоспламенение масловоздушной смеси, однако дальнейшее повышение теплонапряженности перспективных ГТД и эксплуатационные примеси в масле могут повышать риск нештатных ситуаций связанных самовоспламенением масловоздушной смеси.

Химическая брутто-реакция воспламенения газифицированной масловоздушной смеси (ГМС) может характеризоваться периодом индукции воспламенения (ПИВ) – периодом времени, необходимым идеально перемешанным и нагретым выше температуры самовоспламенения масловоздушным парам, для начала процесса воспламенения.

Период индукции воспламенения может быть определен с помощью ударной трубы (УТ) в широком диапазоне температуры, давления и стехиометрического соотношения компонентов смеси (Рис. 3). Принцип действия УТ заключается в нагреве и сжатии смеси с помощью ударной волны, образованной перетеканием газа-толкателя из зоны высокого давления в зону низкого давления. Задержка воспламенения определяется как разница во времени между прохождением фронта ударной волны и повышением концентрации ОН-радикалов.

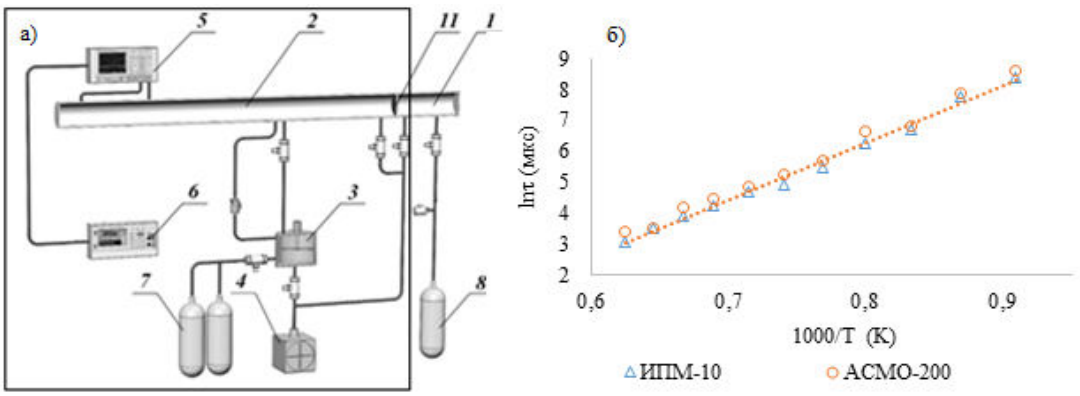


Рисунок 3 Схема экспериментальной установки – а): 1- камера высокого давления; 2 - камера низкого давления; 3 - смеситель; 4 - вакуумный насос; 5 - система регистрации; 6 - система записи; 7 - система дозирования компонентов; 8 - баллон с толкающим газом, б) значения ПИВ авиационных масел АСМО-200 и ИПМ-10

Проведено исследование ПИВ опытных масел 220 и 225, а также их аналогов, в том числе с добавкой воды и реактивного топлива ТС-1 в диапазоне температуры 1000-1700 К и давления 0,7-2,0 бар в стехиометрическом соотношении с воздухом.

Установлено, что, ПИВ полиэфирных опытных масел 220, 225 и товарного масла АСМО-200 превышают значения ПИВ полиальфаолефинового масла ИПМ-10 на 20-30% (рисунок 3). Добавка паров дистиллированной воды в количестве 10% масс. приводит к снижению ПИВ на 3-10% всех масел. Снижение значений ПИВ масловоздушных смесей, вызванное добавкой воды, может быть объяснено повышением концентрации гидроксильных радикалов и промежуточных соединений брутто реакции воспламенения смеси, приводящим к её ускорению. Добавка топлива в количестве 50% об. снижает ПИВ масел 220, 225 и АСМО-200 на 50-60%, масла ИПМ-10 – на 30%.

Проведенные исследования показали, что опытные масла 220 и 225 могут быть рекомендованы к применению в авиатехнике с ГТД в установленном порядке при повышенной на 12% максимальной рабочей температуре – 225 °С в сравнении с маслами-аналогами АСМО-200 и ИПМ-10.

Эксплуатационные примеси, попадающие в масло, могут оказывать негативное влияние на процесс термического окисления, вспенивания и самовоспламенения масла.

Предотвращение возможных нештатных случаев работы маслосистемы требует проведения дополнительных мероприятий по исследованию процессов, протекающих в смазочных маслах при работе в ГТД.

Работа выполнена в рамках соглашения с Министерством науки высшего образования РФ № 075-15-2024-543 от 24.04.2024 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Яновский Л.С., Ежов В.М., Молоканов А.А.*, Нормативные требования к отечественным и зарубежным маслам для авиационных газотурбинным двигателям // Вестник МАИ, №4, Т. 19, 2012, С.81-85.

2. *Andrzej Młynarczak Krzysztof Rudzki* Optimisation of the topping-up process of lubricating oil in medium-speed marine engines // Polish maritime research 2 (110) 2021 Vol. 28; pp. 78-84 10.2478/pomr-2021-0024.

3. *Olivian Pădure*, Iurie Tezec, Victor Ceban, Vasile Plămădeală, Alexandru Buga*, Process of changing the physico-chemical properties of automobile motor oils during operation // Journal of Engineering Science Vol. XXX, no. 2 (2023), pp. 47 – 58.

4. *Яновский Л.С., Ежов В.М., Ильина М.А., Шаранина К.В.* Исследование термоокислительной стабильности синтетических масел для авиационных ГТД и редукторов вертолётов. Мир нефтепродуктов, №2, 2021, С. 52-56.

RESEARCH OF THERMAL PROCESSES IN LUBRICATING OILS UNDER OPERATIONAL CONDITIONS OF AVIATION GAS-TURBINE ENGINES

Ilyina M.A.

Supervisor: Yanovsky L.S., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department, Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Federal Research Center for Chemical Physics and Medical Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Chernogolovka)

Abstract. To improve the reliability and safety of aircraft with gas-turbine engines, studies were conducted on the thermal oxidation, foaming, and self-ignition of promising lubricating oils 220 and 225 based on polyethers, in comparison with similar oils.

УДК 536.242

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ ВОЗДУХА В УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНОГО ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ

Калмыков Ф.В.

Научный руководитель: Алтунин К.В., доцент, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В докладе представлены результаты экспериментального исследования теплоотдачи при вынужденной конвекции в условиях, приближённых к реальным эксплуатационным, с использованием простой модельной установки. Целью исследования является изучение влияния поверхностных отложений, моделирующих реальные загрязнения, на эффективность теплообмена между нагретой поверхностью и потоком воздуха. Описана конструкция установки, обоснован выбор компонентов, представлены методика проведения экспериментов и допущения. Проведена верификация измерительных приборов. Представлены расчёты скорости воздушного потока, оценка теплового потока, а также сделано обобщение результатов экспериментов в виде нового критериального уравнения теплоотдачи.

Известно, что теплообменные процессы занимают центральное место в системах энергетики, машиностроения, химической промышленности и многих других отраслях. Поверхностные загрязнения, возникающие в результате эксплуатации оборудования, значительно влияют на эффективность теплопередачи [1]. В большинстве случаев отложения солей, оксидов, углеродсодержащих осадков ухудшают теплопроводность и способствуют перегреву, что влечёт за собой снижение надёжности и увеличение эксплуатационных затрат [2]. Несмотря на обилие теоретических моделей, прикладные исследования, основанные на экспериментальных данных, имеют особое значение для валидации расчётов и оптимизации инженерных решений. В настоящем исследовании проведено изучение теплоотдачи в условиях вынужденной конвекции с использованием модельной установки, позволяющей варьировать параметры воздушного потока и характеристик загрязнения поверхности [3].

Экспериментальная установка и методика. Центральным элементом установки является устройство передачи теплового потока от газовой горелки (в данном случае применялся металлический чайник, размещённый на газовой плите). Его крышка, выполненная из нержавеющей стали, служит моделью теплопередающей поверхности. На её поверхность равномерно наносится мокрый солевой осадок из соли NaCl, имитирующий реальные эксплуатационные загрязнения. Для создания регулируемого воздушного потока используется бытовой вентилятор с несколькими режимами мощности. Измерения осуществляются с использованием термопар типа K цифровых термометров Mastech MS56500, секундомера (смартфон iPhone), электронных весов Vitek, штангенциркуля ШЦ-1 и жидкостного манометра [4].

Конструкция установки включает в себя тепловой экран, изолирующий нежелательные тепловые потоки, а также систему фиксации расстояния между вентилятором и крышкой. Все измерительные приборы предварительно протестированы на точность и откалиброваны. Погрешности измерений не превышают допустимых значений: ±1 °C для температуры, ±1 г для массы, ±0,01 с для времени. Газовая горелка плиты фиксирована на среднем уровне подачи газа для обеспечения одинаковой подачи природного газа. Вода в чайнике поддерживается на одном уровне 1,45 л – при каждой итерации.

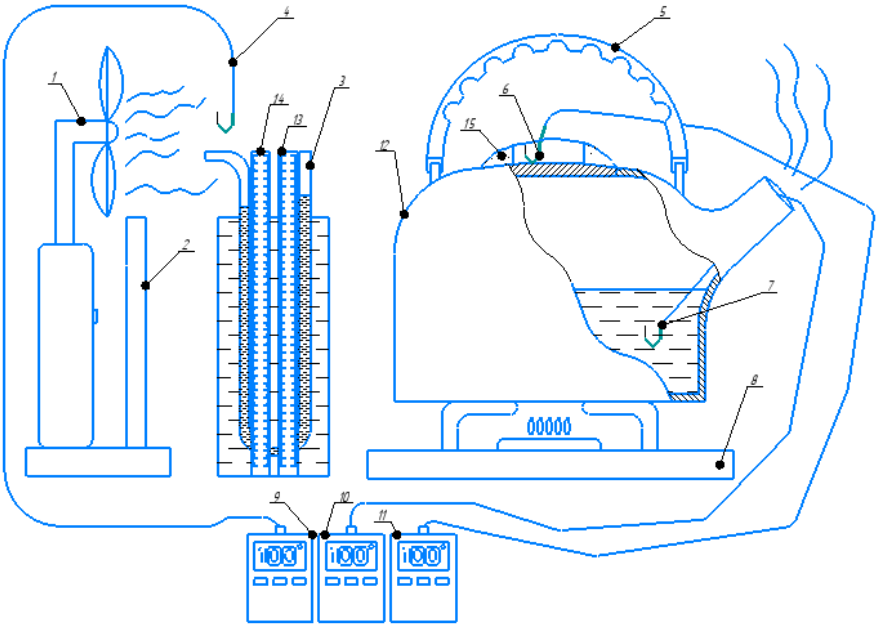


Рисунок 1. Схема установки и рабочего участка для экспериментального исследования теплоотдачи при вынужденной конвекции: 1- вентилятор, 2- теплозащитный экран, 3- жидкостной манометр, 4,6,7- термопара, 5- ручка чайника; 8- газовая горелка, 9,10,11 - цифровой термометр, 12- чайник, 13, 14- измерительные линейки, 15 – искусственно размещенный осадок

Солевой осадок наносился вручную с пористостью $П$ = 30 %, создавая площадь загрязнённой поверхности в 20 %, 50 % и 80 % от общей площади крышки. После каждого опыта осадок заменялся новым, чтобы избежать влияния изменения структуры отложения. Вентилятор устанавливался на одинаковое расстояние от поверхности, скорость воздушного потока рассчитывалась по показаниям жидкостного манометра и специальной формуле. Температуры замерялись в центре крышки на участке без осадка, в потоке воздуха, а также в центре объема нагреваемой пресной воды [5].

Предварительно были построены тарировочные графики для определения плотности теплового потока от крышки на каждом этапе нагрева. Плотность теплового потока определялась как функция температуры поверхности и температуры воздушного потока. Все данные регистрировались вручную с последующим построением графиков зависимости температуры от времени, а также плотности теплового потока от времени.

Проведённые эксперименты показали, что наличие поверхностных отложений снижает интенсивность теплообмена. Осадки создавали дополнительное тепловое сопротивление, которое препятствовало передаче тепла от металлической поверхности к воздуху. Также отмечено, что при включении вентилятора на высокую скорость температура поверхности снижалась быстрее, что соответствует увеличению коэффициента теплоотдачи при усиленной конвекции. Таким образом, даже при наличии осадков, повышение интенсивности обдува частично компенсировало ухудшение теплоотдачи. Однако полностью устранить эффект загрязнения не удалось – значение коэффициента теплоотдачи оставалось ниже базового уровня.

Теплопроводность $\lambda_{ос}$ и удельное электросопротивление $\rho_{ос}$ мокрого солевого осадка рассчитывались по формулам с учетом пористости осадка. Было получено несколько новых критериальных уравнений теплообмена с учетом локального осадкообразования.

Например, при скорости w = 9,26 м/с и локальном размещении солевых осадков получено критериальное уравнение:

$$\overline{Nu}_m = 0{,}55 Re_L^{0,5} Os^{-0,03}, \quad (1)$$

где Os – критерий подобия осадкообразования, Os = (49 - 79), Re_L = (44522 - 53376), $\overline{Nu}_m$ = (82 - 192); $П$ = 0,30, F_{oc} = (0,2 - 0,8)F (F – общая площадь поверхности теплообмена, F = 0,0057 м^2), F_{De} = 29,2 Кл/моль; μ_{NaCl} = 0,058 кг/моль.

Погрешность при расчете по (1) составила не более 30 %. При этом основные параметры находились в следующих пределах: $\rho_{oc} \approx 7000$ Ом·м, λ_{oc} = (0,486 - 0,491) Вт/(м·К).

При обработке результатов экспериментов построены графики, включая рис. 2.

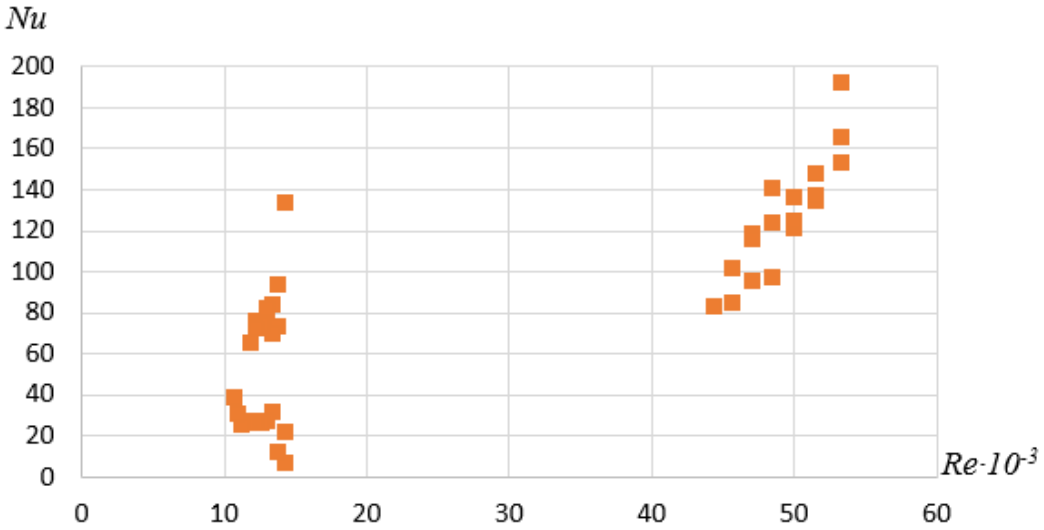


Рисунок 2. График зависимости значений числа Нуссельта *Nu* от числа Рейнольдса *Re*

Проведённое исследование демонстрирует важность учёта поверхностных отложений при расчётах теплотехнической эффективности оборудования. Полученные данные могут быть использованы для калибровки численных моделей, разработки методов очистки оборудования и оптимизации режимов эксплуатации. В перспективе планируется расширить диапазон исследуемых осадков, использовать цифровые методы регистрации и построить термографические карты распределения температуры по поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Сапожников С.З.* Метрология теплофизического эксперимента: учебное пособие / С.З. Сапожников, В.Ю. Митяков, А.В. Митяков и др.; под ред. С. З. Сапожникова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 108 с.

2. *Алтунин К.В.* Разработка методики расчета теплоотдачи при осадкообразовании // Известия вузов. Машиностроение. – 2022. – № 7 (748). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-metodiki-rascheta-teplootdachi-pri-osadkoobrazovanii (дата обращения: 01.06.2025).

3. *Гортышов Ю.Ф.* Теория и техника теплофизического эксперимента: учебное пособие для вузов / Ю.Ф. Гортышов, Ф.Н. Дресвянников, Н.С. Идиятуллин и др.; под ред. проф. В. К. Щукина. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 360 с.

4. *Болгарский А.В.* Термодинамика и теплопередача / А.В. Болгарский, Г.А. Мухачёв, В.К. Щукин. – М.: Высшая школа, 1964. – 458 с.

5. *Савин И.К.* Теоретические основы теплотехники (краткий курс). Ч. II. Теплопередача: учеб. пособие / И. К. Савин. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. – 172 с.

EXPERIMANTAL STUDY OF HEAT TRANSFER AT FORCED CONVECTION OF AIR AT CONDITIONS OF LOCAL DEPOSIT FORMATION

Kalmykov F.V.

Supervisor: Altunin K.V., Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The report presents the results of an experimental study of heat transfer under forced convection at conditions close to real operational conditions using a simple model installation. The objective of the study is to study the effect of surface deposits simulating real thermal resistance on the efficiency of heat exchange between the heated surface and the air flow. The design of the installation is described, the choice of components is justified, the experimental methodology and assumptions are presented. Verification of measuring instruments has been carried out. Calculations of the air flow velocity, heat flow estimation are presented, and the experimental results are summarized in a form of the new criterion heat transfer equation.

УДК 536.24

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ЗАВЕС ДЛЯ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГТД

Киселев А.А.
Научные руководители: Ильинков А.В., доцент, к. т. н.,
Такмовцев В.В., доцент, к. т. н.
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань*)

Аннотация. Представлены результаты экспериментального исследования тепловой завесы на модели лопатки входного направляющего аппарата для борьбы с обледенением вдувом теплого воздуха при нулевом угле атаки на стационарном и пульсирующем режимах.

При определенных условиях полета в газотурбинных двигателях летательных аппаратов (ГТД) наблюдается процесс обледенения деталей [1-3]. В связи с этим разрабатываются противообледенительные системы, которые используют теплый воздух.

В воздушно-тепловых противообледенительных системах постоянного действия горячий воздух отбирается от последних ступеней компрессора и подается по внутренним каналам в зону обогрева. Одними из обогреваемых узлов двигателя являются входные направляющие аппараты (ВНА) - это направляющие лопатки, равномерно расположенные по газовоздушному тракту и имеющие симметричную обтекаемую форму. Они имеют внутренние полости, куда и подается горячий воздух. Входная кромка этих лопаток имеет полуцилиндрическую форму с несколькими рядами цилиндрических отверстий по высоте этих лопаток для создания на участке их входной кромки пристенного слоя горячего воздуха.

Применение воздушно-тепловой противообледелительной системы на маршевых авиационных ГТД устраняет появление льда на лопатках ВНА в полете самолета. Снижение эффективности работы данной системы может привести к нарушению рабочего цикла компрессора, уменьшению расхода сжимаемого воздуха через него, и, следовательно, к появлению помпажа компрессора, который вызывает повышенную вибрацию элементов ротора компрессора и возможное разрушение лопаток ВНА.

Поэтому повышение эффективности работы воздушно-тепловой противообледелительной системы проектируемых и эксплуатируемых современных маршевых авиационных ГТД является актуальной задачей.

Как известно из теории рабочих процессов в ГТД, важным условием создания эффективного и экономичного двигателя является повсеместная экономия циклового воздуха, отбираемого от компрессора для различных целей функционирования двигательных систем. Поэтому для повышения коэффициента полезного действия двигателя следует изучать возможности повышения эффективности пленочного нагрева η лобовой части лопаток ВНА для экономии воздуха, сжимаемого в компрессоре.

В настоящем докладе приводятся результаты опытных исследований влияния стационарного и пульсирующего вдува горячего воздуха на эффективность пленочного нагрева объекта исследования с целью снижения расхода горячего воздуха на работу

антиобледенительной системы двигателя (см. рис. 1). Объект исследования представлял собой адиабатную модель полуцилиндрической формы, выполненной из теплоизолятора-текстолита с внутренней полостью. Здесь i – угол атаки натекания основного потока на исследуемую адиабатную модель, D = 50 мм – диаметр входной кромки модели; X – направление размещения термопар на поверхности модели при обтекании поверхности основным потоком. Горячий воздух на адиабатную поверхность объекта исследования подавался через однорядный поясок системы из двадцати трубок с внутренним диаметром 2 мм, и выполняющих роль отверстий вдува, подавался горячий воздух, образующий тепловую защитную пленку.

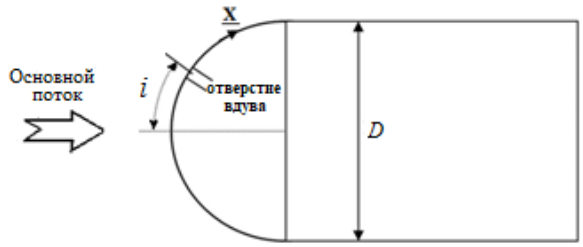


Рисунок 1. Схема исследуемой адиабатной модели полуцилиндрической формы

Порядок расположения спаев термопар выбирался с относительным шагом x/d = 1,1; 2,2; 3,3; 4,4; 5,5; 6,5; 7,6; 9,8; 13,1; 17,4, в направлении обтекания объекта исследования основным потоком. Это было сделано для того, чтобы более точно замерить интенсивность изменения температуры на поверхности адиабатной поверхности в поперечном направлении в месте образования тепловой завесы за отверстиями вдува.

Эффективность тепловой завесы адиабатной модели участка входной кромки направляющих лопаток ВНА рассчитывалась по формуле:

$$\eta = (T^*_{\text{осн}} - T^*_{\text{пл}})/(T^*_{\text{осн}} - T^*_{\text{вт}})$$

где $T^*_{\text{осн}}$, $T^*_{\text{вт}}$, – температуры основного (холодного) и вторичного (горячего) потоков воздуха в сечении вдува; $T^*_{\text{пл}}$ – температура пленки. Все полученные в экспериментах значения η осреднялись по шагу отверстий вдува, расположенных в однорядном пояске.

Параметр вдува рассчитывается по формуле

$$m = (\rho W)_{\text{вт}}/(\rho W)_{\text{осн}},$$

где $(\rho W)_{\text{вт}}$ – массовая скорость вторичного (вдуваемого) потока; $(\rho W)_{\text{осн}}$ – массовая скорость основного потока.

При этом число Рейнольдса для вторичного вдуваемого потока изменялось в диапазоне $\text{Re}_{\text{вт}} = (6\ldots20)\cdot10^3$, а для основного потока $\text{Re}_{\text{осн}} = 10^5$. Частота наложенных на вторичный поток пульсаций составляла 14 Гц, а число Струхаля, характеризующее частоту наложенных на вторичный поток пульсаций, изменялось в диапазоне Sh = 0,1…1,0.

Рассмотрим особенности распределения эффективности тепловой завесы участка входной кромки лопатки ВНА при значении угла атаки i = 0° (рис. 1). Отметим, что угол атаки i определяется направлением основного потока и линией, проведенной через точку, расположенную на оси ряда цилиндрических отверстий, выполненных на полуцилиндрической поверхности модели лопатки ВНА.

Как видно на рис. 2, при x/d = 2 на всех режимах вдува значения $\eta_{\text{с}}$ и $\eta_{\text{п}}$ имеют небольшой диапазон 0,42…0,46. Здесь x – расстояние от сечения вдува; d – диаметр цилиндрических отверстий, через которые на поверхность лопаток ВНА вдувается горячий воздух. Отметим, что индексами «с» и «п» обозначены стационарный и пульсирующий режимы вдува горячего воздуха из цилиндрических отверстий в основной поток.

Далее по ходу основного потока значения $\eta_{\text{с}}$ расслаиваются: так, на переходном участке тепловой завесы, где еще велики абсолютные значения эффективности пленочного

нагрева, при m = 1,0…1,5 на стационарном режиме значения η_c изменяются в диапазоне 0,26…0,37, т.е. разница более, чем в 1,4 раза.

Можно полагать, что такое расслоение значений η_c связано с особенностями взаимодействия основного и вторичного потоков. Так, при параметре вдува m = 1,0 вдуваемый вторичный поток обладает меньшей кинетической энергией, чем при m = 1,5. В результате снижается интенсивность самоорганизации крупномасштабных вихревых структур, провоцируемая лобовым взаимодействием основного и вторичного потоков.

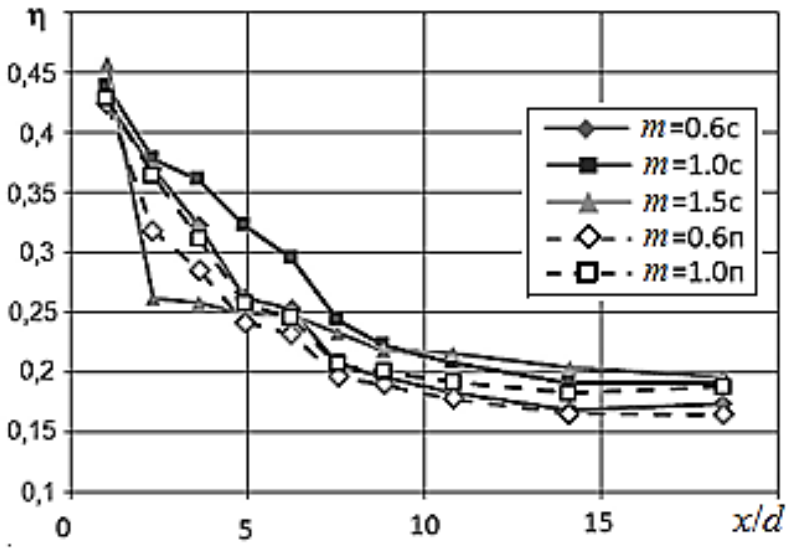


Рисунок 2. Эффективность тепловой завесы адиабатной модели участка входной кромки направляющей лопатки ВНА при стационарном и пульсирующем режимах вдува теплого воздуха при i = 0° и различных параметрах вдува m

Увеличение параметра вдува до m = 1,5, приводит к более высоким значениям кинетической энергии вторичного потока с соответствующей интенсификацией крупномасштабных вихревых структур, снижающие численные значение η_c. На основном участке смешения рассмотренные выше гидродинамические особенности взаимодействия основного и вторичного потоков уже не проявляются.

Судя по графику на рис. 2, пульсирующий режим вдува при значении угла атаки i = 0° не приводит к каким- либо особенностям взаимодействия основного и вторичного потоков, проявляющимся с локальными процессами увеличения или уменьшения значений $\eta_п$. Расслоение значений $\eta_п$ в диапазоне изменения параметра вдува 0,6…1,0 невелико и имеет разброс на удалении от сечения вдува около 12…15%.

Отсюда следует, что для рассмотренного варианта организации тепловой защиты наиболее целесообразен стационарный режим вдува через ряд цилиндрических отверстий при значении параметра вдува m = 1,0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гарькавый А.А., Чайковский А.В., Лавинский С.И.* Двигатели летательных аппаратов. Учебник для авиационных техникумов. - М.: Машиностроение, 1987. 288 с.

2. *Вьюнов С.А., Гусев Ю.И., Карпов А.В. и др.*; Под общ. ред. Д.В. Хронина. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей: Учебник для студентов вузов по специальности "Авиационные двигатели и энергетические установки"- М.: Машиностроение, 1989. 368 с.

3. *Иноземцев А.А., Нихамкин, М.А., Сандрацкий В.Л.* Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок: учебник. М.: Машиностроение, 2008. Т.1. 201 с.

ON THE EFFICIENCY OF THERMAL CURTAINS FOR DE-ICING SYSTEMS OF GAS TURBINE ENGINES

Kiselev A.A.
Supervisors: Ilyinkov A.V., Associate Professor, Candidate of Engineering,
Takmovtsev V.V., Associate Professor, Candidate of Engineering
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The results of the experimental study of the thermal curtain on the model of the inlet guide vane for de-icing by blowing warm air at zero angle of attack in steady state and pulsating modes are presented.

УДК 536+537;621.452+621.454;629

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЯ ЖИДКОСТНОГО ПРИБОРА ИМИТАЦИИ, ЗАМЕРА И КОНТРОЛЯ ГРАВИТАЦИИ В ЗЕМНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Кореев Е.П., Вахитова А.Р.
Научный руководитель: Алтунин В.А., профессор, д. т. н.
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Аннотация. В ходе проведения экспериментальных исследований с жидкими углеводородными горючими при их естественной конвекции с применением электростатических полей были обнаружены тепловые эффекты, связанные с тепловыми свилями и влиянием электрического ветра, что послужило основой для возможности разработки и создания жидкостного прибора имитации, замера и контроля гравитации в земных и космических условиях.

В докладе проводится обзор и анализ существующих приборов имитации, замера и контроля гравитации в земных и космических условиях [1-5].

Показаны результаты экспериментальных исследований с жидкими углеводородными горючими (УВГ) в условиях их естественной конвекции при докритических, критических и сверхкритических давлениях и различных температурах, без применения и с применением электростатических полей.

На рис. 1 показаны разновидности исследования поведения жидкости в условиях космоса [1].

Рисунок 1. Разновидности исследований поведения жидкости в условиях космоса

На рис. 2 показаны возможные конвективные движения жидкости в невесомости без влияния и при влиянии электрических и магнитных полей [1, 2].

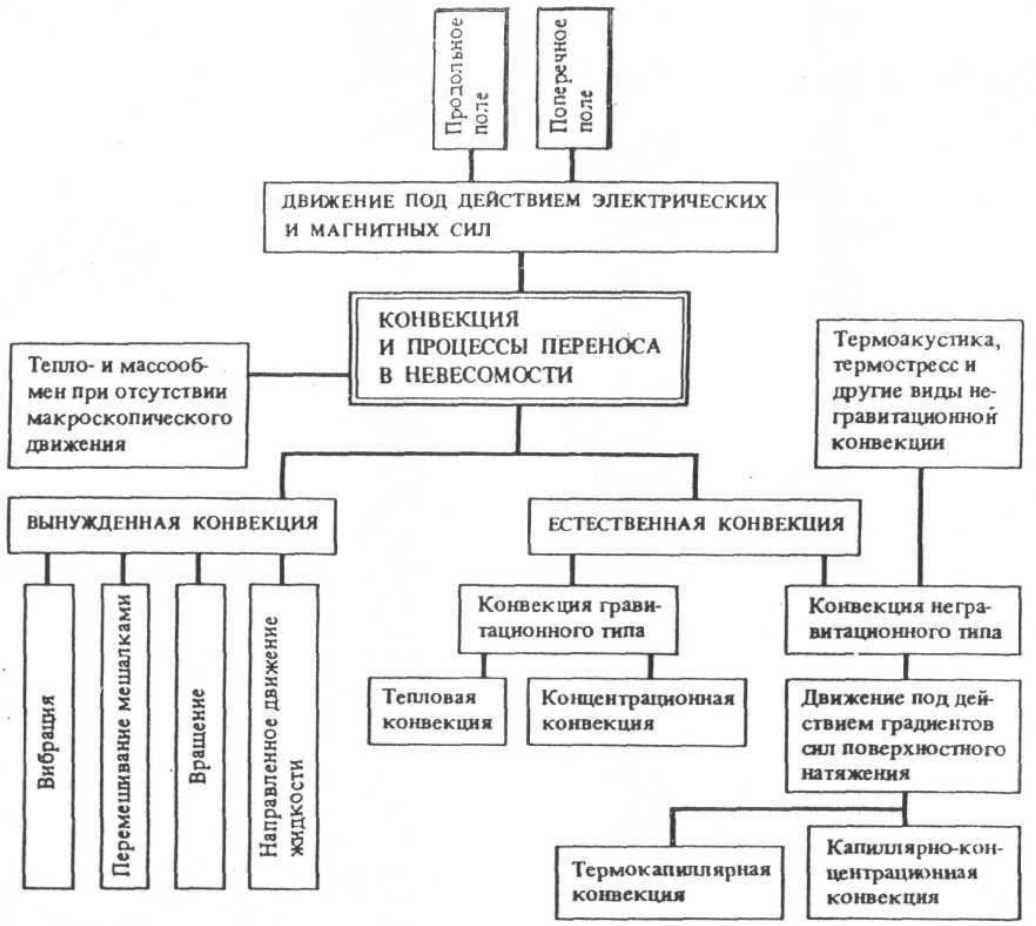


Рисунок 2. Классификация видов конвективного движения в условиях невесомости

Экспериментальные исследования были проведены в закрытой экспериментальной бомбе с окнами визуализации при различных давлениях жидкого углеводородного горючего и различных температурах рабочей нагреваемой пластины, сверху и снизу которой были расположены соосные рабочие иглы с электростатическими полями системы «Игла – игла» [1, 2]. Необходимо отметить, что система электродов, в данном случае двух соосных рабочих игл типа «Игла -игла», является наиболее эффективной для получения электрического ветра от острия отдающей иглы на воздухе, в газовых и жидких средах, в том числе, и в жидких УВГ, при подаче на отдающую иглу высоковольтного электростатического напряжения.

Электрический ветер интенсифицирует теплоотдачу к жидким и газообразным средам при их естественной и вынужденной конвекции. Эти эффекты исследовали учёные [2-4]: Мышкин Н.П., Алтунин В.А., Алтунин К.В., Апфельбаум М.С., Бабой Р.Ф., Болога М.К., Семенов К.Н., Блум Э.Я., Иванов У.И., Заке М.В., Михайлов Ю.А., Кожухарь И.А., Смирнов Г.Ф., Климов С.М., Майборода А.Н., Гросу Ф.П., Бурбуля Ю.Т., Брискман В.А., Саранин В.А., Бузнин В.М., Величенко Г.П., Верещагин И.П., Левитов В.И., Мирзабекян Г.З., Пашин М.М., Григорьев А.И., Земсков А.А., Ширяева С.О., Данилов В.И., Щиголев А.А., Пузынин И.В., Петриченко Н.А., Желясков М.П., Иоссель Ю.Я., Казацкая Л.С., Толчинская О.Е., Солодовиченко И.М., Карапетян М.А., Карасенко В.А., Заяц Е.М., Коекин В.К., Львов М.В., Миролюбов Н.Н., Костенко М.В., Левинштейн М.Л., Тиходеев Н.Н., Молдавский Л.М., Остроумов Г.А., Попков В.И., Ревзин И.С., Ромиг М.Ф., Савиных Б.В., Гумеров Ф.М., Сокерина Н.П., Стишков Ю.К., Остапенко А.А., Рычков Ю.М., Янтовский Е.И., Ashmann G., Kronig R., Moss R.A., Grey J., Senftleben H., Braun W., Bultman E., Schmidt E., Leidenfrost W. и др.

Электрический ветер имеет свои геометрические, гидродинамические и электрические характеристики.

Авторами [1-5] были обнаружены новые возможности электростатических полей и электрического ветра:

- по предотвращению осадкообразования в топливных, охлаждающих и масляных системах различных двигателей и энергоустановок на жидких и газообразных УВГ (см. патенты на изобретения РФ в [1-5]);
- по уничтожению термоакустических автоколебаний (ТААК) давления в каналах рубашек охлаждения двигателей и энергоустановок воздушного, аэрокосмического и космического применения (см. патенты на изобретения РФ в [1-5]);
- по формированию геометрических и гидродинамических характеристик электрического ветра в жидких УВГ, на основе чего были разработаны новые способы беззондового определения конфигурации силовых линий электростатического поля, величин подаваемых на отдающую иглу электростатических напряжений, а также границ начала зон насыщения электростатическими полями (см. патенты на изобретения РФ №№ 2785830, 2785251, 2504843, [2-5]).

В докладе показана классификация исследования и применения электростатических полей в различных средах и условиях, а также новые пункты этой классификации, которые были внесены авторами [2-5].

При помощи оптической экспериментальной установки Теплера на нагреваемой рабочей пластине в экспериментальной бомбе с жидким углеводородным горючим были зафиксированы следующие тепловые процессы (см. рис. 3):

- процесс образования обычного бегающего по нагреваемой пластине парового пузыря с паровым следом с дальнейшим его отрывом вверх - при докритических давлениях (см. рис. 3, а));
- процесс образования на нагреваемой пластине семейства неподвижных паровых пузырей – при увеличении плотности теплового потока и докритических давлениях (см. рис. 3, б));
- при критических и сверхкритических давлениях (СКД) обычные пузыри превращались в псевдопузыри, образовывались сверху и снизу рабочей нагреваемой пластины и имели грибовидный вид, т.е. имели ножку и шляпку (см. рис. 3, в));
- при докритических давлениях и увеличении плотности теплового потока обычные паровые пузыри превращались в тепловые свили (паровые столбы) волнистого вида (см. рис. 3, г));
- при критических и сверхкритических давлениях, а также при дальнейшем увеличении плотности теплового потока паровые псевдопузыри превращались в тепловые свили (паровые столбы) прямого вида в виде гребёнки с острыми верхними концами (см. рис. 3, д));

Установлено, что при критических давлениях и СКД при включении электростатических полей через отдающую верхнюю рабочую иглу при определённых рабочих параметрах происходил эффект раздвижения тепловых псевдосвилей на конкретный угол – в зависимости от величины подаваемого электростатического напряжения.

Практически зафиксировано влияние электрического ветра в жидком углеводородном горючем на раздвижение тепловых свилей и получена зависимость угла раздвижения этих тепловых свилей от величины подаваемого высоковольтного электростатического напряжения при различных расстояниях между соосными рабочими иглами.

Получена зависимость между углом раздвижения тепловых свилей и силой тяжести, что позволяет моделировать силу тяжести различной величины.

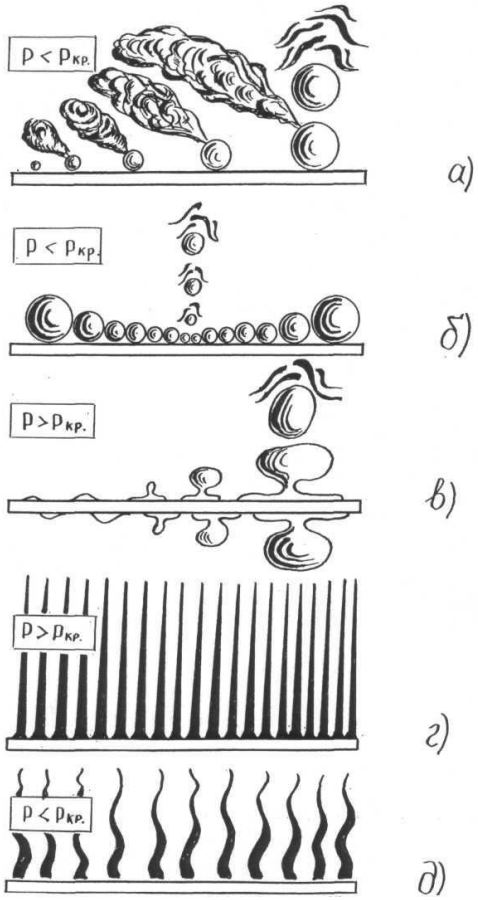


Рисунок 3. Результаты визуализации тепловых процессов в жидких УВГ:
а) – начало кипения с появлением подвижного пузыря с паровым следом и дальнейшим отрывом при докритических давлениях; б) – начало кипения при докритическом давлении с образованием серии пузырей на пластине с дальнейшим их отрывом; в) – начало псевдокипения при СКД с образованием псевдопузырей и их дальнейшим отрывом; г) – псевдокипение при СКД с образованием прямых псевдосвилей; д) – кипение при докритических давлениях с образованием волнистых свилей

В докладе на основе экспериментальных исследований показаны возможности создания жидкостного прибора имитации, замера и контроля гравитации с электростатическими полями [2-5].

Данный прибор может работать в земных условиях для имитации различной степени гравитации, а также – в космосе при замере реальной гравитации.

Создана база экспериментальных данных, которая позволяет создавать новые жидкостные приборы по имитации гравитации в земных условиях, по контролю и замеру гравитации в ходе полётов космических летательных аппаратов (КЛА) – без предварительного проведения сложных и дорогих экспериментальных тепловых исследований, т.е. с применением экспериментальных таблиц и графиков.

На основе экспериментальных данных разработана новая конструктивная схема жидкостного прибора замера и контроля гравитации при использовании электростатических полей и бортового жидкого углеводородного горючего, которая позволяет [2-5]:

- проводить моделирование различной степени гравитации в земных условиях;
- определять и контролировать конкретную силу гравитации в космических условиях на различных земных стационарных и сменных орбитах на борту КЛА;
- прогнозировать и конкретно определять силу гравитации при стрельбе космической артиллерии с выносной тросовой артиллерийской платформы (ВТАП) с возможностью её возвращения в исходное состояние [5].

Доклад сопровождается графическим экспериментальным материалом, а также новыми конструктивными схемами прибора имитации, замера и контроля степени гравитации в земных и космических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Алтунин В.А.* Исследование особенностей теплоотдачи к углеводородным горючим и охладителям в энергетических установках многоразового использования. Книга первая. Монография. Казань: Изд-во «Казанский гос. ун-т им. В.И. Ульянова – Ленина», 2005, 272 с.

2. *Алтунин В.А.* Исследование влияния электростатических и магнитных полей на особенности теплоотдачи к углеводородным горючим и охладителям. Книга вторая. Монография. Казань: Изд-во «Казанский гос. ун-т им. В.И. Ульянова – Ленина», 2006, 230 с.

3. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Гортышов Ю.Ф., Дресвянников Ф.Н., Обухова Л.А., Тарасевич С.Э., Яновская М.Л.* Анализ исследований электрических полей в различных средах и условиях // Инженерно-физический журнал. 2012. Т. 85, № 4. С. 881-896.

4. *Altunin V.A., Altunin K.V., Aliev I.N., Gortyshov U.F., Dresvyannikov F.N., Obukhova L.A., Tarasevich S.E., Yanovskaya M.L.* Analysis of investigations of electric fields in different media and conditions. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2012, vol. 85, no. 4, pp. 959–976.

5. *Алтунин В.А., Демиденко В.П. и др*. Некоторые пути развития космической артиллерии // Труды 49-ых Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. Сек. № 2: «Проблемы ракетной и космической техники» (г. Калуга, 16-18 сентября 2014 г.). РАН. РАКЦ. Казань: Изд-во Казанского университета, 2015. С. 87-104.

STUDY OF THE POSSIBILITY OF DEVELOPING AND CREATING A LIQUID DEVICE FOR SIMULATING, MEASURING AND CONTROLLING GRAVITY IN TERRESTRIAL AND SPACE CONDITIONS

Koreev E.P., Vakhitova A.R.

Supervisor: Altunin V.A., Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. During experimental studies with liquid hydrocarbon fuels during their natural convection using electrostatic fields, thermal effects associated with thermal swirls and the influence of electric wind were discovered, which served as the basis for the possibility of developing and creating a liquid device for simulating, measuring and controlling gravity in terrestrial and space conditions.

УДК 623.4.011

ПРОБЛЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО СТВОЛА

Кореев Е.П., Иванов А.А.

Научный руководитель: Алтунин В.А., профессор, д. т. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Аннотация. Рассмотрены проблемы охлаждения артиллерийского ствола, показаны пути повышения эффективности его охлаждения, разработаны новые съёмные рубашки охлаждения различных видов, показана их эффективность по времени охлаждения.

Одной из проблем артиллерийских стволов является проблема их нагрева и перегрева [1-13]. Известно, что при нагреве артиллерийского ствола буксируемой или самоходной артиллерии до температуры 573 К необходимо остановить стрельбу - с целью его охлаждения.

При невыполнении данных технологических требований будут происходить непоправимые процессы, связанные:

- с изгибом ствола;
- с уменьшением точности и дальности стрельбы;
- с коррозией и быстрым износом внутренних каналов ствола;
- с возникновением продольных и поперечных микротрещин ствола;
- с потерей прочности и долговечности ствола;
- с возможностью полного разрушения ствола при выстреле с гибелью номеров расчёта артиллерийского орудия.

На процесс естественного охлаждения ствола на воздухе уходит (1 – 2) часа и более в зависимости от климатических условий:

- от температуры окружающей среды (воздуха);
- от скорости ветра;
- от дождя.

Такое большое время естественного охлаждения и молчания орудия недопустимо, особенно в ходе современных локальных войн, террористических актов и военных специальных операций, т.к. за это время враг может обнаружить и уничтожить не только орудие, но и весь личный состав орудийного расчёта, а также будет потеряно время, отведённое на обязательное поражение специальных целей, в том числе, и подвижных.

Контрольными температурами остывающего на воздухе горячего ствола являются:

- 373 К (100 ^{0}С) – при достижении такой температуры разрешается продолжить стрельбу несколькими снарядами;
- 273 К (0 ^{0}С) (или температура окружающей среды (воздуха) – при достижении такой температуры разрешается вести стрельбу по полной программе с плановой интенсивностью.

Применение искусственного охлаждения артиллерийских стволов при помощи наружных рубашек охлаждения является правильным решением проблем их нагревов и перегревов.

В докладе рассмотрены новые, разработанные авторами, следующие конструктивные схемы съёмных наружных рубашек охлаждения [11-13, 18]:

- с поперечным круглым наружным оребрением;
- с внутренними охлаждающими каналами;
- гибридные (совмещённые первые две конструктивные схемы).

Для обеспечения вынужденной конвекции жидкого (газообразного) охладителя в каналах рубашки охлаждения предложено использовать систему утилизации механической энергии отката ствола при выстреле [11-13, 18].

Для определения и сравнения эффективности охлаждения артиллерийского ствола без рубашки охлаждения и при её наличии были проведены расчёты отдельно для естественного охлаждения ствола на воздухе и при съёмной рубашке жидкостного охлаждения, где показано, что новые съёмные рубашки охлаждения способны охладить ствол за 3-5 минут, а также – позволяют вести стрельбу без перерывов на их охлаждение.

Конструктивно вся длина съёмной рубашки жидкостного охлаждения ствола выполнена из трёх одинаковых секций с крепёжными фланцами и уплотнительными прокладками, скрепляемыми между собой болтовыми соединениями.

Разделение всей рубашки на три секции связано: с обеспечением удобства при эксплуатации, особенно в условиях боевой или учебной стрельбы; с уменьшением веса, что очень важно при стыковке и расстыковке каждой секции; с обеспечением более плотного соединения и контакта рубашки охлаждения с поверхностью ствола.

Подвод жидкого охладителя к общему входному коллектору, расположенному в конце третьей секции (в конце ствола перед пламегасителем), обеспечивается через один общий канал (трубопровод), расположенный сверху рубашки охлаждения (сверху каждой секции) и проходящий через стыковочные фланцы.

Отвод жидкого охладителя осуществляется после его прохождения через все охлаждающие каналы всей рубашки охлаждения через общий выходной коллектор, расположенный в нижней части рубашки охлаждения (в нижней части начала первой секции).

Вторая конструктивная схема рубашки охлаждения ствола отличается от первой тем, что каждая секция имеет индивидуальный (раздельный) подвод и отвод жидкого охладителя, т.е. имеет индивидуальные входные и выходные коллекторы.

Объединение и крепление всех трёх секций осуществляется также через фланцы с прокладками болтовым соединением, где фланцами служат входные и выходные коллекторы.

Первый этап расчётов был сделан для всей рубашки охлаждения с одним общим каналом подвода жидкого охладителя к входному коллектору (см. табл. 2), второй этап – для каждой секции с индивидуальным подводом жидкого охладителя (см. табл. 3).

Также было установлено, что наиболее эффективной является съёмная секционная рубашка охлаждения (например, состоящая из трёх секций), где охладитель подаётся индивидуально в каждую секцию, из-за чего процесс охлаждения ствола происходит за самое минимальное время, а кроме того, например, в ходе реальной боевой (учебной) работы, гораздо легче и проще, с точки зрения военной инженерной эргономики и качества крепления и контроля, обслуживать именно каждую секцию.

В качестве охладителей в расчётах применялись: воздух, жидкости (вода, дизельное топливо (ДТл), авиационный керосин (ТС-1), газы (газообразный метан).

Для примера, в докладе приводятся сравнительные таблицы (см. табл. 1-3) с результатами расчётов охлаждения ствола на воздухе без рубашки охлаждения, а также с рубашкой охлаждения и различными схемами подвода охладителя, где в качестве охладителя использовалось жидкое углеводородное горючее марки ДТл.

Таблица 1

Результаты расчёта времени естественного охлаждения ствола в безветренную погоду при различной температуре окружающей среды (воздуха)

№ п/п	Температура воздуха, $T_в$	Время охлаждения ствола до температуры 373 К (100 ^{0}C)	Время охлаждения ствола до температуры 273 К (0 ^{0}C) или окружающей среды
1	233 К (- 40 ^{0}C)	98,64 мин = 1,64 часа	280,8 мин = 4,68 часа
2	253 К (- 20 ^{0}C)	108 мин = 1,8 часа	295,9 мин = 4, 93 часа
3	273 К (0 ^{0}C)	115,2 мин = 1,92 часа	460,8 мин = 7,68 часа
4	293 К (20 ^{0}C)	122,4 мин = 2,04 часа	439,2 мин = 7,32 часа
5	313 К (40 ^{0}C)	136,8 мин = 2,28 часа	424,8 мин = 7,08 часа

Из результатов расчёта (см. табл. 1) видно, что для естественного охлаждения ствола на воздухе при различных климатических условиях (в данном случае, при различной температуре окружающей среды) необходимо затратить от 1,64 часа до несколько часов.

Таблица 2

Результаты расчёта времени охлаждения ствола съёмной рубашкой жидкостного охлаждения с общей подачей охладителя при температуре воздуха и ДТл 293 К и различных давлениях

№ п/п	Давление в рубашке охлаждения ствола, МПа	Время охлаждения ствола рубашкой с общим подводом охладителя до температуры 373 К (100 ^{0}C)	Время охлаждения ствола рубашкой с общим подводом охладителя до температуры 293 К (20 ^{0}C)
1	0,1	275 мин = 4,5 часа	385 мин = 6,4 часа
2	0,2	14,7 мин = 0,1 часа	19,7 мин = 0,33 часа
3	0,5	6 мин = 1,92 часа	9,1 мин = 0,15 часа
4	1,0	2,7 мин = 0,045 часа	4,3 мин = 0,07 часа
5	1,5	2,04 мин = 0,034 часа	3,5 мин = 0,06 часа

Из табл. 2, 3 видно, что:

- увеличение давления в каналах рубашки охлаждения приводит к значительному сокращению времени охлаждения ствола;

- конструктивная схема с индивидуальным подводом жидкого охладителя к каждой секции рубашки охлаждения является более эффективной, чем схема с одним общим подводом, и обеспечивает максимальную эффективность охлаждения ствола;

- негативный процесс осадкообразования в охлаждающих каналах (при использовании жидких УВГ (например, марок ДТл и ТС-1) будет происходить с очень малой скоростью и практически не будет влиять на ресурс и эффективную работу всей рубашки охлаждения.

Таблица 3

Результаты расчёта времени охлаждения ствола съёмной рубашкой жидкостного охлаждения с индивидуальной подачей охладителя к каждой секции при температуре воздуха и ДТл 293 К и различных давлениях

№ п/п	Давление в рубашке охлаждения ствола, МПа	Время охлаждения ствола рубашкой с индивидуальным подводом охладителя к каждой секции до температуры 373 К (100 ^{0}C)	Время охлаждения ствола рубашкой с индивидуальным подводом охладителя к каждой секции до температуры 293 К (20 ^{0}C)
1	0,1	56 мин = 0,93 часа	83 мин = 1,4 часа
2	0,2	8,5 мин = 0,14 часа	12 мин = 0,2 часа
3	0,5	3,6 мин = 0,06 часа	5,4 мин = 0,09 часа
4	1,0	1,56 мин = 0,026 часа	2,5 мин = 0,04 часа
5	1,5	1,08 мин = 0,018 часа	2 мин = 0,033 часа

В докладе также приводятся сравнительные характеристики эффективности охлаждения ствола различными рубашкам охлаждения, где наиболее эффективной, является рубашка гибридного типа, т.к. у неё обеспечивается ещё и высокая степень выживаемости и неуязвимости.

При выходе из строя жидкостной системы (например, при попадании осколка в подающий (или сливной) трубопровод или по техническим причинам, например, при нарушении гидроизоляции стыковочного узла, подающего или сливного трубопровода и др.) гибридная рубашка может продолжать работать:

- одновременно:

а) в режиме естественного охлаждения жидким углеводородным горючим (охладителем) марки ДТл, т.е. входной и выходной каналы будут закрыты и дизельное топливо будет находиться внутри рубашки охлаждения без движения;

б) в режиме естественного охлаждения ствола на воздухе через поперечные круглые рёбра, размещённые на наружной поверхности рубашки охлаждения, и через межрёберные цилиндрические участки самой рубашки;

- в режиме только естественного охлаждения ствола на воздухе оребрённой поверхностью рубашки охлаждения (при полном входе из строя жидкостного охлаждения).

В докладе показаны возможности по применению вместо ДТл другого жидкого углеводородного горючего (охладителя) марки ТС-1, которое также является доступным в боевых условиях, т.к. все самолёты, вертолёты и беспилотные летательные аппараты (с реактивными двигателями), а также некоторые образцы наземной военной техники - применяют именно это горючее.

Рассмотрены случаи, когда в рубашку охлаждения арторудия возможно заправлять смеси жидких углеводородных горючих (например, ДТл + ТС-1 и др.) в различных пропорциях, а также смеси различных горючих с моторными и другими маслами.

Также показаны возможности по применению газообразных горючих (охладителей): в первую очередь, обыкновенного воздуха; метана; пропана и др. – этот вопрос рассмотрен на

перспективу, т.к. в настоящее время интенсивно идёт перевод всей техники именно на газообразные топлива [10-18].

Авторами разработаны и показаны пути дальнейшего совершенствования съёмных рубашек охлаждения артиллерийских стволов: по уменьшению их веса, по эффективности теплосъёма, по способам и эффективности обеспечения вынужденной конвекции охладителей, по повышению эффективности систем крепления и затяжки верхней и нижней частей корпуса рубашки охлаждения, по повышению точности и надёжности систем контроля за работой рубашки охлаждения, по технологичности изготовления и др.

Также разработаны пути использования утилизированной механической энергии отката ствола после выстрела не только для обеспечения вынужденной конвекции охладителей в съёмной рубашке охлаждения, но и для накопления сжатого воздуха, для выработки электроэнергии, для предварительного обогрева и разогрева систем смазки наземной и авиационной военной и гражданской техники и её запуска в экстремальных боевых и климатических условиях [13, 18].

Применение материалов доклада будет способствовать созданию новых отечественных артиллерийских ствольных систем повышенных характеристик по ресурсу, надёжности, выживаемости, живучести и боевой эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Елисеев Э.А., Тонышева О.А., Якушева Н.А.* Материалы и развитие технологий, обеспечивающих ресурс стволов артиллерийских, танковых и стрелковых систем вооружения. // Труды ВИАМ. № 9. 2017. С. 19 - 26.

2. *Жуков И.И., Башкатов В.А., Городинский Т.М.* Артиллерийское вооружение. Основы устройства и конструирование. М.: Изд-во «Машиностроение», 1975. 419 с.

3. *Зайцев А.С.* Устройство и проектирование стволов артиллерийских орудий: учебник. Старый Оскол: ТНТ, 2017. 388 с.

4. *Косарев В.В., Пушкин В.Г., Пономарёв А.И., Хорошилов В.А.* Артиллерийское оружие ВМФ: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. 43 с.

5. *Кэрт Б.Э.* Кинематика (с дополнительными главами): уч. пос. / Б.Э. Кэрт, Ж.Н. Андреева. О.Г. Агошков /. СПб: Изд-во Балт. гос. техн. ун-т (ВОЕНМЕХ), 2014. 222 с.

6. *Кэрт Б.Э., Андреева Ж.Н., Агошков О.Г.* Математическое моделирование динамики газожидкостных тепломеханических систем ракетно-артиллерийской техники. Часть 1: Внутренняя баллистика многополостных пиромеханизмов: уч. пос. СПб: Изд-во Балт. гос. техн. ун-т (ВОЕНМЕХ), 2010. Ч. 1. 198 с.

7. *Новиков Б.К.* Системные аспекты проектирования ствольного оружия: учебник. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 518 с.

8. *Орлов Б.В., Ларман Э.К., Маликов В.Г.* Устройство и проектирование стволов артиллерийских орудий. М.: Изд-во «Машиностроение», 1976. 432 с.

9. *Клочков А.С., Корольков Н.Н., Музыченко В.Я. и др.* Основания устройства и конструкция орудий и боеприпасов наземной артиллерии (Учебник). М.: Воениздат. 1976. 459 с.

10. *Алтунин В.А., Щиголев А.А., Львов М.В., Абдуллин М.Р., Каськов А.С.* Некоторые пути повышения эффективности ствольной артиллерии // Матер. докл. 7-ой Всеросс. научно-технич. конф. «Фундаментальные основы баллистического проектирования». Сек. № 2: «Внутренняя баллистика и динамика газо-жидкостных тепломеханических систем». (29 июня – 3 июля 2021 г., Санкт-Петербург). Российская академия ракетных и артиллерийских наук (РАРАН). / Под ред. Б.Э. Кэрта /. СПб: Изд-во БГТУ им. Д.Ф. Устинова («ВОЕНМЕХ»), 2021. Часть 1. С. 66-69.

11. *Алтунин В.А., Монда В.А.* Артиллерийский ствол с универсальным наружным охлаждением // Патент на изобретение РФ № 2458305. Бюлл. № 22 от 10.08.2012 г.

12. *Алтунин В.А., Монда В.А., Демиденко В.П., Щиголев А.А., Яновская М.Л.* Пульт управления и контроля за работой съёмной рубашки охлаждения артиллерийского ствола // Патент на изобретение РФ № 2541570. Бюлл. №5 от 20.02.2015 г.

13. *Алтунин В.А., Монда В.А., Демиденко В.П., Щиголев А.А., Яновская М.Л.* Способ заправки воздушных баллонов запуска дизельных двигателей воздухом // Патент на изобретение РФ № 2541022. Бюлл. № 4 от 10.02.2015 г.

14. *Алтунин В.А.* Исследование особенностей теплоотдачи к углеводородным горючим и охладителям в энергетических установках многоразового использования. Книга первая. Казань. Изд-во «Казанский гос. ун-т им. В.И. Ульянова — Ленина», 2005. 272 с.

15. *Алтунин В.А.* Исследование влияния электростатических и магнитных полей на особенности теплоотдачи к углеводородным горючим и охладителям. Книга вторая. Казань: изд-во «Казанский гос. ун-т им. В.И. Ульянова-Ленина, 2006. 230 с.

16. *Яновский, Л.С., Иванов В.Ф., Галимов Ф.М., Сапгир Г.Б.* Коксоотложения в авиационных и ракетных двигателях. Казань: Абак, 1999. 284 с.

17. *Яновский Л.С., Дубовкин Н.Ф., Галимов Ф.М. и др.* Инженерные основы авиационной химмотологии. Казань, Изд-во Казанского ун-та, 2005. 714 с.

18. *Алтунин В.А., Демиденко В.П., Каськов А.С., Щиголев А.А., Яновская М.Л.* Разработка новых способов разогрева и запуска двигателей и энергоустановок двойного назначения в сложных климатических и боевых условиях // Сб. матер. докл. 42 Академических чтений по космонавтике, посвящённых памяти академика С.П. Королёва и др. выдающихся отечественных учёных – пионеров освоения космического пространства. Сек. № 7: «Развитие космонавтики и фундаментальные проблемы газодинамики, горения и теплообмена». РАН. РОСКОСМОС. РАКЦ. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. С. 134.

PROBLEMS OF COOLING ARTILLERY BARREL

Koreev E.P., Ivanov A.A.

Supervisor: Altunin V.A., Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The problems of cooling an artillery barrel are considered, ways of increasing the efficiency of its cooling are shown, new removable cooling jackets of various types are developed, and their efficiency in terms of cooling time is shown.

УДК 620.9

СЖИЖЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ. СТРУКТУРА ПОТРЕБЛЕНИЯ, ЭКСПОРТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ

Курочкин С.О.

Научные руководители: Шубина А.С.[1], старший преподаватель, Марьин Г.Е.[2], доцент

([1] Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань,

[2] Казанский государственный энергетический университет, г. Казань)

Аннотация. Данная статья посвящена сжиженному природному газу (СПГ), его технологии производства и структуре потребления. В ней подробно описывается процесс получения СПГ, включая этапы очистки, сжижения и транспортировки. Также анализируется структура потребления СПГ по странам, выделяя ключевых игроков на рынке, таких как Япония, Китай и Южная Корея. В статье приведены статистические данные о объемах экспортируемого газа из России, подчеркивающие ее роль как одного из ведущих экспортеров. В заключение рассматриваются перспективы развития России на рынке СПГ, включая инвестиции в инфраструктуру, рост глобального спроса и технологические инновации.

1. Основные свойства СПГ

Сжиженный природный газ (СПГ) - очищенная, охлажденная до -162°С и переведенная в жидкое состояние газовая смесь, состоящая в основном из метана (85-99%) и примесями других газов (Этан, Пропан, Бутан, Азот, Сероводород и т.д.). В жидкой форме объем СПГ уменьшается в 600 раз, что позволяет получать экономическую выгоду при транспортировке энергоресурсов в отдаленные части планеты (Таблица 1).

Таблица 1

Основные свойства СПГ

Температура кипения (при атмосферном давлении)	-162°С
Плотность	430-470 кг/м3
Удельная теплота сгорания	53 МДж/кг
Октановое число	120-130

2. Технология производства СПГ

Процесс производства можно разделить на четыре основных этапа:

1. Добыча и подготовка газа - на этом этапе газ извлекается из месторождений и проходит первичную очистку от механических примесей, а также воды и сернистых соединений.

2. Очистка и осушение - этап включает в себя удаление углекислого газа O_2) и сероводорода (H_2S), глубокую очистку, отделение тяжелых углеводородов (пентан (C_5H_{12}) и гексан (C_6H_{14})).

3. Охлаждение и сжижение - газ постепенно охлаждается в несколько стадий до -162°С. Предварительное охлаждение до -30°С...-50°С, Последующее охлаждение до -100°С с использованием этилена и Финальное охлаждение до -162°С через дросселирование или турбодетандер.

4. После производства газ закачивается в криогенные резервуары с теплоизоляцией, далее он может перевозиться морскими путями или хранится до востребования.

3. Мировая структура потребления СПГ

В представленной ниже таблице приведена динамика развития потребления СПГ у различных стран (Таблица 2). До 2022 года в лидерах потребления была Япония из-за своего расположения и экономической нецелесообразности транспортировки газа другими способами. В 2022 году на первое место встал Китай с возросшим уровнем потребления газа и как следствие с возросшим объемом импорта СПГ [1-4].

Таблица 2

Динамика потребления СПГ по странам

Страна	2010 (млн т)	2015 (млн т)	2020 (млн т)	2022 (млн т)
Япония	70.1	85.2	74.5	72.3
Китай	9.3	19.5	68.9	78.1
Южная Корея	35.2	37.6	40.1	46.7
Индия	10.4	15.2	26.3	29.5
Испания	12.7	13.8	14.9	16.2
Франция	9.5	10.1	12.4	13.8
Великобритания	8.2	9.5	16.7	18.4
Тайвань	12.3	14.6	17.2	19.1
Италия	8.9	7.8	10.5	11.3
США	1.2	2.1	14.8	12.6

Так как в 2022 году с началом специальной военной операции на Россию были наложены пакеты санкций, а позже совершена диверсия с целью повреждения «Северного потока», поставки газа из России в Европу резко сократились. Примерные показатели выглядят так:

- В 2021 году объем поставок составил около 175 млрд м^3

- В 2023 году объем поставок составил около 28 млрд м^3 (в 6 раз меньше)

В связи с уменьшением поставок трубопроводного газа, резко увеличились поставки СПГ. Приведем таблицу с объемом потребления газа в Европе с 2010 года по 2025 год с учетом объема потребления СПГ (Таблица 3).

Таблица 3

Объем потребления газа в Европе с учетом СПГ

Год	Потребление газа в Европе	Доля СПГ в потреблении, %
2010	520	12.5%
2015	470	10.8%
2020	490	17.4%
2021	510	15.5%
2022	450	**27.9%**
2023	430	~30%
2024*	420	~34%
2025*	410	~36%

**- Данные за 2024 и 2025 года являются прогнозируемыми*

Можно заметить, что потребление газа в Европе с 2021 года упало на примерно 11-12%, при увеличении доли СПГ почти в 2 раза. Основными поставщиками в данной ситуации (на 2024 год) являются (Таблица 4).

Таблица 4

Основные поставщики СПГ в Европу

Поставщик	Доля в европейском импорте СПГ
США	~45% (60–65 млн т)
Катар	~20% (25–30 млн т)
Россия	~10–12% (14–16 млн т)*
Алжир	7–9% (10–11 млн т)
Норвегия	1–2% (1–3 млн т)

*— Импорт российского газа происходит через трейдеров

4. Положение России на рынке СПГ

Россия обладает самыми большими запасами природного газа в мире - около 24% (47.8 трлн м^3) (Таблица 5) от общемировых запасов (Рис. 1) [5]. Из них около 12-15% (5.7-7.2 трлн м^3) пригодны для сжижения и производства СПГ (Таблица 6).

Таблица 5

Сводная таблица СПГ-проектов и их запасами

Проект	Месторождение	Запасы (трлн м³)	Доля от СПГ-ресурсов РФ
Ямал СПГ	Южно-Тамбейское	1.2	~20%
Арктик СПГ-2	Гыданское	1.9	~30%
Сахалин-2	Сахалин-6	0.5	~8%
Перспективные (Мурманский СПГ и др.)	Штокмановское, Крузенштернское	2.1	~35%

Таблица 6

Экспорт российского СПГ по странам (млн тонн в год)

Год	Всего	Китай	Япония	Южная Корея	Европа*	Индия	Тайвань
2009	3.8	0.1	1.5	0.9	0.7	0.2	0.3
2012	10.5	0.5	4.2	2.1	2.3	0.6	0.7
2015	14.1	1.2	5.8	3.0	2.9	0.9	0.8

2017	18.9	2.5	6.3	4.1	3.8	1.2	1.0
2020	29.6	5.0	7.1	5.5	6.2	2.5	1.8
2022	32.4	7.8	6.0	5.0	8.5**	3.2	1.5
2023	33.1	9.3	5.2	4.8	7.9**	3.5	1.2

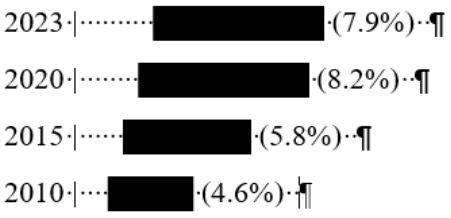


Рисунок 1. Доля России в мировом экспорте СПГ (%)

Малая доля СПГ во всем объеме газовых запасов связана в основном с географическим расположением самых крупных газовых месторождений, где выгоднее трубопроводный экспорт. Также немаловажную роль играет экономический фактор - сжижение требует использование криогенных установок и специализированных танкеров, количество которых ограничено, а срок производства, например, арктического танкера «Arc 7» может составлять от 36 до 42 месяцев.

5. Тенденции и технологические вызовы

Несмотря на все эти аспекты, а также введенные санкции, благодаря полноценному запуска проекта «Арктик СПГ-2» и других перспективных проектов, Россия сможет укрепить свои позиции на мировом рынке по поставке сжиженного природного газа. Этому способствуют большие природные запасы энергетических ресурсов и потенциал развития промышленного сектора.

Для реализации данного варианта необходимо произвести качественный прыжок в технологиях и производстве, которые позволят нам в меньшей степени зависеть от стран конкурентов и стран партнеров [6,7]. Приведем категории, в которых на данный момент есть зависимость от других стран, также укажем существующие или планируемые замены и их статус (Таблица 7).

Таблица 7

Зависимость от технологий по категориям

Категория	Основные иностранные поставщики	Критичность	Российские аналоги/замена	Статус замены
Турбины	Siemens (Германия), GE (США)	Высокая	ОДК-Пермь	Тестируется, КПД ниже на 15-20%
Компрессоры	Centrifugal: Baker Hughes (США), MAN Energy (Германия); Screw: Howden (UK), Atlas Copco (Швеция)	Критичная	«Казкомпрессор-маш» (Казахстан), «Невский ЗМО»	Ограничен-ная мощность, нет аналогов для больших установок
Криогенные резервуары	GTT (Франция) – мембранные технологии	Экстремальная	Нет аналогов	Попытки копирования через Китай (CIMC)

Криогенные насосы	Nikkiso (Япония), Ebara (Япония)	Высокая	«Криогенмаш» (малые мощности)	Не покрывают потребности
Электроника	Siemens, Honeywell (США), Yokogawa (Япония)	Высокая	«Текон», «Овен»	Ограничен-ный функционал
Судовые двигатели	MAN Energy (Германия), Wärtsilä (Финляндия)	Критичная	Нет замены	Закупки через Китай (CSSC)
Никелевая сталь	Nippon Steel (Япония), Outokumpu (Финляндия)	Средняя	«Мечел» (экспериментальные партии)	Качество ниже, дефицит
Клапаны/арма-тура	Emerson (США), Schlumberger (США)	Высокая	«Армалит» (простые модели)	Не для криогенных сред

По приведенным в таблице данным можно сделать вывод, что есть три особенно важные категории:

- Компрессоры - используются в процессе сжижения газа
- Криогенные резервуары - необходимы для хранения и транспортировки СПГ
- Судовые двигатели - необходимы для постройки танкеров

Отсутствие альтернатив и ограничение по поставке из других стран в категории "Компрессоры" ведет к задержкам при реализации проекта "Арктик СПГ-2".

6. Вывод

На текущий момент экспорт СПГ осложнен санкциями и ограничениями в поставках, что приводит к простою некоторых производств сжиженного природного газа. несмотря на это, при горизонте планирования 10-15 лет можно полагать, что потребность в потреблении газа будет расти. Эту потребность сможет закрыть Россия, поставляя трубопроводный газ и СПГ, тем самым обеспечив приток средств в экономику.

Данный сценарий долгосрочного развития невозможен без локализации используемых машин, агрегатов, технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Global Gas Security Review 2023 – Analysis – IEA [Электронныйресурс].URL - https://www.iea.org/reports/global-gas-security-review-2023.

2. BP Statistical Review 2023 [Электронныйресурс].URL - https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html

3. GIIGNL Annual Reports [Электронныйресурс]. URL -https://www.giignl.org/.

4. BP Statistical Review of World Energy [Электронныйресурс].URL - https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics.html.

5. Министерство энергетики РФ [Электронныйресурс]. URL - https://minenergo.gov.ru/).

6. Improving the Energy Performance of a Conversion Aircraft Engine / G. Marin, A. Akhmetshin, A. Shubina // Proceedings - 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2021 : 3, Lipetsk, 10–12 ноября 2021 года. Vol. 3rd International Conference. – Lipetsk, 2021. – P. 1041-1045.

7. Gas turbine operating as part of a thermal power plant with hydrogen storages / G.E. Marin, B.M. Osipov, A.V. Titov, A.R. Akhmetshin // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, No. 86. – P. 33393-33400.

LIQUEFIED NATURAL GAS: CONSUMPTION STRUCTURE, EXPORTS AND TECHNOLOGICAL CHALLENGES

Kurochkin S.O.

Supervisors: Shubina A.S.[1], Senior Lecturer, Marin G.E.[2], Associate Professor

([1]Kazan National Research Technical University Named After A.N. Tupolev-KAI, Kazan, [2]Kazan State Power Engineering University, Kazan)

Abstract. This article is dedicated to liquefied natural gas (LNG), its production technology, and consumption structure. It describes in detail the process of obtaining LNG, including the stages of purification, liquefaction, and transportation. The article also analyzes the structure of LNG consumption by country, highlighting key players in the market such as Japan, China, and South Korea. Statistical data on the volumes of exported gas from Russia are presented, emphasizing its role as one of the leading exporters. In conclusion, the prospects for Russia's development in the LNG market are discussed, including investments in infrastructure, growth in global demand, and technological innovations.

УДК 620.9

К ВОПРОСУ ОБЛЕДЕНЕНИЯ КВОУ ГТУ

Курочкин С.О.

Научные руководители: Шубина А.С.[1], старший преподаватель, Марьин Г.Е.[2], доцент

([1] Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань, [2] Казанский государственный энергетический университет, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы обледенения газотурбинных установок (ГТУ), которые возникают в условиях низких температур и высокой влажности, особенно в осенне-весенний период. Обледенение может привести к серьезным авариям, включая повреждение лопаток компрессора и помпаж. Обсуждаются факторы, способствующие образованию льда, такие как температура, влажность, водность воздуха и аэрозольный состав. Подробно описаны последствия обледенения для работы компрессора, включая ухудшение аэродинамических характеристик и повышение гидравлического сопротивления. Для предотвращения обледенения предлагаются различные инженерные решения, однако ни одно из них не является универсальным. Статья подчеркивает необходимость системного подхода к решению проблемы обледенения, что позволит повысить надежность и эффективность работы ГТУ.

Газотурбинные установки (ГТУ) функционируют в различных климатических условиях, и в некоторых регионах страны осенью и весной наблюдается много дней с температурами от +3°С до -6°С и влажностью от 90% до 100% [1]. В таких условиях, когда снег и морось могут присутствовать до половины месяца, существует высокая вероятность обледенения. Это представляет серьезную угрозу для работы установок, так как может привести к аварийным остановкам, помпажу, повреждению отдельных лопаток или даже поломке всего лопаточного аппарата осевого компрессора (ОК) [2,3].

Пример эксплуатации ГТУ на Транс-Канадском газопроводе за 6 лет работы агрегатов с газотурбинным приводом, где суммарная наработка 37 установок составила 1,1 миллиона часов, показывает, что обледенение всасывающего тракта компрессоров стало причиной 18 аварий, из которых 7 произошли во время мокрых снегопадов. Это означает, что при средней

годовой наработке агрегатов в 5-7 тысяч часов, поломки от обледенения происходили ежегодно на каждом 12-м агрегате.

В зависимости от того, какие элементы или детали подвергаются обледенению, а также от интенсивности образования льда, последствия этого процесса для работы ГТУ могут значительно варьироваться. В дальнейшем будут рассмотрены процессы льдообразования в элементах воздухозаборного тракта и осевого компрессора, а также ухудшение работы ГТУ, вызванное этим явлением.

Изучение процессов обледенения является сложной задачей как с количественной, так и с качественной точки зрения. Это обусловлено множеством факторов, включая метеорологические, термодинамические и аэродинамические условия, а также разнообразные материалы и конструктивные характеристики. В результате существующая информация о льдообразовании часто описывает лишь отдельные элементы механизма его возникновения, не представляя собой целостную теоретическую картину этого явления.

Практика эксплуатации стационарных ГТУ показала, что обледенение входной камеры и ВНА осевого компрессора возникает при наружной температуре, равной или ниже ± 5 °С [4,5]. Дополнительное понижение температуры воздуха в потоке происходит из-за политропного расширения воздуха, вызванного гидравлическим сопротивлением входного тракта. Это сопротивление приводит к увеличению разрежения по длине канала. В некоторых случаях важно учитывать, что на температуру воздуха, поступающего в воздухозаборный тракт (ВЗТ), могут влиять внешние факторы, такие как направление ветра, высокая влажность и подсос отходящих газов или теплого воздуха от соседних установок ТЭЦ.

Кроме температуры, важным фактором, определяющим условия образования льда, является относительная влажность воздуха (φ), поступающего в ВЗТ ГТУ. Исследования показали, что при значениях φ выше 80% возможно образование капель воды в воздухе, что связано с гетерогенной конденсацией водяного пара на так называемых ядрах конденсации. Это явление особенно выражено в условиях повышенной влажности, что способствует образованию льда на элементах ВЗТ.

Процесс конденсации на этих ядрах зависит от аэрозольного состава воздуха и месторасположения ГТУ. Природные условия, высота над уровнем моря и метеорологические факторы существенно влияют на интенсивность конденсации.

Помимо температуры и влажности, важным параметром, влияющим на процесс льдообразования, является водность воздуха, характеризующая содержание воды в жидком или твердом состоянии (например, в виде снега) на единицу объема воздуха. В зависимости от фазового состояния воды выделяют кристаллическую и капельную водность. Увеличение водности, особенно в виде мокрого снега или дождя при температуре, близкой к 0 °С, усиливает процессы льдообразования.

Опасное обледенение элементов воздухозаборного тракта становится более вероятным при повышенной водности воздуха. Этот процесс усугубляется на жалюзийных решетках, расположенных с наветренной стороны, особенно при увеличении скорости ветра. Крупные капли влаги, замедляясь в жалюзийных просветах, оседают на рабочих кромках решеток, где замерзают, образуя ледяные наросты. Эти наросты уменьшают проходное сечение и могут значительно повысить входное сопротивление.

Повышенное сопротивление на входе ухудшает условия работы осевого компрессора: уменьшается расход воздуха, возрастает разрежение на входе в компрессор, что снижает общую эффективность работы системы. Особенно опасным является перекрытие жалюзи, которое может быть вызвано их неправильной установкой. Такое перекрытие усугубляет ситуацию, создавая дополнительные риски для стабильной работы ГТУ [6,7].

При увеличении сопротивления в системе возможен автоматический сброс воздуха через байпасные клапаны, что приводит к попаданию переохлажденных капель или снега в проточную часть, ухудшая работу компрессора.

Обледенение в инерционном жалюзийном сепараторе схоже с процессами на жалюзи ВЗТ. В нормальных условиях ИЖС равномерно распределяет поток, но при обледенении его лопаток нарушается поле скоростей, что может привести к обратным течениям в центре и смещению основного потока к периферии. Эти процессы увеличивают нагрузку на систему и требуют своевременного удаления льда и применения эффективных противообледенительных мер.

Фильтры тонкой очистки циклового воздуха подвержены обледенению из-за высокой скорости воздуха и резкой остановки на фильтрующей ткани. Это усугубляется при наличии в воздухе мелкодисперсной взвеси (туман, морось, снежная крупа). Сухие фильтры из волокнистых материалов часто страдают от конденсации влаги и замерзания в фильтрующем слое, что резко снижает воздухопроницаемость и увеличивает сопротивление, подчеркивая необходимость предфильтра-влагоотделителя.

Обледенение элементов системы шумоглушения вызывает перекрытие сечений, искажение потока, рост гидравлического сопротивления и акустические проблемы. Оторвавшиеся ледяные куски могут попасть в компрессор и вызвать повреждения лопаток.

На стенках всасывающего трубопровода лёд образуется наиболее интенсивно в труднодоступных зонах, например, на нижних горизонтальных участках, уменьшая сечение и создавая неравномерность воздушного потока. В северных районах страны из-за конденсации паров и осаждения влаги часто наблюдается сильное обледенение в приземной части короба, требующее ручного удаления льда. Эти явления увеличивают риск аварий и снижают надежность эксплуатации ГТУ.

Обледенение на входном патрубке и конфузоре негативно сказывается на равномерности поля скоростей перед входным направляющим аппаратом компрессора, снижает степень сжатия и ухудшает вибрационно-прочностные характеристики лопаток. Искажение конфигурации канала воздухозаборного тракта приводит к неравномерному распределению давления и скорости, что может вызывать изменения аэродинамических характеристик и даже помпаж компрессора.

Интенсивное обледенение может привести к отрыву льда, который, попадая в проточную часть, вызывает предпомпажные явления или помпаж. Кроме того, увеличенное входное сопротивление и деформация поля скоростей на всасе компрессора из-за льда также способствуют помпажу. В целом, обледенение снижает эксплуатационную надежность, КПД и мощность ГТУ.

Обледенение входных элементов газотурбинных установок представляет собой сложный и многогранный процесс, зависящий от множества факторов, включая климатические условия, конструктивные особенности, а также аэродинамические и термодинамические процессы в воздухозаборном тракте. Основные причины образования льда связаны с понижением температуры воздуха при его расширении, высоким уровнем влажности, а также наличием капельной или кристаллической водности. Кроме того, влияние аэрозольных частиц и их роль в процессе конденсации существенно повышают риск льдообразования.

Обледенение оказывает значительное влияние на эксплуатационные показатели ГТУ, снижая равномерность поля скоростей, ухудшая аэродинамические характеристики и приводя к предпомпажным явлениям или поломкам. Повышенное гидравлическое сопротивление, вызванное льдом, негативно сказывается на эффективности работы компрессора, а деформация входных потоков может стать причиной серьезных аварий. В крайних случаях, образование льда на внутренних элементах ВЗТ, таких как фильтры или элементы шумоглушения, способно вызвать внезапные остановки установки, что угрожает надежности и безопасности эксплуатации.

Выводы

Для предотвращения обледенения применяются различные инженерные решения, включая установку конструктивных элементов, препятствующих попаданию осадков, подогрев атмосферного воздуха или поверхностей элементов ГТУ, подверженных

льдообразованию. Однако ни один из этих методов не является универсальным и требует учета специфики климатических условий, места расположения установки и её эксплуатационных особенностей.

Таким образом, проблема обледенения ГТУ требует системного подхода и глубокого анализа, направленного на разработку и внедрение более эффективных методов борьбы с этим явлением. Совершенствование конструктивных и эксплуатационных решений, адаптированных к различным условиям, позволит повысить надежность, КПД и срок службы газотурбинных установок, что является важной задачей современной энергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Improving the Energy Performance of a Conversion Aircraft Engine / G. Marin, A.Akhmetshin, A. Shubina // Proceedings - 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2021 : 3, Lipetsk, 10–12 ноября 2021 года. Vol. 3rd International Conference. – Lipetsk, 2021. – P. 1041-1045.

2. *D.I. Mendeleev, G.E. Marin, A.R. Akhmetshin.* Performance Characteristics of A Gas Turbine Unit with Clogged Filters of an Air Filtering and Conditioning System 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, Vladivostok, 06–09 октября 2020 года. – Vladivostok, 2020. – P. 9271309.

3. Усовершенствование КВОУ газовых турбин с целью снижения веса, сопротивления, шума, обледенения // Отчет ЦКТИ, Е.И. Михайлов. Л., 1982.

4. Research on the influence of fuel gas on energy characteristics of a gas turbine / G.E. Marin, B.M. Osipov, D.I. Mendeleev E3S Web of Conferences: 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019, Kazan, 18–20 сентября 2019 года. Vol. 124. – Kazan: EDP Sciences, 2019.

5. *Киндл Ф.Х.* Эксплуатация газовых турбин в арктических условиях. GF, 1972, GSOA – 6 – 72.

6. *Мещерякова Т.П.* Проектирование системы защиты самолетов и вертолетов. М.: Машиностроение, 1977.

7. *Михайлов Е.И.* Воздушные фильтры для газотурбинных установок в СССР и за рубежом. М.: НИИинформтяжмаш, 1970.

ON THE ISSUE OF ICING THE INLET AIR FILTER UNIT OF A GAS TURBINE UNIT (GTU)

Kurochkin S.O.

Supervisors: Shubina A.S.[1], Senior Lecturer, Marin G.E.[2], Associate Professor

([1]Kazan National Research Technical University Named After A.N. Tupolev-KAI, Kazan, [2]Kazan State Power Engineering University, Kazan)

Abstract. The article discusses the problems of icing of gas turbine units (GTU), which occur in conditions of low temperatures and high humidity, especially in the autumn-spring period. Icing can lead to serious accidents, including damage to compressor blades and surging. Factors contributing to the formation of ice, such as temperature, humidity, air water content, and aerosol composition, are discussed. The effects of icing on compressor operation are described in detail, including deterioration of aerodynamic characteristics and increased hydraulic resistance. Various engineering solutions are offered to prevent icing, but none of them is universal. The article emphasizes the need for a systematic approach to solving the problem of icing, which will improve the reliability and efficiency of the GTU.

УДК 536.24.08

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РЕШЕТЧАТЫХ СТРУКТУР ПРИ СВОБОДНОКОНВЕКТИВНОМ ОХЛАЖДЕНИИ

Куршев Е.Д., Саетгараев А.А.

Научные руководители: Лопатин А.А., доцент, к. т. н., Габдуллина Р.А., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлены результаты экспериментального и численного исследования тепловых характеристик радиаторов, выполненных на основе пространственных упорядоченных решетчатых структур (латтисов) в условиях свободной конвекции. Результаты моделирования показали удовлетворительное соответствие экспериментальным данным для теплоотдающего элемента (ТЭ) №2 в диапазоне тепловых нагрузок 2–20 Вт. Для ТЭ №1 зафиксированы отклонения, указывающие на наличие застойной зоны в центральной части радиатора, что снижает эффективность свободной конвекции как основного механизма теплообмена.

Введение. Динамичное развитие элементной базы электронной и силовой электроники сопровождается значительным ростом тепловыделения. Выбор метода охлаждения зависит от уровня отводимых тепловых потоков и требований к температуре рабочей поверхности компонента. Так, в случае, когда речь идет о незначительных плотностях теплового потока, применяются пассивные методы охлаждения – радиаторы из материалов с высокой теплопроводностью (в основном металлов). С ростом нагрузки обеспечить адекватный теплоотвод стандартными системами становится затруднительно, что стимулирует поиск способов интенсификации теплообмена, в частности, за счет создания развитых поверхностей сложной геометрии [1]. Подобные решения не только увеличивают площадь теплообмена, но и оптимизируют взаимодействие с теплоносителем. Это позволяет существенно повысить эффективность пассивного свободноконвективного охлаждения в рамках заданных ограничений.

Таким образом, исследования в области интенсификации теплоотдачи при свободной конвекции способствуют расширению возможностей применения надежных пассивных систем, не имеющих подвижных частей, что повышает общую надежность и ремонтопригодность оборудования.

В последние годы в современной тематической научной литературе уделяется достаточно большое внимание возможностям интенсификации теплоотдачи в условиях свободной конвекции [2,3]. Во многом, количественные характеристики теплоотдачи в рамках, например, свободной конвекции зависят от геометрии теплообменных поверхностей и режимных параметром. Вместе с тем, очень часто диапазон вариативности основных режимных параметров изначально задан и является частью неизменных условий задачи. Поэтому, основную нагрузку по практической интенсификации процесса теплоотдачи, как правило, несет на себе форма и структура поверхности теплообмена. Таким образом, можно утверждать, что значительный вклад в повышение интенсивности теплоотдачи дают так называемые поверхностные интенсификаторы [4]. В зависимости от условий и особенностей теплоотдачи (свободная или вынужденная конвекция, кипение, конденсация) на практики используются совершенно различные виды такого рода устройств. Это могут быть ступеньки, лунки и выступы, выполненные штамповкой [5] или же частичное рассечение ребра [6]; накатка, оребрение, различные резьбы или зиговка, если речь идет о трубчатых конструкциях. Часто, когда речь идет о кипении используется различного рода упорядоченная и неупорядоченная шероховатость, размеры которой могут варьироваться в зависимости от режимных параметров процесса [7].

Экспериментальный стенд. Методика проведения исследований. Эксперименты проводились на стенде, выполненном по схеме разомкнутого контура. Общий вид и схема установки представлены на Рис. 1 и 2. В качестве источника тепловой нагрузки использовался нагреватель-имитатор типа «тепловой клин» с рабочей зоной 15×15 мм, что соответствует типовым размерам полупроводниковых кристаллов. Мощность нагрева регулировалась в диапазоне 0,5–100 Вт.

Для обеспечения достоверности экспериментов критически важен контроль изотермичности поверхности имитатора. Стабильность температурного поля контролировалась пятью эквидистантно расположенными термопарами. Для сбора и обработки данных использовался программно-аппаратный комплекс на базе модуля SCXI-1130, процессора NI PXIe-1075 и среды LabVIEW. Замеры температуры осуществлялись с помощью программно-аппаратного комплекса в автоматическом режиме с частотой опроса датчиков 2 сек. В результате у авторов была возможность контролировать выход работы установки на стационарный режим.

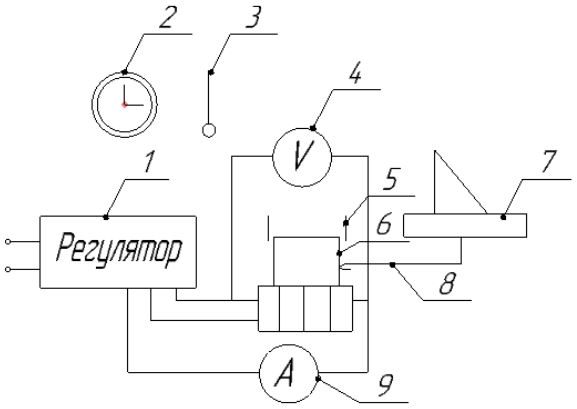


Рисунок 1. Принципиальная схема стенда: 1- регулируемый блок питания; 2- секундомер; 3- термометр лабораторный ртутный; 4- вольтметр; 5-кожух; 6- рабочий участок; 7- персональный компьютер; 8- система из хромель-копелевых термопар; 9- амперметр

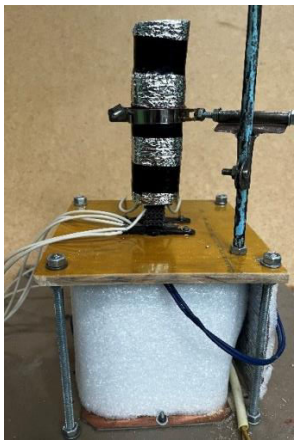


Рисунок 2. Внешний вид нагревателя-имитатора с установленным радиатором и кожухом

В качестве рабочих участков в исследованиях использовались пространственные упорядоченные решетчатые радиаторы, представленные на Рис. 3 и 4.

Теплообменные элементы № 1 и № 2 (Рис. 3 и 4), полученные методом селективного лазерного плавления хромоникелевого порошка, представляют собой радиаторы прямоугольной формы с пространственной решетчатой структурой шириной 15х15 мм и высотой 20 мм. Пространственные трехмерные решетки выполнены на металлизированной подложке со специальными элементами для крепления к экспериментальному стенду. В ходе обработки экспериментальных данных в качестве потерь учитывался тепловой поток, рассеиваемый торцевой поверхностью подложки, а также элементами крепления конструкции в экспериментальном стенде. Для всех исследованных тепловых режимов потери через обозначенные элементы не превышали 3%.

Анализ результатов численных исследований по теплоотдаче. Определение локальных температурных полей экспериментальными методами затруднено, поэтому для анализа был применен численный подход. Моделирование проводилось в программном комплексе в стационарной трехмерной постановке.

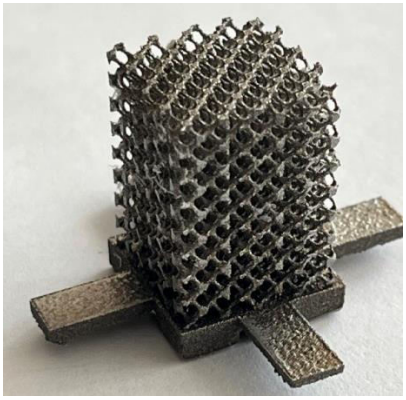


Рисунок 3. Внешний вид ТЭ №1

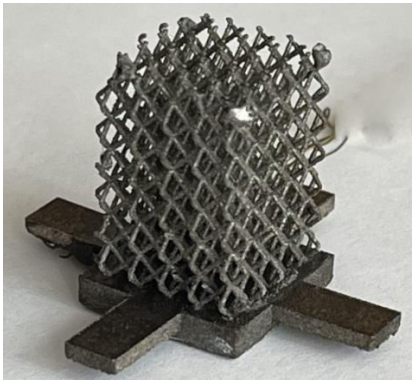


Рисунок 4. Внешний вид ТЭ №2

Выполненные численные исследования в многофункциональном программном комплексе проводились по поэтапной методике, обеспечивающей воспроизводимость и сопоставимость с экспериментальными данными. На исходном этапе предполагалось, что эффективная рабочая температура радиатора совпадает с температурой подложки, которая задавалась в соответствии с результатами экспериментальных измерений. Материал всех элементарных ячеек пространственной решетчатой структуры моделировался как сталь с однородным химическим составом.

Расчеты реализовывались в стационарной трехмерной постановке на основе решения уравнений Рейнольдса совместно с уравнением неразрывности и уравнения энергии в формулировке для энтальпии. Замыкание системы уравнений осуществлялось с помощью k-omega SST модели сдвиговых напряжений Ментера в стандартной формулировке. На входе в расчетную область задавалась температура подложки. Расчетная сетка содержала в среднем от 1 до 2 млн тетрагексогональных ячеек, линейный размер ячеек варьировался от 0,0002 м до 0,003 м. Качество сетки по скошенности: 0.87-0.90, по ортогональности – 0.99. Пример расчетной сетки представлен на Рис. 5. Иллюстрация установившегося распределения температур в зоне интереса приведена на Рис. 6, где визуализированы характерные температурные поля и их градиенты в пределах рабочей секции решетчатой структуры.

Термические параметры пространственных решетчатых конструкций. Для понимания условий и особенностей процесса теплоотдачи необходимо определить температуры на различных уровнях латтиса. Стандартные способы измерения не дают возможность наблюдать за распределением температурных полей, в то время как бесконтактный тепловизионный метод фиксации позволяет получить количественную и качественную информативную картину рабочего участка во время экспериментов. В исследованиях использовалась тепловизионная инфракрасная камера модели SAT S-280 и программное обеспечение SAT IR Reporting System ver. 1.08.13s.

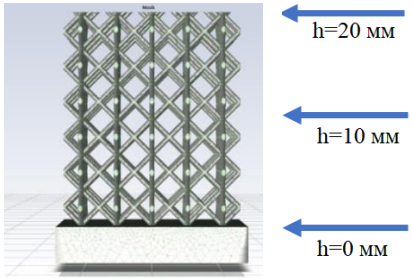


Рисунок 5. Пример сетки для расчетной области решетчатого радиатора (ТЭ №2)

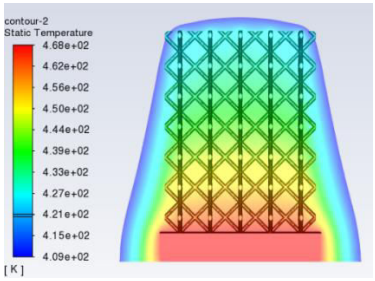
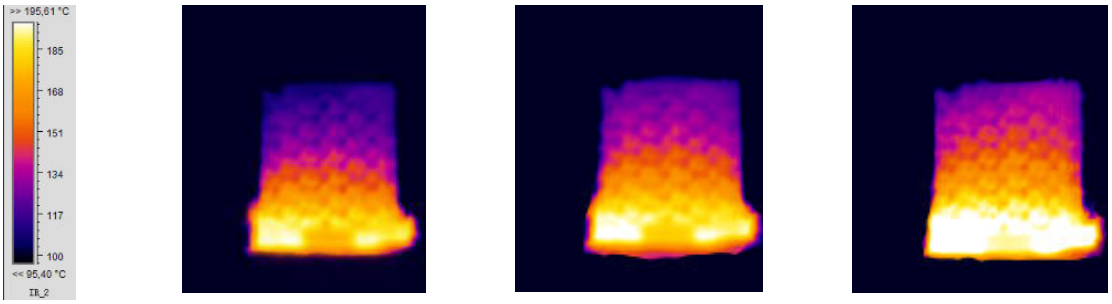


Рисунок 6. Пример распределения температур на решетчатом радиаторе (ТЭ №2)

Эксперименты проводились при мощности нагревателя-имитатора 2 Вт, 8 Вт и 20 Вт. В соответствии со справочными материалами степень черноты поверхности металла была

принята ε=0,76, что сопоставимо со справочными данными. Съемка производилась в профильном сечении рабочего участка. Результаты тепловизионных исследований представлены на Рис.7. Верификация количественных результатов тепловизионных исследований осуществлялась на базе сравнения с данными, полученными прямым измерением температуры с помощью четырех термопар, расположенных в углах верхней торцевой поверхности рабочего участка. В результате серии последовательных измерений температуры в диапазоне тепловых нагрузок от 2 Вт до 20 Вт, было установлено, что отличия между прямым и тепловизионным способом измерения отличается не более чем на 1,5%. Эти результаты позволяют использовать тепловизионную картину не только для качественной, но и для количественной оценки эффективности использования пространственных решетчатых конструкций в качестве радиаторов систем охлаждения.

Как следует из качественной картины теплоотдачи, представленной на Рис.7, распределение температурных полей, для трех режимов нагрева, представляют собой подобие кривых, описывающих нормальное распределение Гаусса-Лапласа. При этом с ростом тепловой нагрузки температурные поля яркого цвета, соответствующие более высокой температуре, ожидаемо смещаются от подложки в сторону торцевой поверхности радиатора [8].



а б в

Рисунок 7. Результаты тепловизионной съемки ТЭ №1: а) 2 Вт; б) 8 Вт; в) 20 Вт.

Для количественной оценки температуры на решетчатом радиаторе было выделено три условных уровня фиксации параметров: подложка (h=0 мм), средний (h=10 мм), торцевой (h=20 мм). Для наглядности размещение этих уровней представлено на Рис.5. Температура на этих уровнях фиксировалась двумя способами: с помощью замера выносной термопарой, а также тепловизионной съемкой.

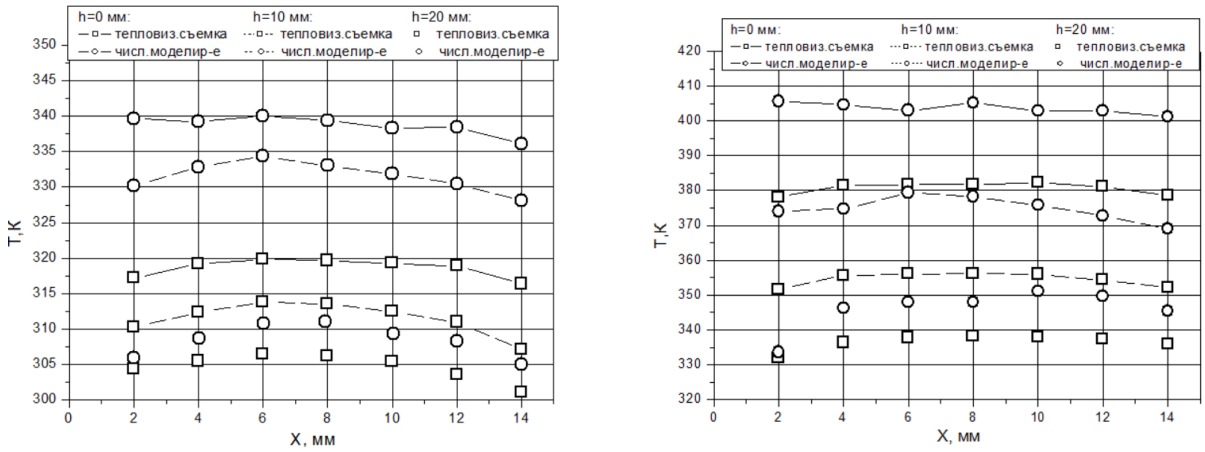
Далее было проведено сравнение данных, полученных при тепловизионных исследованиях с результатами численного моделирования (Рис.8-10). Необходимо отметить, что в ТЭ №1 наблюдается значительная разница, более 5 ^{0}C, между расчетными и экспериментальными значениями (Рис.8а). Причем, с ростом тепловой нагрузки усиливается и градиент. Так у основания латтиса (h=0 мм), при 8 Вт, наблюдается более чем 20-градусное расхождение между моделированными и действительными значениями (Рис.8б).

Иная ситуация складывается на рабочем участке №2 (Рис.9). При тепловой нагрузке 2 Вт наблюдается небольшая разница в температурах, сравнимая со значениями погрешности измерений (при h=20 мм), или незначительно превышающая ее (при h=0 мм). Схожую картину можно наблюдать и при нагреве 8 Вт. Фактически, можно отметить, что проведенный расчет с удовлетворительной точностью в 90% описывает термическое состояние радиатора, выполненного на основе пространственной решетчатой конструкции.

Значительный интерес для практического применения пространственных решетчатых упорядоченных конструкций может представлять сравнительный анализ термического состояния рабочих участков, выполненных из различных структур (ТЭ№1 и ТЭ№2). На Рис.10 представлено сравнение термического состояния рабочих участков при тепловой нагрузке 2 и 8 Вт. Как следует из графиков во всем диапазоне наблюдаемых высот (h от 0 до 20 мм) на ТЭ№2 наблюдается превышение температуры по сравнению с ТЭ№1. Вполне

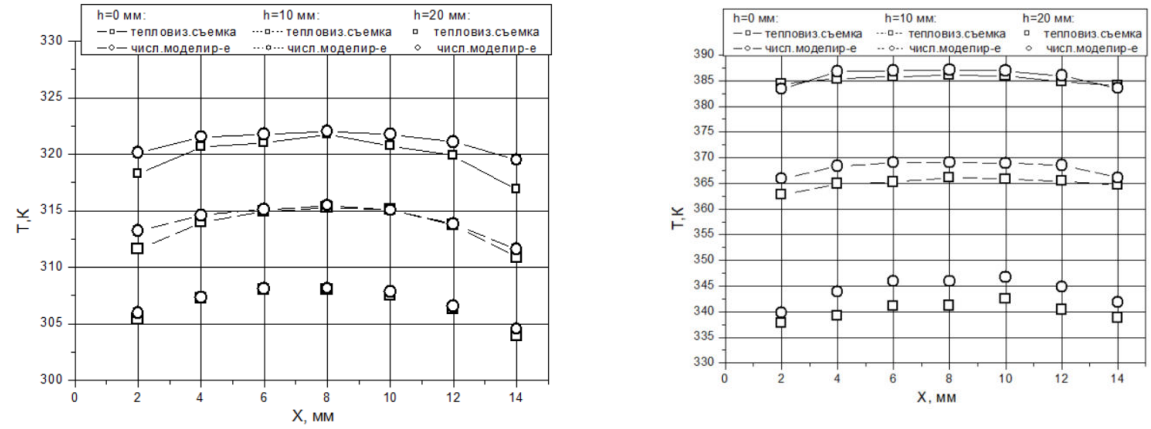
прогнозируемо это различие усиливается при тепловой нагрузке в 8 Вт. Таким образом, можно отметить, что рабочий участок №2 обеспечивает более эффективную передачу тепла от поверхности охлаждаемого элемента к торцевой части радиатора, что позволяет при прочих равных условиях (одинаковая температура окружающей среды) обеспечить превосходящий по сравнению с ТЭ№1 отвод тепла.

Так, из термометрической (Рис.7) и расчетной картин следует, что взаимодействие воздушных потоков с решетчатой структурой по большей части ограничивается внешними (торцевыми) частями рабочих участков и не слабо затрагивает сектора, расположенные в глубине радиатора. Это объясняется достаточно высокой плотностью размещения трехмерных решетчатых структур внутри самого рабочего участка. Опираясь на проведенные ранее исследования, можно более подробно рассмотреть механизм теплообмена как в центральной части радиатора, так и на его периферии. Для анализа процессов удобно использовать термическую картину, представленную на рис.11.



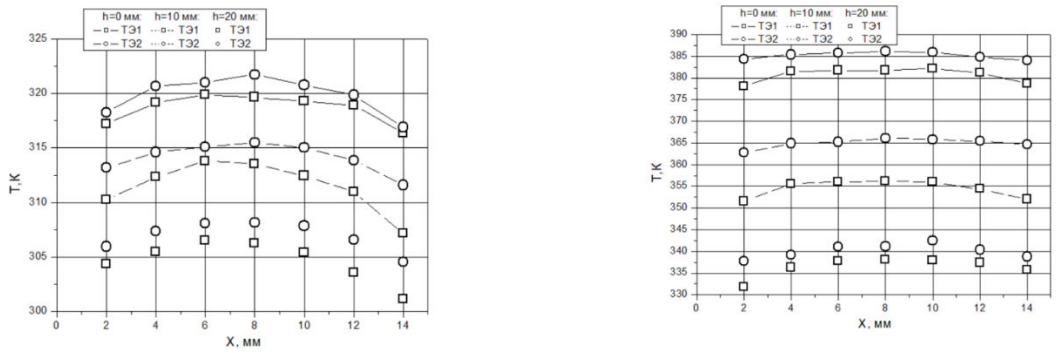
а) б)

Рисунок 8. Сравнение температурных полей на поверхности решетчатого ТЭ №1 а) мощность нагрева - 2 Вт; б) мощность нагрева 8 Вт



а) б)

Рисунок 9. Сравнение температурных полей на поверхности решетчатого ТЭ №2 а) мощность нагрева - 2 Вт; б) мощность нагрева 8 Вт



а) б)

Рисунок 10. Сравнение температурных полей на поверхности ТЭ №1 и №2 а) мощность нагрева - 2 Вт; б) мощность нагрева 8 Вт

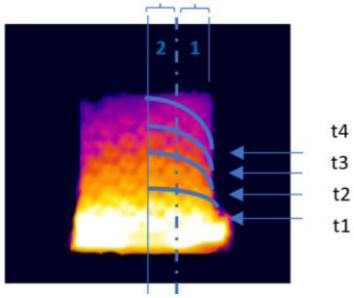


Рисунок 11. Термическая картина ТЭ№1 при тепловой нагрузке 20 Вт

С помощью условных кривых t1, t2, t3 и t4 обозначены примерные изотермы, соответствующие температурным полям, отображенным на тепловизионной картине. Как следует из рис.16, по мере удаления от источника тепловой нагрузки меняется форма изотермы, трансформируясь от линии близкой к прямой – t1, к параболической кривой – t4. При этом в центральной части радиатора можно выделить область, ограниченную пунктирной линией, в которой поперечное изменение температуры по соответствующей изотерме минимально. Это наглядно свидетельствует о наличии застойных зон в значительной части рабочего участка, в которых, за счет ухудшенного свободно-конвективного режима, наблюдается снижение теплоотдачи. Таким образом, можно обоснованно предположить, что радиатор, выполненный на основе пространственных решетчатых структур, в данном случае работает в условиях смешанного теплообмена. Условно, участок можно разделить на две зоны (Рис.11). Первая (1) находится вблизи от торцевых поверхностей. Вторая (2) зона расположена вблизи оси симметрии. И в этой части рабочего участка в связи с высокой плотностью материала радиатора отсутствует возможность активного обмена теплоносителя с внешними массами воздуха. Это приводит к образованию застойных зон, в которых доминирующее влияние начинает играть такой вид теплообмена как теплопроводность. К особенностям этих условий можно отнести то, что в случае с решетчатыми или пористыми структурами практически очень сложно оценить тепловой поток, передаваемый с помощью теплопроводности металла и теплопроводности воздушной прослойки. Поэтому, очень часто прибегают к оценке тепловых режимов подобных конструкций на основе, так называемой «эффективной теплопроводности», позволяющей учесть гетерогенность структуры конструкции. Таким образом, условное разделение теплоотдающего элемента на две теплообменные зоны: первую, расположенную в близи торцевых поверхностей радиатора, с доминирующим свободно-конвективным механизмом теплоотдачи, и вторую – «застойную», находящуюся в центральной части пространственной решетчатой конструкции, учитываемую в общем балансе через коэффициент «эффективной теплопроводности», даст возможность получить более точные данные для расчетных методик и упростить исследовательскую базу физического моделирования.

Развитие исследований в части рассмотрения основных аспектов и условий теплообмена в пространственных решетчатых конструкциях на основе комплексного подхода и с учетом совместного влияния свободной конвекции и эффективной теплопроводности планируется в дальнейших работах авторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Jafari D., Wits W.W.,* The utilization of selective laser melting technology on heat transfer devices for thermal energy conversion applications: a review, Renewable Sustainable Energy Rev. 91 (2018) 420–442, https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.109.

2. *Лопатин А.А., Николаева Д.В.,* Экспериментальные и численные исследования теплоотдачи в свободно-конвективной системе охлаждения с осевым оребрением. Труды Академэнерго. – 2018. – №3. – С. 23 – 32.

3. *Lopatin A.A., Ahmed Israa S., Gabdullina R.A., Biktagirova A.R.* «Intensification of heat transfer in the cooling systems of radio electronic equipment under free and forced convection», IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 765, 1st International Conference of Electromechanical Engineering and its Applications (ICEMEA-2020) 25–26 February 2020, Baghdad, Iraq, doi:10.1088/1757-899X/765/1/012043.

4. *Popov I., Shchelchkov A., Skrypnik A., Yarkaev M.Z., Al-Kharbavi A.H.A.,* Теплообменные аппараты с интенсификацией теплоотдачи. Энергетика Татарстана. 2014

5. *Isaev S.A., Leont'ev A.I., Kornev N.V.,* Heat-Exchange Enhancement for Laminar and Turbulent Flows in a Narrow Channel with One-Row Oval Dimples, High Temperature. 2015. Vol. 53. No. 3. P. 375-387.

6. *Кунтыш В.Б., Сухоцкий А.Б.* Интенсификация теплоотдачи пластическим расчленением накатных алюминиевых ребер биметаллических труб в потоке воздуха, Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017. №1 (192).

7. *Лопатин А.А.* О возможностях интенсификации теплообмена в испарительных системах охлаждения теплонагруженных элементов радиоэлектронного оборудования. Современное состояние вопроса и экспериментальные исследования, Вестник Казанского технологического университета. 2013. №8.

8. *Лопатин А. А., Габдуллина Р. А., Биктагирова А. Р., Терентьев А. А.* Теплоотдача радиатора с пространственной решетчатой упорядоченной структурой в условиях свободной конвекции. // Вестник Международной академии холода. 2023. № 4. С. 33–43. DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-4-33-43.

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL SIMULATION OF THERMAL CHARACTERISTICS OF SPATIAL LATTICE STRUCTURES UNDER FREE-CONVECTIVE COOLING

Kurshev E.D., Saetgaraev A.A.

Supervisors: Lopatin A.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences,
Gabdullina R.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper presents the results of an experimental and numerical study of the thermal characteristics of heat sinks based on spatially ordered lattice structures (lattices) under free convection conditions. Thermal imaging measurements were carried out to visualize temperature fields and verify quantitative data, allowing for the determination of temperature distribution along the height of the heat sink. The simulation results showed satisfactory agreement with experimental data for heat-dissipating element (HDE) No. 2 in the range of thermal loads from 2 to 20 W. For HDE No. 1, deviations were recorded, indicating the presence of a stagnant zone in the central part of the radiator, which reduces the effectiveness of free convection as the main heat transfer mechanism.

УДК 536-537; 621.45.00.11.030

РАЗРАБОТКА НОВЫХ КРИТЕРИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ РАСЧЕТА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ИНТЕНСИФИКАЦИЮ ТЕПЛООТДАЧИ К МОТОРНОМУ АВИАЦИОННОМУ МАСЛУ В УСЛОВИЯХ ЕГО ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ ПРИ УЧЁТЕ НОВОГО КРИТЕРИЯ ПОДОБИЯ *Al*

Львов М.В., Хабибуллин А.М.

Научные руководители: Алтунин В.А., профессор, д. т. н., Алтунин К.В., доцент, д. т. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Аннотация. В докладе на основе результатов проведённых экспериментальных исследований разработаны и показаны новые методики расчёта теплоотдачи к моторным авиационным маслам при их вынужденной конвекции в кольцевом канале при влиянии поперечных электростатических полей с учётом использовании нового критерия подобия *Al.*

Повышение эффективности теплообмена в углеводородных жидкостях, в том числе, и в моторных авиационных маслах (МАМ), является весьма актуальной задачей, особенно для двигателей и энергоустановок летательных аппаратов (ЛА). Одним из способов увеличения коэффициента теплоотдачи к жидким углеводородным горючим и МАМ является применение электростатических полей (Е), которые также способствуют предотвращению осадкообразования в топливных и масляных системах ЛА, восстановлению свойств и увеличению срока эксплуатации МАМ, полной предтопливной подготовке жидких УВГ и УВО, повышению экологичности, полноты и качества сжигания топлива [1-11].

Алгоритмы и методики расчета влияния (Е) на теплоотдачу к МАМ в условиях естественной и вынужденной конвекции были подробно рассмотрены в статьях авторов [2-8, 10, 11]. Однако для моделирования таких процессов требуется дальнейшая разработка универсальных методов расчета, учитывающих как гидродинамические, так и электрофизические параметры системы.

Для использования в расчетах влияния (Е) на теплоотдачу к различным углеводородным жидкостям, в том числе, к углеводородным горючим и охладителям в [9] разработан, предложен и апробирован новый критерий подобия электрической конвекции *Al*:

$$Al = \frac{U_E^2}{h\rho_f \alpha_0 \Delta t}, \quad (1)$$

где U_E — напряжение тока (разность потенциалов на электродах), В; h — расстояние между электродами, м; ρ_f — удельное электрическое сопротивление рабочей среды (диэлектрика), Ом·м; α_0 — коэффициент теплоотдачи без электрической конвекции, Вт/(м^2·К); $\Delta t = t_w - t_f$, ^{0}С, t_w – температура стенки, ^{0}С, t_f – температура флюида, ^{0}С.

По своей сути, данный новый критерий отражает соотношение между электрической силой, инициирующей конвективное движение, и факторами, препятствующими этому движению и влияющими на теплообмен. Значимость этого числа подобия заключается в его универсальности. Оно позволяет сравнивать и обобщать результаты исследований электроконвекции в различных системах, независимо от абсолютных значений параметров.

Использование нового критерия подобия электрической конвекции *Al* позволяет составить критериальное уравнение для расчета теплоотдачи к жидким УВГ в условиях влияния (Е) вида [9]:

$$\mathrm{Nu}_E = c\mathrm{Re}^m \mathrm{Pr}^n Al^b, \quad (2)$$

где $\mathrm{Nu_E}$ – число Нуссельта с учетом электроконвекции; Re – число Рейнольдса; Pr – число Прандтля жидкости; *Al* – критерий подобия электрической конвекции; *c, m, n, b* – эмпирические константы.

Для нахождения (1) требуется определить удельное электрическое сопротивление рабочей среды ρ_f. Однако не для всех жидкостей существуют справочные данные по удельному электросопротивлению.

Известно [12-15], что для веществ с ионным характером электропроводности справедливо правило Вальдена — Писаржевского, которое показывает взаимосвязь удельной электропроводности и вязкости жидкости:

$$\gamma\eta = \text{const}, \tag{3}$$

где γ – удельная электропроводность [См/м], η – динамическая вязкость [Па×с].

Согласно [13, 14], было установлено, что для моторных масел правило Вальдена — Писаржевского (3) не выполняется, поэтому было предложено уточненное соотношение:

$$\gamma^s\eta = \text{const}, \tag{4}$$

где $s = \frac{W_в}{W_e}$ — отношение энергии активации вязкой проводимости к энергии активации электрической проводимости.

Используя формулу (4) и значения электропроводности моторного масла в одной точке, например, при t = 40 ^{0}C, а также значений энергии активации вязкой и электрической проводимостей, можно определить значение const.

Определив константу по формуле (4), $\text{const} = 1{,}689 \times 10^{-7}$, можно вычислить значения удельной проводимости для всего диапазона температур:

$$\gamma = \left(\frac{1{,}689 \times 10^{-7}}{\eta}\right)^{\frac{1}{s}}. \tag{5}$$

Один из способов определения эмпирических констант уравнения (2) – это графический метод [15]. Этот метод обобщения эмпирических данных заключается в последовательном построении графиков в логарифмических координатах следующих зависимостей:

$$lgNu_E = f(lgRe), \tag{6}$$

$$\lg\left(\frac{\mathrm{Nu}_E}{\mathrm{Re}^m}\right) = f(\lg\mathrm{Pr}), \tag{7}$$

$$\lg\left(\frac{\mathrm{Nu}_E}{\mathrm{Re}^m\mathrm{Pr}^n}\right) = f(\lg Al). \tag{8}$$

Эмпирические константы *m, n, c* — соответственно равны тангенсам угла наклона прямых на графиках зависимостей (6-8) к оси абсцисс.

Эмпирическая константа *c* определяется из уравнения (9), которому должно удовлетворять любое экспериментальное значение, либо берется среднее значение *c* для всех значений эмпирических данных.

$$c = \frac{\mathrm{Nu}_E}{\mathrm{Re}^m\mathrm{Pr}^n Al^b}. \tag{9}$$

После применения выше указанного метода обобщения к экспериментальным данным для МАМ марки МС-20 при различных плотностях теплового потока q_0 (без влияния (Е)) [11] были получены следующие уравнения:

$$\mathrm{Nu}_E = c\mathrm{Re}^{0{,}35}\mathrm{Pr}^{0{,}21}Al^{0{,}05}, \tag{10}$$

где коэффициенты *c* сведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения эмпирических коэффициентов *c* в формуле (10)

q_0, Вт/м^2	*c*
$q_0 \le 7{,}5 \times 10^4$;	1,15
$7{,}5 \times 10^4 < q_0 \le 43 \times 10^4$	1,96
$q_0 > 43 \times 10^4$	2,2

В результате обобщения экспериментальных данных по формуле (10) эмпирическая константа *c* приняла различные значения на различных диапазонах плотности теплового потока без влияния (Е) - q_0.

По результатам оценки модели (10) были получены:

- коэффициент детерминации модели $R^2 = 0{,}88$;

- среднеквадратичное отклонение значений Nu_E от экспериментальных данных $S = 4{,}17$;

- максимальное относительное отклонение расчетных значений Nu_E от экспериментальных составляет $\delta_{max} = 31\%$;

- средне относительное отклонение расчетных значений Nu_E от экспериментальных составляет $\delta_{ср} = 8{,}4\%$.

Для более полного сравнения новых формул приводим новую формулу (11) расчета числа Нуссельта в МАМ марки МС-20 в условиях вынужденной конвекции при влиянии (Е), которая была получена ранее и показана в статье авторов [11]:

$$\mathrm{Nu}_E = a\mathrm{Re}^d \mathrm{Pr}_f{}^e \mathrm{Pr}_w{}^f \mathrm{Gr}^g \left(\frac{U}{U_0}\right)^j \left(\frac{H}{H_0}\right)^k \left(\frac{q}{q_0}\right)^l, \qquad (11)$$

где *a, d, e, f, g, j, k, l* – эмпирические коэффициенты, найденные численными методами, их значения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты уравнения (11)

a	*d*	*e*	*f*	*g*	*j*	*k*	*l*
3474,871	0,022046	-2,0403	0,008446	-0,99641	-0,00095	-0,01264	1,007198

Для сравнения на рис. 1 представлен график зависимости числа Nu_E от плотности теплового потока q при различных термодинамических параметрах: для экспериментальных значений Nu_E, для рассчитанных по формулам (10) значений Nu_E и по формуле (11).

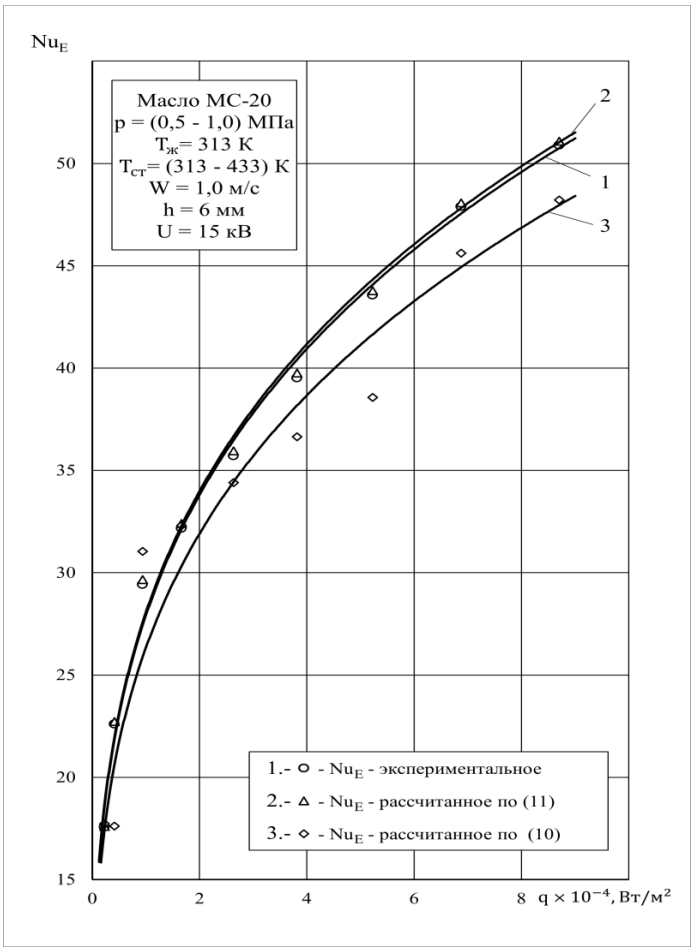


Рисунок 1. Число Нуссельта Nu_E экспериментальное, рассчитанное по формуле (11) и рассчитанное по формулам (10) в зависимости от плотности теплового потока q при расстоянии между электродами $h = 6$ мм, напряжении $U = 15$ кВ, скорости $W = 1$ м/с

Из обобщающего графика (см. рис. 1) видно, что линия *2*, полученная при расчетах по формуле (11) [11], практически совпадает с линией *1*, полученной в ходе экспериментальных исследований, причем это совпадение происходит при различных плотностях теплового потока и других рабочих параметрах, особенно заметно практически полное слияние линий *1* и *2*, что свидетельствует о хорошей и качественной формуле (11) в МАМ марки МС-20. А линия *3*, полученная при расчетах по формуле (10) с применением нового критерия подобия электрической конвекции *Al* (1), на рис. 1 располагается незначительно ниже линий *1* и *2*, причем эта разница возрастает с увеличение плотности теплового потока, что свидетельствует также о хорошей и качественной формуле (10) для МАМ марки МС-20.

Для примера на рис. 2 показан обобщенный график зависимости числа Nu_E от числа Re для всех экспериментальных точек при значении напряжения электростатического поля U = 15 кВ.

Необходимо отметить, что при различных скоростях прокачки МАМ марки МС-20, т. е. при различных числах Re (см. рис. 2), линии *1* и *2* практически полностью совпали, что подтверждает высокую качественность формулы (11) для МАМ марки МС-20, а линия *3* расположилась несколько ниже линий *1* и *2*, что также подтверждает высокую качественность формулы (10) для МАМ марки МС-20.

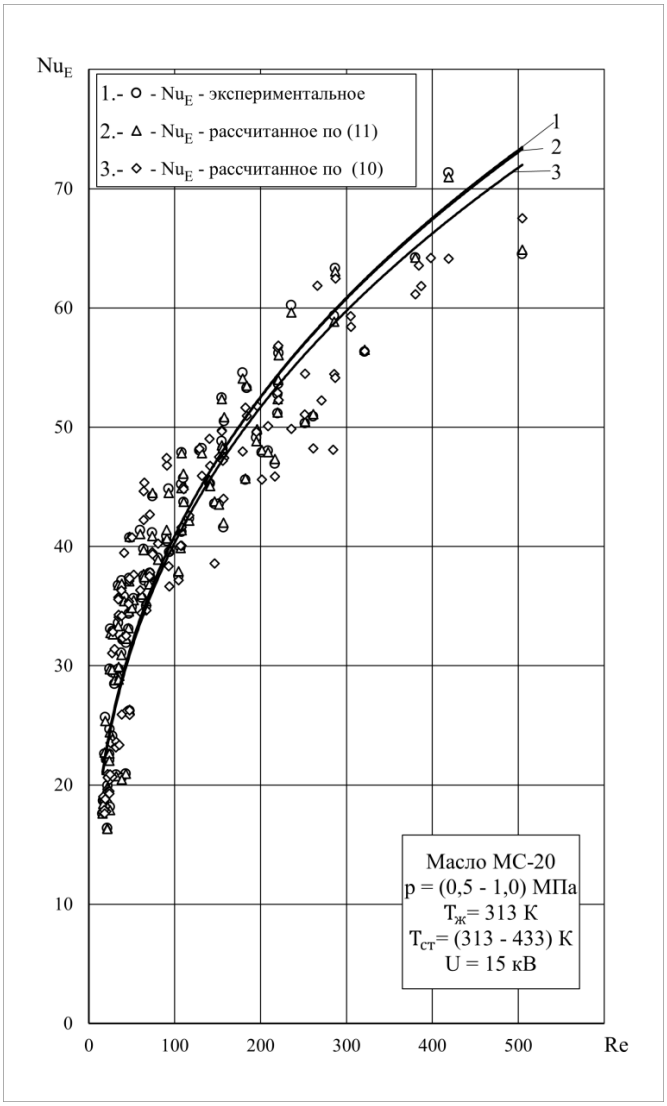


Рисунок 2. Число Нуссельта Nu_E экспериментальное (линия 1), рассчитанное по формуле (11) (линия 2) и рассчитанное по формулам (10) (линия 3) в зависимости от числа Рейнольдса (Re) для всех экспериментальных точек при значении высоковольтного электростатического напряжения U = 15 кВ

Заключение. Показаны результаты проверки нового метода расчета теплоотдачи к углеводородным жидкостям при воздействии электростатических полей на базе экспериментальных данных для МАМ марки МС-20.

Метод вводит новый критерий подобия *Al*, который вносит в классические критериальные уравнения электроконвективную составляющую теплоотдачи.

Критерий подобия *Al* позволяет учитывать напряжение электростатического поля и удельную электропроводность среды.

Результаты сравнения показали, что данный метод обобщения эмпирических данных и расчета теплоотдачи в условиях высоковольтных электростатических полей можно применять для МАМ с достаточной точностью.

Недостатком данного метода в применении к МАМ является необходимость знания их электропроводности. К сожалению, существующие справочники и спецификации свойств МАМ не содержат информации по этому параметру. Но даже в условиях использования приблизительных значений удельной электропроводности, модель, полученная данным методом, оказалась достаточно точной.

Применение *Al* также способствует сокращению объёмных формул, например, формулы (11).

Разработка нового критерия подобия *Al* расширяет науки, связанные с (Е) в жидких и газообразных средах: гидро-газо-электродинамику, тепло – и массообмен, химмотологию топлив.

Применение нового критерия подобия *Al* будет способствовать доступному расчету теплоотдачи при влиянии (Е) не только к жидким УВГ и УВО, но и к МАМ, в том числе, и к МАМ марки МС-20, а также к другим МАМ других марок.

Новая методика расчета теплоотдачи при использовании (Е) и нового критерия подобия *Al* будет способствовать разработке и созданию новой отечественной техники с новыми конструктивными схемами топливных, масляных и охлаждающих систем различного назначения и базирования повышенных характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Гортышов Ю.Ф., Дресвянников Ф.Н., Обухова Л.А., Тарасевич С.Э., Яновская М.Л.* Анализ исследований электрических полей в различных средах и условиях // Инженерно-физический журнал. 2012. Т. 85, № 4. С. 881-896.

2. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Щиголев А.А., Платонов Е.Н.* Разработка способов увеличения ресурса и надежности систем смазки двигателей внутреннего сгорания наземного транспорта // Известия вузов. Машиностроение. 2015. № 10 (667). С. 48-58.

3. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Щиголев А.А., Юсупов А.А.* Исследование возможности применения магнитных и электростатических полей для борьбы с осадкообразованием в авиационных моторных маслах двигателей, энергоустановок и техносистем наземного, воздушного и аэрокосмического базирования // Известия вузов. Машиностроение. 2017. № 3 (684). С. 76-88.

4. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Львов М.В., Щиголев А.А., Алиев И.Н., Яновская М.Л.* Проблемы систем смазки авиационных двигателей // Тепловые процессы в технике. 2021. Т. 13. № 8. С. 357-384.

5. *Алтунин В.А., Львов М.В., Щиголев А.А., Юсупов А.А., Яновская М.Л.* Экспериментальная установка для исследования влияния электростатических полей на теплообмен и процесс осадкообразования в моторном авиационном масле при его вынужденной конвекции // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2023, № 7, с. 113–123, doi: 10.18698/0536-1044-2023-7-113-123

6. *Алтунин В.А., Львов М.В., Юсупов А.А., Щиголев А.А., Пукачев И.Р., Яновская М.Л.* Результаты экспериментальных исследований тепловых процессов в условиях вынужденной конвекции моторного авиационного масла марки МС-20 // Инженерный журнал: наука и инновации, 2023, вып. 6. http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-6-2285.

7. *Алтунин В.А., Львов М.В., Юсупов А.А., Щиголев А.А., Гортышов Ю.Ф., Кореев Е.П., Яновская М.Л.* Результаты экспериментального исследования влияния электростатических полей на тепловые процессы в моторном авиационном масле марки МС-20 в условиях его вынужденной конвекции. Часть 1. // Инженерный журнал: наука и инновации, 2023, вып. 11. http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-11-2317.

8. *Алтунин В.А., Львов М.В., Юсупов А.А., Щиголев А.А., Гортышов Ю.Ф., Кореев Е.П., Яновская М.Л.* Результаты экспериментального исследования влияния электростатических полей на тепловые процессы в моторном авиационном масле марки МС-20 в условиях его вынужденной конвекции. Часть 2. // Инженерный журнал: наука и инновации, 2023, вып. 12. http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-12-2324.

9. *Алтунин К.В.* Разработка научных основ создания эффективных систем подвода для жидких и газообразных горючих и теплоносителей в тепловых двигателях и энергоустановках: Дис. … д-ра. техн. наук по специальностям: 1.3.14; 2.5.15. Казань, 2023. 707 с.

10. *Алтунин В.А., Львов М.В., Юсупов А.А., Щиголев А.А., Кореев Е.П., Яновская М.Л.* Анализ методик расчета теплоотдачи к моторному авиационному маслу марки МС-20 в условиях вынужденной конвекции в кольцевом канале с учетом их верификации с экспериментом // Инженерный журнал: наука и инновации, 2023, вып. 7. http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-7-2293.

11. *Алтунин В.А., Львов М., Юсупов А.А., Щиголев А.А., Гортышов Ю.Ф., Кореев Е.П., Яновская М.Л.* Методики расчета влияния электростатических полей на теплоотдачу к моторному авиационному маслу марки МС-20 в условиях его вынужденной конвекции. // Инженерный журнал: наука и инновации, 2024, вып. 7. EDN KVVODU.

12. *Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А.* Коллоидная химия. М.: Высшая школа, 2004. 445 с.

13. *Изместьев И. В., Кожевникова О.А.* Поляризация и электропроводность некоторых моторных масел как дисперсных систем. // Вестник Пермского университета. Физика, 2017, 1 (32), с. 43-50.

14. *Кожевникова О.А.* Корреляция электропроводности и вязкости двух моторных масел серии castrol // Физика для Пермского края: материалы региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых – Пермь, 2015. – Вып. 8. С. 134-137.

15. *Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.* Теплопередача. М.: Энергия. 1975. 488 с.

DEVELOPMENT OF NEW CRITERION EQUATIONS FOR CALCULATION OF THE INFLUENCE OF ELECTROSTATIC FIELDS ON THE INTENSIFICATION OF HEAT TRANSFER TO ENGINE AVIATION OIL UNDER CONDITIONS OF ITS FORCED CONVECTION TAKING INTO ACCOUNT THE NEW SIMILARITY CRITERION *Al*

Lvov M.V., Khabibullin A.M.

Supervisors: Altunin V.A., Professor, Doctor of Engineering Sciences,
Altunin K.V., Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Abstract. In the report, based on the results of the conducted experimental studies, new methods for calculating heat transfer to motor aviation oils during their forced convection in an annular channel under the influence of transverse electrostatic fields were developed and shown, taking into account the use of the new similarity criterion *Al*.

УДК 536-537; 621.45.00.11.030

РАЗРАБОТКА МЕТОДИК РАСЧЁТА ТЕПЛООТДАЧИ К МОТОРНЫМ АВИАЦИОННЫМ МАСЛАМ ПРИ ИХ ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ И ВЛИЯНИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Львов М.В., Хабибуллин А.М.

Научный руководитель: Алтунин В.А., профессор, д. т. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, г. Казань)*

Аннотация. В докладе на основе обзора и анализа научно-технической литературы, а также на основе результатов проведённых экспериментальных исследований разработаны и показаны новые методики расчёта теплоотдачи к моторным авиационным маслам при их вынужденной конвекции в кольцевом канале при влиянии поперечных электростатических полей и при различных термодинамических условиях.

В моторных авиационных маслах ранее не проводились экспериментальные исследования с применением электростатических полей (Е) [1-3]. Экспериментальные исследования по влиянию (Е) в различных углеводородных средах проводили [4-9]. Исследования (Е) в моторных авиационных маслах (МАМ) в условиях их вынужденной конвекции были проведены авторами доклада [9-18]. В настоящее время отсутствуют методики расчёта коэффициентов теплоотдачи и относительных коэффициентов теплоотдачи к МАМ в условиях их вынужденной конвекции при влиянии (Е). Поэтому были разработаны новые методики расчёта тепловых процессов в МАМ в условиях вынужденной конвекции при влиянии (Е) на базе экспериментов с МАМ марки МС-20. При рассмотрении методик расчётах тепловых процессов в МАМ необходимо знать следующие величины:

- α_0 - коэффициент теплоотдачи к МАМ (без влияния (Е));
- α_E - коэффициент теплоотдачи к МАМ (с влиянием (Е));
- Nu_0 – число Нуссельта (без влияния (Е));
- Nu_E - число Нуссельта (с влиянием (Е));
- K_E – относительный коэффициент теплоотдачи, который имеет вид:

$$K_E = \frac{\alpha_E}{\alpha_0} = \frac{Nu_E}{Nu_0} \,. \qquad (1)$$

Первая методика. Значения α_E, Nu_E, K_E определяются из экспериментальной базы авторов статьи - по экспериментальным таблицам. Табличные экспериментальные значения α_E, Nu_E, K_E были ранее показаны в статьях [16-17] авторов данного доклада, экспериментальные значения K_E, для примера, также приведены в данном докладе в таблице 1.

Таблица 1

Коэффициент K_E при h = 6 мм, U = 15 кВ

h = 6 мм (расстояние между рабочими соосными иглами)					
$q \times 10^{-4}$, Вт/м^2	K_E				
	W = 1 м/с	W = 1,5 м/с	W = 2 м/с	W = 3 м/с	W = 4 м/с
U = 15 кВ					
3	1,186	1,144	1,150	1,164	1,138
4	1,199	1,148	1,146	1,172	1,154
5	1,205	1,152	1,144	1,172	1,167
6	1,205	1,157	1,144	1,167	1,178
7	1,200	1,163	1,145	1,157	1,189
8	1,190	1,169	1,148	1,144	1,200

Данная методика является довольно быстрой и точной, но для определения промежуточных значений α_E, Nu_E, K_E будет необходимо проводить корреляционные

расчёты (интерполяцию): для промежуточных давлений, скоростей прокачки МАМ, плотностей теплового потока, подаваемых высоковольтных электростатических напряжений.

Вторая методика. Значения α_E, Nu_E, K_E определяются из экспериментальной базы авторов доклада - по экспериментальным графикам.

Данная методика тоже является быстрой и точной, а кроме того, в этом случае отпадает необходимость в проведении корреляционных расчётов (интерполяции) при нахождении промежуточных значений.

Экспериментальные значения α_E, Nu_E, K_E ранее были показаны на графиках в предыдущих статьях и публикациях [9-17] авторов данного доклада, экспериментальные значения K_E в зависимости от различных рабочих параметров, для примера, также приведены в данной статье на рис. 1-2 с дальнейшим раскрытием особенностей тепловых процессов при (Е).

Из рис. 1 видно, что при увеличении расстояния между электродами h происходит уменьшение относительного коэффициента K_E, что связано с уменьшением возможностей электрического ветра по турбулизации МАМ, т.е. с уменьшением его электрогидродинамической силы.

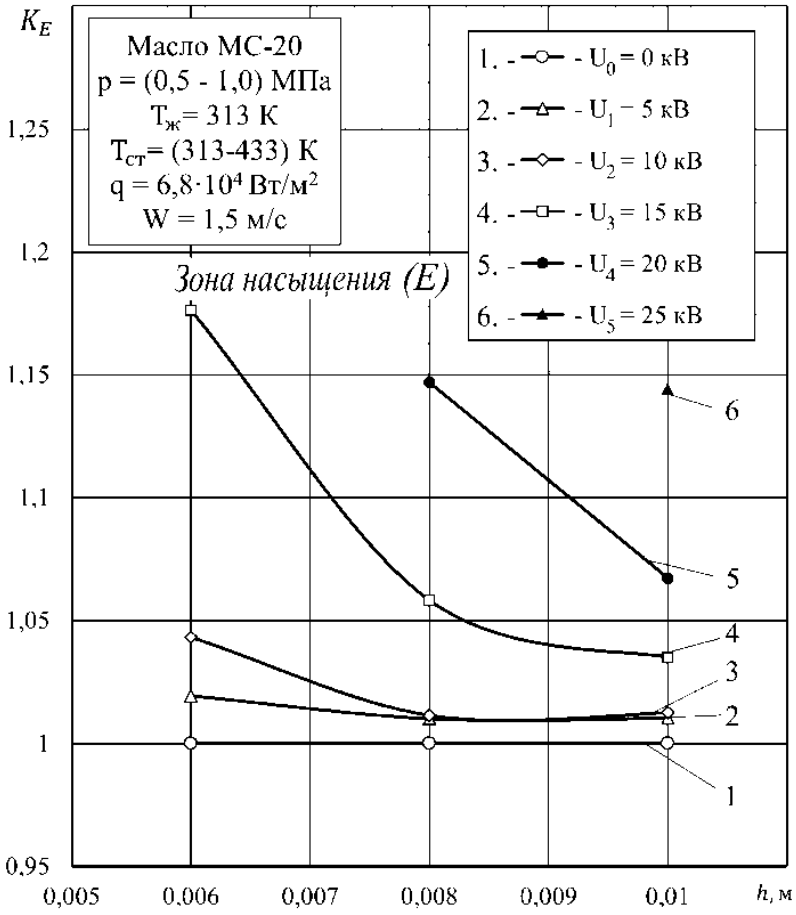


Рисунок 1. Коэффициент K_E для различных значений напряжения U в зависимости от расстояния между электродами h при скорости W = 1,5 м/с, плотности теплового потока $q = 6{,}8 \times 10^4$ Вт/м^2

Из рис. 2 видно, что при увеличении числа Рейнольдса до значений Re = (17…18) значения K_E уменьшаются, а затем – увеличиваются. Это связано с перестройкой пограничного слоя, с ТФС МАМ, с термодинамическими условиями МАМ в кольцевом канале с центральной нагреваемой трубкой, с расстоянием между рабочими соосными иглами и подаваемым электростатическим напряжением.

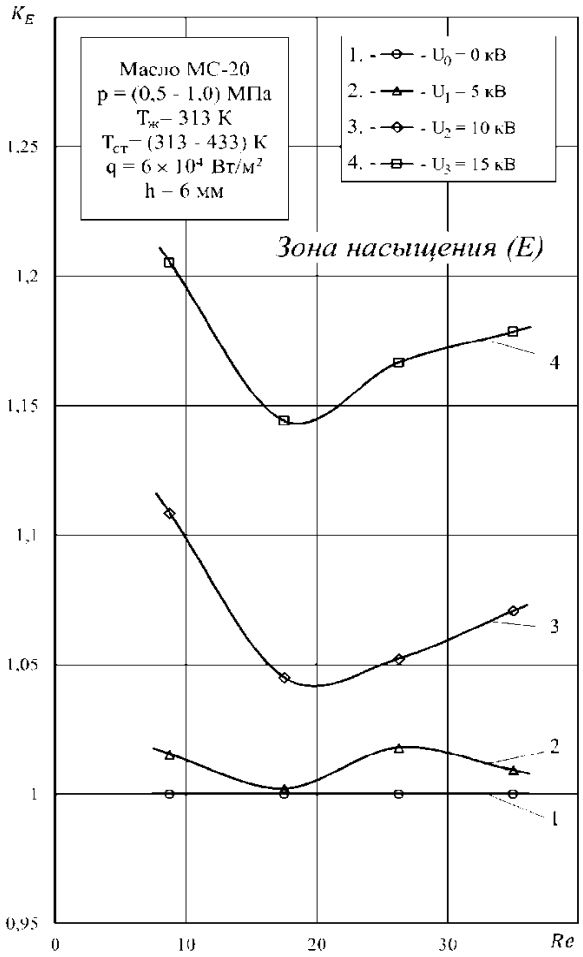


Рисунок 2. Коэффициент K_E для различных значений напряжения U в зависимости от числа Рейнольдса при расстоянии между электродами h = 6 мм, плотности теплового потока $q = 6 \times 10^4$ Вт/м^2

Третья методика. Значения α_E, Nu_E, K_E определяются расчётным путём по новым формулам, которые были созданы авторами доклада по результатам экспериментальных исследований.

Способы расчётного определения K_E. Авторами данной статьи было выдвинуто предположение, что формула расчета коэффициента K_E имеет степенной вид, аналогичный критериальным уравнениям теплоотдачи, но с учетом дополнительных безразмерных параметров:

$$K_E = f\left(Re, Pr, Gr, \frac{U}{U_0}, \frac{h}{h_0}, \frac{q}{q_0}\right), \quad (2)$$

где $\frac{U}{U_0}, \frac{h}{h_0}, \frac{q}{q_0}$ – симплексы подобия, учитывающие влияние подаваемого высоковольтного электростатического напряжения, расстояния между электродами (рабочими соосными иглами) и плотности теплового потока соответственно.

Для упрощения использования симплексов подобия в формуле (2) и в других последующих формулах приняли: $U_0 = 1$ кВ, $h_0 = 1$ м, $q_0 = 1$ Вт/м^2.

Далее был разработан и предложен наиболее оптимальный вид уравнения для расчета коэффициента K_E, который отличается от первоначального вида:

$$K_E = 1 + aRe^b {Pr_f}^c {Pr_w}^d \left(\frac{U}{U_0}\right)^e \left(\frac{H}{H_0}\right)^f Gr^g \left(\frac{q}{q_0}\right)^k, \quad (3)$$

где Pr_f и Pr_w – числа Прандтля при температуре масла в потоке и температуре стенки соответственно.

Данное уравнение состоит из двух слагаемых, первое учитывает составляющую теплоотдачи без влияния электростатических полей, второе определяет усиление теплоотдачи от воздействия электростатическим полем.

Коэффициенты a, b, c, d, e, f, g, k были определены с помощью численного метода последовательного приближения.

В качестве алгоритма оптимизации был выбран метод Бройдена – Флетчера – Гольдфарба - Шанно (BFGS) [18]. Полученные коэффициенты для уравнения (3) представлены в таблице 2.

Таблица 2

Коэффициенты для уравнения (3)

a	b	c	d	e	f	g	k	R^2
0,00056	-0,18969	-2,61152	-0,24425	2,571005	-2,52922	-1,1918	0,722049	0,846546

Коэффициент детерминации у данной модели составляет: $R^2 = 0{,}846$, а среднеквадратичное отклонение составляет: $S = 0{,}027$, что характеризует данную модель, как достаточно точную для инженерных расчетов.

Максимальное относительное отклонение α_E по формуле (3) от экспериментальных значений $\alpha_{эксп.E}$ составляет: δ = 11,3 %.

Это неплохой результат, т.к. при использовании (E) в различных жидких средах и расчётах по разработанным формулам с (E) в условиях вынужденной конвекции у других авторов отклонения составляли от 30 до 40 %.

В целях повышения точности расчетов, определяемых формулой (3), был реализован дифференцированный подход, заключающийся в выборе различных коэффициентов в соответствии с конкретными условиями.

Был создан и определен комплекс (4), позволяющий учесть особенности теплоотдачи в зависимости от параметров течения МАМ и параметров электростатического поля:

$$\frac{U \cdot 10^{-6}}{Re \cdot h}, \text{В/м}. \qquad (4)$$

Выбор данного комплекса обусловлен наблюдением прямой зависимости коэффициента K_E от величины напряжения электростатического поля и обратной зависимостью коэффициента K_E от расстояния между электродами и числом Рейнольдса. Коэффициенты, вычисленные с учетом комплекса (4), представлены в таблице 3.

Коэффициент детерминации у данной модели составляет: $R^2 = 0{,}947$, а среднеквадратичное отклонение составляет: $S = 0{,}016$.

Максимальное относительное отклонение значений α_E, рассчитанных по формуле (3) с учетом комплекса (4), от экспериментальных значений $\alpha_{эксп.E}$ составляет: δ = 11,3 %.

На рис. 3, для примера, представлены графики сравнения экспериментальных и расчетных значений коэффициента K_E в зависимости от плотности теплового потока q, где сплошной линией показаны экспериментальные значения относительного коэффициента K_E, а пунктирной – рассчитанные по формуле (3) с учетом комплекса (4).

Таблица 3

Коэффициенты уравнения (3) с учетом комплекса (4)

$\frac{U \cdot 10^{-6}}{Re \cdot h}$	a	b	c	d	e	f	g	k	R^2
[3…24]	4,9730	0,4592	-2,4455	-0,8711	3,5575	0,3259	-2,0093	0,7730	0,9641
[24…45]	4,2950	0,4392	-11,2611	1,4822	1,7267	0,7118	-5,7850	6,2893	0,9516
[45…65]	4,6954	0,3347	-5,4715	-0,5904	2,6954	-2,3035	-2,9633	1,8369	0,9518
[65…86]	0,0003	2,4239	-2,9238	0,2517	0,5961	0,3376	-1,6272	1,6021	0,9290
[86…106]	4,8334	0,5911	-5,6650	0,2330	1,5431	-0,7470	-2,8842	2,4935	0,8664
[106…126]	4,8380	0,0363	-2,4418	-0,5124	2,0719	-1,3552	-1,1939	0,4501	0,8946

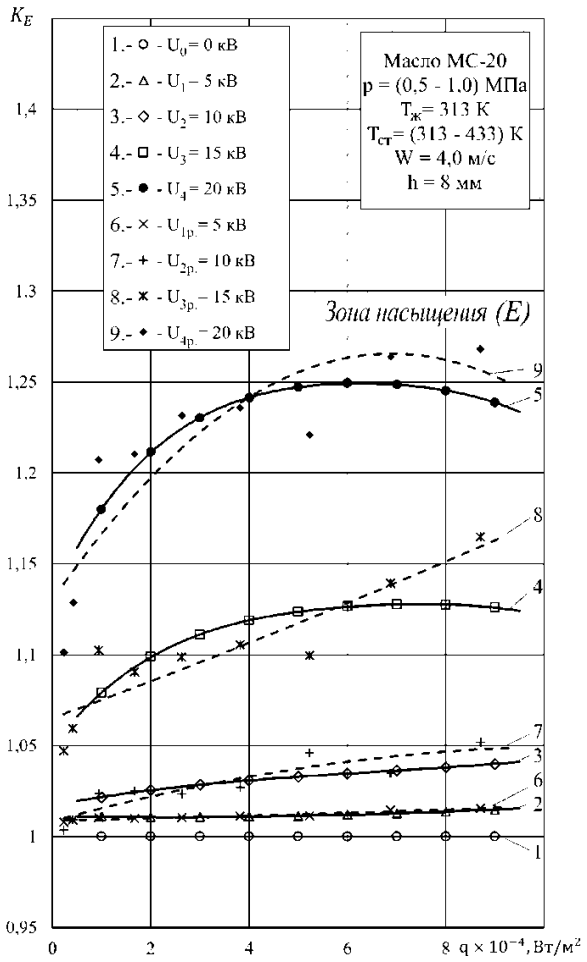


Рисунок 3. Коэффициент K_E экспериментальный (сплошная линия) и рассчитанный (пунктирная линия) формуле (3) с учетом комплекса (4) для различных значений напряжения U в зависимости от плотности теплового потока q при расстоянии между электродами h = 8 мм, скорости W = 4 м/с

Способы определения Nu_E и α_E. В ходе анализа и обсуждения результатов исследования было разработано критериальное уравнение (5) расчета числа Нуссельта Nu_E для вынужденной конвекции при воздействии электростатическими полями на МАМ марки МС-20. Коэффициенты найдены численным методом последовательного приближения и представлены в таблице 4.

$$Nu_E = aRe^b Pr_f{}^c Pr_w{}^d \left(\frac{U}{U_0}\right)^e \left(\frac{H}{H_0}\right)^f Gr^g \left(\frac{q}{q_0}\right)^k \quad (5)$$

Таблица 4

Коэффициенты для уравнения (5)

a	b	c	d	e	f	g	k	R^2
3474,871	0,022046	-2,0403	0,008446	-0,00095	-0,01264	-0,99641	1,007198	0,999164

Коэффициент детерминации у данной модели составляет: $R^2 = 0{,}999$, а среднеквадратичное отклонение составляет: $S = 0{,}347$, что говорит о высокой точности модели. Максимальное относительное отклонение расчётных значений Nu_E от экспериментальных составляет δ = 4,8 %. Это очень хороший результат.

Заключение. Авторами разработаны и показаны: общая методика применения (Е) в МАМ двигателей и ЭУ ЛА; различные пути определения влияния (Е) на теплоотдачу к МАМ марки МС-20 при вынужденной конвекции в кольцевом канале.

Новые методики расчёта теплоотдачи к МАМ марки МС-20 являются примером научно-методического направления для разработки новых формул для других МАМ в аналогичных термодинамических условиях без использования и с использованием (Е).

Материалы данного доклада будут способствовать быстрому и эффективному проектированию, расчёту и созданию новых и перспективных масляных систем повышенных характеристик для отечественных двигателей и ЭУ летательных аппаратов различного назначения и базирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Бабкин В.И., Алексашин А.А., Яновский Л.С., Дунаев С.В., Хурумова А.Ф.* Отечественные смазочные масла для авиационных газотурбинных двигателей: проблемы и перспективы // Двигатель. 2012. № 5 (83). С. 8 - 11.

2. *Яновский Л.С., Харин А.А., Бабкин В.И.* Основы химмотологии: учебник. М. - Берлин: Директ - Медиа, 2016. 482 с.

3. *Трянов А.Е.* Конструкция масляных систем авиационных двигателей. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. 81 с.

4. *Бологa М.К., Бабой Н.Ф.* Влияние электрического поля на теплообмен при кипении органических жидкостей // Электронная обработка материалов. 1967. № 3. С. 30-40.

5. *Бабой Р.Ф., Бологa М.К.* Некоторые особенности процесса кипения в электрическом поле // Электронная обработка материалов. 1968. № 2. С. 57-70.

6. *Бабой Р.Ф., Бологa М.К.* Теплообмен при кипении органических жидкостей в электрическом поле // Тепло и массоперенос. Минск, 1968. Т. 2. С. 197-204.

7. *Бологa М.К., Гросу Ф.П., Кожухарь И.А.* Электроконвекция и теплообмен. Кишинёв: Изд-во «Штиинца»,1977. 320 с.

8. *Бологa М.К., Смирнов Г.Ф., Климов С.М., Майборода А.Н.* Теплообмен при кипении в щелевых каналах под воздействием электрическогог поля // Тепломасообмен – 7. Минск: Изд-во ИТМО. 1984. С. 20-25.

9. *Миролюбов Н.Н., Костенко М.В., Левинштейн М.Л., Тиходеев Н.Н.* Методы расчёта электростатических полей. М.: Изд-во «Высшая школа», 1963.416 с.

10. *Алтунин В.А., Львов М.В., Щиголев А.А., Юсупов А.А., Кореев Е.П., Яновская М.Л.* Экспериментальное исследование тепловых процессов при вынужденной конвекции авиационных моторных масел // Сб. статей «Современные проблемы ракетной и космической техники», материалы полных докладов на секции № 2: «Проблемы ракетной и космической техники» 57 –ых научных чтений, посвящённых разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского (21 сентября 2022 г., г. Калуга, ГМИК). РАН. РАКЦ. Казань: Изд-во «Школа», 2023. С. 204-218.

11. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Львов М.В., Щиголев А.А., Алиев И.Н., Яновская М.Л.* Проблемы систем смазки авиационных двигателей // Тепловые процессы в технике. 2021. Т. 13. № 8. С. 357-384.

12. *Алтунин В.А., Львов М.В., Каськов А.С., Щиголев А.А., Яновская М.Л.* Проблемы осадкообразования в системах смазки двигателей летательных аппаратов // Современные проблемы ракетной и космической техники: сб. научных статей (полных докладов) 56 научных чтений памяти К.Э. Циолковского по секции № 2: «Проблемы ракетной и космической техники». (Калуга, 21-22 сентября 2021 г.). РАН. РАКЦ. Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2022. С. 99-113.

13. *Алтунин В.А., Львов М.В., Щиголев А.А., Юсупов А.А., Яновская М.Л.* Экспериментальная установка для исследования влияния электростатических полей на теплообмен и процесс осадкообразования в моторном авиационном масле при его вынужденной конвекции // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2023, № 7, с. 113–123, doi: 10.18698/0536-1044-2023-7-113-123

14. *Алтунин В.А., Львов М.В., Юсупов А.А., Щиголев А.А., Пукачёв И.Р., Яновская М.Л.* Результаты экспериментальных исследований тепловых процессов в условиях

вынужденной конвекции моторного авиационного масла марки МС-20 // Инженерный журнал: наука и инновации, 2023, вып. 6. http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-6-2285.

15. *Алтунин В.А., Львов М.В., Юсупов А.А., Щиголев А.А., Кореев Е.П., Яновская М.Л.* Анализ методик расчета теплоотдачи к моторному авиационному маслу марки МС-20 в условиях вынужденной конвекции в кольцевом канале с учетом их верификации с экспериментом // Инженерный журнал: наука и инновации, 2023, вып. 7. http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-7-2293.

16. *Алтунин В.А., Львов М.В., Юсупов А.А., Щиголев А.А., Гортышов Ю.Ф., Кореев Е.П., Яновская М.Л.* Результаты экспериментального исследования влияния электростатических полей на тепловые процессы в моторном авиационном масле марки МС-20 в условиях его вынужденной конвекции. Часть 1. // Инженерный журнал: наука и инновации, 2023, вып. 11. http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-11-2317.

17. *Алтунин В.А., Львов М.В., Юсупов А.А., Щиголев А.А., Гортышов Ю.Ф., Кореев Е.П., Яновская М.Л.* Результаты экспериментального исследования влияния электростатических полей на тепловые процессы в моторном авиационном масле марки МС-20 в условиях его вынужденной конвекции. Часть 2. // Инженерный журнал: наука и инновации, 2023, вып. 12. http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-12-2324.

18. *Nocedal, Jeorge; Wright, Stephen J.* // Numerical Optimization. — 2nd edition. — USA: Springer, 2006. (ISBN 978-0-387-30303-1). (9).

DEVELOPMENT OF METHODS FOR CALCULATING HEAT TRANSFER TO ENGINE AVIATION OILS DURING THEIR FORCED CONVECTIONAND THE INFLUENCE OF ELECTROSTATIC FIELDS

Lvov M.V., Khabibullin A.M.

Supervisor: Altunin V.A., Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In the report, based on a review and analysis of scientific and technical literature, as well as on the results of experimental studies, new methods for calculating heat transfer to motor aviation oils during their forced convection in an annular channel under the influence of transverse electrostatic fields and under various thermodynamic conditions have been developed and shown.

УДК 536.24

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФОРМЫ ВЕЕРНЫХ ОТВЕРСТИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ЗАВЕСЫ

Любимов П.Е.

Научные руководители: Щукин А.В., профессор, д. т. н., Такмовцев В.В., доцент, к. т. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань*)

Аннотация. Представлены результаты экспериментального исследования тепловой завесы модели лопатки турбины при вдуве охладителя через однорядный поясок веерных отверстий различной формы.

Развитие современного авиационного двигателестроения связано с повышением температуры газа перед турбиной, что позволяет увеличить удельные параметры двигателей. Однако данная тенденция требует не только применения современных сплавов и термобарьерных покрытий, но и совершенствования эффективных систем охлаждения турбинных лопаток [1]. Особенно это актуально для надежной работы сопловых и рабочих лопаток турбин высокого давления, которые в современных двигателях работают при температурах газа достигающих 1950 К.

Около 30 лет назад началось интенсивное исследование и внедрение в системы охлаждения новых схем отверстий для пленочного охлаждения горячих деталей газотурбинных двигателей, которые называются веерными [2, 3]. Эти схемы имеют одно принципиальное отличие от хорошо известных цилиндрических отверстий: вторая по ходу потока часть отверстия выполнена в форме плоского диффузора. В результате, благодаря снижению скорости вторичного потока воздуха в диффузорном канале, за сечением вдува при высоких параметрах вдува происходит снижение интенсивности самоорганизации крупномасштабных вихревых структур, что повышает эффективность пленочного охлаждения η.

Этот параметр η определялся по формуле

$$\eta = (T^*_{\text{осн}} - T^*_{\text{пл}})/(T^*_{\text{осн}} - T^*_{\text{вт}}),$$

где $T^*_{\text{осн}}$, $T^*_{\text{вт}}$ – температуры основного и вторичного потоков в сечении вдува; $T^*_{\text{пл}}$ – температура пленки. Все полученные в экспериментах значения η осреднялись по шагу отверстий вдува, расположенных в однорядном пояске.

К сожалению, положительный эффект, получаемый от использования веерных отверстий в части борьбы с самоорганизацией крупномасштабных вихревых структур, охватывает только высокие значения параметра вдува m, который записывается формулой

$$m = (\rho W)_{\text{вт}}/(\rho W)_{\text{осн}},$$

где $(\rho W)_{\text{вт}}$ – массовая скорость вторичного (вдуваемого) потока; $(\rho W)_{\text{осн}}$ – массовая скорость основного потока.

А при низких значениях m за сечением вдува слишком низка кинетическая энергия вторичного потока. В результате возникающей при этом неустойчивости тепловой завесы значительно снижается значение эффективности пленочного охлаждения. Это и другие имеющиеся положительные и отрицательные особенности использования веерных отверстий свидетельствуют о том, что необходимы сравнительные исследования значений η, позволяющие научно обоснованно выбрать необходимую схему веерного отверстия для использования в системах охлаждения турбинных лопаток газотурбинных двигателей.

Важнейшими геометрическими параметрами для выбора и сравнения полученных результатов являются: базовые цилиндрическое и веерное отверстия, угол подрезки задней кромки веерного отверстия, угол раскрытия диффузорного участка в плане для веерного отверстия и форма боковых стенок диффузорного участка веерного отверстия в плане.

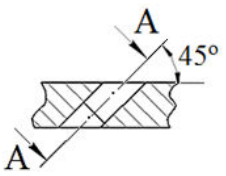
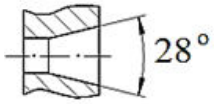
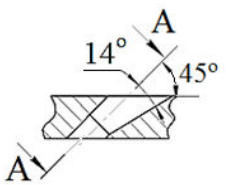
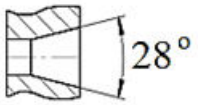
Экспериментальные исследования проводились на установке, описанной в [4]. Вдув через однорядные веерные отверстия производился под углом 45°, который наиболее часто применяется на участках спинки и корытца профильной части сопловых турбинных лопаток. В связи с этим в рамках поиска оптимального варианта подрезки задней кромки веерных отверстий, для сравнительного исследования был выбран угол вдува α = 45°, при численном значении которого и анализировались различные схемы веерных отверстий.

В каждом ряду изготовленных из текстолита моделей имелось 5 отверстий. Всего было исследовано шесть однорядных поясков. Базовый поясок имел полностью цилиндрическую форму диаметром d = 5 мм, как и цилиндрическая часть веерных отверстий. Пять вариантов отверстий имели веерные форму. Параметр веерности отверстий характеризовался двумя углами раскрытия: 28° и 20°, а подрезка задней кромки выполнена под углом 10°. Относительный шаг между отверстиями вдува составлял t/d = 2. Участок для измерений адиабатной температуры стенки за сечением вдува имел протяженность x/d = 80.

Были исследованы следующие пять вариантов моделей веерных отверстий, из которых схемы базовой (индекс «б») и наиболее эффективной (индекс М1) моделей представлены в Таблице 1. У веерного базового отверстия вдува угол подрезки 0°; угол раскрытия диффузора в плане 28°. Соответственно у веерного модифицированного М1 отверстия вдува – угол подрезки 14°; угол раскрытия диффузора в плане 28°.

Таблица 1

Схемы исследованных веерных отверстий вдува охладителя

Форма отверстия вдува	Продольное сечение	Сечение А-А	Вид в плане	Обозначение эффективности пленочного охлаждения
Веерное (базовое)				$\eta_{веер.б}$
Веерное (модифициро-ванное М1)				$\eta_{веер.М1}$

Подробно сравнительный анализ проведенных экспериментов по определению эффективности пленочного охлаждения плоской стенки η представлен в докладе. Здесь же отметим только, что наиболее высокие его значения достигаются у варианта веерного отверстия (веер.М1). Как видно на графике рис. 1, при высоких значениях параметра вдува ($m \geq 1{,}0$) на всем протяжении тепловой завесы участки охлаждаемой поверхности, эффективность пленочного охлаждения модифицированных веерных отверстий формы М1 выше эффективности тепловой завесы, создаваемой веерными отверстиями базовой формы.

При низких значениях параметра вдува, как это получено в различных экспериментальных исследованиях, вторичный поток на участке диффузорной формы веерного отверстия по мере продвижения к сечению вдува снижает свою кинетическую энергию.

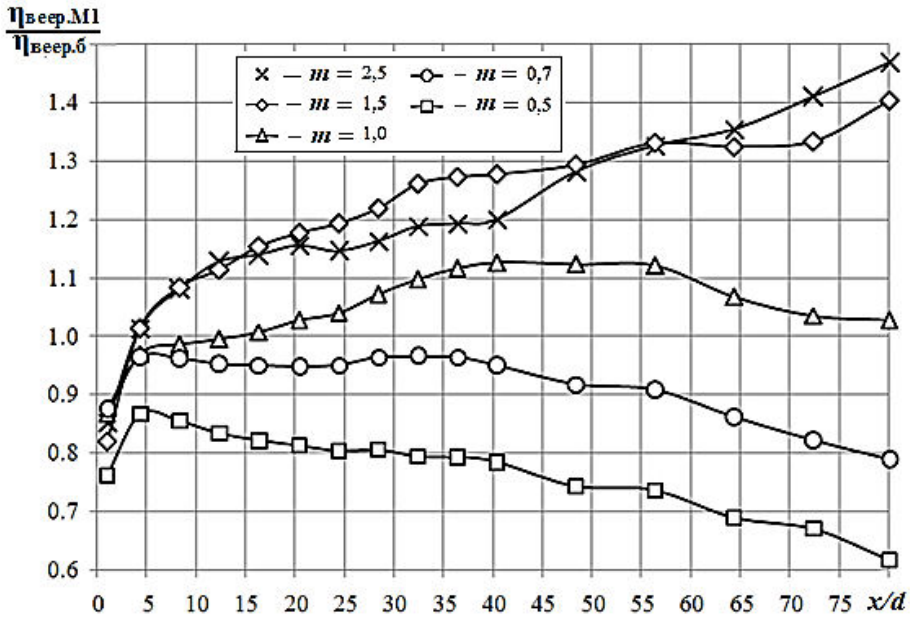


Рисунок 1. Сравнение эффективности пленочного охлаждения исследованных веерных отверстий

Таким образом, сравнительный анализ полученных результатов показывает, что веерные отверстия формы М1 могут быть рекомендованы для применения в одиночном или последнем ряду многорядной системы отверстий при высоких значениях параметра вдува *m*.

Рост количества публикаций по исследованию изучаемой тематики позволит научно обоснованно рекомендовать наиболее целесообразные схемы подрезки задней кромки веерных отверстий для турбинных лопаток газотурбинных двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Иноземцев А.А., Нихамкин М.А., Сандрацкий В.Л.* Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. – М.: Машиностроение, 2008. Т. 2. 368с.

2. *Тихонов А.С. Самохвалов Н.Ю.* Анализ использования профилированных отверстий перфорации для повышения качества пленочного охлаждения спинки сопловых лопаток турбин // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2012. Т. 16. № 5(50). С. 20-27.

3. *Kampe T. et al.* Experimental and Numerical Investigation of Flow Field and Downstream Surface Temperatures of Cylindrical and Diffuser Shaped Film Cooling Holes //Proceeding of ASME Turbo Expo. 2011. GT2011-45106.

4. *Марчуков Е.Ю. и др.* Сравнительный анализ эффективности тепловой завесы за поясками веерных и цилиндрических отверстий в широком диапазоне изменения угла и параметра вдува // Теплофизика и аэромеханика. 2021. Т. 28. №5. С. 691-702.

IMPROVEMENT OF THE SHAPE OF FAN OPENINGS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THE AIR CURTAIN

Lyubimov P.E.

Supervisors: Shchukin A.V., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences,
Takmovtsev V.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The results of an experimental study of the thermal curtain of a turbine blade model with coolant injection through a single-row belt of fan-shaped holes of various shapes are presented.

УДК 536.24

О ПЛЕНОЧНОМ ОХЛАЖДЕНИИ ВХОДНОЙ КРОМКИ ТУРБИННОЙ ЛОПАТКИ С ПУЛЬСИРУЮЩИМ ВТОРИЧНЫМ ПОТОКОМ ВОЗДУХА

Любимов П.Е.

Научные руководители: Щукин А.В., профессор, д. т. н., Ильинков А.В., доцент, к. т. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань*)

Аннотация. Представлены результаты экспериментального исследования тепловой завесы на входной кромке модели сопловой лопатки при вдуве охладителя через цилиндрические и веерные отверстия при стационарном и пульсирующем режимах, при разных углах и параметрах вдува.

Эксплуатация сопловых аппаратов турбины высокого давления газотурбинных двигателей (ГТД) и энергетических установок показывает, что ресурс лопаток во многом определяет состояние их входных кромок. Основной причиной этого являются трудности организации воздушного охлаждения стенки на участке входной кромки и сложная гидродинамика ее обтекания потоком горячего газа.

Поскольку современные ГТД имеют температуру газа перед турбиной $T_г^*$ около 1800…2000К, то внутреннего конвективного охлаждения для обеспечения допускаемой температуры стенки лопатки недостаточно. Тем более, что натекание горячего потока газа на

входную кромку происходит под большими углами, достигающими 90°, что приводит к высоким коэффициентам теплоотдачи от газового потока к внешней поверхности профиля лопатки. Высокие температуры газа усугубляются еще отсутствием пограничного слоя на внешней поверхности участка входной кромки лопатки, что дополнительно повышает уровень температур лопатки.

Перечисленные выше особенности гидродинамики и теплообмена приводят к увеличению необходимых расходов охлаждающего воздуха для обеспечения заданных температур участка входной кромки лопатки. Поскольку одной из основных причин ухудшения удельных параметров охлаждаемых турбин являются большие расходы охлаждающего воздуха, то основной задачей в расчете и проектировании систем охлаждения является экономия охладителя. Реализации этой цели способствует ускорение основного потока в межлопаточном канале соплового аппарата и консервативное воздействие массовых сил, обтекающих выпуклую поверхность.

Одним из факторов, который может положительно влиять на эффективность пленочного охлаждения, является, например, наложение на вторичный поток пульсаций.

В докладе обсуждаются результаты исследования возможности повышения эффективности пленочного охлаждения участка входной кромки турбинной лопатки при пульсирующем вдуве [1] через пояски цилиндрических и веерных отверстий, описание которых можно найти в [2]. Опытные данные для веерных отверстий при прочих равных условиях заимствованы из [3].

Эксперименты были выполнены на установке с моделью участка входной кромки в виде полуцилиндра с одним рядом отверстий вдоль образующей полуцилиндра для вдува вторичного потока воздуха через отверстия цилиндрического и веерного типа (20 штук в ряду). Угол атаки *i,* отсчитываемый от направления основного потока, имел значения 0, 15, 30 и 45°. Адиабатная температура поверхности T_i измерялось поверхностными хромель-копелевых термопарами. В экспериментах числа Рейнольдса основного потока $Re_{осн} = 10^5$, а для вторичного потока $Re_{вт} = (6…20)\cdot10^3$. Число Струхаля изменялось в диапазоне Sh = 0,1…1,0. Угол вдува α = 90°.

Значения эффективности пленочного охлаждения входной кромки определялись по формуле:

$$\eta = (T^*_{осн} - T^*_{пл})/(T^*_{осн} - T^*_{вт}),$$

где – $T^*_{осн}$, $T^*_{вт}$ температуры основного и вторичного потоков в сечении вдува; $T^*_{пл}$ – температура пленки. Все полученные в экспериментах значения η осреднялись по шагу отверстий вдува, расположенных в однорядном пояске. Опыты проводились как в стационарных условиях (без наложения пульсаций) так и на режимах с пульсирующим вдувом. Отверстия для вдува вторичного потока воздуха из цилиндрических отверстий располагались под следующими углами атаки *i*: 0º, 15º, 30º и 45º. (Углом атаки называется угол, отсчитываемый от средней линии профиля турбинной лопатки до оси отверстия для вдува охлаждающего воздуха, расположенного в нашем случае под углом 90° к охлаждаемой поверхности). По существу, увеличение угла атаки – это перемещение ряда отверстий для вдува от передней критической точки до максимального его значения (у нас - 45°) путем вращения модели входной кромки лопатки относительно оси цилиндра – выполненной модели.

На рис. 1 получены сравнительные опытные данные $\eta_{веер}/\eta_{цил} = f(x/d)$ для угла атаки $i = 0^o$ в условиях стационарного (индекс «с») и пульсирующего (индекс «п») вдува. Здесь x – расстояние от сечения вдува; d – диаметр цилиндрической части отверстий.

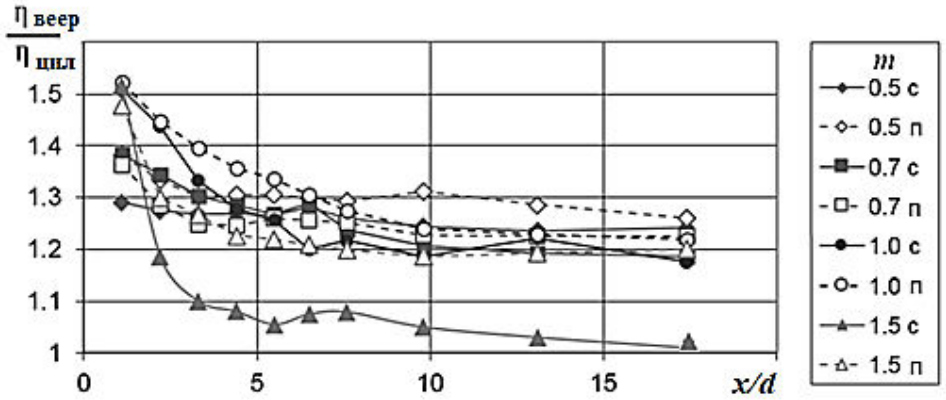


Рисунок 1. Распределение относительных значений эффективности пленочного охлаждения $\eta_{веер}/\eta_{цил}$ при угле вдува $i = 0^o$; данные для веерных отверстий заимствованы из [3]

Как показали результаты сравнительных исследований (рисунок 1), во всем исследованном диапазоне изменения параметра вдува m от 0,5 до 1,0 на всем протяжении тепловой завесы от x/d =2 до 17,5 влияние пульсирующего вторичного потока на эффективность пленочного охлаждения отсутствует:

$$[(\eta_{веер}/\eta_{цил})]_п \,/\, [(\eta_{веер})/(\eta_{цил})]_с = 0{,}97 \ldots 1{,}07.$$

Получается, что результаты как для пульсирующего, так и для стационарного режимов вдува практически одинаковы. Отсюда следует, что процесс самоорганизации крупномасштабных вихревых структур при стационарном и пульсирующих процессах вдува одинаково влияет на значения $\eta_{веер}$ и $\eta_{цил}$ при прочих равных условиях. Эти результаты обсуждались выше при значении угла атаки $i = 0°$.

В настоящем докладе подробно анализируются данные для ряда цилиндрических отверстий при углах атаки 0^o, 15^o, 30^o и 45^o. Однако из-за ограничения объема, в тезисах доклада все это обсуждается кратко, без графиков.

Выполненный анализ полученных опытных данных показывает, что в точке *A* (рис. 2) при изменении угла атаки натекающего на профиль лопатки основного потока зависимости $\eta_{цил} = f(i)$ неодинаковы. Так, если с увеличением угла атаки *i* от 0 до 15° значение $\eta_{цил}$ плавно возрастает от 0,25 до 0,32, то при $i = 15°$ $\eta_{цил}$ возрастает до 0,43...0,58.

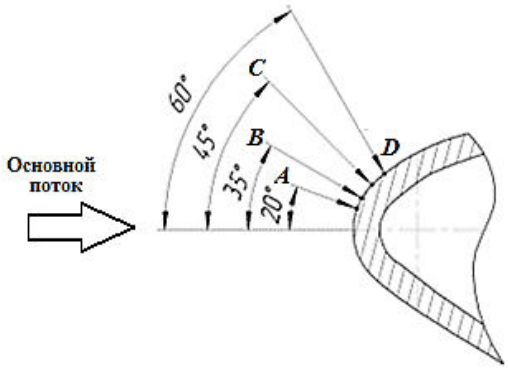


Рисунок 2. Расположение контрольных точек *A*, *B*, *C* и *D* (для анализа полученных результатов) на участке входной кромки модели турбинной лопатки в области за передней критической точкой

В контрольной точке *B* (рис. 2) интенсивность роста графической зависимости $\eta_{цил} = f(i)$ увеличивается: если при $i = 0$ величина $\eta = 0{,}19\ldots0{,}24$, то при $i = 30°$ значение $\eta = 0{,}58\ldots0{,}71$.

Далее, в контрольных точках *C* и *D* тенденции протекания линий $\eta = f(i)$ меняются. Так, если в контрольной точке C при $i = 0°$ эффективность тепловой завесы $\eta = 0{,}18\ldots0{,}21$, то

при i >25° происходит расслоение линий: при стационарном вдуве с параметром вдува m = 1,0…1,5 значения η при увеличении угла атаки неизменно. В то же время, на режиме пульсирующего вдува при i >25° значение эффективности пленочного охлаждения возрастает до 0,6…0,78.

И, наконец, в контрольной точке D при i = 0° значение η = 0,17…0,21. При i = 30° значение η достигает значений 0,39…0,46, после чего также, как и в контрольной точке C, происходит расслоение значений η, но только в сторону снижения эффективности пленочного охлаждения. Так, при i > 30° в условиях стационарного вдува при m = 1,0…1,5 величина η = 0,39…0,46 при i = 30° снижается до значения η = 0,18…0,22. А при наличии пульсаций вдуваемого потока η = 0,40…0,45.

Таким образом, сравнительный анализ полученных результатов в контрольных точках A, B, C и D показывает, что при небольших углах атаки i <30° пульсирующий режим вдува по воздействию на эффективность пленочного охлаждения участка входной кромки не отличается от стационарного. Однако при i >30° в контрольных точках C и D происходят процессы расслоения данных по значению η в зависимости от стационарного или пульсирующего режима вдува. Причем в контрольной точке C пульсирующий вдув увеличивает эффективность пленочного охлаждения при m = 1,0…1,5. В точке D происходит аналогичная тенденция: пульсирующий вдув при m = 1,0…1,5 поддерживает значения η на прежнем уровне (как и при i = 30°), а при стационарном вдуве значение η снижается до 0,18…0,22.

Отметим, что при низких параметрах вдува (m = 0,6) кинетическая энергия вдуваемого потока невелика. Поэтому в этом случае крупномасштабные вихревые структуры не генерируются вдуваемым потоком. В связи с ускорением основного потока на рассматриваемом участке профильной поверхности и с консервативным воздействием центробежных массовых сил значение η при m = 0,6 увеличивается. А при наложенных на вторичный поток пульсациях самоорганизующиеся крупномасштабные вихри снижают свою интенсивность, увеличивая эффективность тепловой завесы на участке i = 30…45 °.

В контрольной точке D (рис. 2) при низком параметре вдува (при m = 0,6) уровень эффективности тепловой завесы сравнительно велик, не уступая пульсирующему вдуву при значениях m = 0,6…1,0. Причина здесь та же, что и в контрольной точке C: это – консервативное воздействие на крупномасштабные вихревые структуры ускоряющегося пристенного течения и консервативное воздействие центробежных массовых сил при обтекании выпуклой поверхности участка входной кромки.

Таким образом, сравнительный анализ полученных результатов в контрольных точках A, B, C и D показывает, что при небольших углах атаки i < 30° пульсирующий режимы вдува по воздействию на эффективность пленочного охлаждения участка входной кромки не отличается от стационарного. Однако при i >30° в контрольных точках C и D происходят процессы расслоения данных по значению η в зависимости от стационарного или пульсирующего режима вдува. Причем в контрольной точке C пульсирующий вдув увеличивает эффективности пленочного охлаждения при m = 1,0…1,5. В точке D происходит аналогичная тенденция: пульсирующий вдув при m = 1,0…1,5 поддерживает значения η на прежнем уровне (как и при i = 30°), а при стационарном вдуве значение η снижается до 0,18…0,22.

Для разработки предложений по выработке рекомендаций к расчету и проектированию эффективных систем охлаждения сопловых лопаток ГТД необходимо продолжение исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Михеев Н.И., Молочников В.М., Давлетшин И.А. и др.* Гидродинамические и тепловые процессы в пульсирующем течении// Материалы VI школы-семинара молодых ученых и специалистов академика РАН В.Е. Алемасова «Тепломассообмен и гидродинамика

в энергомашиностроении». 16-18 сентября 2008 года, Казань: Изд-во Казанского гос. ун-та, 2008. С. 48-76.

2. *Халатов А.А., Борисов И.И., Дашевский Ю.Я., Резник С.Б.* Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил. Киев: НТУУ «КПИ», Изд-во «Политехника», 2016. Т. 10: Перспективные схемы пленочного охлаждения. 238 с.

3. *Ильинков А.В., Щукин А.В., Такмовцев В.В., Стародумов А.В.* Эффективность пленочного охлаждения выпуклой и плоской поверхностей при пульсирующем вдуве через веерные и цилиндрические отверстия // Изв. вузов. Авиационная техника. 2024. N 3 С. 127-134.

ABOUT FILM COOLING OF THE ENTRY EDGE OF A TURBINE BLADE WITH A PULSING SECONDARY AIR FLOW

Lyubimov P.E.

Supervisors: Shchukin A.V., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences,
Ilyinkov A.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The results of an experimental study of the thermal curtain at the inlet edge of a nozzle blade model with coolant injection through cylindrical and fan-shaped openings in stationary and pulsating modes at different injection angles and parameters are presented.

УДК 526.35

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОРЕБРЕНИЯ НА ТЕПЛОВУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВУХРЯДНЫХ ПУЧКОВ В АППАРАТАХ С ВЫТЯЖНОЙ ШАХТОЙ

Маршалова Г.С.[1,2], Лира М.С.[2], Островская Д.В.[1], Данильчик Е.С.[1,2], Засимова М.А.[3]

(*[1]Белорусский государственный технологический университет, г. Минск,*
[2]Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, г. Минск,
[3]Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,
г. Санкт Петербург)

Аннотация. Исследование посвящено численному анализу влияния коэффициента оребрения на эффективность теплоотдачи в двухрядных пучках аппаратов воздушного охлаждения с вытяжной шахтой. Используя метод CFD-моделирования, авторы изучили тепловые характеристики пятнадцати типов пучков с различными геометрическими параметрами. Результаты показали, что оптимальный поперечный шаг зависит от коэффициента оребрения: для пучков с высоким оребрением ($\varphi = 21$) максимальная теплоотдача достигается при шаге $\sigma_1 = 1{,}13$, тогда как для пучков с меньшим оребрением ($\varphi \leq 15$) теплоотдача увеличивается с ростом шага. Полученные данные верифицированы экспериментально и могут быть полезны для проектирования энергоэффективных теплообменных систем.

Современные системы воздушного охлаждения широко применяются в энергетике, химической и нефтехимической, газовой промышленности благодаря своей надежности, экономичности и универсальности. В отличие от других теплоносителей воздух не требует затрат на добычу или производство, не нуждается в очистке, смягчении или химической обработке, не создает рисков взрыва или утечек с вредными последствиями, не вызывает коррозии оборудования и не требует утилизации [1, 2].

Несмотря на плюсы, у воздушного охлаждения есть существенный недостаток: низкий коэффициент теплоотдачи, который компенсируется применением оребрения.

Важными параметрами, влияющими на теплогидравлические характеристики теплообменников, является коэффициент оребрения. Уменьшение шага между трубами и увеличение поверхности оребрения способствуют росту теплоотдачи, однако это может привести к значительному увеличению аэродинамического сопротивления, что негативно скажется на энергопотреблении вентиляторов или вытяжных устройств. В связи с этим поиск оптимального соотношения между геометрическими параметрами трубного пучка и его теплотехническими характеристиками остается актуальной задачей.

Вопросу влияния коэффициента оребрения на теплоотдачу в пучках теплообменников воздушного охлаждения с вытяжной шахтой уделено крайне мало внимания в научной литературе. В исследованиях [3–5] изучался теплообмен в однорядных пучках, состоящих из биметаллических труб с оребрением различной высоты (h = 2–14,6 мм), при использовании вытяжной шахты с регулируемой высотой (H = 0,52–2,12 м). Относительный поперечный шаг труб составлял $\sigma_1 = S_1 / d$ = 1,14. Результаты показали, что при увеличении проходного сечения шахты в наиболее компактном пучке оптимальная высота ребер возрастает с 2 до 8 мм, что связано с ростом объемной плотности теплового потока. Установлено, что применение шахты с оптимальным сечением позволяет увеличить теплоотдачу однорядного пучка в 1,73–3,64 раза.

Стоит отметить, что проведение экспериментальных исследований по изучению влияния коэффициента оребрения на теплоотдачу пучков аппаратов с воздушным охлаждением, оснащенных вытяжной шахтой, является трудоемким, длительным по времени. Численное моделирование позволяет визуализировать процессы, обнаружить скрытые эффекты, например, вихревые зоны или области перегрева, которые трудно зафиксировать экспериментально. Однако без экспериментальных данных нельзя подтвердить точность расчетов, поэтому необходимо использовать гибридный подход: использовать эксперимент для валидации модели.

Таким образом, вопрос влиянию коэффициента оребрения на теплоотдачу пучков аппаратов с воздушным охлаждением, оснащенных вытяжной шахтой, является актуальной задачей, которую можно решить, используя комбинацию экспериментального исследования и численного моделирования.

Цель работы – численное исследование коэффициента оребрения на общую теплоотдачу двухрядных шахматных пучков аппаратов с воздушным охлаждением, оснащенных вытяжной шахтой.

Изучена теплоотдача пятнадцати двухрядных шахматных пучков, состоящих из оребренных труб с различной высотой ребра h = 0–15,2 (коэффициент оребрения φ = 1–21, при различных относительных шагах σ_1 = 1,02–1,23; $\sigma_2 = S_2 / d$ = 0,88–1,07 (таблица 1).

Таблица 1

Параметры исследуемых пучков

Параметры пучка	Обозначение	I	II	III	IV	V
Высота ребра	$h \cdot 10^3$, м	15,2	11,67	7,78	3,99	0
Шаг ребра, м	$s \cdot 10^3$, м	2,43				
Относительная высота	h / s	6,26	4,8	3,2	1,64	$\rightarrow 0$
Коэффициент оребрения	φ	21	15	9	5	$\rightarrow 1$
Диаметр трубы	$d \cdot 10^3$, м	56,8	49,74	41,95	34,37	26,4
Диаметр трубы по основанию оребрения	$d_0 \cdot 10^3$, м	26,4				

Над оребренным трубным пучком была размещена вытяжная шахта высотой 0,52 м и площадью выходного отверстия 0,033 м^2.

Результаты и обсуждение. Методология численного исследования основана на CFD-моделировании с использованием уравнений Навье–Стокса и энергии, а также турбулентной модели SST k–ω [6] для учета отрыва потока за трубами. Подробное описание используемого численного алгоритма представлено в работе [7].

По результатам численного моделирования были получены данные о среднеинтегральных температурах на поверхности оребренной трубы.

Верификация полученных численных данных с экспериментальным исследованием проведена для пучков $\sigma_1 = 1{,}02$; 1,13 и 1,23 с коэффициентом оребрения $\varphi = 21$ и представлена в виде зависимости числа Нуссельта от числа Грасгофа Nu = *f*(Gr) на рисунке 1:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d_0}{\lambda}, \quad (1)$$

$$\mathrm{Gr} = \frac{g \cdot \beta \cdot d_0^3 \cdot (t_{ст} - t_0)}{\nu^2}, \quad (2)$$

где α – общий коэффициент теплоотдачи пучка, Вт/(м^2 ºС); λ – теплопроводность, Вт/(м ºС); g – ускорение свободного падения, м/с^2; β – коэффициент объемного расширения, °С$^{-1}$; $t_{ст}$ – температура стенки трубы у основания, °С; t_0 – температура окружающего воздуха, °С; ν – коэффициент кинематической вязкости м^2/с.

Теплофизические свойства воздуха были рассчитаны по температуре окружающей среды, определяющим геометрическим размером был диаметр трубы по основанию оребрения.

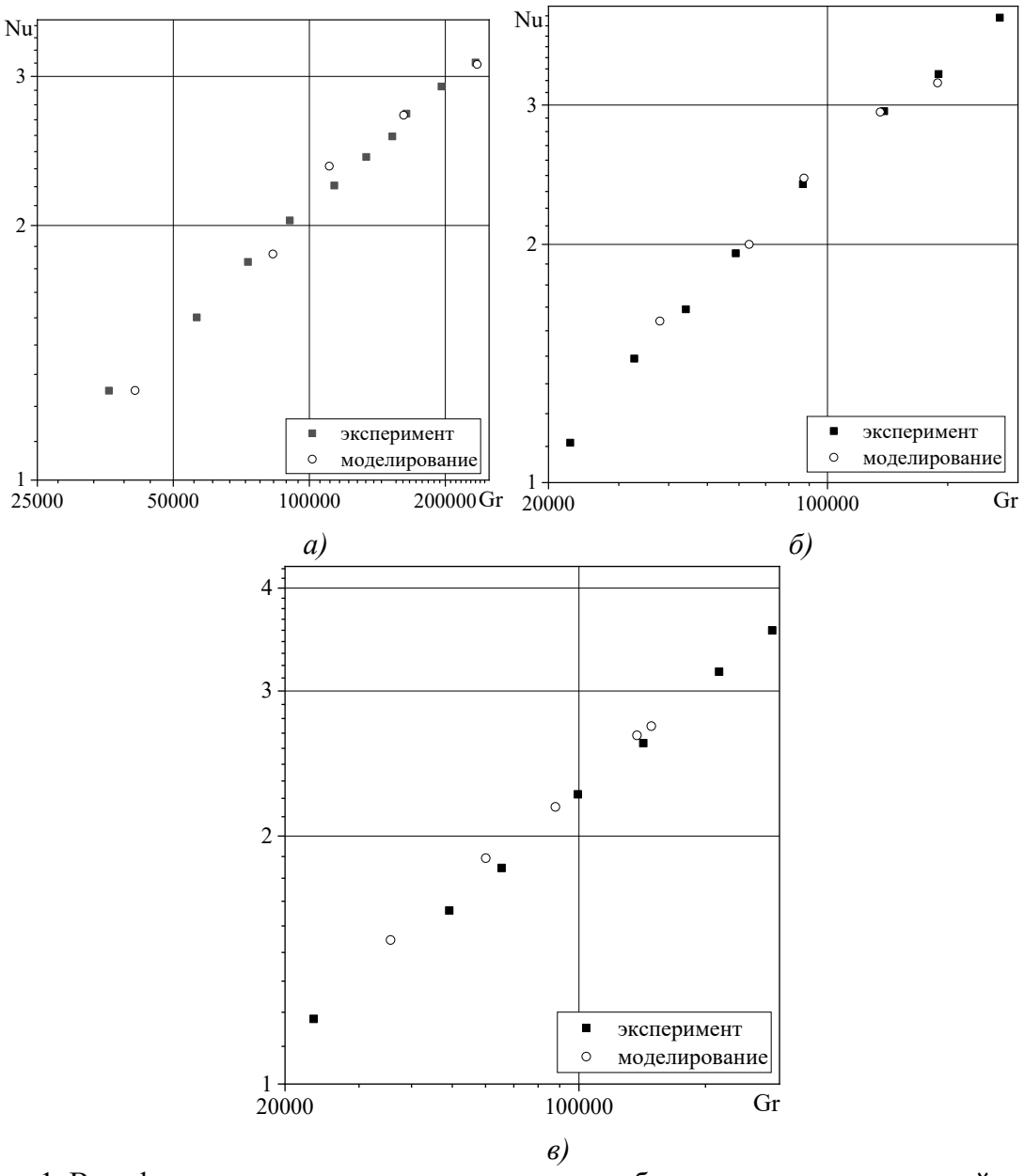


Рисунок 1. Верификация теплоотдачи двухрядного оребренного пучка с вытяжной шахтой: *а)* $\sigma_1 = 1{,}02$, *б)* $\sigma_1 = 1{,}13$, *в)* $\sigma_1 = 1{,}23$

Полученные численные данные хорошо коррелируют с экспериментальным исследованием, что позволяет использовать разработанную модель для изучения пучков труб с другими коэффициентами оребрения.

Данные для пучков труб с φ = 1–21 представлены на рисунке 2.

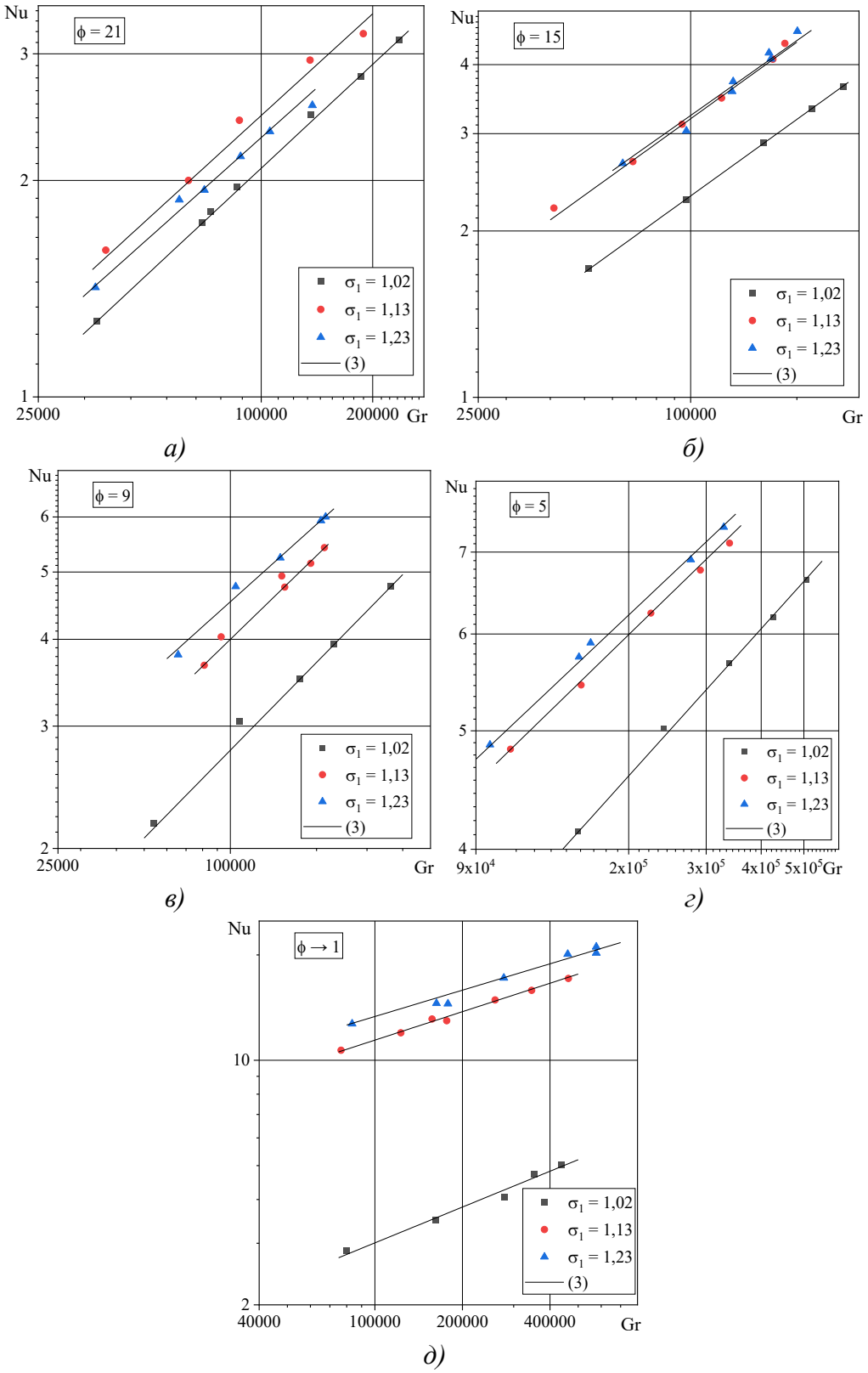


Рисунок 2. Исследование влияния коэффициента оребрения и поперечного шага на общую теплоотдачу двухрядного оребренного пучка с вытяжной шахтой для пучков *а*) I; *б*) II; *в*) III; *г*) IV; *д*) V

Результаты численного моделирования теплоотдачи двухрядного пучка при разных поперечных шагах труб, представленные на рис. 2, с погрешностью ±5% описаны критериальным уравнением:

$$Nu = A \cdot Gr^n. \quad (3)$$

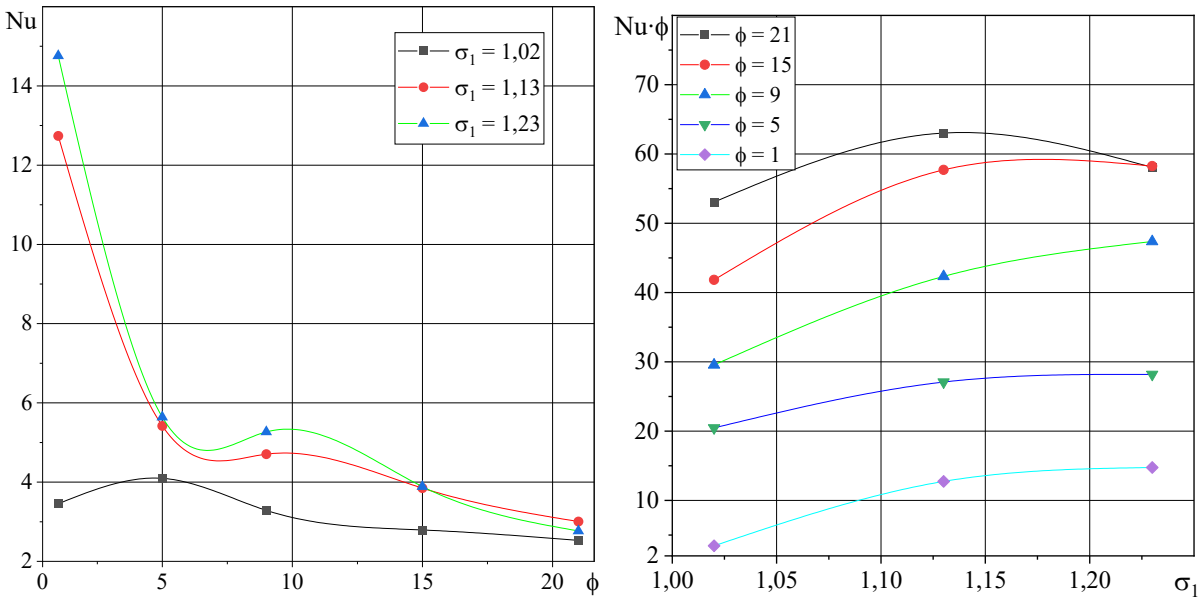
Значения постоянных A, n в (3) и диапазоны применимости по Gr для теплоотдачи двухрядных пучков с вытяжной шахтой представлены в таблице 2.

Таблица 2

Значения постоянных *A*, *n* в уравнении (3)

	$\sigma_1 = 1{,}02$			$\sigma_1 = 1{,}13$			$\sigma_1 = 1{,}23$		
φ	*A*	*n*	Диапазон $Gr \cdot 10^{-5}$	*A*	*n*	Диапазон $Gr \cdot 10^{-5}$	*A*	*n*	Диапазон $Gr \cdot 10^{-5}$
21	0,00828	0,48	0,33–2,5	0,011	0,47	0,35–2	0,0115	0,46	0,33–1,4
15	0,0116	0,46	0,5–2,8	0,016	0,46	0,4–2,5	0,0182	0,45	0,6–2,2
9	0,022	0,42	0,5–3,6	0,04	0,4	0,75–2,2	0,064	0,37	0,6–2,3
5	0,0348	0,4	1,4–5,5	0,0836	0,35	1,0–3,6	0,098	0,34	0,9–3,75
→ 1	0,06	0,34	0,75–5	0,51	0,27	0,75–5	0,75	0,25	0,75–6,2

Анализ влияния коэффициента оребрения и поперечного шага на эффективность теплоотдачи двухрядных шахматных пучков с вытяжной шахтой при постоянном числе Грасгофа Gr = 150 000 представлен в виде зависимостей Nu = *f*(□), (Nu φ) = *f*(□$_1$) на рисунке 3.



а) *б)*

Рисунок 3. Влияние *а*) коэффициента оребрения и *б*) поперечного шага на интенсивность теплоотдачи двухрядного пучка с вытяжной шахтой

Для пучка с φ → 1 наблюдается значительное снижение теплоотдачи при сжатом шаге $\sigma_1 = 1{,}02$. Это связано с явлением экранирования, то есть с аэродинамическим и тепловым влиянием одних труб пучка на другие, приводящее к ухудшению теплообмена и изменению структуры потока. При этом возникает ламинарный подслой между трубами, который работает как теплоизолятор, что также приводит к ухудшению теплоотдачи. С повышением шага установки труб гладкого пучка до 1,13 теплоотдача возрастает в 3,6 раза, что связано с увеличением скорости воздуха в межтрубном пространстве и турбулизацией потока. Эффект экранирования для данного шаг снижается.

Для пучков с высокими ребрами при $\varphi = 21$ наблюдается максимум теплоотдачи $\sigma_1 = 1{,}13$, а дальнейшее увеличение шага приводит к ее снижению. При малом шаге воздух вынужден проходить через узкие межтрубные каналы, что увеличивает локальные скорости и улучшает конвективный теплообмен. С увеличением шага до $\sigma_1 = 1{,}23$ расстояние между трубами становится больше, поток успевает частично восстанавливаться, снижая турбулентные пульсации и ухудшая теплоотдачу, при этом скорость в межреберном пространстве уменьшается.

При уменьшении коэффициента оребрения $\varphi \leq 15$ наблюдается обратная тенденция: теплоотдача при $\sigma_1 = 1{,}13$ оказывается ниже, чем при $\sigma_1 = 1{,}23$. Это объясняется с изменением баланса между конвективным теплообменом и аэродинамическими эффектами. В плотном пучке $\sigma_1 = 1{,}13$ воздушный поток сильно тормозится, а из-за меньшего числа ребер дополнительная турбулизация не компенсирует потери теплоотдачи. Воздух не успевает эффективно омывать межреберную поверхность и за счет дополнительной интенсификации шахты «проскакивает» без достаточного нагрева.

В плотных пучках также возникают зоны с пониженным давлением, которые приводят к возникновению неравномерностей движения воздуха, описанных в работах [8, 9], способных снижать теплоотдачу пучков.

Стоит также отметить, что на рисунке 3 *б*) видно, что произведение $Nu\,\varphi$ для гладкой трубы в 10 раз ниже, чем при $\varphi = 5$ для всех рассматриваемых шагов. Такой рост теплоотдачи объясняется не только ростом площади поверхности в 5 раз, но и дополнительной турбулизацией потока ребрами.

Выводы. Для высокооребрённых пучков ($\varphi = 21$) оптимальный шаг составляет $\sigma_1 = 1{,}13$. Для низкооребрённых пучков ($\varphi \leq 15$) теплоотдача продолжает расти с увеличением σ_1, и оптимум в диапазоне $\sigma_1 \leq 1{,}23$ не достигнут, так как с увеличением поперечного шага теплоотдача увеличивалась в исследованном диапазоне.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (Т23РНФМ-005), в рамках проекта Государственной программы научных исследований «Энергетические и ядерные процессы и технологии» подпрограммы «Энергетические процессы и технологии» (задание 2.37, ГБ 21-104), Гранта Министерства образования РБ (ГБ 25-031).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: справочник / А. Н. Бессонный [и др.]; под ред. А. Н. Бессонного, В. Б. Кунтыша. – СПб.: Недра, 1996. – 512 с.

2. *Кунтыш В.Б.* Примеры расчетов нестандартизованных эффективных теплообменников / Под ред. В.Б. Кунтыша и А. Н. Бессонного. – СПб.: Недра, 2000. – 300 с.

3. *Сухоцкий А.Б., Данильчик Е.С.* Конвективная теплоотдача однорядных пучков из труб с накатными алюминиевыми ребрами различной высоты при малых числах Рейнольдса // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 4. – С. 336–348.

4. *Данильчик Е.С.* Повышение эффективности теплообменников воздушного охлаждения при свободно-конвективном теплообмене: дис. … канд. техн. наук: 01.04.14. Минск, 2022.

5. *Danilchik E.S., Sukhotski A.B., Karlovich T.B.* Influence of an Exhaust Shaft Airflow Section on Single-Row Bundle Air Cooling Comprising Tubes with Spiral Fins of Different Heights. Chemical and Petroleum Engineeringthis. 2022. 58(3–4). pp. 315–322.

6. Численное моделирование вихревой интенсификации теплообмена в пакетах труб / Ю.А. Быстров, С.А. Исаев, Н.А. Кудрявцев, А.И. Леонтьев // СПб.: Судостроение, 2005. – 392 с.

7. Численное исследование влияния высоты ребра на теплоотдачу теплообменников с воздушных охлаждением, оснащенных вытяжной шахтой / Г.С. Маршалова, А.Б. Сухоцкий,

Е.С. Данильчик, М.С. Лира, Р.Г. Кадыров, Д.В. Островская // Вестник фонда фундаментальных исследований. – 2023. –№ 4. – С. 124–133.

8. *Сухоцкий А.Б., Сидорик Г.С.* Особенности гравитационного течения нагретого воздуха в вытяжной шахте над оребренным пучком // Тепловые процессы в технике. – 2018. – Т. 10, № 1. – С.62–70.

9. *Сухоцкий А.Б., Маршалова Г.С.* Особенности гравитационного течения нагретого воздуха в вытяжной шахте над многорядным оребренным пучком // Инженерно-физический журнал. – 2019. – Т. 92, № 3. – С. 619–625.

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF FIN CHARACTERISTICS ON THE THERMAL EFFICIENCY OF DOUBLE-ROW BUNDLES IN APPARATUS WITH AN EXTRACTION SHAFT

Marshalova G.S.[1,2], Lira M.S.[2], Ostrovskaya D.V.[1], Danilchik E.S.[1,2], Zasimova M.A.[3]

([1]Belarusian State Technological University, Minsk,
[2]A.V. Lykov Institute of Heat and Mass Transfer of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk,
[3]Saint Petersburg State Polytechnical University, Saint Petersburg)

Abstract. The study is devoted to the numerical analysis of the influence of the finning coefficient on the heat transfer efficiency in double-row bundles of air-cooled devices with an exhaust shaft. Using the CFD modeling method, the authors studied the thermal characteristics of fifteen types of bundles with different geometric parameters. The results showed that the optimal transverse pitch depends on the finning ratio: for bundles with high finning ($\varphi = 21$), the maximum heat transfer is achieved at a pitch of $\sigma_1 = 1.13$, while for bundles with less finning ($\varphi \leq 15$), the heat transfer increases with increasing pitch. The obtained data were verified experimentally and can be useful for designing energy-efficient heat exchange systems.

УДК 532.57; 681.12; 53.089.68

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ПРИ ВЫНУЖДЕННОМ ТЕЧЕНИИ ВОДЫ В ОТКРЫТОМ КАНАЛЕ ЭТАЛОННОЙ УСТАНОВКИ

Миннуллин Р.Р.[1,2], Щелчкова М.А.[1]

Научный руководитель: Щелчков А.В.[1,2], профессор, д. т. н.

([1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань,
[2]ВНИИР- филиал «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», г. Казань)

Аннотация. Представлена методика расчета и экспериментальные исследования по оценке тепловых потерь при создании вынужденного течения потока воды в открытом канале в диапазоне объемного расхода воды от 5 м^3/ч до 500 м^3/ч. Общие тепловые потери обусловлены потерями на создание напора, потерями от нагрева воды при взаимодействии с рабочими элементами (лопатками), а также тепловые потери при рассеивании в окружающей среде.

Совершенствование системы метрологического обеспечения средств измерений объемного расхода сточных вод в открытых каналах (лотках) предполагает создание эталонной установки для воспроизведения, хранения и передачи единиц объемного расхода сточных вод (далее – установка). При современном развитии уровня техники и многообразии средств измерений объемного расхода (далее – СИ) сточных вод процедура их поверки (калибровки) на установке становится наукоемкой и сложной.

Водяной контур установки условно замкнут, т.е. вода забирается насосной группой из бака накопительного, по напорному трубопроводу через гаситель пульсаций, бак-

успокоитель попадает в лоток и возвращается обратно в бак накопительный. Установка включает в свой состав (рис. 1) систему хранения и термостабилизации воды, систему создания, стабилизации и регулирования расхода воды, систему поддержания условий окружающей среды, автоматизированную систему управления технологическим процессом, измерительную линию (лоток).

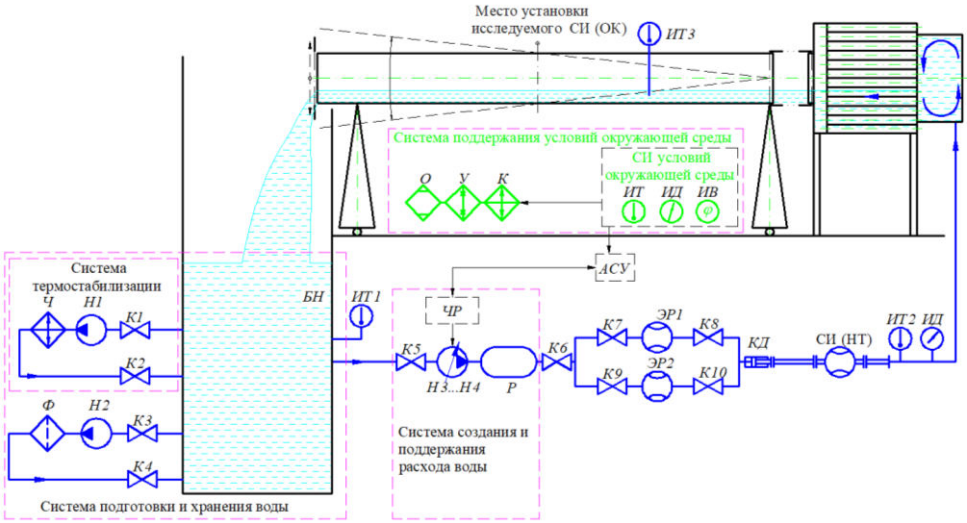


Рисунок 1. Принципиальная схема установки

Система подготовки и хранения воды включает в свой состав бак-накопительный *БН*, фильтр *Ф* для очистки воды. Система создания и поддержания расхода воды включает в свой состав насосную группу *Н3…Н4* с частотным регулятором *ЧР*, ресивер *Р* и трубозапорную арматуру *К*5 и *К*6, обеспечивает стабильность поддержания заданного значения объемного расхода воды через измерительную линию (лоток). Система создания и поддержания температуры воды в лотке включает в свой состав чиллер *Ч* и циркуляционный насос *Н1*, который обеспечивает забор воды из бака накопительного *БН*, охлаждение ее в чиллере *Ч* и возврат воды в бак накопительный *БН*. Система создания и поддержания условий окружающей среды включает в свой состав кондиционер *К*, увлажнитель *У* и осушитель *О*. Электромагнитные расходомеры *ЭР1* и *ЭР2* необходимы для выхода и поддержания заданного значения объемного расхода в процессе эксплуатации установки. Расходомеры *ЭР1* и *ЭР2* используются также при передаче единиц объемного расхода сточных вод СИ, установленным в открытом канале *ОК* и напорном трубопроводе *НТ*.

Важным аспектом проектирования установки является создание в открытом канале небурного изотермического потока воды (Fr ≤ 1) [1]. Небурный изотермический поток воды в лотке характеризуется площадью живого сечения ω и смоченным периметром χ. Важными режимными характеристиками являются средняя расходная скорость w и объемный расход воды Q_V.

Насосная группа создает вынужденное течение потока воды в напорных магистралях и лотке. При работе электродвигателей и насосов, часть потребляемой электрической энергии расходуется на нагрев воды. Необходимо выполнить расчет тепловых потерь, связанных с нагревом воды в баке накопительном при значении объемного расхода воды до 500 м^3/ч, а также провести экспериментальные исследования по оценке тепловых потерь при создании вынужденного течения потока воды в открытом канале при значении объемного расхода воды до 100 м^3/ч.

Объемный расход воды Q_V, подаваемой через трубопровод и лоток, является полезной подачей насоса. Полезной мощностью насоса или мощностью, развиваемой насосом, является энергия, которую сообщает насос всему потоку жидкости ежесекундно, Вт:

$$N = Q_V \cdot \gamma \cdot \mathrm{H_н} \qquad (1)$$

где Q_V – объемный расход, м^3/с; $\gamma = \rho \cdot g$ – удельный вес, Н/м^3; $H_н$ – напор, м, $p_н$ – избыточное давление, Па.

Отношение развиваемой мощности к потребляемой является коэффициентом полезного действия насоса:

$$\eta = \frac{N}{N_0} \quad (2)$$

Полный коэффициент полезного действия учитывает следующие потери энергии в насосе: гидравлические потери, т.е. потери напора на трение и вихреобразование, объемные потери, обусловленные циркуляцией жидкости через зазоры в насосе, механические потери, т.е. потери на механическое трение в подшипниках, уплотнениях и тепловые потери на нагрев воды и тепловую энергию, рассеивающуюся в окружающей среде.

Тепловые потери, обусловленные нагревом воды из-за взаимодействия воды с рабочими элементами (лопатками), приводят к повышению температуры в баке накопительном. Согласно условиям эксплуатации установки, температура воды в баке накопительном должна поддерживаться в диапазоне от 15 до 25 ºС в течении всей рабочей смены. Установка работает в диапазоне объемного расхода от 5 до 500 м^3/ч ($1{,}389 \cdot 10^{-3}$ м^3/с до 0,167 м^3/с) Исходя из заданных технических характеристик осуществляется расчет тепловой мощности $N_т$. Мощность $N_т$ отбирается от насоса и испускается в окружающую среду (воду в напорном трубопроводе, открытом канале и в окружающий воздух), в том числе при взаимодействии лопаток рабочего колеса насоса с водой. При этом происходит нагрев воды в баке накопительном за счет замкнутого цикла оборота воды в исходном эталоне. Тепловая мощность $N_т$, затрачиваемая на нагрев окружающей среды определяется как, кВт [2]:

$$N_т = N \cdot (1 - \eta) = 30 \cdot (1 - 0{,}75) = 7{,}5 \quad (3)$$

Максимальное значение утечек тепла в окружающий воздух (при максимальном градиенте температур $t_w - t_f = 25 - 15 = 10\,^{\circ}\mathrm{C}$), в том числе от нагретых поверхностей бака накопительного, стенок лотка, напорных и соединительных трубопроводов, оценивается, кВт [3]:

$$Q_{т.п.} = \frac{\alpha \cdot (t_w - t_f) \cdot F_п}{1000} = \frac{3{,}34 \cdot (25-15) \cdot 41{,}62}{1000} \approx 1{,}5 \quad (4)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2/°С); t_w – средняя температура нагретых поверхностей, °С; t_f – средняя температура окружающего воздуха вне зоны, охваченной процессом теплообмена, °С; $F_п$ – площадь нагретых поверхностей, м^2.

Коэффициент теплоотдачи α определяется из уравнения (6) [3] М.А. Михеева, Вт/(м^2/°С):

$$\alpha = \frac{\mathrm{Nu}_m \cdot \lambda_{воз}}{l} = \frac{166{,}51 \cdot 0{,}0251}{1{,}25} = 3{,}34 \quad (5)$$

$$\mathrm{Nu}_m = c \cdot \mathrm{Ra}_m^n = c \cdot \left(\mathrm{Gr} \cdot Pr()_m^n (2{,}64 \cdot 10^9 \cdot 0{,}71)^{\frac{1}{3}}\right) \quad (6)$$

где Ra_m, $\mathrm{Gr}_m = (g \cdot d^3/\nu^2) \cdot \beta \cdot \Delta t$ и $\mathrm{Pr}_m = \nu/a$ – критерии Рэлея, Грасгофа и Прандтля; c и n – эмпирические коэффициенты; m – индекс, указывает на то, что в качестве определяющей температуры (по которой выбираются значения физических параметров жидкости) принимается среднеарифметическая температура $t_m = (t_w + t_f)/2$, где t_w – средняя температура нагреваемой поверхности; t_f – температура окружающего воздуха вне зоны, охваченной процессом теплообмена; g – ускорение силы тяжести, м/с^2; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); ν – кинематический коэффициент вязкости, м^2/с; a – коэффициент температуропроводности, м^2/с; β – коэффициент объемного расширения, 1/К. Значения c и n в уравнении (6) зависят от критерия Ra_m.

Суммарные потери мощности, затрачиваемой на нагрев окружающей среды (воды в напорном трубопроводе, открытом канале и в окружающего воздуха), достигают 10 кВт. Система термостабилизации должна обеспечить поддержание температуры воды в диапазоне от 15 до 25 ºС в баке накопительном. Исходя из общего количества воды в баке

накопительном, напорном трубопроводе и лотке, можно оценить время, в течение которого ее температура будет оставаться в требуемом диапазоне. Пусть исходная температура воды t_{min} изменяется в диапазоне от 20°С до 24 °С, тогда при условии возможности работы исходного эталона до значения t_{max} = 25°С. Изменение минимального значения температура воды t_{min} обусловлено условиями окружающей среды (температурой воздуха в помещении), а также продолжительностью работы исходного эталона в предыдущую рабочую смену (минимум 8 часов). При продолжительной работе исходного эталона в течении рабочей смены при максимальном значении объемного расхода 500 м^3/ч (0,167 м^3/с) минимальное значение температура воды t_{min} может повышаться. Охлаждение воды в баке накопительном в вечернее и ночное время (16 часов) при температуре окружающего воздуха t_f = 20°С без применения системы охлаждения согласно предварительным расчетам по (12–16) составляет менее 0,18 °С. Тогда располагаемое время работы τ исходного эталона без применения системы охлаждения, ч:

$$\tau = c_p \cdot M_{бх} \cdot \left(t_{max} - t_{min}\right) \Big/ N_{ту} \qquad (7)$$

здесь $c_p \approx 4200$ – изобарная теплоемкость воды, Дж/(кг · С); $M_{бх}$ – масса воды в баке накопительном, кг;

Термостабилизация воды в баке накопительном широком диапазоне изменения внешних условий окружающей среды обеспечивается системой охлаждения на основе промышленно выпускаемых холодильных установок – чиллеров. В настоящее время на рынке предлагается широкий спектр чиллеров различной холодопроизводительности. Планируемая мощность системы создания и поддержания температуры измеряемой среды согласно выполненным расчетам по (1–6) не менее 7,5 кВт.

Далее, для подтверждения расчетов по (1–6) были выполнены экспериментальные исследования по оценке тепловых потерь в насосной группе установки при создании вынужденного напорного течения потока воды в блоке расходомеров и лотке при значении объемного расхода воды 96 м^3/ч и температуре окружающего воздуха $t_{воз}$ = 20,9 °С.

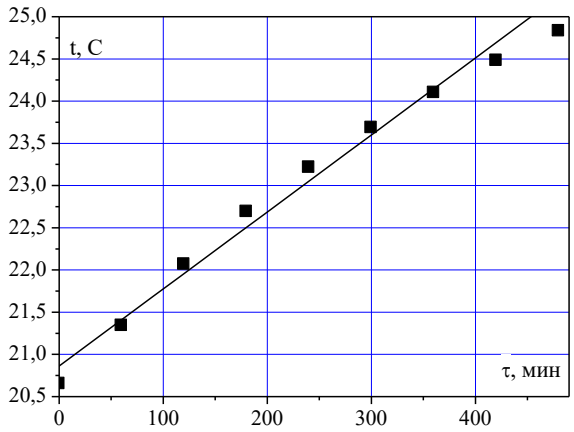


Рисунок 2. Графическая зависимость изменения температуры воды от времени

Графическая зависимость изменения температуры воды $\Delta t = (t_2 - t_1) = 5$ °С за интервал времени τ = 480 мин = 8 часов (рис. 2) в баке накопительном вида $t = f(\tau)$ наглядно иллюстрирует увеличение температуры воды в накопительном до предельного значения температуры воды $t_2 = 25$ °С в баке накопительном за рабочую смену. Также, было выполнены эксперименты по оценке интервалов времени охлаждения нагретой воды в баке накопительном после выключения установки. Нагретая в баке накопительном воды с температурой $t_2 = 25$ °С охлаждалась при свободной конвекции при температуре окружающего воздуха $t_{воз}$ = 21,7 °С. Эксперименты показали, что за интервал времени τ = 900 мин = 15 часов вода охладилась до температуры t_3 = 23,3 °С, а за интервал времени τ = 2340 мин = 39 часов – до температуры t_3 = 22,1 °С.

Таким образом, результаты экспериментов подтвердили целесообразность включения в состав установки системы термостабилизации воды. Результаты расчетов по методике оценки тепловых потерь (1–6) при создании вынужденного течения потока воды в открытом канале в диапазоне объемного расхода воды от 5 м^3/ч до 500 м^3/ч удовлетворительно согласуется с результатами экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гиргидов А.Д.* Механика жидкости и газа (гидравлика): Учебник для вузов. 3-у изд., испр. и доп. Спб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 545 с.

2. *Л.Г. Чичеров, Г.В. Молчанов, А.М. Рабинович и др.* Расчет и конструирование нефтепромыслового оборудования: Учеб. Пособие для вузов /– М.: Недра, 1987. – 422 с

3. *Болгарский и др.* Термодинамика и теплопередача. Учебн. Для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: «Высш. школа», 1975.

DETERMINATION OF HEAT LOSSES DURING FORCED WATER FLOW IN AN OPEN CHANNEL OF A REFERENCE INSTALLATION

Minnullin R.R.[1,2], Shchelchkova M.A.[1]

Supervisor: Shchelchkov A.V, Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

([1]*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan,*
[2]*VNIIR – Affiliated Branch of D.I. Mendeleyev Institute for Metrology – VNIIM-VNIIR, Kazan*)

Abstract. The calculation method and experimental studies on the assessment of heat losses during the creation of a forced flow of water in an open channel in the range of volumetric water flow from 5 m3/h to 500 m3/h are presented. The total heat losses are due to losses in the creation of pressure, losses from heating the water during interaction with working elements (blades), as well as heat losses during dissipation in the environment.

УДК 631.15.01

ОДНОМЕРНОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА

Митюшкин А.Д., Мршд М.

Научный руководитель: Ермаков А.М., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Поляризационная кривая топливного элемента, отражающая зависимость напряжения от плотности тока, напрямую зависит от температуры, которая влияет на кинетику реакций, проводимость мембраны и общие потери. Оптимальный температурный диапазон (60–80°C) критичен для предотвращения высыхания мембраны и деградации материалов, что подтверждается одномерной моделью в Simcenter Amesim. Повышение или понижение температуры относительно этого диапазона снижает эффективность элемента, ухудшая его энергетические показатели.

Эффективность преобразования химической энергии в электрическую у топливного элемента оценивается поляризационной кривой его показателей. Эта кривая представляет собой зависимость напряжения от плотности тока. По этой кривой оцениваются общие технические потери, кинетика электрохимических реакций, качество конструкции топливного элемента.

Поляризационную кривую, как зависимость напряжения от плотности тока можно описать при помощи закона Нернста и уравнениям падения напряжения [1]:

$$U_{\text{яч}} = E_{cdl_{\text{кат}}} + E_{cdl_{\text{ан}}} - U_{\text{ом}} = \text{E}_{\text{H}_{\text{кат}}} - \text{E}_{\text{H}_{\text{ан}}} - \left(U_{act_{\text{кат}}} + U_{act_{\text{ан}}} + U_{\text{ом}}\right),$$

где $U_{яч}$ - напряжение ячейки, В ;

E_{cdl} - напряжение емкости двойного слоя на электроде, В;

$U_{ом}$ - омическое напряжение, В;

E_H - потенциал Нернста на электроде, В;

U_{act} - падение напряжения активации на электроде, В.

Потенциал Нернста является функцией зависящий от температуры и давления в ячейке:

$$E_H = E_H^0(P_0, T_0).$$

Ёмкости двойного слоя - это свойство электрода в топливном элементе (или любом электрохимическом устройстве), связанное с накоплением заряда на границе электрод/электролит. Напряжение емкости двойного слоя на электроде E_{cdl} зависит от силы тока реакции $I_{реак}$ и емкости двойного поверхностного слоя на электроде C_{dl}.

Сила тока реакции $I_{реак}$ по уравнению Батлера-Фольмера является функцией зависящей от ряда параметров, в том числе и от температуры [2]:

$$I_{реак} = i_0(T_0, T).$$

Таким образом, поляризационная кривая, как показатель эффективности топливного элемента, зависит от температуры окружающей среды и выделяемого, при реакциях, тепла.

Рабочая температура топливного элемента с протонообменной мембраной должна быть от 60 до 80°C [3]. При повышенной температуре происходит высыхание мембраны, так как начинает испарятся вода, что резко снижает протонную проводимость. Ускоряется процесс деградации материалов – мембрана разлагается, происходит распад катализатора. При пониженных температурах уменьшается скорость реакций – падает напряжение, уменьшается проводимость протонов в мембране.

Для изучения влияние температуры на эффективную работу топливного элемента разработана одномерная модель в программе Simcenter Amesime (рис. 1). Для реализации модели и верификации данных параметры взяты из исследования с изучением существующего топливного элемента [4] (Таблица 1).

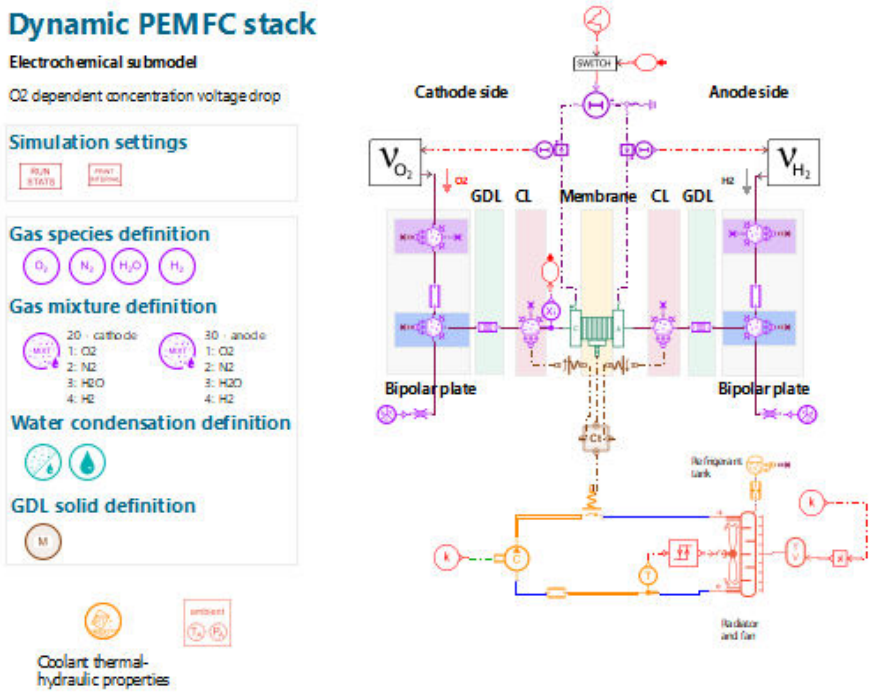


Рисунок 1. Одномерная модель топливного элемента с системой охлаждения

Таблица 1

Параметры модели использовались в модели Simcenter Amesime

Параметр	Значение	Единицы измерения
Плотность биполярных пластин	1990	кг*м$^{-3}$
Специфическая теплоемкость биполярных пластин	710	Дж*кг$^{-1}$*К$^{-1}$
Теплопроводность биполярных пластин	120	Вт*м$^{-1}$*К$^{-1}$
Электропроводность биполярных пластин	92600	Ω^{-1}м$^{-1}$
Толщина биполярных пластин	9.5	мм
Биполярная пластина - сопротивление контакту газодиффузионных слоев (ГС)(серпентин)	3.52x10^{-7}	Ωм^2
Плотность ГС	321.5	кг*м$^{-3}$
Пористость ГС	0.82	-
Электропроводность ГС	280	Ω^{-1}м$^{-1}$
Вязкость ГС (анод)	1x10^{12}	м$^{-2}$
Вязкость ГС (катод)	3.86x10^{12}	м$^{-2}$
Угол контакта стенки с ГС	110	град
Толщина ГС	420	мкрм
Пористость слоя катализатора	0.2	-
Плотность мембраны	1980	кг/м^3
Теплопроводность мембраны	0.16	Вт*м$^{-1}$*К$^{-1}$
Эквивалентный вес мембраны	1100	кг кмоль$^{-1}$
Толщина мембраны	175	мкрм
Экспонента концентрации (анод)	0.5	-
Показатель концентрации (катод)	1.0	-
Плотность обменного тока опорного напряжения (анод)	448x10^5	мкрАсм$^{-2}$
Плотность обменного тока опорного напряжения (анод)	448	мкрАсм$^{-2}$

Поляризационные кривые топливного элемента и численного моделирования из работы [4], а также моделирование в программе Simcenter Amesime показаны на рис. 2.

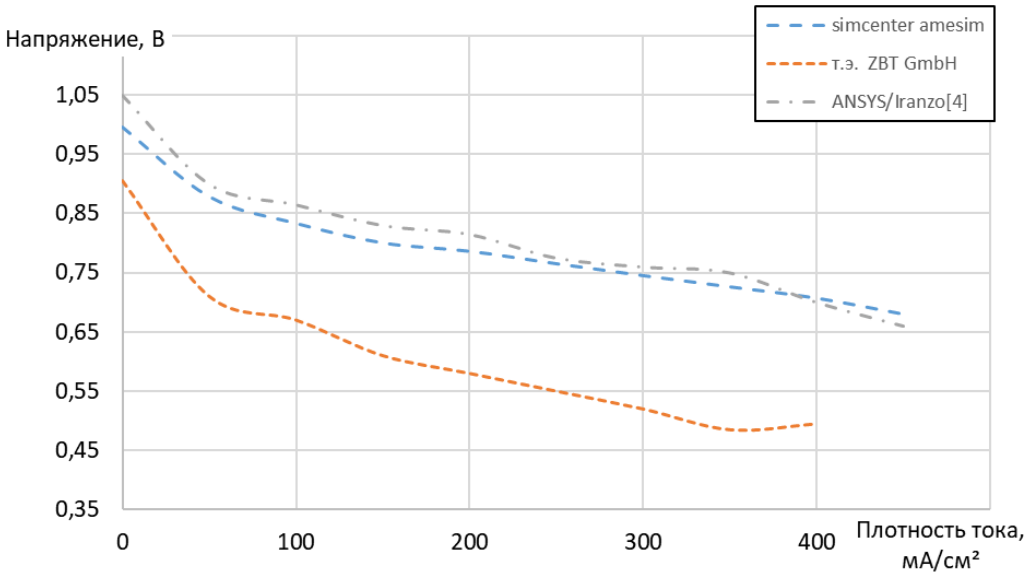


Рисунок 2. Валидация численного моделирования в программе Simcenter Amesime с значениями из работы [4]

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А.Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Wiley Edition, James Larminie. Andrew Dicks*, "Fuel Cell systems explained", second edition. 2003.

2. *Alireza Goshtasbi, Benjamin L. Pence, Jixin Chenz, Michael A. Debolt, Chunmei Wang, James R. Waldecher, Shinichi Hirano and Tulga Ersal,* "A Mathematical Model toward Real-Time Monitoring of Automotive PEM Fuel Cells", Journal of The Electrochemical Society, 2020.

3. *Guangsheng Zhang, Satish G. Kandlikar*, A critical review of cooling techniques in proton exchange membrane fuel cell stacks, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 37, Issue 3, 2012.

4. *Iranzo, A., Muñoz, M., Rosa, F. & Pino, J*. Numerical model for the performance prediction of a PEM fuel cell. Model results and experimental validation. Int. J. Hydrogen Energy 35, 11533–11550. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.04.129 (2010).

ONE-DIMENSIONAL NUMERICAL SIMULATION OF FUEL CELL OPERATION

Mityushkin A.D., Mrshd M.

Supervisor: Ermakov A.M., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The polarization curve of a fuel cell, reflecting the dependence of voltage on current density, directly depends on temperature, which affects the kinetics of reactions, membrane conductivity, and total losses. The optimal temperature range (60-80°C) is critical to prevent drying of the membrane and degradation of materials, which is confirmed by the one-dimensional model in Simcenter Amesim. An increase or decrease in temperature relative to this range reduces the efficiency of the element, worsening its energy performance.

УДК 631.15.01

ТРЕХМЕРНОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА

Мршд М., Митюшкин А.Д.

Научный руководитель: Салахов Р.Р., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлено трёхмерное численное моделирование охлаждения топливного элемента с использованием воды в качестве хладагента. Исследуется влияние различных скоростей потока охлаждающей жидкости на температурное распределение внутри конструкции. Полученные результаты позволяют оценить эффективность водяного охлаждения и предложить рекомендации по оптимизации теплового режима ТЭПМ.

Введение

Тепловое управление топливных элементов с протонообменной мембраной (ТЭПМ) играет ключевую роль в обеспечении их надежной и эффективной работы. Учитывая, что ТЭПМ находят широкое применение в автомобильной промышленности и энергетике благодаря своей экологической чистоте и высокой плотности мощности, становится критически важным поддержание оптимального теплового режима внутри ячеек.

Эффективное охлаждение позволяет избежать локальных перегревов, повысить срок службы компонентов и обеспечить стабильную работу системы в различных условиях эксплуатации.

В условиях глобального стремления к экологически чистым и устойчивым источникам энергии особое внимание уделяется водородным топливным элементам, в частности, элементам с протонообменной мембраной (ТЭПМ).

Их преимущества — высокая плотность мощности, быстрый отклик на переменные нагрузки, нулевой уровень вредных выбросов и модульность — делают их перспективными для широкого спектра применений, от мобильных устройств до электротранспорта и стационарных энергетических установок.

Тем не менее, успешная реализация ТЭПМ в практических условиях невозможна без эффективного управления теплом.

Тепловыделение, происходящее в ходе электрохимических реакций, требует надёжных систем охлаждения, способных предотвращать перегрев, локальные горячие точки и деградацию мембраны.

В этом контексте развитие методов охлаждения и численного моделирования теплопередачи становится важнейшим направлением исследований [1].

1 - Источники тепла и необходимость охлаждения.

Во время работы ТЭПМ около 50–60% энергии, поступающей с водородом, преобразуется в тепло [2].

Это тепло распределяется неравномерно по объёму ячейки, что может приводить к ухудшению рабочих характеристик и сокращению срока службы системы.

Основные источники тепла включают:

- тепло от электрохимической реакции,
- оммическое сопротивление мембраны,
- теплопередачу через газовые диффузионные слои и каталитические слои,
- фазовые переходы (испарение воды).

Для обеспечения стабильной работы необходим эффективный теплоотвод от активных областей. Поэтому система охлаждения должна быть тщательно интегрирована в конструкцию топливного элемента [3].

2 - Классификация методов охлаждения ТЭПМ.

2 - 1- Воздушное охлаждение

Применяется, как правило, в маломощных системах. Простота конструкции, компактность и отсутствие циркуляционного насоса — основные преимущества. Однако низкая теплоёмкость воздуха ограничивает эффективность охлаждения при высокой плотности тока [4].

2 - 2 - Жидкостное охлаждение

Наиболее широко распространённый метод для ТЭПМ средней и высокой мощности. Вода или диэлектрическая жидкость циркулирует через каналы охлаждающей пластины, эффективно отводя тепло от активной зоны.

В зависимости от конструкции канала могут применяться параллельные, змеевиковые или бионические геометрии, влияющие на равномерность температурного поля [5].

2 -3- Тепловые трубки и испарительное охлаждение

Инновационные подходы, включающие тепловые трубки, фазовые переходы и пористые материалы. Такие методы позволяют увеличить плотность охлаждения без значительного повышения энергозатрат на перекачку хладагента [6].

2 -4 - Охлаждение с фазовым переходом

Использует скрытую теплоту испарения жидкости. Например, впрыск воды в проточные каналы может обеспечивать как охлаждение, так и увлажнение мембраны, снижая необходимость в дополнительных компонентах [7].

3 - Тепловые модели и механизмы теплопередачи.

Сложная архитектура ТЭПМ требует применения многофизичных моделей, учитывающих теплопроводность, конвекцию, излучение, а также фазовые переходы.

Тепло распространяется от активной зоны к теплообменнику в основном за счёт теплопроводности через слои CL и GDL, а также конвективного переноса через охлаждающие каналы.

Существуют исследования, указывающие, что около 36% тепла должно отводиться через систему охлаждения, а остальная часть — через реакционные газы и естественную конвекцию [8].

4 - Влияние конструкции каналов на тепловой режим.

Проектирование геометрии каналов охлаждения оказывает ключевое влияние на равномерность распределения температуры, градиенты давления и эффективность теплообмена. Различные типы полей потока (змеевиковые, параллельные, спиральные и бионические) обладают уникальными характеристиками.

Например, Змеевиковые каналы обеспечивают хорошую тепловую однородность, но создают высокий перепад давления.

Бионические конструкции, имитирующие природные формы (рыбьи кости, листья), могут улучшать диффузию реагентов и отвод воды [9].

Моделирование методом конечных элементов (CFD) позволяет количественно оценивать тепловые поля, оптимизировать дизайн и прогнозировать работу ТЭПМ в различных условиях. Исследования показывают, что оптимизация геометрии может повысить равномерность температуры до 37%, а перепад давления снизить на 15 % [10].

Таким образом, эффективное охлаждение ТЭПМ требует сочетания правильного выбора метода, точного моделирования и оптимального проектирования каналов.

Жидкостное охлаждение остаётся основным направлением для систем средней и высокой мощности, но современные подходы — включая фазовые переходы и бионические формы — открывают новые горизонты.

Применение трёхмерного численного моделирования играет решающую роль в прогнозировании и улучшении характеристик топливных элементов, что подтверждает актуальность исследований в этой области.

5 - Трёхмерное численное моделирование охлаждения топливного элемента

Для обеспечения стабильной работы топливных элементов с протоннообменной мембраной (ТЭПМ) крайне важно контролировать тепловой режим.

Перегрев или локальные зоны высокой температуры могут привести к деградации мембраны, снижению эффективности и ускоренному износу компонентов.

В связи с этим численное моделирование процессов охлаждения в ТЭПМ с использованием современных программных средств, таких как ANSYS Fluent, становится эффективным инструментом для анализа и оптимизации теплового управления.

Настоящее исследование направлено на моделирование теплообмена в системе жидкостного охлаждения ТЭПМ при различных скоростях потока охлаждающей воды, с целью определения их влияния на распределение температуры в активной зоне элемента.

5 - 1 - Описание модели

Исследуемая модель представляет собой однотопливный элемент с прямоугольной архитектурой, содержащий три канала охлаждения и один канал подачи газа в анодной и катодной секциях (см. рис. 1).

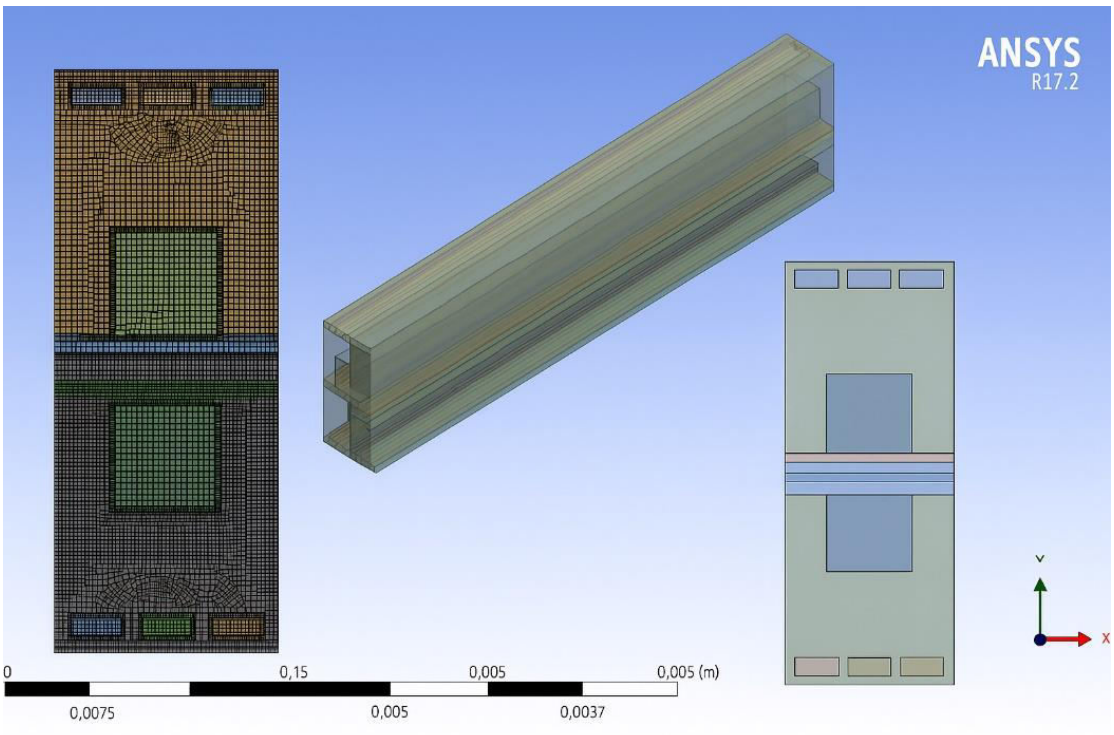


Рисунок 1. Геометрия и расчетная сетка топливного элемента

Геометрия была создана с учётом симметрии конструкции и повторяющихся элементов в тепловыделяющих слоях, что позволило реализовать упрощённую расчетную область без потери точности. Визуализация распределения температуры показала отчётливую структуру потока и градиенты температуры по длине канала.

Сетка построена с высоким уровнем детализации в областях каналов и на границах слоёв, обеспечивая адекватное разрешение для моделирования тепловых процессов.

Общее число ячеек составило 431 712, что гарантирует достаточную точность при сохранении разумного времени расчета.

Используемая схема дискретизации обеспечивает второй порядок точности, а расчёт проводился в стационарной (steady-state) постановке. Геометрия включает в себя:

- активную область ячейки с мембраной и электродами;
- газовые каналы;
- охлаждающие каналы с подводом и отводом воды.

Модель реализована с учетом конвективного теплообмена между жидкостью и твёрдыми поверхностями, а также теплопроводности внутри конструкционных материалов.

Были использованы реальные физико-химические свойства воды и материалов ячейки. Сеточная модель имела высокую плотность, что обеспечило достоверную дискретизацию температурного поля.

Моделирование проведено в четырех режимах с различной скоростью потока воды:

1. 0,5 м/с.
2. 2 м/с.
3. 5 м/с.
4. 10 м/с.

На всех стадиях расчетов учитывались одинаковые тепловые граничные условия и выделение тепла из активной зоны, эквивалентное работе реальной ячейки при постоянной нагрузке.

Модель является базовой для последующего сравнения различных условий охлаждения и различных теплоносителей (например, наножидкостей), и представляет собой надёжную платформу для оптимизации теплового режима в системах топливных элементов.

5 - 2 -Сравнительный анализ результатов (см. рис. 2).

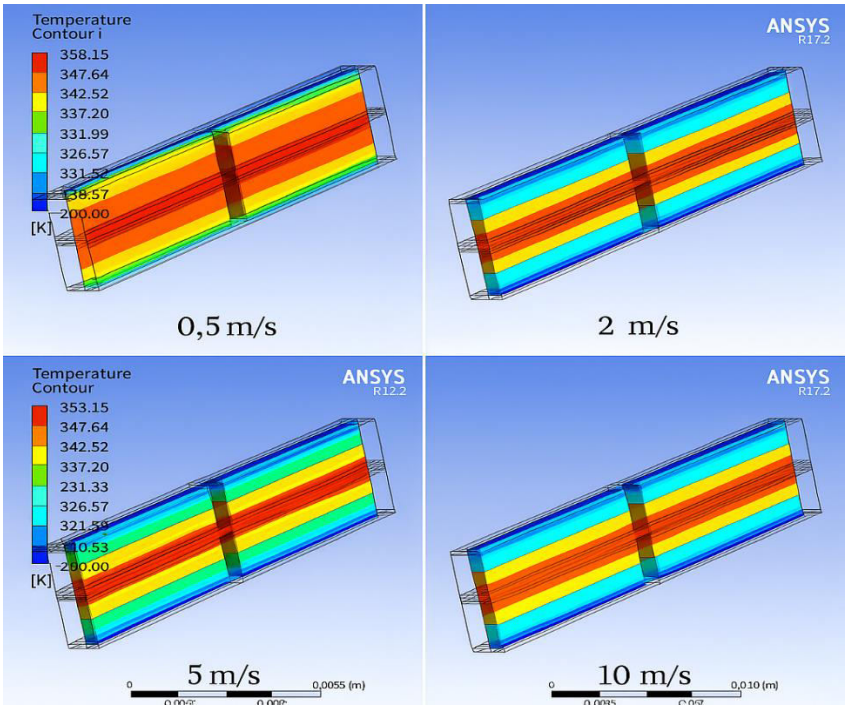


Рисунок 2. Сравнительное распределение температуры в ТЭПМ при разных скоростях охлаждающей воды (0,5–10 м/с)

Случай 1: Скорость 0,5 м/с

При минимальной скорости потока наблюдается выраженное неравномерное распределение температуры. В центре активной зоны формируется горячее пятно, температура достигает пиковых значений. Эффективность отвода тепла низкая, что может привести к перегреву в реальной системе. Общий температурный градиент по сечению канала — максимальный среди всех случаев.

Случай 2: Скорость 2 м/с

С увеличением скорости до 2 м/с ситуация заметно улучшается. Температурное поле становится более равномерным, пиковые значения снижаются. На этом этапе уже можно говорить о приемлемом уровне охлаждения, подходящем для маломощных систем. Однако в некоторых зонах сохраняются участки с повышенной температурой.

Случай 3: Скорость 5 м/с

При 5 м/с достигается оптимальный компромисс между равномерностью распределения температуры и энергетическими затратами на прокачку жидкости. Практически отсутствуют перегретые зоны, температура поверхности мембраны стабилизируется. Среднее значение температуры значительно ниже, чем в предыдущих случаях, а температурные колебания по площади — минимальны.

Случай 4: Скорость 10 м/с

Максимальная из рассмотренных скоростей обеспечивает наилучшие условия охлаждения: температура во всех точках конструкции близка к минимальному уровню. Однако столь высокая скорость приводит к увеличению гидродинамического сопротивления и, как следствие, — энергозатрат системы циркуляции. Такое решение может быть целесообразным только в системах высокой мощности, где необходима агрессивная теплопередача.

Общие выводы по моделированию:

Результаты моделирования подтверждают, что увеличение скорости потока охлаждающей воды способствует улучшению теплового режима в ТЭПМ, снижению температуры и выравниванию теплового поля. Однако следует учитывать энергетические потери, связанные с насосом.

Таким образом:

- скорость 2–5 м/с представляется оптимальной для большинства применений, обеспечивая баланс между эффективностью охлаждения и экономичностью;
- режим 10 м/с оправдан в условиях высокой тепловой нагрузки;
- режим 0,5 м/с недостаточен для отвода тепла при средней и высокой мощности.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательского технического университета имени А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. H.Ju, C. Wang, S. Cleghorn, U. Beuscher, Nonisothermal modeling of polymer electrolyte fuel cells: I. Experimental validation, J. Electrochem. Soc. 152 (2005) A1645, https://doi.org/10.1149/1.1943591.

2. R. Vetter, J.O. Schumacher, Free open reference implementation of a two-phase PEM fuel cell model, Comput. Phys. Commun. 234 (2019) 223–234, https://doi.org/10.1016/ j.cpc.2018.07.023

3. L. Liu, T. Liu, F. Ding, H. Zhang, J. Zheng, Y. Li, Exploration of the po-larization curve for proton-exchange membrane fuel cells, ACS Appl. Mater. Interfac-es 13 (2021) 58838–58847, https://doi.org/10.1021/acsami.1c20289.

4. J. Ramousse, O. Lottin, S. Didierjean, D. Maillet, Heat sources in proton exchange membrane (PEM) fuel cells, J. Power Sources 192 (2) (2009) 435–441.

5. H.Q. Nguyen, B. Shabani, Proton exchange membrane fuel cells heat re-covery opportunities for combined heating/cooling and power applications, Energy Conversion Manag. 204 (2020) 112328 Elsevier Ltd15-Jan-.

6. A. Faghri, Z. Guo, Challenges and opportunities of thermal management issues related to fuel cell technology and modeling, Int. J. Heat Mass Transfer 48 (1920) (2005) 3891–3920 Pergamon.

7. C.Y. Wen, G.W. Huang, Application of a thermally conductive pyrolytic graphite sheet to thermal management of a PEM fuel cell, J. Power Sources 178 (1) (2008) 132–140.

8. H.Q. Nguyen, B. Shabani, Proton exchange membrane fuel cells heat re-covery opportunities for combined heating/cooling and power applications, Energy Conversion Manag. 204 (2020) 112328 Elsevier Ltd15-Jan-.

9. H. Tang, et al., Review of applications and developments of ultra-thin micro heat pipes for electronic cooling, Appl. Energy 223 (2018) 383–400 Elsevier Ltd.

10. L. Vasiliev, L. Vasiliev, Heat Pipes in Fuel Cell Technology, Springer, Dordrecht, 2008, pp. 117–124.

ONE-DIMENSIONAL NUMERICAL SIMULATION OF FUEL CELL OPERATION

Mrshd M., Mityushkin A.D.

Supervisor: Salakhov R.R., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents a three-dimensional numerical simulation of fuel cell cooling using water as a coolant. The effect of different coolant flow rates on the temperature distribution inside the structure is studied. The obtained results allow us to evaluate the efficiency of water cooling and offer recommendations for optimizing the thermal mode of the PEMFC.

УДК 621.4.059:533.6

ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ УСТРОЙСТВ ШУМОГЛУШЕНИЯ В СИСТЕМАХ ПОНИЖЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Насифуллин Б.М.

Научный руководитель: Тукмаков А.Л., профессор, д. ф.-м. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются основные принципы разработки устройств шумоглушения, применяемых в системах понижения давления. Анализируются причины возникновения шума при снижении давления в трубопроводах и технологическом оборудовании, а также влияние шумовых факторов на безопасность и эффективность работы систем. Представлены конструктивные и технологические подходы к созданию шумоглушителей, включая использование акустических материалов, геометрических изменений и гидравлических элементов.

Шумом принято называть нежелательное для восприятия органами слуха человека беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности. Источниками шума являются все тела, находящиеся в состоянии колебаний (воздух, вода, металл и т.п.). Влияние шума на человека пока еще недостаточно полно изучено. Это объясняется сложностью определения влияния шума из комплекса факторов внешней среды, воздействующих на человека, и отсутствием четких критериев его оценки. Реакция организма на шум зависит от многих факторов. Некоторые люди терпимы к нему, у других он вызывает неудовольствие, у третьих - нарушает самочувствие, сон, нормальную трудовую деятельность. Причиной различного восприятия шума может быть возраст, состояние здоровья, характер деятельности человека, его настроение. Уровень шума и фактор времени имеют решающее значение. Степень раздражающего воздействия зависит и от того, на сколько шум превышает привычный окружающий фон, какова заключенная в нем информация. Влияние производственного шума на организм человека также может сопровождаться развитием профессиональных заболеваний [1].

Масштабная газификация российских регионов вызвала увеличение спроса на газораспределительные станции (ГРС) и газорегуляторные пункты (ГРП) с высокой пропускной способностью. Одновременно с этим появились новые стандарты, повышающие требования к надежности, промышленной безопасности и экологии объектов транспорта природного газа, содержащие требования к уровню шума внутри технологических помещений, создаваемого работающими линиями редуцирования.

Большая часть газопроводных систем российского топливно-энергетического комплекса, приближается к грани своего проектного ресурса, так как их эксплуатация происходит уже более 30 лет. Процесс работы старых и износившихся трубопроводов может привести к нежелательным последствиям т.е. авариям и катастрофам. Из-за факта расположения ГРС в черте города, аварийные последствия носят более масштабный характер, а конкретно затрагивать социальные, экологические и экономические сферы.

Отличие работы ГРС от магистрального трубопровода, заключается в присутствие на них динамического нагружения, вибрации, которая возникает в процессе понижения давления при помощи автоматических регуляторов, для подачи в потребительские сети. Большая часть ГРС работает с превышением проектного значения объемного расхода газа, даже не смотря на этот факт, процесс сопровождается значительным увеличением скорости потока газа, которая, как правило, превышает нормативные показатели. В следствие этого происходит повышение уровня шума и вибрации отрицательным образом, влияющий на рабочий персонал и надежность технологического оборудования и трубопровод ГРС.

Вибрация трубопровода, сопровождаемая процессом дросселирования, существенно отличается от вибрации машин и механизмов. Как правило вибрация агрегатов,

прикачивающих среду, появляется в следствии инерции рабочих органов, находящихся в движении. Устранение такого явления производится путем механических инженерных решений. Но явление вибрации, возникающей в трубопроводе, происходит не только от инерционного воздействия, но и из-за пульсаций давлений в трубопроводе [2]. В случае совпадения частоты колебания системы с частотой работы машины, происходит резонанс системы, в результате которой происходит значительная вибрация особенно в подающих трубопроводах. Зона действия вибрации обычно сводится к системе обвязки агрегата и после выхода на прямые участки происходит уменьшение вибрационной активности.

Анализ процесса пульсации давлений при транспортировке газа рассматривался в отечественных и зарубежных работах. Возбуждения и пульсации от трубопроводов, транспортируемых газ, создаются за счет вибрирующей поверхности самого трубопровода и агрегатов, результатом которых являются внутренние газодинамические процессы. Колебания звука в транспортируемой среде и газодинамические пульсации потока имеют различную физическую природу [3]. Важно заметить, что в отличии от звуковых колебаний, которые перемещаются со скоростью звука и зависят от упругой среды, газодинамические пульсации давления в потоке газа, которые могут возникать, при условии до звуковых скоростей, отходят на второй план. Скорость таких пульсаций распространяется со скоростью потока. Так же звуковые волны подчиняются принципу суперпозиции, из-за линейности колебаний среды, пульсации скорости и давления в транспортируемой среде не линейный соответственно не подчиняются принципу суперпозиции, такие пульсации называют псевдозвуковыми [4].

На ГРС, при редуцировании газа, даже при незначительных перепадах давления, движение транспортируемой среды сопровождается значительными скоростями, в следствии чего за регулятором образуются турбулентные движения.

При критичных перепадах давления, скорость потока газа может быть больше скорости звука, что спровоцирует скачки уплотнений давления, сопровождающиеся ударными волнами. При скорости потока больше скорости звука могут появляться дискретные составляющие, которые сопровождаются уплотнение в потоке и колебаниями всего потока.

При редуцировании газа на ГРС возникающие акустические колебания высокой мощности и пульсации давления можно уменьшить за счет следующих инженерно-технических решений: делители потока (сетчатых, лабиринтных); антишумовых клеток; перфорированных плунжеров; диффузоров.

Рассмотрено изобретение, которое представляет собой затвор клапана регулятора с антишумовой клеткой и перфорированными плунжером (рис. 1). Изобретение предназначено для регулирования расхода рабочего тела (газа или жидкости) с одновременным снижением шума и вибраций, возникающих при турбулентных потоках. Конструкция включает в себя антишумовую клетку и перфорированный плунжер [5].

Антишумовая клетка ограничивает и направляет поток через ряд последовательных камер и перфораций. Поток несколько раз меняет направление и проходит через узкие отверстия (перфорации), что снижает скорость потока и турбулентность, а значит и уровень шума. Перфорированный плунжер — это подвижный элемент затвора с отверстиями, которые создают дополнительное дробление и снижение энергетики потока. Регулируя положение плунжера, можно менять площадь проходного сечения, контролируя расход.

При воздействии управляющего сигнала (например, от исполнительного механизма) плунжер перемещается внутри антишумовой клетки. Поток проходит через отверстия плунжера и камеры клеточного корпуса, где многократно «ломается» и уменьшается скорость. Это снижает шум и предотвращает кавитацию или эрозию. Одновременно регулируется давление и расход среды в магистрали.

Изобретения такого типа эффективно подавляют шум регулятора без дополнительных шумоглушителей. Отличаются повышенной надежностью и долговечностью за счёт снижения эрозионных процессов.

Позволяют точно регулировать расход среды благодаря конструкции перфорированного плунжера.

В свою очередь наличие антишумовой клетки и перфорированного плунжера увеличивает сложность устройства клапана, что может привести к более высокой стоимости производства и обслуживания. Перфорированные элементы и узкие каналы антишумовой клетки подвержены засорению частицами рабочей среды, что ухудшает работу клапана и увеличивает потребность в более частом техническом обслуживании. Многочисленные детали усложняют процесс сборки, монтажа и ремонта клапана, требуя квалифицированного персонала и специализированных инструментов.

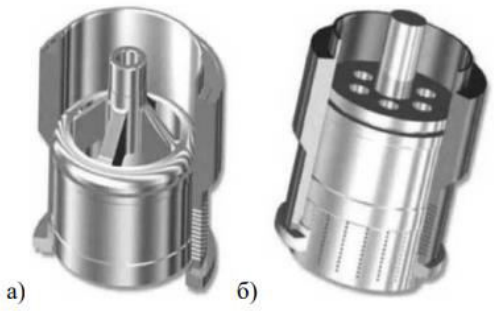


Рисунок 1. Затвор клапана регулятора с антишумовой клеткой и перфорированными плунжером: одноступенчатый (а); двухступенчатый (б)

Таким образом, сочетание антишумовой клетки и перфорированного плунжера позволяет клапану эффективно и тихо управлять потоком рабочей среды, значительно снижая шумовую и вибрационную нагрузку. Несмотря на преимущества в снижении шума и улучшении надежности, применение затворов с антишумовой клеткой и перфорированным плунжером требует учёта их недостатков в проектировании и эксплуатации систем.

Известно устройство, в виде лабиринтного разделителя потока (рис. 2). Оно предназначено для разделения или распределения потоков жидкостей или газов при помощи сложной системы каналов и перегородок.

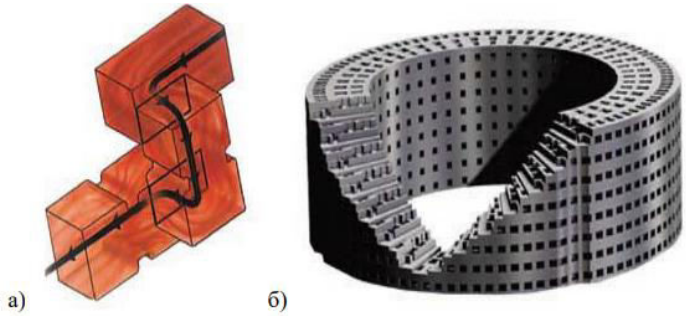


Рисунок 2. Лабиринтный разделитель потока: конфигурация канала (а); общий вид разделителя (б)

Поток движется по извилистым узким каналам, образованным перегородками и прорезями. При этом происходит многократное изменение направления и сужение потока, что приводит к уменьшению скорости, снижению турбулентности и часто – снижению шума. В результате разделяются потоки с разными параметрами (давлением, скоростью, составом), либо поток равномерно распределяется по выходам. Лабиринтная структура увеличивает сопротивление потоку, способствуя диффузии и сепарации компонентов [6].

Устройство эффективно для разделения потока без подвижных частей. Извилистая структура и большое количество перегородок создают значительное сопротивление потоку, что может привести к потере давления. Устройство нельзя применить при больших расходах среды, т.к. при больших расходах и высоких скоростях потоков эффективность разделения

может снижаться из-за гидродинамических эффектов и возникновения вибраций. Кроме того, лабиринтная конструкция часто требует большого количества материала и пространства, что увеличивает вес и размеры установки.

Так же применима технология гашения пульсации с упруго закрепленной конусной вставкой. Такая технология предназначена для гашения пульсаций или вибраций в жидкостях или газах. Основным элементов гасителя является конусная перфорированная вставка с отверстиями диаметр которых уменьшается от входа к выходу [7]. Конструкция такого устройства представлена на рисунке 3.

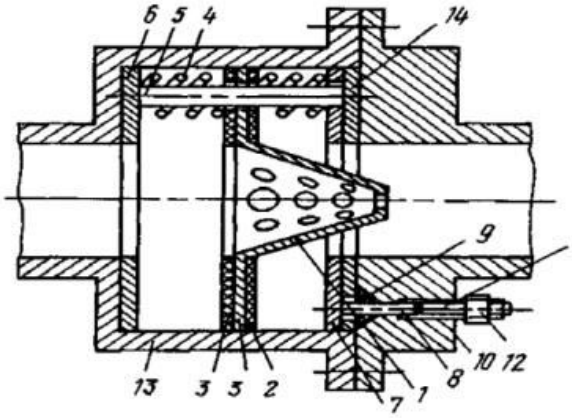


Рисунок 3. Гаситель пульсаций давления с закрепленной перфорированной конусной вставкой: 1 – перфорированная вставка; 2 – пружина; 3 - прокладка; 4 – фланец; 5 – направляющие; 6 – опорные кольца; 7 – прижимное кольцо; 8 – толкатели; 9 – уплотнения; 10 – шпилька; 11 – регулировочные винты; 12 – контргайки; 13 – корпус; 14 – дополнительное опорное кольцо

В корпусе установки располагается перфорированная конусная вставка, которая фиксируется неподвижно внутри потока рабочей среды. Поток при движении проходит через множество мелких отверстий вставки, что приводит к дроблению потока на малые струи. При прохождении через отверстия и вокруг конуса создаются зоны турбулентности и вихри, которые снижают амплитуду давления и гасят пульсации за счёт кинетической энергии колебаний. Конусная форма вставки способствует равномерному распределению потока по сечению и предотвращает образование крупных зон завихрений, что улучшает эффективность гашения. В результате достигается сглаживание быстрых перепадов давления и уменьшение вибраций в системе.

Данная установка отличается высокой эффективностью гашения пульсаций за счёт равномерного распределения потока и создания мелкодисперсных струй. Гаситель пульсаций давления имеет высокую надёжность и долговечность конструкции благодаря неподвижной вставке без подвижных частей. Простота монтажа и технического обслуживания – отсутствие сложных механизмов облегчает эксплуатацию.

Несмотря на вышесказанное, данное устройство имеет недостатки. Вследствие прохождения через перфорированную вставку отслеживаются потери давления, что может потребовать увеличения подачи или настройки системы. Ограничения по рабочему диапазону – эффективность может снижаться при чрезмерно высокой или низкой скорости потока. Так же имеется риск засорения отверстий, особенно при работе с загрязнёнными средами, что ведёт к уменьшению пропускной способности. Отсутствует адаптивность к изменяющимся режимам работы, так как вставка фиксирована и не регулируется автоматически.

Гасители с перфорированной конусной вставкой подходят для устойчивого и надёжного гашения пульсаций в системах с относительно стабильными параметрами потока, но требуют контроля за состоянием перфорации и учёта возможных потерь давления.

Все перечисленные устройства предназначены для улучшения работы регулирующей и транспортной арматуры, в частности для снижения шумов, вибраций и пульсаций давления в системах трубопроводного транспорта и регулирования потока. Каждый из них реализует уникальные технические решения для повышения эффективности и долговечности оборудования.

Все вышеперечисленные устройства имеют следующие преимущества:

- значительное снижение шума и вибрации при прохождении потока;
- повышение ресурса и надёжности регулирующей арматуры;
- возможность работы с агрессивными или высокотемпературными средами;
- относительная простота конструкции и монтажа.

Ограничения связаны с подбором устройства под конкретные условия эксплуатации, необходимость точного расчёта параметров для оптимальной эффективности и увеличение гидравлических потерь при чрезмерном размыкании потока. В целом, данные устройства представляют собой эффективные инженерные решения для повышения качества регулирования и безопасности трубопроводных систем за счёт комплексного снижения негативных явлений, связанных с турбулентностью и пульсациями потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Фролов Р.П.* Шум и его воздействие на организм человека / Р. П. Фролов – М.: Наука, 1980. – 256 с.

2. *Семенов А.Н.* Методы снижения вибрации в трубопроводах, сопровождаемых пульсацией давления. – Журнал «Вибрация и шум», 1986, № 4, с. 45–52.

3. *Захаров В.С., Петров И.А.* Газодинамические пульсации и вибрации в трубопроводах // Известия вузов. Газовая промышленность. – 2016. - № 3. – С. 25-32.

4. *Ковалёв В.Г., Мещеряков А.В.* Вибрации и шум в трубопроводных системах газоснабжения. – М.: Недра, 2014. – 256 с.

5. *Козлов И.В., Гусев М.А.* Применение перфорированных плунжеров в клапанных устройствах / И.В. Козлов, М.А. Гусев // Труды конференции «Трубопроводные системы», Екатеринбург, 2020. – С. 112–118.

6. *Смирнов А.К.* Гидравлические разделители с комплексной системой каналов / А.К. Смирнов. – СПб.: Политехника, 2018. – 175 с.

7. Пат. 2062940 Российская Федерация, МПК F16L 55/04. Гаситель пульсаций давления / В.Б. Григорьев, М.В. Рябуха; заявитель и патентообладатель Военноморская академия им. Адм. флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова. – № 93049376/06; заявл. 27.10.1993; опубл. 27.06.1996. – 3 с.

PRINCIPLES OF NOISE SUPPRESSION DEVICES DEVELOPMENT IN DEVICES IN SYSTEMS PRESSURE REDUCTION

Nasifullin B.M.

Supervisor: Tukmakov A.L., Full Professor, Doctor of Physico-Mathematical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses the basic principles of developing noise suppression devices used in pressure reduction systems. It analyzes the causes of noise generation during pressure reduction in pipelines and technological equipment, as well as the impact of noise factors on the safety and efficiency of systems. The article presents design and technological approaches to creating noise suppressors, including the use of acoustic materials, geometric modifications, and hydraulic elements.

УДК 526.35

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОРЕБРЕННЫХ ТРУБ НА СВОБОДНО-КОНВЕКТИВНУЮ ТЕПЛООТДАЧУ ОДНОРЯДНОГО ПУЧКА АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ С ВЫТЯЖНОЙ ШАХТОЙ

Островская Д.В.

Научный руководитель: Маршалова Г.С., доцент, к. т. н.

(Белорусский государственный технологический университет, г. Минск)

Аннотация. В статье представлено экспериментальное исследование влияния внешнего загрязнения на теплоотдачу однорядного пучка, состоящего из биметаллических труб со спирально накатными ребрами. При проведении экспериментальных исследований над пучком устанавливалась вытяжная шахта высотой H = 0,52; 1,04; 1,72; 2,24 м с регулируемым проходным сечением, способствующая интенсификации свободно-конвективного теплообмена. При увеличении внешнего слоя загрязнения $\delta_з$, а, следовательно, и термического сопротивления $R_з$ интенсивность теплоотдачи уменьшается на 5–41% в зависимости от высоты вытяжной шахты по сравнению с теплоотдачей при свободной конвекции.

Аппараты воздушного охлаждения (АВО) широко применяются в таких отраслях промышленности как химическая, нефтехимическая, газовая, целлюлозно-бумажная, в тепло- и электроэнергетике. Данные аппараты используются для охлаждения технологических продуктов, охлаждения и конденсации парогазовых смесей, для нагрева воздуха, а также утилизации тепла отходящих продуктов сгорания природного газа или других газообразных сред. Обширной областью применения АВО также является необходимость охлаждения, транспортируемого на большие расстояния газа. Для преодоления сопротивления движению газа на газопроводе через определенные промежутки (110–130 км) строят компрессорные станции, предназначенные для повышения давления газа до требуемых значений. Однако в процессе сжатия также увеличивается и температура газа, которую, для увеличения пропускной способности трубопровода и повышения его надежности, необходимо снижать в теплообменниках с воздушным охлаждением.

АВО, используемые в промышленности, в основном функционируют в режиме вынужденной конвекции, вследствие чего для их работы расходуется значительное количество электроэнергии. Это свидетельствует о том, что эффективность их эксплуатации напрямую зависит от количества потребляемой электрической энергии на привод вентиляторов.

Достичь экономии топливно-энергетических ресурсов возможно переходом при определенных условиях окружающей среды в режимы свободной конвекции воздуха и ее интенсификации при помощи установки вытяжной шахты над поверхностью теплообмена [1].

Стоит отметить, что аппараты с воздушным охлаждением состоят из пучков биметаллических оребренных труб различных компоновок. Оребрение позволяет увеличить площадь теплопередающей поверхности, что способствует повышению энергетической эффективности. При этом также существенное влияние на тепловую мощность теплообменника оказывает коэффициент теплопередачи, который с течением времени эксплуатации меняет свое значение.

В связи с размещением АВО на открытом воздухе, одной из ключевых проблем их эксплуатации, является возникновение загрязнения на внешней поверхности оребрения труб. Структура загрязнителей на поверхности оребрения полидисперсна и зависит от географической местности эксплуатации АВО. Возможны загрязнения в виде заноса сухой землей, песком, гравием, смеси сухих листьев и травы, иголками сосновых и хвойных деревьев, цветочной пыльцой, также возможны загрязнения в виде отложений солей, возникающих вследствие осаждения и испарения влаги с теплообменных поверхностей

[2, 3, 4]. Но в большинстве случаев загрязнение представляет различное сочетание отдельных чистых компонентов.

Это приводит к снижению эффективности теплоотдачи на поверхности охлаждения с воздушной стороны по ряду причин: отложение слоя загрязнения, имеющего высокое термическое сопротивление; снижение скорости воздуха, а иногда даже прекращение его поступления в те или иные каналы из-за их полной закупорки; изменение характера течения потока по каналам поверхности охлаждения из-за местных (локальных) отложений загрязнителя [5]. Это обуславливает актуальность изучения влияния внешнего загрязнения на интенсивность свободно-конвективного теплообмена оребренных пучков АВО.

Отложения, образующиеся на внешних поверхностях теплообмена, имеют, как правило, низкую теплопроводность $\lambda_з$, а, следовательно, и высокое термическое сопротивление:

$$R_з = \delta_з/\lambda_з. \quad (1)$$

Толщина $\delta_з$ и характеристики слоя загрязнения зависят от времени воздействия и концентрации загрязнителя, скорости потока, температуры и давления. В [4] также приведены физические свойства некоторых материалов, которые являются загрязнителями внешних теплообменных поверхностей АВО.

Цель работы – экспериментальное исследование влияния внешнего загрязнения оребренных труб на свободно-конвективную теплоотдачу однорядного пучка аппарата воздушного охлаждения, оснащенного вытяжной шахтой.

При проведении экспериментальных исследований использовался однорядный пучок, собранный из шести биметаллических труб со спиральными накатными ребрами. Материал ребристой оболочки – алюминиевый сплав АД1М, материал несущей трубы – углеродистая сталь. Геометрические параметры оребренных труб: наружный диаметр d = 56,8 мм; диаметр трубы по основанию d_0 = 26,4 мм; высота ребра h = 15,2 мм; шаг ребра s = 2,43 мм; средняя толщина ребра Δ = 0,55 мм; длина трубы $l_п$ = 330 мм (теплоотдающая длина l = 300 мм), коэффициент оребрения трубы φ = 21,0.

Внешнее загрязнение межреберного пространства труб было создано путем равномерного плотного кольцевого наматывания льняного шнура со средней теплопроводностью $\lambda_з$ = 0,0243 Вт/(м·°С) (рисунок 1). В результате был образован слой загрязнения средней толщиной $\delta_з$ = 2,0; 3,4 и 6,8 мм с неравномерностью ±0,4 мм.

Экспериментальное исследование проводились методом полного теплового моделирования на экспериментальной установке, представленной в работе [1]. Подвод теплового потока к оребренным поверхностям обеспечивался за счет установки внутри оребренных труб трубчатых электронагревателей (ТЭНов). Мощность, подводимая к оребренным трубам, измерялась ваттметром. Для снижения торцевых потерь на концах труб устанавливались фторопластовые втулки.

В ходе экспериментов электрическая мощность, подводимая к оребренным трубам, изменялась в пределах W = 10−320 Вт, средняя температура стенки у основания ребер составляла $t_{ст}$ = 20−120°С, а температура окружающего воздуха в камере t_0 = 16–27°С. Теплофизические свойства воздуха λ, ν, ρ, c_p и β определялись по температуре окружающего воздуха в камере t_0. За определяющий размер был принят диаметр трубы по основанию ребер d_0.

С целью изучения влияния внешнего загрязнения на теплоотдачу однорядного пучка, были проведены экспериментальные исследования в режиме свободной конвекции воздуха и при ее интенсификации при помощи вытяжной шахты (рисунок 2).

Для интенсификации свободно-конвективного теплообмена над однорядным пучком устанавливалась вытяжная шахта высотой H = 0,52; 1,04; 1,72 и 2,24 м с площадью выходного отверстия $f_{отв}$ = 0,086 м^2.

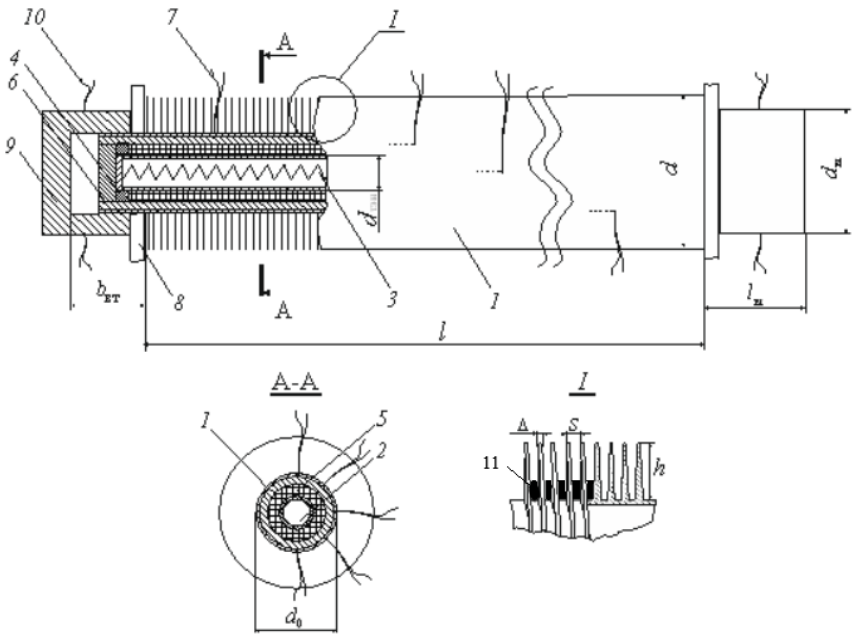


Рисунок 1. Общий вид трубы с внешним равномерным межреберным загрязнением: *1* – оребренная биметаллическая труба; *2* – трубчатый электронагреватель (ТЭН); *3* – спираль ТЭНа; *4* – центровочное кольцо; *5* – кварцевый песок; *6* – высокотемпературная силиконовая замазка; *7* – хромель-алюмелевые термопары; *8* – термостойкая фанера или панель из МДФ; *9* – фторопластовая втулка; *10* – четырехспайные медь-константановые термопары; *11* – льняной шнур

а) *б*)

Рисунок 2. Экспериментальная установка: *а*) без шахты; *б*) с вытяжной шахтой с регулируемым выходным отверстием

Результаты и обсуждение. Для анализа влияния внешнего загрязнения на теплоотдачу однорядного пучка с внешним кольцевым межреберным загрязнением в режимах свободной конвекции воздуха и при ее интенсификации при помощи вытяжной

шахты различной высоты, на рисунке 3 представлены экспериментальные зависимости числа Нуссельта Nu от термического сопротивления внешнего слоя загрязнения $R_з$ (1) при постоянном числе Ra = 10^5, где

$$\mathrm{Nu} = \frac{\alpha_к d_0}{\lambda}, \tag{2}$$

$$\mathrm{Ra} = \mathrm{Gr}\,Pr = \frac{g\beta d_0^3 (t_{ст} - t_0)}{\nu a}, \tag{3}$$

где λ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·°С); Gr – число Грасгофа; Pr – число Прандтля; g – ускорение свободного падения, м/с^2; $\beta = 1 / (273 + t_0)$ – коэффициент температурного расширения, К$^{-1}$; ν – коэффициент кинематической вязкости, м^2/с; a – коэффициент температуропроводности, м^2/с.

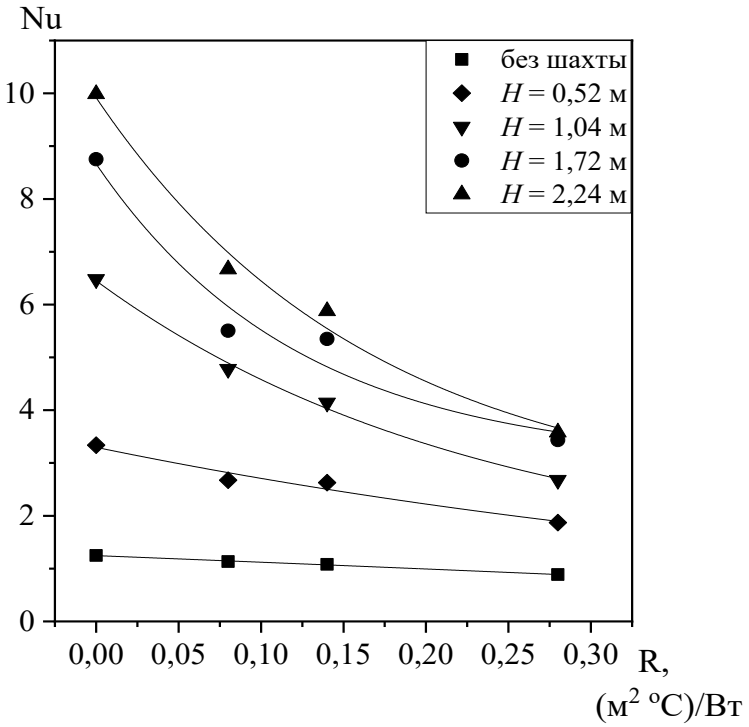


Рисунок 3. Зависимости числа Нуссельта Nu от термического сопротивления внешнего слоя загрязнения $R_з$ в режимах свободной конвекции воздуха и при ее интенсификации при помощи вытяжной шахты различной высоты, при постоянном числе Рэлея Ra = 10^5

Выводы. Проведены экспериментальные исследования теплоотдачи однорядного пучка оребренных труб с внешним межреберным загрязнением различной толщины в режимах свободной конвекции воздуха и при ее интенсификации при помощи вытяжной шахты. Анализ данных, представленных на рисунке 3, позволяет сделать вывод, что при увеличении внешнего слоя загрязнения $\delta_з$, а, следовательно, и термического сопротивления $R_з$ интенсивность теплоотдачи уменьшается на 5–41 % в зависимости от высоты вытяжной шахты по сравнению с теплоотдачей при свободной конвекции. Также наблюдается, что с ростом высоты вытяжной шахты негативный эффект от наличия внешнего загрязнения увеличивается.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (Т23РНФМ-005), в рамках проекта Государственной программы научных исследований «Энергетические и ядерные процессы и технологии» подпрограммы «Энергетические процессы и технологии» (задание 2.37, ГБ 21-104), Гранта Министерства образования РБ (ГБ 25-031).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Маршалова Г.С.* Тепловой расчет и проектирование аппаратов воздушного охлаждения с вытяжной шахтой: дис. … канд. техн. наук: 01.04.14 / Г. С. Маршалова. – Минск, 2019. – 153 л.

2. *Камалетдинов И.М.* Энергосбережение при эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на магистральных газопроводах. Автореферат канд. диссертации. Уфа, 2002.

3. *Беркутов Р.А.* Повышение энергоэффективности систем охлаждения газа на компрессорных станциях. Автореферат канд. диссертации. Уфа, 2010.

4. *Кунтыш В.Б., Сухоцкий А.Б., Филатов С.О., Жданович А.Ю.* Исследование теплопроводности внешних загрязнителей теплообменных секций аппаратов воздушного охлаждения // Химическая техника. – 2013. – № 11. – С. 40–43.

5. *Жукаускас А.А.* Конвективный перенос в теплообменниках. М.: Наука, 1982.

INFLUENCE OF EXTERNAL POLLUTION OF FIN PIPES ON FREE-CONVECTIVE HEAT TRANSFER OF A SINGLE-ROW BUNDLE OF AIR-COOLING DEVICES WITH AN EXHAUST SHAFT

Ostrovskaya D.V.

Supervisor: Marshalova G.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Belarusian State Technological University, Minsk)

Abstract. The article presents an experimental study of the influence of external contamination on the heat transfer of a single-row bundle consisting of bimetallic tubes with spirally rolled fins. During the experimental studies, an exhaust shaft with a height of H = 0.52; 1.04; 1.72; 2.24 m with an adjustable flow section was installed above the bundle, facilitating the intensification of free-convective heat exchange. With an increase in the external contamination layer $\delta_з$, and, consequently, the thermal resistance $R_з$, the heat transfer intensity decreases by 5–41% depending on the height of the exhaust shaft compared to heat transfer during free convection.

УДК 621.59

УСТАНОВКА ДЛЯ БЕЗРЕАГЕНТНОЙ ОСУШКИ ГАЗА

Павлов З.Д.

Научный руководитель: Арсланова С.Н., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Предложены технология и установка для безреагентной газодинамической осушки газа, не требующая дополнительных источников энергии. Для осуществления технологии используется потенциальная энергия сжатого газа, которая обычно теряется при редуцировании, что позволяет снизить эксплуатационные расходы, повысить эксплуатационную надежность оборудования и потребительские качества газа.

Природный газ – энергоресурс, который используется в самых различных сферах человеческой деятельности. Одной из проблем, возникающих при транспортировании и использовании природного газа, является наличие в нем водяного пара. При транспортировании и использовании газа происходит изменение термодинамических параметров (давления и температуры) и могут создаваться условия для конденсации водяного пара. Конденсат способен образовывать с компонентами природного газа твердые соединения – кристаллогидраты, которые откладываются в элементах технологического оборудования и нарушают его работу, вызывает коррозию трубопроводов, снижает теплоту сгорания газа. Для предотвращения этих проблем газ подвергается осушке.

Осушка газа осуществляется установками с наличием в них реагентов (адсорберах, абсорберах). Газ по мере прохождения таких установок достигает низких значений

содержания в нем влаги, что соответствует требованиям многих потребителей. Однако такие установки имеют ряд недостатков, включая необходимость регенерации, потери реагента и потенциальное загрязнение окружающей среды [1]. В связи с этим, разработка безреагентных технологий осушки является важной и перспективной задачей. Актуальность данной работы обусловлена растущими требованиями к экологической безопасности и энергоэффективности процессов подготовки природного газа.

Перспективным безреагентным методом осушки является низкотемпературная сепарация с использованием искусственного холода. Искусственный холод может быть получен за счет использования отдельной холодильной машины либо за счет энергии самого газового потока в процессах дросселирования, адиабатного расширения, вихревого энергетического разделения.

Использование отдельной холодильной машины требует наличия и обслуживания сложного оборудования. Конструкция и обслуживание газодинамических устройств осушки значительно проще. Газодинамические устройства характеризуются отсутствием каких-либо движущихся частей, высокой скоростью охлаждения газа и позволяют осуществить осушку непосредственно в процессе потребления [2].

Для осуществления газодинамической сепарации необходимо не только получить холод, но и эффективно отделить выпавшие частицы. Из всех методов охлаждения наибольшее снижение температуры происходит в обратимом процессе адиабатного расширения в сопле [2]. При расширении газа в сопле создаются условия для образования конденсата, но отделить его очень сложно. Конденсация в соплах, как правило, начинается в сверхзвуковой части сопла, происходит со значительным переохлаждением, достигающим нескольких десятков градусов, а образующиеся частицы очень мелкие, диаметром 10^{-7}- 10^{-6} м [3]. Отделить такие мелкие частицы из сверхзвукового потока с помощью инерционных сепараторов практически невозможно и приходится их укрупнять посредством добавления собственного конденсата. Это усложняет конструкцию установки осушки. В процессе сепарации неизбежно появляются ударные волны, в которых конденсат вновь испаряется. Несмотря на то, что в мире известны запатентованные устройства для осушки газов конденсацией в сопле, работоспособность подобных устройств вызывает большие сомнения.

Для осушки газов можно использовать эффект вихревого энергетического разделения (эффект Ранка-Хильша). В вихревой трубе поток при расширении разделяется на охлажденный центральный и нагретый периферийный. В центральном потоке образуется конденсат, который отбрасывается на периферию и частично испаряется. Таким образом, получается два потока – осушенный холодный и влажный нагретый. Вихревая труба одновременно является охладителем и сепаратором [4].

Схема установки безреагентной осушки газа показана на рис.1.

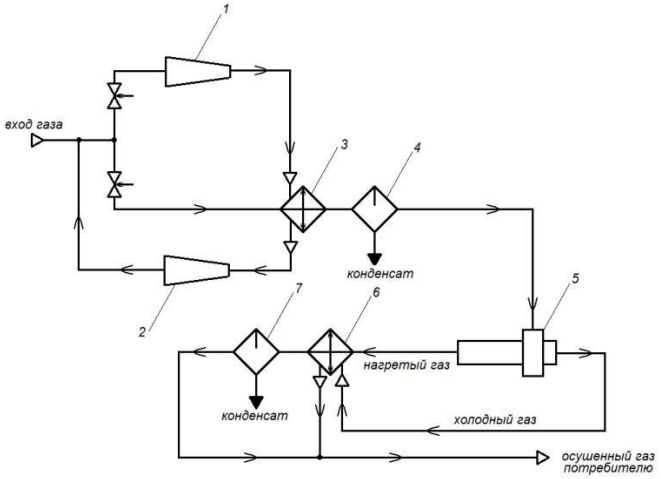


Рисунок 1. Схема установки безреагентной осушки газа
1 – сопло, 2 – диффузор, 3 – теплообменник, 4 – сепаратор,
5 – вихревая труба, 6 – теплообменник, 7 – сепаратор

Установка работает следующим образом. Поток газа из источника, которым может являться, например, газовая магистраль, делится на две части. Первая часть исходного потока направляется в сопло 1. В сопле происходит адиабатное расширение газа, температура и давление при этом понижаются. Вторая часть исходного потока поступает в теплообменник 3, в котором охлаждается за счет теплообмена с потоком из сопла. При этом происходит конденсация части водяного пара. Конденсат отделяется от газа в сепараторе 4. Сепаратор 4 и теплообменник 3 конструктивно объединены в одном устройстве. Газ из сопла, прошедший теплообменник, восстанавливает давление в диффузоре 2, направляется на вход установки и смешивается с исходным потоком. Таким образом, первая часть исходного потока осушке не подвергается. Энергия этой части потока используется только для получения холода.

Предварительно осушенная в теплообменнике 3 и сепараторе 4 вторая часть исходного потока направляется в вихревую трубу 5. В вихревой трубе происходит разделение потока на холодный с низким содержанием водяного пара и нагретый с более высоким содержанием. Холодная часть потока более не подвергается осушке. Эта часть является охлаждающей средой для теплообменника 6, в который поступает нагретая часть потока. Выпавший конденсат отделяется в сепараторе 7. Теплообменник 6 и сепаратор 7 также конструктивно представляют собой одно устройство. После теплообменника 6 и сепаратора 7 нагретый и холодный потоки объединяются, и осушенный газ подается потребителю.

Эффективность работы вихревой трубы существенно зависит от наличия в газе влаги [4]. Влага в виде пара и в виде конденсата снижает эффект температурного разделения, поэтому перед подачей газа в вихревую трубу его желательно предварительно частично осушить. Это происходит в теплообменнике 3 и сепараторе 4. Конденсат выпадает на поверхности теплообмена и легко удаляется. В результате условия работы вихревой трубы оказываются более благоприятными.

Вихревая труба на второй стадии осушки одновременно выполняет функцию охладителя и сепаратора, причем размер образующихся частиц конденсата существенной роли не играет. Частицы конденсата могут даже испариться в горячем потоке, но все равно останутся там в виде пара. Холодный же поток, который уже является осушенным, используется в теплообменнике 6 в качестве хладагента для конденсации этого пара.

Таким образом, разделение исходного потока на две части позволяет организовать работу основных элементов установки осушки более рациональным образом. Сопло, которое эффективно в качестве средства охлаждения, но мало эффективно как сепаратор, используется только для предварительной подготовки газа для вихревой трубы. В результате снижается нагрузка на вихревую трубу и повышается глубина осушки.

Разработанная технология осушки позволяет не только осуществлять осушку газа, но и обеспечивать безопасное снижение давления без образования гидратов, так как потребителям, как правило, требуется газ с более низким давлением, чем в магистрали. Основные элементы установки имеют простую конструкцию и не требуют постоянного обслуживания. Это повышает эксплуатационную надежность оборудования и снижает его материалоемкость.

Пример результатов расчетов, подтверждающих возможность осушки влажного метана с помощью данной установки, представлен в таблице 1.

Достигнутая точка росы при данной доле осушаемого потока достаточна для непосредственного использования газа широким кругом потребителей. Эта доля может быть выбрана другой в зависимости от конкретных условий.

Таблица 1

Показатели процесса осушки

Показатель	Значение
Давление газа в магистрали, МПа	1
Точка росы, °С	12
Массовая доля водяного пара в газе	$1{,}576 \cdot 10^{-3}$
Доля осушаемого потока	0,5
Давление на выходе из сопла, МПа	0,75
Температура газа на выходе из сопла, К	266,2
Массовая доля водяного пара в газе на входе в вихревую трубу	$0{,}906 \cdot 10^{-3}$
Доля холодного потока в вихревой трубе	0,383
Температура холодного потока, К	237
Температура нагретого потока, К	301,9
Давление холодного потока, МПа	0,3
Давление нагретого потока, МПа	0,53
Массовая доля водяного пара в смешанном потоке	$0{,}2236 \cdot 10^{-3}$
Точка росы смешанного потока, приведенная к исходному давлению в магистрали, °С	-13

Если достигаемая глубина осушки недостаточна для потребителя, то данная установка может служить первой ступенью установок более глубокой осушки, например, с помощью реагентов. Это позволит в целом снизить материальные и энергетические затраты на осуществление процесса осушки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Жданова Н.В., Халиф А.Л.* Осушка углеводородных газов. – М.: Химия, 1984. – 192 с.

2. *Гриценко А.И., Истомин В.А., Кульков А.Н., Сулейманов Р.С.* Сбор и промысловая подготовка газа на северных месторождениях России. – М.: ОАО «Издательство «Недра». 1999. - 473 с.

3. *Салтанов Г.А.* Сверхзвуковые двухфазные течения. Под ред. М.Е. Дейча и В.Ф. Степанчука. - Минск: «Вышэйшая школа». 1972. - 480 с.

4. *Суслов А.Д., Иванов С.В., Мурашкин А.В., Чижиков Ю.В.* Вихревые аппараты – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.

INSTALLATION FOR NON-REACTIVE GAS DRYING

Pavlov Z.D.

Supervisor: Arslanova S.N., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. A technology and installation for non-reactive gas dynamic gas drying that does not require additional energy sources are proposed. The technology uses the potential energy of compressed gas, which is usually lost during reduction, which reduces operating costs, increases the operational reliability of equipment and consumer qualities of gas.

УДК 629.11

ОБЗОР МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ И ТРАКТОРНЫХ СРЕДСТВ

***Попов И.А.*[1,2]**

Научный руководитель: Медведев В.М.[2], доцент, к. т. н.

([1]Казанский государственный аграрный университет, г. Казань,
[2]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В докладе обоснована необходимость проведения диагностики турбокомпрессоров (ТКР) дизельных двигателей, обозначены цели и дана классификация испытательных стендов ТКР. Дан анализ конструкций, принципов действия, преимуществ и недостатков основных безмоторных испытательных стендов в РФ различных типов. Показаны возможности расширения диагностических возможностей испытательных стендов на стадиях производства или ремонта ТКР.

Сегодня примерно 70% двигателей внутреннего сгорания (ДВС), используемых в тракторной и грузовой технике, оснащаются турбокомпрессорами (ТКР) различных моделей и размеров для систем наддува [1]. Применение таких систем в автотракторных двигателях способно увеличить их мощность на 10–50%. Однако усложнение конструкции ДВС ведет к росту числа отказов, связанных с поломками турбокомпрессоров, — в некоторых случаях до 3,5 раз [2].

Согласно требованиям [3], после ремонта ТКР, включая замену вала, подшипников и других компонентов, необходимо проводить диагностику параметров. Для этого выполняются стендовые испытания, которые проверяют соответствие рабочих характеристик и надежность дизельных двигателей [4,5]. Новые образцы ТКР также проходят испытания [6], даже если они изготовлены в соответствии с технической документацией и прошли контроль качества на производстве. Это связано с тем, что расчеты, на основе которых проектируются элементы турбокомпрессоров, не всегда учитывают все нюансы их работы.

Стендовые испытания, в отличие от эксплуатационных или полигонных, позволяют сократить время и затраты, сохраняя высокую точность результатов. Заводские испытания проводятся на специализированных стендах, которые классифицируются в зависимости от целей и комплектации ТКР (рис. 1).

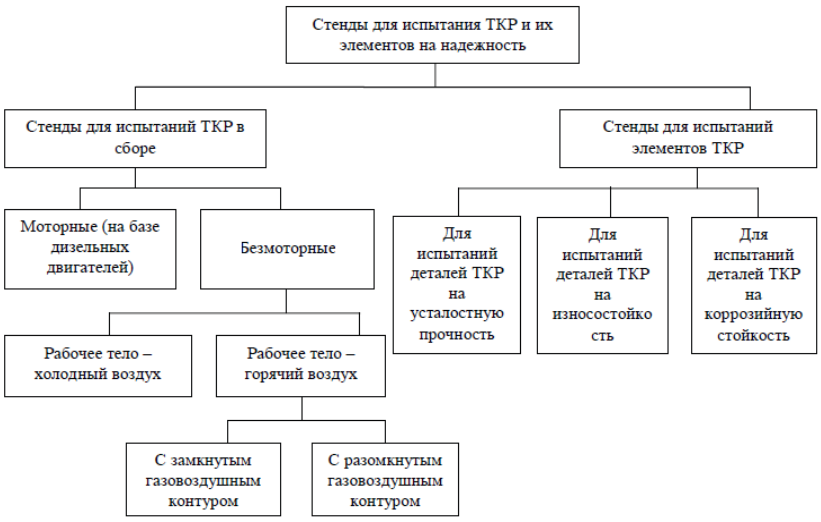


Рисунок 1. Классификация стендов для испытания ТКР и их составных элементов на надежность

Исследования характеристик и надежности элементов ТКР выполняются как на безмоторных стендах, так и в составе двигателей. На безмоторных стендах для привода ТКР используется сжатый воздух или горячий газ от внешних источников. Однако подача холодного воздуха от внешнего компрессора не позволяет полностью имитировать реальные условия эксплуатации. Поэтому современные стенды оснащаются генераторами горячего газа, такими как камеры сгорания или электронагреватели.

Испытания ТКР проводятся на заводах, в конструкторских бюро и научных институтах. Их можно разделить на три категории [5]:

1. Научно-исследовательские — направлены на изучение термодинамических и газодинамических процессов, анализ характеристик и прочности деталей.

2. Опытные — предназначены для обкатки и доводки конструкции ТКР, включая длительные испытания на двигателе.

3. Серийные — проводятся для выборочной проверки ТКР из партии на соответствие расчетным параметрам.

Методика диагностики рабочих параметров ТКР включает снятие характеристик компрессора и турбины при постоянных частотах вращения (через каждые 5–10 тыс. об/мин на 5–6 режимах). На каждом режиме, начиная с границы помпажа и до точек с максимальным расходом, фиксируется 8–10 точек после стабилизации температуры. Для контроля повторяемости данные снимаются как при увеличении, так и при снижении оборотов.

В РФ наиболее известные безмоторные испытательные стенды ТКР находятся в ПАО «КамАЗ» (г. Набережные Челны), НПО «Турботехника» (г. Протвино) и Самарском государственном университете путей сообщения (г. Самара).

Рассмотрим основные стенды в Российской Федерации:

- ПАО «КамАЗ» [7,8] — первоначально безмоторный стенд работал по разомкнутому контуру (рис. 2), но после модернизации стал автономным, с повышенной точностью измерений (рис. 3). Он оснащен системой подачи горячего газа от камеры сгорания, масляным контуром для смазки подшипников и автоматизированным управлением через компьютер.
- НПО «Турботехника» [9-12] – имеет 4 идентичных стенда для ТКР разных типоразмеров (рис.4). Здесь реализованы разомкнутый, полузамкнутый и замкнутый циклы подачи воздуха, а также система измерений параметров в реальном времени.
- «МТЗ-Турбоком» [4] – стенд для балансировки роторов без возможности «горячих» испытаний.
- ООО «Сервис-Турбо» [4, 13] – стенд для исследования резонансных частот без возможности «горячих» испытаний.
- НПП ООО «АгроМаркет» – безмоторный стенд для «горячих» испытаний ТКР при температурах газа 200–800 °С, но с ограниченным количеством измерений параметров в реальном режиме времени.
- Южно-Уральский аграрный университет [13] – мобильный стенд для испытаний ТКР тракторов ДТ-75 с использованием горячего газа системы выхлопа большегрузного автомобиля или трактора.
- ООО «Оскол Турбо» [13] – безмоторный стенд для испытаний почти всех моделей ТКР. Стенд состоит из газовоздушной, масляной, топливной систем и пульта управления. Компрессор приводится во вращение турбиной, рабочим телом для которого служит газ, с температурой 200-800 °С. Испытательный стенд для исследования ТКР автотракторных ДВС [14] предназначен только для исследования условий смазывания вала ТКР на высоких частотах вращения. Учет условий смазки позволяет снизить интенсивность износа деталей подшипникового узла ТКР.
- Самарский государственный университет путей сообщения – создано более 10 испытательных стендов ТКР ДВС [15-21]. Пример испытательного стенда, представлен на (рис.5) [16]. Стенд состоит из входного и выходного патрубков, регулируемого источник

горячего газового потока, ТКР, систем смазки, охлаждения, устройств для создания пульсаций газового потока. В качестве регулируемого привода используется ДВС со струйным смесителем.

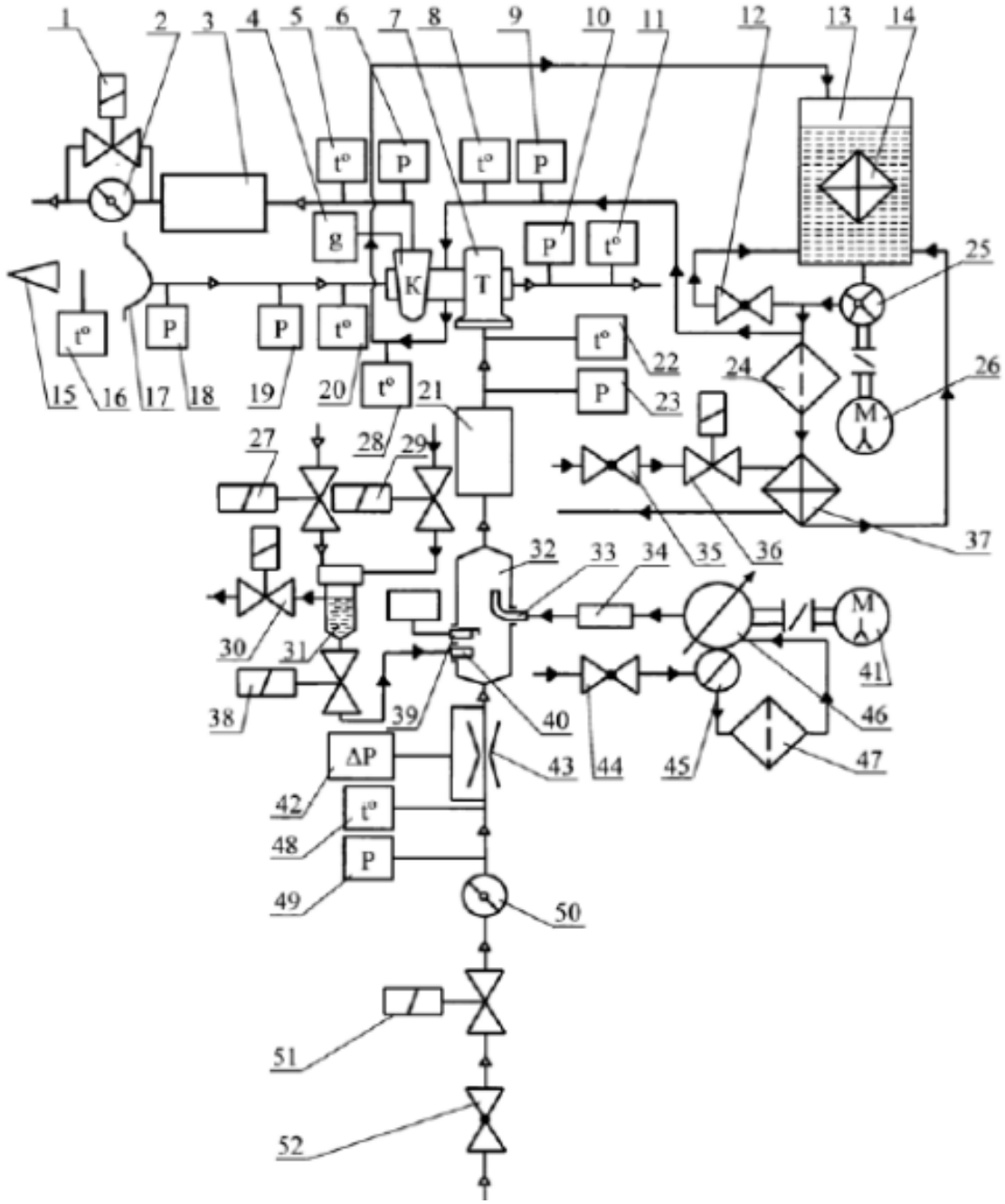


Рисунок 2. Принципиальная схема безмоторного стенда ПАО «КамАЗ»: 1 – перепуск; 2 – дроссельная заслонка за компрессором; 3 – ресивер; 4 – датчик вибрации; 5, 8, 11, 16, 20, 22, 28, 48 – датчики темпера-туры; 6, 9, 10, 18, 19, 23, 42, 49 – датчики давления; 7 – опытный ТКР; 12 – регулятор расхода масла; 13 – масляный бак; 14 – нагрева-тель масла; 15 – Датчик частоты вращения ротора; 17 – расходомерное сопло компрессора; 21 – ресивер; 24 – фильтр масляный; 25 – насос масляный; 26 – электродвигатель насоса масляного; 27, 29, 30, 36, 38 – клапаны; 31 – пусковой объем; 32 – камера сгорания; 33 – рабочая форсунка; 34 – ресивер; 35 – кран подвода воды; 37 – водомасляный теплообменник; 39 – блок зажигания со свечами зажигания; 40 – пусковая форсунка; 41 – электродвигатель ТНВД; 43 – сопло расходомерное турбины; 44 – кран включения подачи топлива; 45 – топливоподкачивающий насос ТНВД; 46 – ТНВД; 47 – фильтр топливный; 50 – дроссельная заслонка перед турбиной; 51 – отсечной клапан; 52 – кран подачи воздуха из заводской системы

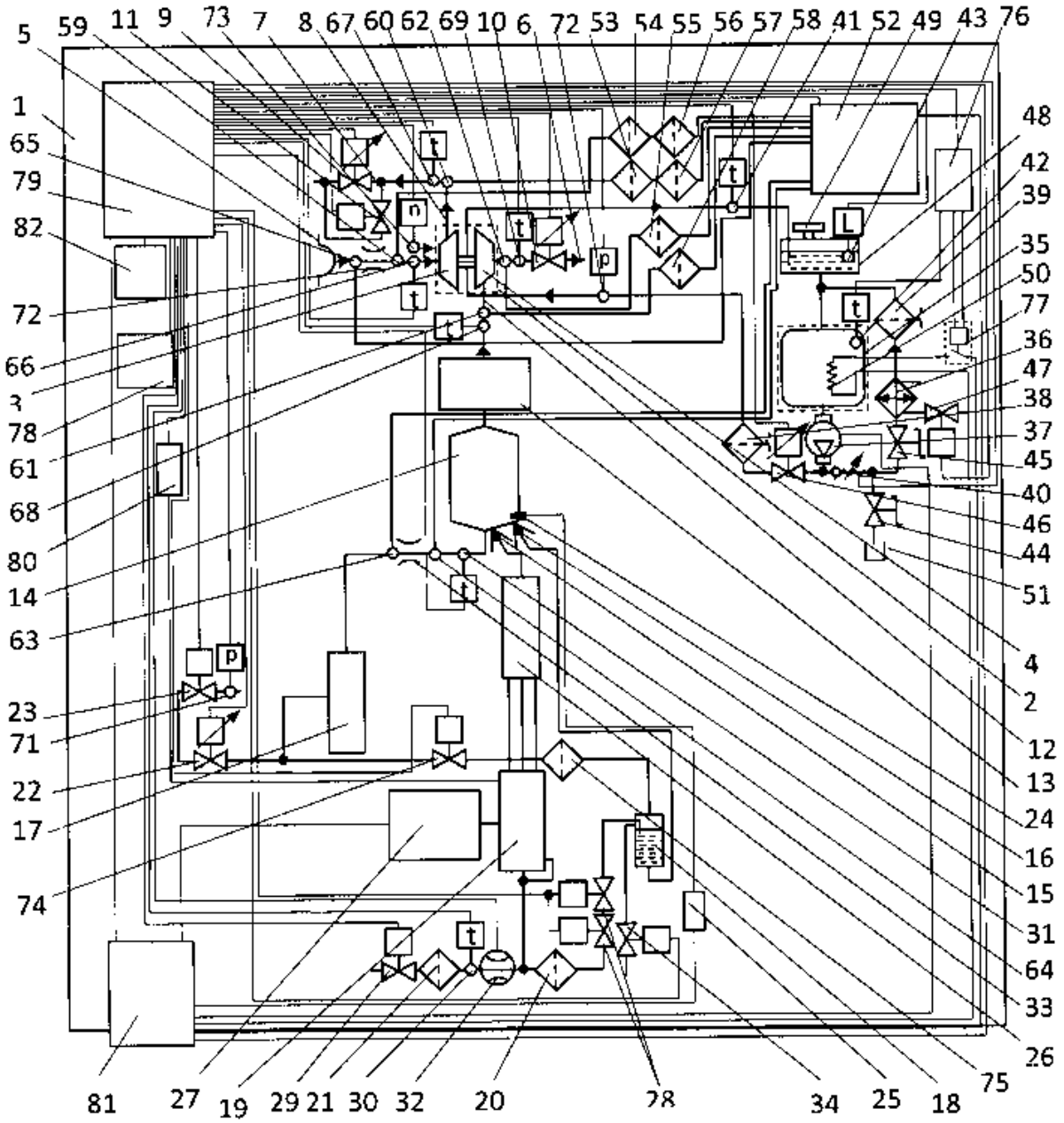


Рисунок 3. Стенд для испытания ТКР ПАО «КамАЗ»: 1 – корпус, 2 – турбокомпрессор, 3 – компрессор, 4 – турбина, 5 – воздушный патрубок, 6 – газовый патрубок, 7 – обводной воздушный патрубок, 8 – напорный патрубок компрессора, 9, 10 – регулируемый и аварийный клапаны системы нагружения компрессора, 11 – управляемый перепускной клапан, 12 – входной патрубок системы «горячего» запуска турбины, 13 – ресивер, 14 – камера сгорания, 15, 16 – основная и пусковая топливные форсунки, 17 – успокоитель-отделитель сжатого воздуха, 18 – топливный бак, 19 – топливный насос, 20, 21 – топливные фильтры, 22 – перепускной топливный клапан, 23 – аварийный клапан подачи сжатого воздуха, 24 – свеча зажигания, 25 – катушка зажигания, 26 – топливный аккумулятор, 27 – электродвигатель топливного насоса, 28, 29, 34, 46, 47, 74 – электромагнитные клапана, 30, 31, 41, 42, 66-69 – датчики температуры, 32, 33, 72 – датчики расхода топлива, 35 – масляный бак, 36 – маслоохладитель, 37 – масляный насос, 38, 39 – масляные фильтры, 40 – регулятор расхода масла, 43 – датчик расхода масла, 44, 45 – вентили, 48 – заправочный бачок, 49 – крышка, 50 – подогреватель, 51 – емкость слива масла, 52 – термошкаф, 53, 54 – фильтры-отстойники, 55-58 – фильтры тонкой очистки, 59-65 – отборы давления в газо-воздушном тракте, 70, 71 – датчики давления, 73 – датчик скорости вращения вала ТКР, 75 – воздушный фильтр, 76 – терморегулятор, 77 – реле подогревателя жидкости, 78 – пульт управления, 79, 80 – блок управления стендом, 81 – силовой модуль, 82 – компьютер

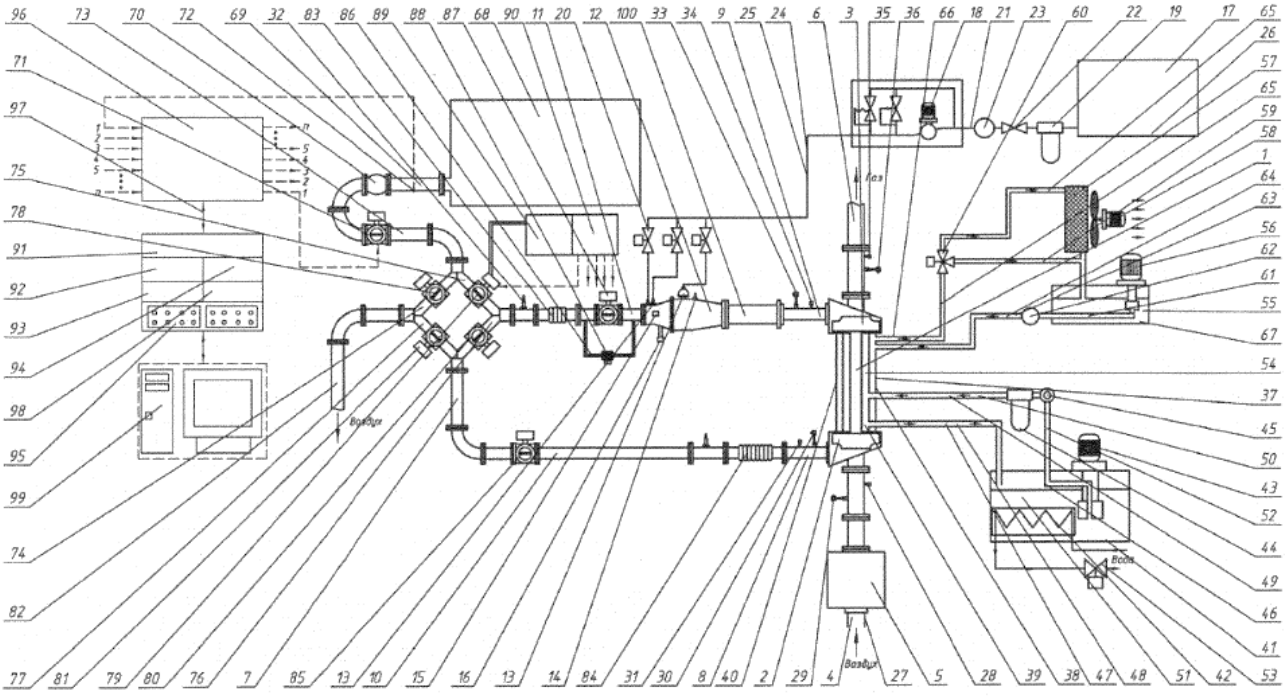


Рисунок 4. Стенд для испытания ТКР НПО «Турботехника»: 1 – ТКР, 2 – компрессор, 3 – турбина, 4 – патрубок подвода атмосферного воздуха, 5 – воздушный фильтр, 6 – патрубок отвода газа, 7 – обводной патрубок, 8 – напорный патрубок компрессора, 9 – входной патрубок турбины, 10 – соединение обводного патрубка с напорным патрубком компрессора, 11 – соединение обводного патрубка с входным патрубком турбины, 12 – камера сгорания, 13 – топливная форсунка, 14 – свеча зажигания, 15 – индикатор пламени, 16 – детектор пламени, 17 – топливный бак, 18 – топливный насос, 19 – топливный фильтр, 20, 23 – регулятор расхода топлива, 21 – топливопроводы, 22, 53 – вентиль, 24, 28, 30, 33, 35, 47, 49, 51, 64, 65, 67, 73 – датчики температур, 25, 29, 31, 34, 36, 48, 50, 52, 63, 72 – датчики давления, 26 – датчик уровня топлива в баке, 27, 32 – регулятор газо-воздушной смеси, 37 – датчик скорости вращения ротора ТКР, 38 – датчик вибрации ТКР, 39 – подшипниковый узел ТКР, 40 – средний корпус ТКР, 41 – масляный бак, 42 – маслоохладитель, 43 – масляный насос, 44 – масляный фильтр, 45 – регулятор расхода масла, 46 – маслопроводы, 54 – полости охлаждения среднего корпуса ТКР, 55 – емкость охлаждающей жидкости, 56 – насос, 57 – радиатор, 58 – вентилятор, 59, 86 – байпасный трубопровод, 60, 62 – регулятор расхода, 61, 66 – трубопроводы охлаждающей жидкости, 68 – компрессорная станция, 69 – напорный патрубок, 70 – виброкомпенсатор, 71, 78-81, 85, 87, 88 – перепускные клапана, 74-77 – стороны ромбовидного воздуходающего патрубка, 82 – спускной патрубок, 83, 84 – термокомпенсаторы, 89, 103 – технологический компрессор, 90, 104 – позиционер, 91 – пульт управления, 92 – блок управления, 93 – программный пакет, 94 – панель управления, 95 – орган управления, 96 – шкаф управления, 97 – шина, 98 – контроллер, 99 – рабочее место оператора, 100 – ресивер, 101 – заслонка, 102 – переключатель

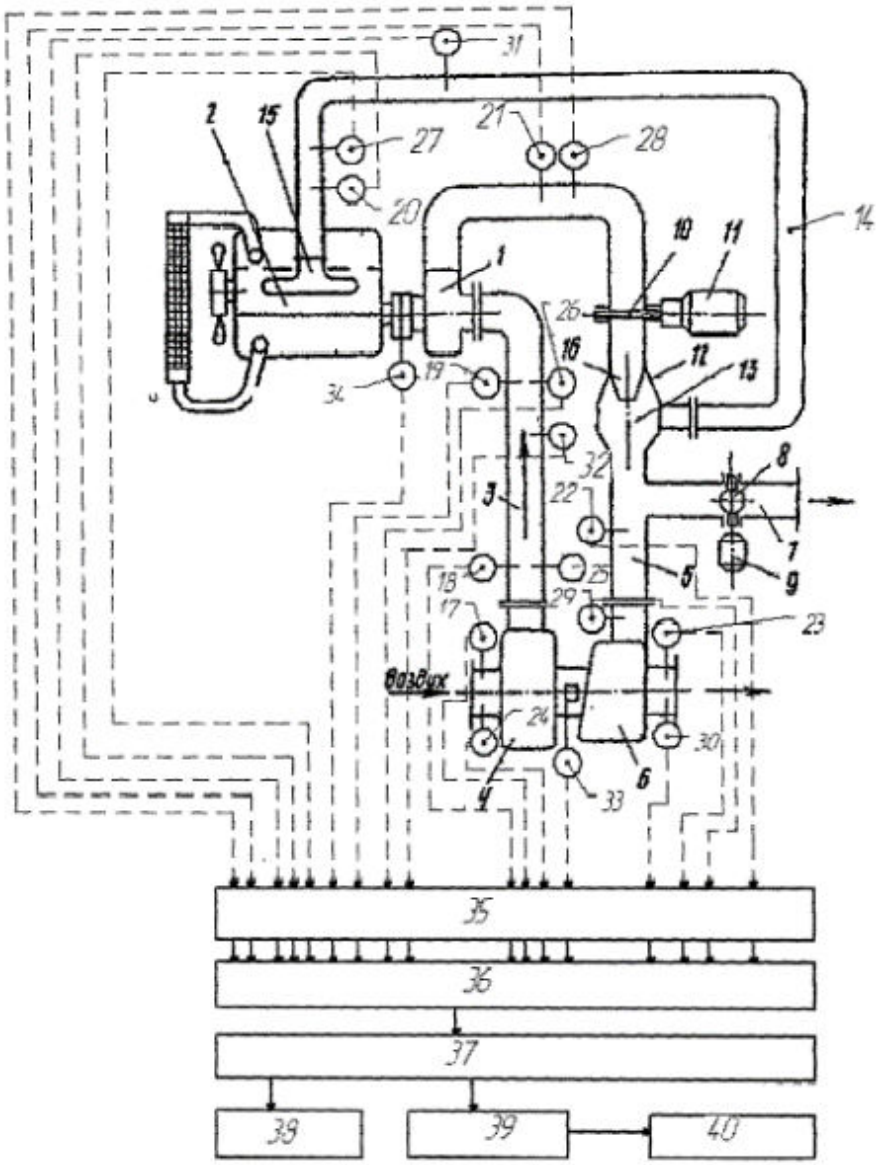


Рисунок 5. Стенд для испытания ТКР Самарского государственного университета путей сообщения: 1 – технологический компрессор, 2 – приводной ДВС, 3 – входная магистраль, 4 – компрессор ТКР, 5 – выходная магистраль, 6 – турбина ТКР, 7 – отводной патрубок, 8 – заслонка, 9 – привод, 10 – регулируемый дроссель, 11 – механизм управления, 12 – струйный смеситель, 13 – пассивный канал смесителя, 14 – трубопровод, 15 – выпускной коллектор ДВС, 16 – активный канал смесителя, 17-23 – датчик давления, 24-30 – датчики температуры, 31-32 – датчики расхода, 33, 34 – датчики частоты вращения, 35 – модуль аналогового ввода, 36 – коммутатор, 37 – блок обработки информации, 38 – память, 39 – преобразователь интерфейса, 40 – устройство вывода

Таким образом показано, что существует большое количество различных типов испытательных стендов для диагностики работы как всего ТКР, так и отдельных его узлов и деталей. Использование рассмотренных технических средств диагностики позволяет осуществлять более качественную проверку работоспособности ТКР, их ресурса и соответствие расчетным рабочим характеристикам в условиях близких к эксплуатационным. Показаны возможности расширения диагностических возможностей испытательных стендов при определении причин нарушения работоспособности ТКР на стадиях их производства или ремонта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Бурцев А.Ю.* Повышение эксплуатационной надежности турбокомпрессоров дизелей тракторов / А.Ю. Бурцев, А.М. Плаксин, А.В. Гриценко // АПК России. Т.72. №1, 2015. С.23-25.

2. *Гриценко А.В.* Мероприятия по совершенствованию конструкции стенда для испытания турбокомпрессоров / А.В. Гриценко, А.Ю. Бурцев // Материалы XI международной научно-практической конференции «Организация и безопасность дорожного движения»: в 2-х томах. Том 2. Тюмень, 15 марта 2018 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2018. – С. 59-67.

3. ГОСТ Р 53637-2009. Турбокомпрессоры автотракторные. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2010. – 10 с.

4. *Михалин П.А.* Повышение эффективности стендовых испытаний турбокомпрессоров, прошедших капитальный ремонт // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. №5. 2010. С. 103-105.

5. *Евланов И.Н.* Виды и методы испытаний турбокомпрессоров / И.Н. Евланов, В.А. Рудь, М.С. Хрипченко, А.П. Новиков // Материалы Всероссийской научной конференции. Повышение эксплуатационных качеств мобильных транспортно-технологических средств. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023 – С. 92-96.

6. Турбонаддув высокооборотных дизелей / А. Э. Симсон, В. Н. Каминский, Ю. Б. Моргулис и др. – Москва: Машиностроение, 1976. – С. 286.

7. *Лущеко В.А.* Безмоторный стенд для проведения испытаний турбокомпрессоров автомобильных дизелей / В.А. Лущеко, С.М. Кучев, В.Н. Никишин // Известия Волгоградского государственного технического университета. № 12 (115). 2013 – С. 49-51.

8. *Галиев Р.Р.* Стенд для испытания турбокомпрессоров двигателей внутреннего сгорания / Р.Р. Галиев, В.Н. Лихачёв, В.А. Лущеко, К.В. Кириллов, П.А. Кириллов , А.В. Криводуд, А.П. Тазиров, С.В. Башегуров. ПАО "КАМАЗ" - Патент на полезную модель РФ №189394, МПК G01M 15/00, G01M 15/02. 2019. Заявка №2018134880. Заявл. 02.10.2018. Опубл. 21.05.2019.

9. *Каминский В.Н.* Создание стендов для контрольно-исследовательских испытаний турбокомпрессоров / В.Н. Каминский, Р.В. Каминский, А.В. Лазарев, И.Н. Григоров, А.В. Костюков, С.А. Корнеев, И.В. Ковальцов, А.С. Сергеев, А.А. Гусак, С.В. Сибиряков // Известия МГТУ МАМИ. Т.1, № 2 (14), 2012 – С. 143-148.

10. *Каминский Р.В.* Программное и аппаратное обеспечение системы автоматизированного контроля параметров турбокомпрессоров / Р.В. Каминский, И.В. Ковальцов, С.А. Корнеев // Известия МГТУ МАМИ. Т.1, № 2 (16), 2013 – С. 163-168.

11. *Каминский В.Н.* Стенд для испытаний турбокомпрессоров двигателей внутреннего сгорания / В.Н. Каминский, Р.В. Каминский, С.В. Сибиряков, А.В. Лазарев, С.А. Корнеев, И.Н. Григоров, Е.А. Костюков, В.С. Шаранов, А.С. Филиппов, А.С. Сергеев, А.А. Гусак – Патент на полезную деталь РФ №138285, МПК G01M 15/02, 2014. Заявка № 2013142742/06. Заявл. 20.09.2013. Опубл. 10.03.2014.

12. *Каминский В.Н.* Стенд для испытаний турбокомпрессоров двигателей внутреннего сгорания / В.Н. Каминский, Р.В. Каминский, С.В. Сибиряков, А.В. Лазарев, С.А. Корнеев, И.Н. Григоров, Е.А. Костюков, В.С. Шаранов, А.С. Филиппов, А.С. Сергеев, А.А. Гусак – Патент на полезную деталь РФ №138586, МПК F01D 15/00, 2014. Заявка № 2013142739/02. Заявл. 20.09.2013. Опубл. 20.03.2014.

13. *Бурцев А.Ю.* Инновационный стенд для испытания и диагностирования турбокомпрессоров / А.Ю. Бурцев, А.А. Горбачев // XII международная научно-практическая конференция «Инновации в технологиях и образовании», Белово, 21–22 марта 2019 года. Часть 1. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2019 – С. 192-195.

14. *Иншаков А.П.* Испытательный стенд для проверки работоспособности турбокомпрессоров автотракторных двигателей / А.П. Иншаков, И.И. Курбаков, М.С. Курбакова С.А. Ладиков // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии, № 4, 2018 – С. 63-70.

15. *Носырев Д.Я.* Стенд для испытания турбокомпрессора двигателя внутреннего сгорания / Д.Я. Носырев, А.А. Свечников, А.Н. Шамойлов - Патент на изобретение РФ 2436060, МПК G01M 15/04, 2011. Заявка 2010106425/06. Заявл. 25.02.2010. Опубл.10.12.2011.

16. *Носырев Д.Я.* Стенд для испытания турбокомпрессора двигателя внутреннего сгорания / Д.Я. Носырев, А.А. Свечников, В.А. Краснов - Патент на изобретение РФ 2495394, МПК G01M 15/00, 2013. Заявка 2012112795/06. Заявл. 02.04.2012. Опубл. 10.10.2013.

17. *Носырев Д.Я.* Стенд для испытания турбокомпрессора двигателя внутреннего сгорания / Д.Я. Носырев, И.В. Попов - Патент на полезную модель РФ 139784, МПК G01M 15/09, 2014. Заявка 2013115533/06. Заявл. 05.04.2013. Опубл. 20.04.2014.

18. *Носырев Д.Я.* Стенд для испытания турбокомпрессора двигателя внутреннего сгорания / Д.Я. Носырев, А.А. Свечников, А.С. Букатин - Патент на полезную модель РФ 151732, МПК G01M 15/02, 2015. Заявка 2014100304/06. Заявл. 09.01.2014 . Опубл. 10.04.2015.

19. *Носырев Д.Я.* Стенд для испытания турбокомпрессора двигателя внутреннего сгорания / Д.Я. Носырев, А.Ю. Балабакин, М.Ю. Бурлягин - Патент на полезную модель РФ 168392, МПК G01M 15/04, 2017. Заявка 2016100838. Заявл. 12.01.2016. Опубл. 01.02.2017.

20. *Носырев Д.Я.* Стенд для испытания турбокомпрессора двигателя внутреннего сгорания / Д.Я. Носырев, В.В. Мосолкин - Патент на полезную модель РФ 187841, МПК G01M 15/00, 2019. Заявка 2018121359. Заявл. 08.06.2018. Опубл.19.03.2019.

21. *Носырев Д.Я.* Стенд для испытания турбокомпрессора двигателя внутреннего сгорания / Д.Я. Носырев, А.Ю. Тартыгин - Патент на полезную модель РФ 188965, МПК G01M 15/04, 2019. Заявка 2018121156. Заявл. 07.06.2018. Опубл.30.04.2019.

REVIEW OF TURBOCHARGER DIAGNOSTIC METHODS AUTOMOTIVE VEHICLES

Popov I.A. [1,2]

Supervisor: Medvedev V.M.[2], Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

([1]Kazan State Agriculture University, Kazan,

[2]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The report substantiates the need for diagnostics of turbochargers (TC) of diesel engines, identifies the objectives and provides a classification of TC test benches. An analysis of the designs, principles of operation, advantages and disadvantages of the main non-motorized test benches in the Russian Federation of various types is given. The possibilities of expanding the diagnostic capabilities of test benches at the stages of production or repair of TC are shown.

УДК 621.454.2

УЧЁТ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СОЗДАНИИ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГОРЮЧИХ И ОХЛАДИТЕЛЯХ

Пронин К.А., Абдуллин М.Р., Алексенко И.В.

Научный руководитель: Алтунин В.А., профессор, д. т. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, г. Казань)*

Аннотация. Проведён обзор, анализ и классификация жидкостных ракетных двигателей (ЖРД). Рассмотрены тепловые процессы, происходящие в рубашках охлаждения ЖРД одно – и многоразового использования (ЖРДМИ): процесс осадкообразования; процесс термоакустических автоколебаний (ТААК) давления. На основе результатов

экспериментальных исследований разработаны, запатентованы и показаны новые конструктивные схемы ЖРД и ЖРДМИ.

В докладе сделан обзор и анализ, а также классификация существующих конструктивных схем жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) на жидких углеводородных горючих (УВГ) и охладителях (УВО) [1-22].

При проектировании, расчёте и создании ЖРД одно – и многоразового использования (ЖРДМИ) большое внимание уделяется анализу и учёту тепловых процессов, происходящих в камере сгорания и в наружной рубашке охлаждения, а также контролю за этими процессами.

Среди тепловых проблем, которые происходят в наружной рубашке регенеративного охлаждения ЖРД, ЖРДМИ особо выделены термоакустические автоколебания (ТААК) давления и процесс осадкообразования, а также – проблемы со своевременным и качественным контролем этих процессов.

Доводочные испытания и экспериментальные исследования показали, что:

- после запуска ЖРД уже через 2-3 минуты в каналах наружной рубашки регенеративного охлаждения активно происходит негативный процесс осадкообразования, из-за чего изменяется площадь проходных каналов, нарушается расчётный гидравлический режим, резко и несанкционированно повышается температура стенки с дальнейшим прогаром, пожаром и взрывом;

- в каналах рубашки регенеративного охлаждения ЖРД возникают ТААК давления, которые способствуют: несанкционированному возникновению локально-чередующихся зон перегревов и прогаров стенки рубашки охлаждения в области критического сечения сопла; откалыванию твёрдых углеродистых отложений; увеличению коэффициента теплоотдачи на 40 %.

До сих пор нет единства во взглядах на механизм и прочие особенности этого аномального явления. Наиболее правильное и достоверное описание и обоснование ТААК давления сделала группа ученых во главе с Н.Л. Кафенгаузом [15, 17]. Они раскрыли механизм этого явления, связав его с появлением в пограничном слое паровых пузырьков и псевдопузырьков, с большой разницей температур между ядром потока и пристеночной областью, с турбулентным забросом холодной жидкости в паровую пристеночную область и др. Также они считают, что при теплообмене в каналах возникают резонансные колебания давления с узлами на границах канала. Поскольку скорость звука изменяется по длине канала в зависимости от температуры, варьируется и набор частот, а максимальная температура стенки (минимум коэффициента теплоотдачи) соответствует пучности волны давления. Поэтому длина волны для данного коэффициента теплоотдачи соответствует половине длины волны давления. Локальные пере-гревы, чередующиеся с менее нагретыми участками (из-за узлов и пучностей стоячей акустической волны в обогреваемом акустическом контуре с жидким охладителем), подробно показаны на рис. 1.

Эти режимы очень опасны, так как могут привести к прогару, пожару и взрыву ЖРД, ЖРДМИ в земных и космических условиях.

В качестве закрытого акустического обогреваемого («горячего») контура (ГК) в основном использовались цельнотянутые тонкостенные трубки из нержавеющей стали с наружным диаметром (3 – 5) мм и длиной до 100 мм. Отсутствуют данные о том, какое воздействие оказывает увеличение длины акустического ГК на параметры возникновения ТААК давления, интенсификацию теплоотдачи и негативный процесс осадкообразования.

До сих пор неизвестно, как влияют на ТААК давления и осадкообразование дополнительный акустический необогреваемый («холодный») контур (ХК) разной длины и предварительный нагрев УВГ (УВО). Нет сведений о зависимости ТААК давления от рабочих параметров (давления p, скорости прокачки УВГ (УВО) и др.), а также о применении электростатических полей и их влиянии на процессы возникновения и

поддержания ТААК давления в каналах с разными жидкими УВГ (УВО), а также с их смесями.

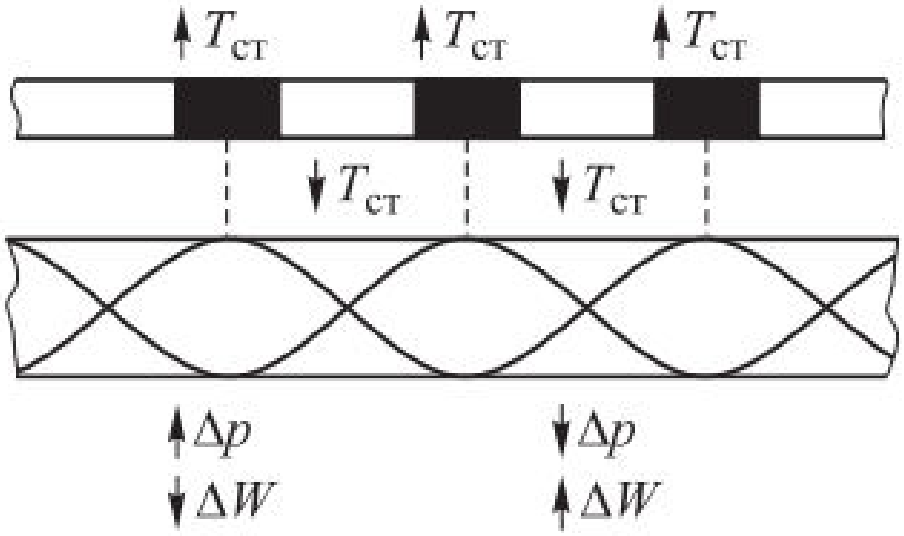


Рисунок 1. Зависимость локальных перегревов рабочей трубки с жидким охладителем от узлов и пучностей стоячей акустической волны при ТААК давления:
*T*ст — температура стенки рабочей трубки; Δ*p* — изменение акустического давления; Δ*W* — изменение скорости прокачки жидкого УВГ (УВО)

При проектировании, расчете и создании новой техники конструкторы и разработчики мало внимания уделяют (или вообще не уделяют) позитивным и негативным аномальным процессам, происходящим в жидких УВГ (УВО).

Очень трудно, опасно и малоэффективно бороться с негативными аномальными процессами в ходе эксплуатации двигателей наземного и воздушного базирования на жидких УВГ (УВО), что связано с остановкой эксплуатации ЛА, снятием двигателя и отправкой его на завод для капитального ремонта, с дальнейшей разборкой, очисткой от твёрдых углеродистых отложений (ТУО) различными методами и способами (в том числе и с помощью ТААК давления), которые не следует путать с вибрационными и акустовибрационными методами. В космосе же провести подобные мероприятия для космических летательных аппаратов (КЛА) практически невозможно.

Всестороннюю борьбу с осадкообразованием и ТААК давления необходимо начинать уже на стадии проектирования, расчета и создания двигателей, ЭУМИ и ТСМИ.

Сведений о влиянии ТААК давления на работу двигателей очень мало, теоретически изучить этот аномальный процесс практически невозможно.

Поэтому необходимы фундаментальные и всесторонние научные экспериментальные исследования, чтобы на их основе разрабатывать новые методы уничтожения этого негативного аномального процесса как на стадии его зарождения, так и в ходе его жизненного цикла (в целях надежной защиты от возникновения локально чередующихся зон перегрева и прогара рубашки охлаждения, пожара и взрыва), а также новые способы искусственного зарождения, роста и существования ТААК давления (для обеспечения автоматического удаления ТУО из каналов рубашки охлаждения без разборки и ремонта двигателя, что особенно важно, например, в космических условиях).

На рис. 2 показан процесс осадкообразования в топливно-охлаждающих каналах рубашек охлаждения ЖРД, ЖРДМИ без ТААК давления и с ТААК давления.

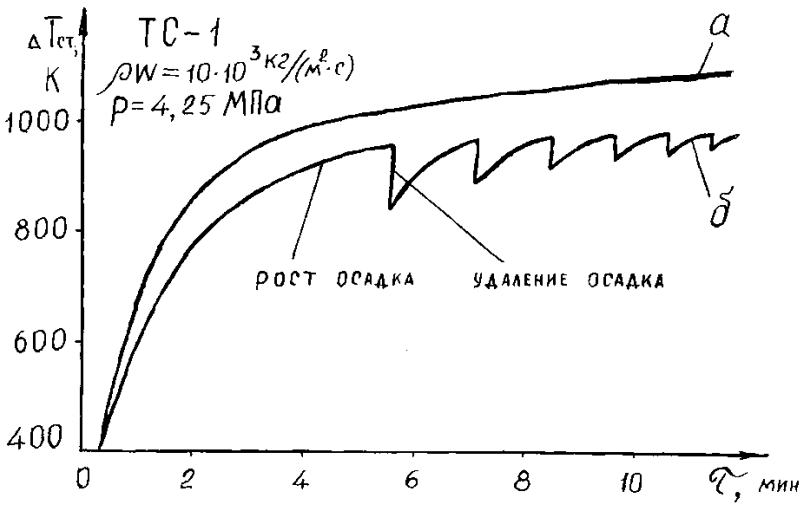


Рисунок 2. Процесс осадкообразования на стенке рабочего участка («горячего» участка): а) без ТААК давления; б) с ТААК давления

На рис. 3 показаны особенности ТААК давления в «горячем» акустическом контуре и в «гибридном» акустическом контуре. Экспериментально было установлено, что в «гибридном» акустическом контуре ТААК давления происходят на различных модах (частотах) колебаний, поэтому опасные зоны нагревов и перегревов не образуются.

Экспериментально было установлено, что электростатические поля способствуют предотвращению осадкообразования, предотвращению возникновения ТААК давления. На рис. 4 показано влияние электростатических полей на ТААК давления в условиях вынужденной конвекции жидкого УВГ и УВО.

На основе экспериментальных исследований с жидкими и газообразными УВГ и УВО авторами доклада для ЖРД и ЖРДМИ разработаны и запатентованы [11-22]:

1) новые способы борьбы с осадкообразованием в топливно - подающих и охлаждающих каналах (без применения, с применением электростатических полей, гибридно);

2) новые способы борьбы с негативными эффектами при ТААК давления (без применения, с применением электростатических полей, гибридно);

3) новые способы использования позитивных процессов при ТААК давления - для удаления твёрдых углеродистых отложений из каналов рубашки охлаждения в ходе космического полёта;

4) новые способы контроля за аномальными тепловыми и др. процессами.

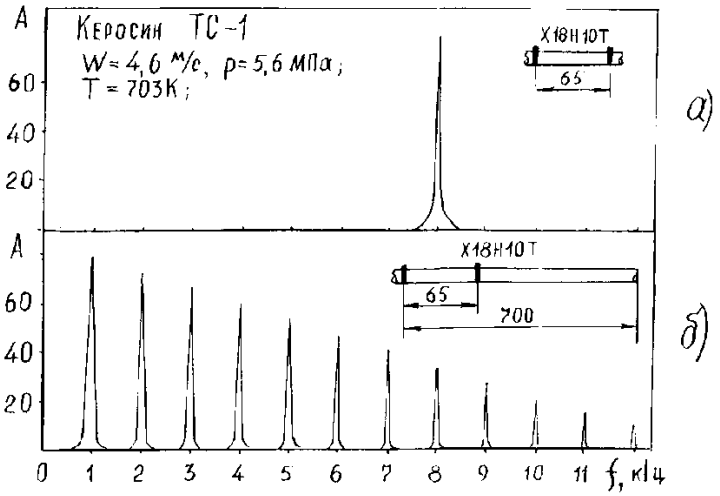


Рисунок 3. Амплитудно-частотная характеристика: а) «горячего» акустического контура; б) гибридного акустического контура

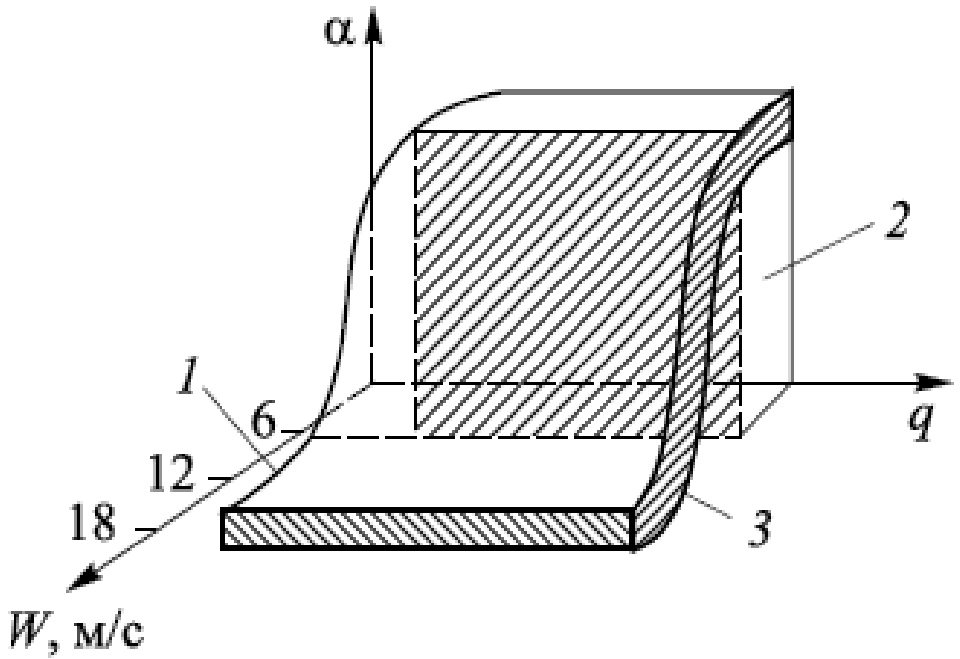


Рисунок 4. Зона влияния электростатических полей на ТААК давления: 1 - конец ТААК давления; 2 – зона влияния электростатических полей; 3 - начало ТААК давления

В докладе показаны новые конструктивные схемы ЖРД и ЖРДМИ [11-22]:

- со сменными форсуночными головками;
- с системами защиты форсунок горючего от осадкообразования;
- с системами борьбы с ТААК давления и, наоборот, с их использованием;
- с системами улавливания частиц осадкообразования с дальнейшим их дожиганием в сопле ЖРД или выбросом в открытый космос;
- с системами контроля за аномальными тепловыми процессами и за результатами борьбы с ТААК давления, с осадкообразованием,

– с выводом данных в бортовой компьютер и на информационное табло лётчика – космонавта, а также – в наземный компьютер и на информационное табло наземного оператора.

Применение материалов доклада будет способствовать проектированию и созданию новых отечественных ЖРД и ЖРДМИ двойного назначения и с повышенными характеристиками по ресурсу, надёжности, безопасности, эффективности, неуязвимости, выживаемости, экологичности и экономичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Алемасов В.Е., Дрегалин А.Ф., Тишин А.П.* Теория ракетных двигателей. Учебник для вузов / Под ред. Глушко В.П. /. М.: Изд-во «Машиностроение», 1989. 464 с.

2. *Васильев А.П., Кудрявцев В.М., Кузнецов В.А. и др.* Основы теории и расчёта жидкостных ракетных двигателей: учебник для вузов / Под ред. В.М. Кудрявцева /. М.: Изд-во «Высшая школа», 1993. 368 с.

3. *Добровольский М.В.* Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования. / Под ред. Д.А. Ягодникова /. М.: Изд-во МГТУ м. Н.Э. Баумана, 2005. 488 с.

4. *Лебединский Е.В., Калмыков Г.П., Мосолов С.В. и др.* Рабочие процессы в жидкостном ракетном двигателе и их моделирование / Под. ред. А.С. Коротеева /. М.: Изд-во «Машиностроение», 2008. 512 с.

5. *Моисеев В.А., Тарасов В.А., Колмыков В.А., Филимонов А.С.* Технология производства жидкостных ракетных двигателей / Под ред. В.А. Моисеева и В.А. Тарасова /. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э, Баумана, 2008, 381 с.

6. *Егорычев В.*С. Расчёт и проектирование смесеобразования в ЖРД: учеб. пособие. Самара: Изд-во СГАУ. 2008. 99 с.

7. *Егорычев В.*С., Кондрусов В.С. Топлива химических ракетных двигателей: учеб. пособие. Самара: Изд-во СГАУ, 2007. 72 с.

8. *Егорычев В.*С., Кондрусов В.С. Термодинамический расчёт и проектирование камер ЖРД: учеб. пособие. Самара: Изд-во СГАУ, 2009. 108 с.

9. *Яновский, Л.С., Иванов В.Ф., Галимов Ф.М., Сапгир Г.Б.* Коксоотложения в авиационных и ракетных двигателях. Казань: Абак, 1999. 284 с.

10. *Яновский Л.С., Дубовкин Н.Ф., Галимов Ф.М. и др.* Инженерные основы авиационной химмотологии. Казань, Изд-во Казанского ун-та, 2005. 714 с.

11. *Алтунин В.А.* Исследование особенностей теплоотдачи к углеводородным горючим и охладителям в энергетических установках многоразового использования. Книга первая. Монография. Казань. Изд-во «Казанский гос. ун-т им. В.И. Ульянова — Ленина», 2005. 272 с.

12. *Алтунин В.А.* Исследование влияния электростатических и магнитных полей на особенности теплоотдачи к углеводородным горючим и охладителям. Книга вторая. Монография. Казань: изд-во «Казанский гос. ун-т им. В.И. Ульянова-Ленина, 2006. 230 с.

13. *Altunin V.A., Altunin K.V., Aliev I.N.* Analysis of investigations of electric fields in different media and conditions. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2012, vol. 85, no. 4, pp. 959–976.

14. *Алтунин В.А., Платонов Е.Н., Абдуллин М.Р., Пронин К.А., Юсупов А.А. и др.,* Некоторые пути совершенствования жидкостных ракетных двигателей (100-летию со дня рождения академика В.Е. Алемасова – посвящается) // Матер. 58-ых Научных чтений, посвящ. разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Сек. № 2: «Проблемы ракетной и космической техники». РАН, РАКЦ. Калуга: Изд-во «Наша полиграфия», 2023. Ч. 1. С. 201-205.

15. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н. и др.* Разработка способов борьбы с термоакустическими автоколебаниями давления в топливно - охлаждающих каналах двигателей и энергоустановок летательных аппаратов наземного, воздушного, аэрокосмического и космического применения // Известия вузов. Машиностроение. 2017. № 10 (691). С. 77 – 90.

16. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Абдуллин М.Р. и др.* Некоторые пути повышения эффективности жидких и газообразных углеводородных и азотосодержащих горючих для двигателей летательных аппаратов // Тепловые процессы в технике. 2019. Т. 11. № 10. С. 453-479.

17. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н. и др.* Некоторые пути повышения эффективности жидкостных реактивных двигателей летательных аппаратов на углеводородных и азотосодержащих горючих и охладителях / Под общ. ред. доктора технических наук, профессора Л.С. Яновского. Монография. Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2020. 148 с.

18. *Алтунин В.А., Платонов Е.Н. и др.* Разработка способов борьбы с термоакустическими автоколебаниями давления в рубашках охлаждения двигателей летательных аппаратов // Сб. тез. докл. Международ. научно-технич. конф. «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвящ. 100-летию отечественной гражданской авиации. М.: ИД Академии им. Н.Е. Жуковского. 2023. С. 55-56.

19. *Алтунин В.А.* Способ повышения надёжности ЖРД одно – и многоразового использования // Патент на изобретение РФ № 2287715. Бюлл. № 32 от 20.11.2006 г.

20. *Алтунин В.А., Платонов Е.Н., Абдуллин М.Р., Пронин К.А., Юсупов А.А., Мусина И.М., Жилякова А.Е., Яновская М.Л.* Некоторые пути совершенствования жидкостных ракетных двигателей (100-летию со дня рождения академика В.Е. Алемасова – посвящается) // Современные проблемы ракетной и космической техники. Сб. статей, 2024. РАН. РАКЦ. Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2024. С. 125-133.

21. *Алтунин В.А., Платонов Е.Н., Абдуллин М.Р., Пронин К.А., Юсупов А.А., Алексенко И.В., Жилякова А.Е., Яновская М.Л.* Проблемы создания жидкостных ракетных двигателей многоразового использования // Матер. 59-ых Научных чтений, посвящ. разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Сек. № 2: «Проблемы ракетной и космической техники». РАН. Калуга: Изд-во «Эйдос». 2024. Часть 1. С. 178-182.

22. *Алтунин В.А., Платонов Е.Н., Абдуллин М.Р., Пронин К.А., Юсупов А.А., Алексенко И.В., Жилякова А.Е., Яновская М.Л.* Проблемы создания жидкостных ракетных двигателей многоразового использования на жидких углеводородных горючих и охладителях // Матер. 9 Всеросс. научно-технич. конф. «Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики». Казань: Изд-во ИП Сагиев А.Р., 2024. С. 234 – 235.

ACCOUNTING FOR THERMAL PROCESSES IN THE CREATION OF LIQUID ROCKET ENGINES ON LIQUID HYDROCARBON FUEL AND COOLANTS

Pronin K.A., Abdullin M.R., Aleksenko I.V.

Supervisor: Altunin V.A., Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. A review, analysis and classification of liquid rocket engines (LRE) are conducted. Thermal processes occurring in the cooling jackets of single- and multiple-use LREs are considered: the process of sedimentation; the process of thermoacoustic self-oscillations (TAOS) of pressure. Based on the results of experimental studies, new design schemes of LREs and LREs are developed, patented and shown.

УДК 629.735.33.01

УЧЁТ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГОРЮЧИХ ПРИ СОЗДАНИИ НОВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ ТОПЛИВНЫХ ФОРСУНОК ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Пронин К.А., Жилякова А.Е., Сафина А.И.

Научные руководители: Алтунин В.А., профессор, д. т. н., Алтунин К.В., доцент, д. т. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Аннотация. Рассмотрены тепловые процессы в жидких и газообразных углеводородных горючих и охладителях. Установлено, что одним из негативных и очень опасных является процесс осадкообразования в топливных форсунках воздушно-реактивных двигателей. На основе проведённых экспериментальных исследований разработаны и запатентованы новые конструктивные схемы топливных форсунок повышенных характеристик по ресурсу, надёжности и безопасности.

Установлено, что в ходе работы воздушно-реактивных двигателей (ВРД) авиационных и аэрокосмических летательных аппаратов (ЛА) одно – и многоразового использования происходит нагрев топливных форсунок и жидкого углеводородного горючего (УВГ), из-за чего возникает негативный процесс осадкообразования [1-13].

Из-за твёрдых углеродистых отложений происходят аномальные процессы: частичное и полное закоксовывание деталей и каналов форсунки с частичной и полной потерей тяги; нерасчётный струйный распыл с дальнейшим прогаром жаровой трубы ВРД, пожаром и взрывом; уменьшение штатного ресурса, надёжности и безопасности ВРД и всего ЛА; неуправляемость двигателем и ЛА из-за заедания и заклинивания топливно-регулирующей аппаратуры.

В докладе проведён обзор и анализ существующих способов борьбы с осадкообразованием в двигателях ЛА и наземных энергоустановках (ЭУ).

На основе проведённых экспериментальных исследований разработаны и запатентованы новые способы борьбы с осадкообразованием.

Проведена общая классификация существующих и новых (перспективных) способов и средств борьбы с этим негативных процессом, которые можно разделить на: удаляющие осадок; предотвращающие осадок; уменьшающие осадок; ограничивающие осадок.

Также все эти способы можно разделить на три класса: без применения электростатических полей (Е); с применением (Е); гибридные (без (Е) и с (Е) – одновременно).

В докладе показаны новые и запатентованные конструктивные схемы неохлаждаемых и охлаждаемых топливных форсунок на жидких УВГ (УВО), в которых применялись различные существующие и перспективные способы борьбы с осадкообразованием:

1) способ по предотвращению осадка без применения (Е) – путём охлаждения внутренних деталей форсунки до температуры 373 К и менее;

2) способ по ограничению роста осадка – путём создания нагреваемой внутренней поверхности стенки рубашки охлаждения в виде конической резьбы с высотой зубьев (3 – 5) мм;

3) способ по предотвращению осадка – путём применения (Е).

Также в этих новых форсунках:

- разработаны различные схемы подвода жидкого УВГ (УВО) к рубашке наружного охлаждения и к форсуночному фильтру;

- рассмотрены возможности охлаждения форсунки при естественной конвекции жидкого УВГ (УВО); созданы все условия для применения и газообразного УВГ (УВО) типа метан в условиях его вынужденной и естественной конвекции;

- открыты возможности по обеспечению вынужденной конвекции жидких и газообразных УВГ (УВО) внутри рубашки наружного охлаждения форсунки – путём применения (Е) - электрического ветра.

Авторами доклада проведены всесторонние экспериментальные исследования, созданы методики учёта и расчёта процесса осадкообразования в ВРД на жидких и газообразных УВГ и УВО, разработаны и запатентованы новые способы борьбы с негативным процессом осадкообразования (δ_{oc}), новые способы прогнозирования и контроля роста осадка, новые конструктивные схемы двигателей, каналов, форсунок, фильтров, теплообменных аппаратов, где организуется и ведётся всестороння борьба с осадкообразованием (по его удалению, предотвращению, затормаживанию и уменьшению) без применения (Е), с их применением, гибридно.

На базе штатного ВРД марки НК-8-2У авторами доклада были разработаны и запатентованы новые конструктивные схемы топливных форсунок ВРД на жидких и газообразных УВГ и УВО, в которых организована борьба с осадкообразованием:

1) топливные форсунки без применения Е:

а) путём конструктивного размещения (см. рис. 1) сразу двух форсуночных фильтров 3, 16 в зону с наименьшей температурой нагрева (менее 100^0 С), с обеспечением их заменяемости при помощи передвижных кассет плоского или револьверного типов по команде датчиков прямого контроля светового типа - в ручном, полуавтоматическом и автоматическом режимах [9]; здесь использован перспективный новый способ борьбы с осадкообразованием - способ предотвращения осадка;

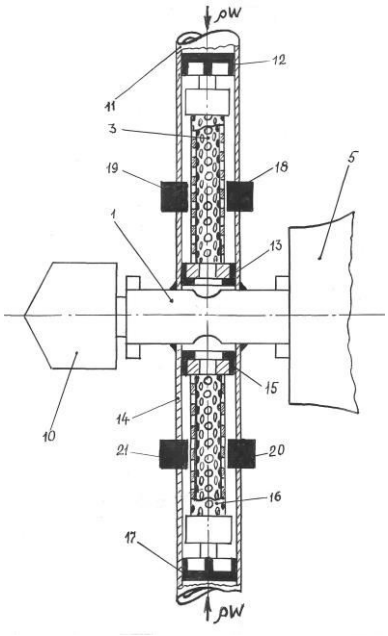


Рисунок 1. Форсунка с двумя заменяемыми фильтрами, конструктивно вынесенными в зону наименьшего нагрева [9]

б) путём создания (см. рис. 2) нескольких входящих каналов и с размещением в них фильтров (3, 16), распылителей (6, 49, 45, 53), устройств контроля за осадкообразованием (19-21, 40-42), устройств по выработке электрического тока (18, 43) для работы систем контроля и управления работой форсунки, создания системы охлаждения конфузорной части (наружных стенок входных каналов) (11, 14, 44), создания регулируемой подачи окислителя (воздуха) (24-36) и др. [10]; здесь заложено два способа борьбы с осадкообразованием: первый - это перспективный новый способ борьбы с осадкообразованием в форме резервирования входящих каналов, фильтров, распылителей – резервирующий способ, и второй – это перспективный способ уменьшения осадкообразования путём интенсивного охлаждения входных каналов в объёме проточного жидкого УВГ и УВО до температуры ниже 373 К;

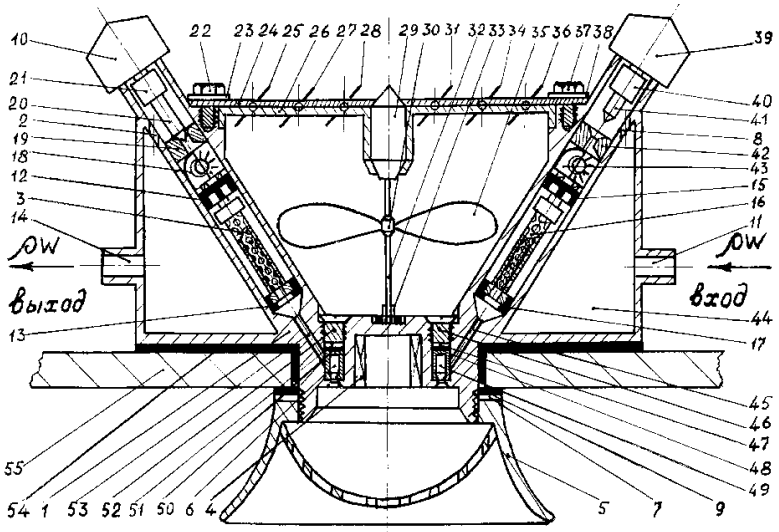


Рисунок 2. Форсунка с заменяемыми резервными фильтрами и каналами [10]

ж) путём создания наружной рубашки охлаждения форсунки (см. рис. 3); для борьбы с осадкообразованием возможно создавать следующие различные раздельные и (или)

обобщённые наружные рубашки охлаждения: вокруг отражателя, вокруг корпуса форсунки, вокруг отражателя и корпуса форсунки обобщённо; охлаждение форсунок возможно осуществлять индивидуальной или регенеративной системой; для примера, на рис. 3 [12] показана форсунка с наружной рубашкой охлаждения 11 отражателя 5 и охлаждающим каналом 12;

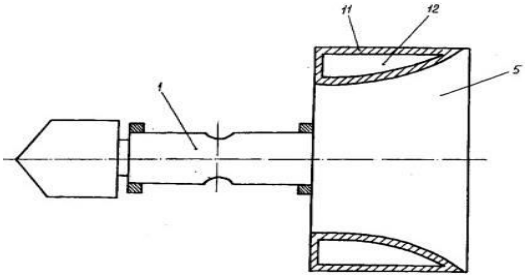


Рисунок 3. Форсунка с наружной рубашкой охлаждения вокруг отражателя [12]

для борьбы с осадкообразованием на внутренних стенках рубашек охлаждения возможно конструктивно создать оребрённую поверхность, что будет затормаживать рост осадка на высоту зубьев, т.е. сохранять и увеличивать ресурс и работоспособность как рубашек охлаждения, так и самих форсунок (рисунки в статье не приведены); здесь будет заложено уже три новых способа борьбы с осадкообразованием: способ ограничения роста осадка; способ предотвращения осадка; способ уменьшения осадка.

Входной канал рубашки охлаждения форсунки возможно создавать различной конструкции (см. рис. 4), под различными углами входа и т.д. Это же относится и к выходному каналу форсунки. Например, на рис. 4 представлен вариант наружной рубашки охлаждения форсунки, где 13 – это входной канал наружной рубашки охлаждения форсунки, он расположен сверху корпуса рубашки охлаждения, 14 – выходной канал наружной рубашки охлаждения форсунки, он расположен внизу корпуса рубашки охлаждения [12].

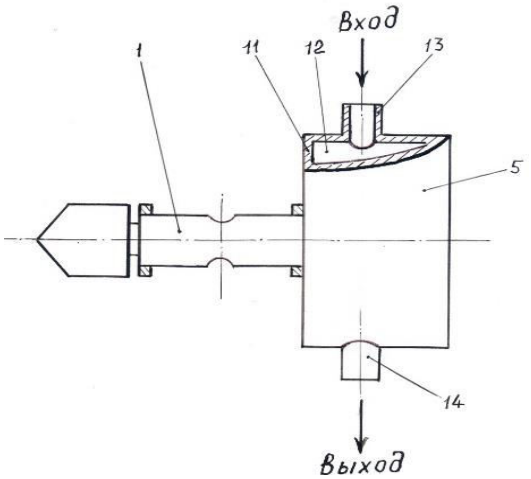


Рисунок 4. Вариант наружной рубашки охлаждения форсунки [12]

2) топливные форсунки с применением электростатических полей (Е):

а) путём конструктивного размещения рабочих соосных игл с (Е); автором Алтуниным В.А. впервые была разработана и запатентована новая конструктивная схема штатной форсунки ВРД марки НК-8-2У (см. рис. 5), в которой организована всесторонняя борьба с осадкообразованием при помощи (Е) и поддержания зоны критических давлений [8]; при эксплуатации топливных форсунок ВРД марки НК-8-2У и других ВРД происходит закоксовывание входных каналов 2, 8 и форсуночного фильтра; для предотвращения осадкообразования, на основе экспериментальных исследований, было предложено использовать электростатические поля (Е); рабочие соосные иглы с (Е) 11, 13 размещены над

2 и под 8 входными каналами форсунки 1, что позволяет предотвратить негативный процесс осадкообразования в них, а также и на внутреннем форсуночном фильтре;

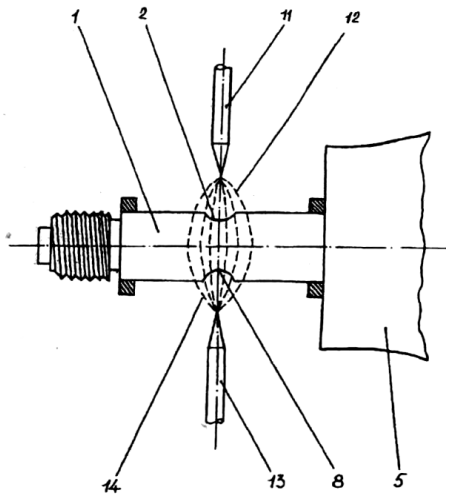


Рисунок 5. Форсунка с электростатическими полями (Е) с одной парой соосных рабочих игл [8]

на рис. 6 приведена форсунка [8], где рабочие соосные иглы 11, 13 размещены в ограниченном объёме 16 для повышения эффективности работы (Е) по интенсификации теплоотдачи и предотвращению осадкообразования; для повышения эффективности форсунки, с целью предотвращения осадка на форсуночном фильтре при использовании (Е), предложено выполнить дополнительные входные отверстия, которые в следующей конструкции форсунки были объединены в единый входной канал овальной формы; это позволило повысить ресурс, надёжность и эффективность форсунки штатного ВРД;

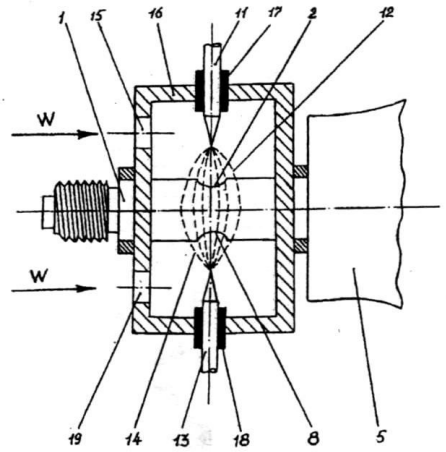


Рисунок 6. Форсунка с электростатическими полями в ограниченном объёме с одной парой соосных игл [8]

так, на рис. 7 приведена схема форсунки с тремя парами соосных рабочих игл 21, 26, 11, 13, 22, 25, которые расположены над и под тремя входными отверстиями в ограниченном объёме 16; такая схема позволяет ещё больше увеличить влияние (Е) на теплоотдачу и на предотвращение осадкообразования на входных отверстиях и на внутреннем форсуночном фильтре; разработаны конструктивные схемы форсунок, где все три верхние (и, соответственно, все три нижние) входные отверстия объединены в одно верхнее (и, соответственно, в одно нижнее) овальное отверстие (рисунок в статье не приведён), что будет способствовать полной защите фильтра от осадкообразования [8];

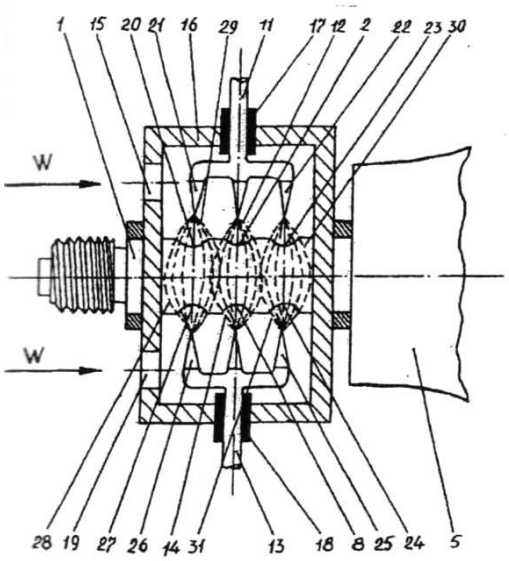


Рисунок 7. Форсунка с тремя парами рабочих соосных игл [8]

для повышения эффекта влияния (Е) на предотвращение осадкообразования и для улучшения теплоотдачи к жидким УВГ и УВО предложено поддерживать область критических давлений путём создания гофрированного объёма в области входных отверстий; так, на рис. 8 [13] представлена форсунка с (Е) в гофрированном объёме 34, 35 для автоматического поддержания давления в форсуночном канале с жидким УВГ (УВО); если настроить систему на зону критических давлений, то коэффициент теплоотдачи будет автоматически находиться в увеличенном состоянии: без (Е) – до (200 - 300) %; с (Е) – до (400 - 650) %.

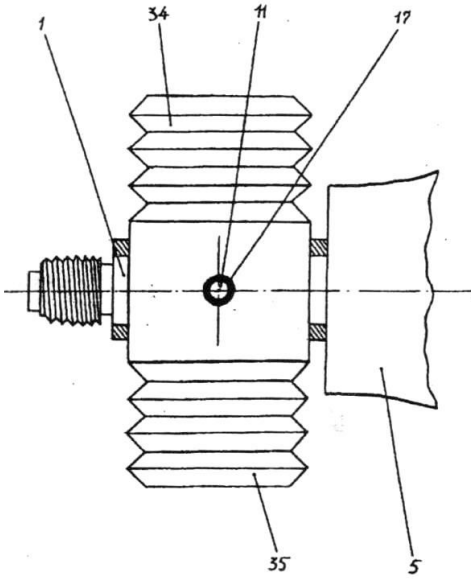


Рисунок 8. Форсунка с электростатическими полями в гофрированном объёме [8]

в) путём применения (Е) в оребрённых и неоребрённых каналах рубашек охлаждения форсунок (см. рис. 9) [12].

Наиболее высокую надёжность, ресурс и эффективность будут иметь топливные форсунки, в которых одновременно заложены способы борьбы с осадкообразованием без влияния (Е) и с их влиянием, т.е. заложен гибридный способ борьбы с осадкообразованием; у таких форсунок ресурс может быть увеличен в 6 и более раз (см. рис. 9) [12].

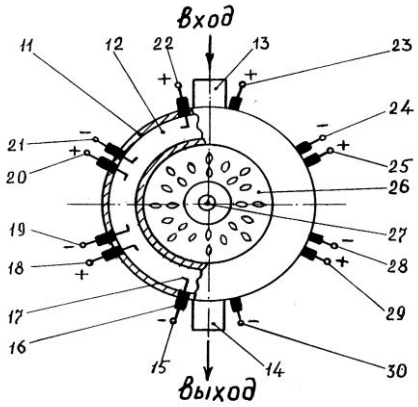


Рисунок 9. Конструктивная схема форсунки с наружной рубашкой охлаждения с размещением электростатических полей [12]

Применение материалов доклада, патентов на изобретения, научных статей и монографий авторов доклада будет способствовать дальнейшему повышению ресурса, надёжности и эффективности отечественных реактивных двигателей для авиационных и аэрокосмических ЛА одно и – многоразового использования, а также для энергоустановок наземного применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Алтунин В.А.* Исследование особенностей теплоотдачи к углеводородным горючим и охладителям в энергетических установках многоразового использования. Книга первая. Казань. Изд-во «Казанский гос. ун-т им. В.И. Ульянова — Ленина», 2005. 272 с.

2. *Алтунин В.А.* Исследование влияния электростатических и магнитных полей на особенности теплоотдачи к углеводородным горючим и охладителям. Книга вторая. Казань: изд-во «Казанский гос. ун-т им. В.И. Ульянова-Ленина, 2006. 230 с.

3. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н. и др.* Некоторые пути повышения эффективности жидкостных реактивных двигателей летательных аппаратов на углеводородных и азотосодержащих горючих и охладителях / Под общ. ред. доктора технических наук, профессора Л.С. Яновского / Монография. Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2020. 148 с.

4. *Алтунин К.В.* Функционально - стоймостной анализ горелочных устройств и форсунок: монография. Казань: Изд-во КНИТУ – КАИ, 2020. 156 с.

5. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Абдуллин М.Р., Львов М.Л. и др.* Некоторые пути совершенствования двигателей и энергоустановок марки «НК». Часть 1. // Тепловые процессы в технике. 2021. Т. 13. № 12. С. 530-542.

6. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Абдуллин М.Р., Львов М.Л. и др.* Некоторые пути совершенствования двигателей и энергоустановок марки «НК». Часть 2. // Тепловые процессы в технике. 2022. Т. 14. № 1. С. 9-21.

7. *Алтунин К.В.* Разработка методики расчета температуры внутренней стенки мультитопливной форсунки с целью предотвращения осадкообразования и перегрева // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. № 6 (735). 2021. С. 37-47.

8. *Алтунин В.А. Форсунка* // Патент на изобретение РФ № 2155910. Бюл. №25 от 10.09.2000 г.

9. *Алтунин К.В. Форсунка.* // Патент РФ на изобретение № 2388966. Бюл. № 13 от 10.05.2010.

10. *Алтунин К.В. Форсунка.* // Патент РФ на изобретение № 2447362. Бюл. № 10 от 10.04.2012 г.

11. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Абдуллин М.Р., Гортышов Ю.Ф., Пронин К.А., Яновский Л.С., Яновская М.Л.* Форсунка с эффективной рубашкой охлаждения // Патент на изобретение РФ № 2806710. Бюл. № 31 от 03.11.2023 г.

12. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Абдуллин М.Р., Гортышов Ю.Ф., Яновский Л.С., Яновская М.Л.* Форсунка с наружной рубашкой охлаждения // Патент на изобретение РФ № 2810865. Бюл. № 1 от 28.12.2023 г.

13. *Алтунин В.А., Абдуллин М.Р., Жилякова А.Е., Пронин К.А., Яновская М.Л.* «Разработка новых конструктивных схем форсунок повышенных характеристик для реактивных двигателей сверхзвуковых, гиперзвуковых и аэрокосмических летательных аппаратов» // Сб. тез. 48-ых Академических чтений по космонавтике. (23-26 января 2024 г. Москва). Сек. № 15: «Комбинированные силовые установки для гиперзвуковых и воздушно-космических аппаратов». М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. Том 2. 2024. С. 433-434.

ACCOUNTING FOR THERMAL PROCESSES IN LIQUID AND GASEOUS MEDIA HYDROCARBON FUELS WHEN CREATING NEW ONES DESIGN SCHEMES OF FUEL INJECTORS AIR-JET ENGINES

Pronin K.A., Zhilyakova A.E., Safina A.I.

Supervisors: Altunin V.A., Professor, Doctor of Engineering Sciences,
Altunin K.V., Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Abstract. Thermal processes in liquid and gaseous hydrocarbon fuels and coolants are considered. It is established that one of the negative and very dangerous is the process of sedimentation in fuel injectors of air-breathing engines. Based on the conducted experimental studies, new design schemes of fuel injectors with improved characteristics in terms of resource, reliability and safety have been developed and patented.

УДК 535.24

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КИПЕНИЯ ВОДЫ НА ГЛАДКОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ

Смирнов К.И.[1], Попов И.А.[1, 2]

Научный руководитель: Попов И.А., профессор, д. т. н.

([1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань,
[2]Казанский государственный аграрный университет, г. Казань)

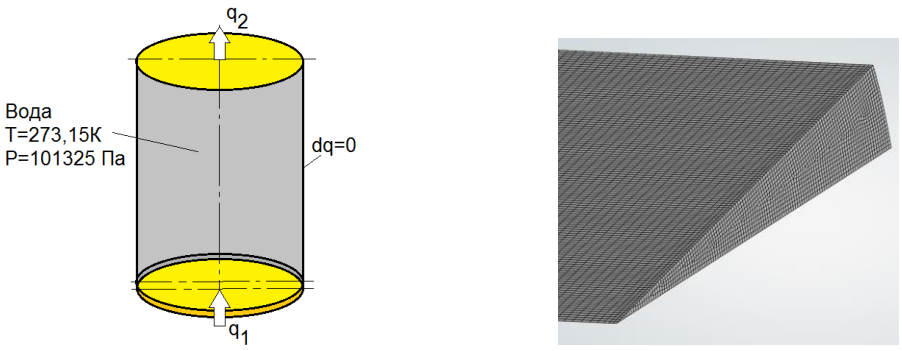
Аннотация. В докладе представлены результаты численного моделирования процесса кипения воды на гладкой горизонтальной поверхности в условиях свободной конвекции. Использован пакет прикладных программ ANSYS Fluent с моделью двухфазности VoF. Дан анализ возникновения, роста и отрыва парового пузырька при пузырьковом режиме кипения с одиночными пузырьками, изменения температур, давлений, скоростей в жидкости и паровом пузырьке. Все результаты сопоставлены с результатами экспериментальных исследований.

К локальным характеристикам кипения относят: частоту отрыва пузырьков, диаметр отрыва, количество центров парообразования, скорость роста пузырьков, толщину микрослоя жидкости под пузырьком и другие параметры. Экспериментальное изучение этих характеристик позволяет получить более глубокое понимание механизмов теплообмена при кипении и создать основу для разработки точных математических моделей. Однако, экспериментальное изучение локальных характеристик кипения сопряжено с определенными трудностями. Во-первых, процесс кипения является нестационарным и характеризуется высокой степенью хаотичности, что затрудняет получение достоверных данных. Во-вторых, измерение параметров вблизи поверхности нагрева требует использования высокочувствительной аппаратуры и специальных методик, что является трудо- и

финансовозатратным способом исследования. В настоящее время активно развиваются методы численного моделирования кипения, основанные на решении уравнений движения, неразрыности, энергии, дополненных моделями зарождения, роста и отрыва пузырей. Эти методы позволяют получать детальную информацию о структуре потока и температурных полях при кипении, а также исследовать влияние различных параметров на характеристики теплообмена. Несмотря на значительные успехи, численное моделирование кипения остается сложной задачей, требующей дальнейшего развития и верификации на основе экспериментальных данных [1-5].

В работе проводилось численное моделирование нестационарного процесса кипения воды при атмосферном давлении в условиях свободной конвекции в полностью заполненном замкнутом объеме цилиндрической формы диаметром 10 мм и высотой 30 мм. Граничные и физические условия однозначности для рассматриваемой задачи формулировались следующим образом: боковые стенки теплоизолированы (dq = 0); нижняя стенка имеет толщину 5 мм и выполнена из меди, по нижней грани – подвод теплоты с плотностью теплового потока q_1; верхняя стенка – отвод теплоты с плотностью теплового потока q_2; начальная температура воды – T = 373,15 K; начальное давление воды в объеме – 101325 Па. При первом тестовом расчете, результаты которого представлены в данной статье, значение q_1 задавалось 20 кВт/м^2, а q_2 = -19 кВт/м^2. Таким образом, заданные условия позволяли реализовать режим пузырькового кипения с отдельными (некоагулирующими) пузырьками пара на нижней поверхности объема, накопление и конденсацию пара в формирующейся паровой прослойке вдоль верхней поверхности объема, минимальное испарение воды в объеме, т.е. поддержание практически постоянного уровня воды. Физические свойства воды и нижней стенки объема принимались в тестовом расчете постоянными. Компьютерная модель рассматриваемого объема представлена на рис.1, а.

Расчетная конечно-объемная сетка создавалась с использованием пакета Ansys Meshing методом Sweep. Она состояла из элементов в виде кубов и параллелепипедов. Размер элементов разработанной компьютерной модели определялся из условия корректного и подробного описания геометрии пристенного слоя жидкости, паровых пузырьков и геометрии объема. В соответствии с этим, расчётная сетка состоит из 200 тыс. элементов. В пристенной области элементы кубические со стороной 0.08 мм, в остальном объеме – в форме параллелепипедов размерами 0.08×0.08×0.2 мм (рис.1, б).



а б

Рисунок 1. Расчетная область с граничными и физическими условиями (а) и расчетная сетка (б)

После построения расчетных сеток для разработанных компьютерных моделей, они передавалась в газодинамический решатель ANSYS Fluent.

Математическая модель гидродинамических и тепловых процессов в объеме с кипящей водой, описывающая нестационарное свободноконвективное движение теплоносителя и его тепловое взаимодействие со стенками рассматриваемого замкнутого объема, использует осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье–Стокса для каждой фазы, уравнение неразрывности и уравнение энергии в формулировке для энтальпии. Уравнения

учитывают действие вертикальной гравитационной силы. Для учета возникающих завихрений при отрыве паровых пузырьков, при их всплытии с перемешиванием воды и сложных вихревых структр в пристенной области, уравнения замкнуты с помощью модели GEKO (GEneralized K-Omega) с переменными коэффициентами.

При учете двухфазности при выборе моделей кипения между (EMP) (Eulerian Multiphase Model) и VoF (Volume of Fluid) на данном этапе работ отдано предварительное предпочтение гомогенизированной модели VoF с количеством эйлеровых фаз – 2 (жидкая вода и водяной пар) и межфазовой моделью Sharp. В дальнейшем планируется проведение исследований и с моделью EMP.

Использовался решатель PISO с дискретизацией по давлению Presto и по моментам Quick (для тестовой задачи) и всем параметрам с двойной точностью. При расчетах было заложено 10 000 шагов с шагом 0,001 сек по времени и 10 итераций. Как показал анализ результатов выход на устойчивое решение по диаметрам паровых пузырьков, частоте отрыва происходит после 3-5 итерации.

Численное исследование проводилось на персональном компьютере с процессор 7900x (12 ядер 24 потока 5.6ГГц) и оперативной память DDR5 5600 64 Гб.

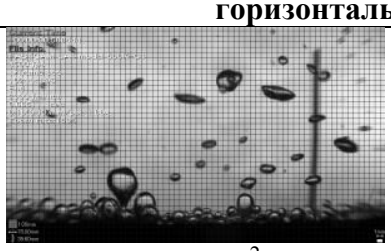
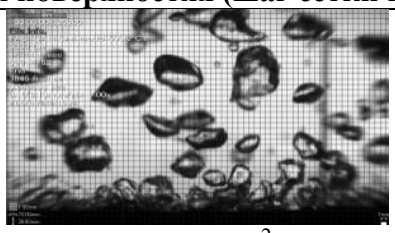
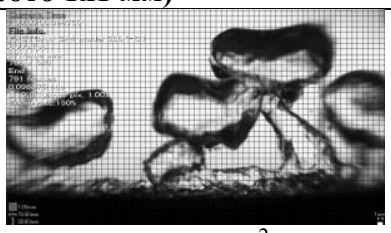
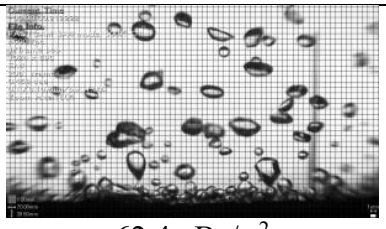
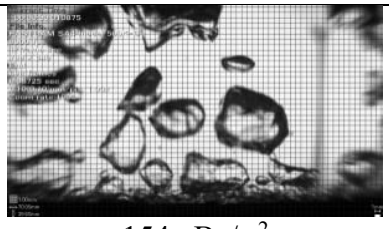
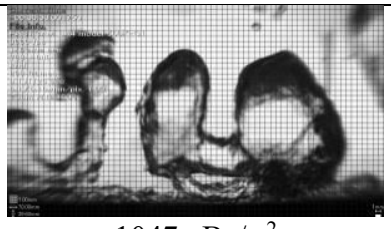
Для сокращения времени численных исследований в тестовой задаче на первом этапе рассматривался сектор замкнутого цилиндрического объема, образованного углом 10°. На ограничивающих боковых плоскостях устанавливалось условие Periodic. В последствие результаты расчета были проверены на полном цилиндрическом объеме.

Результаты численного исследования сравнивались с результатами экспериментальных работ [6-10].

В табл.1 [6,7] представлена визуализация кипения воды при температуре насыщения на гладкой горизонтальной поверхности. Анализ образования паровых пузырькв для валидации численной модели проводился для режима пузырькового кипения с образованием отдельных пузырьков.

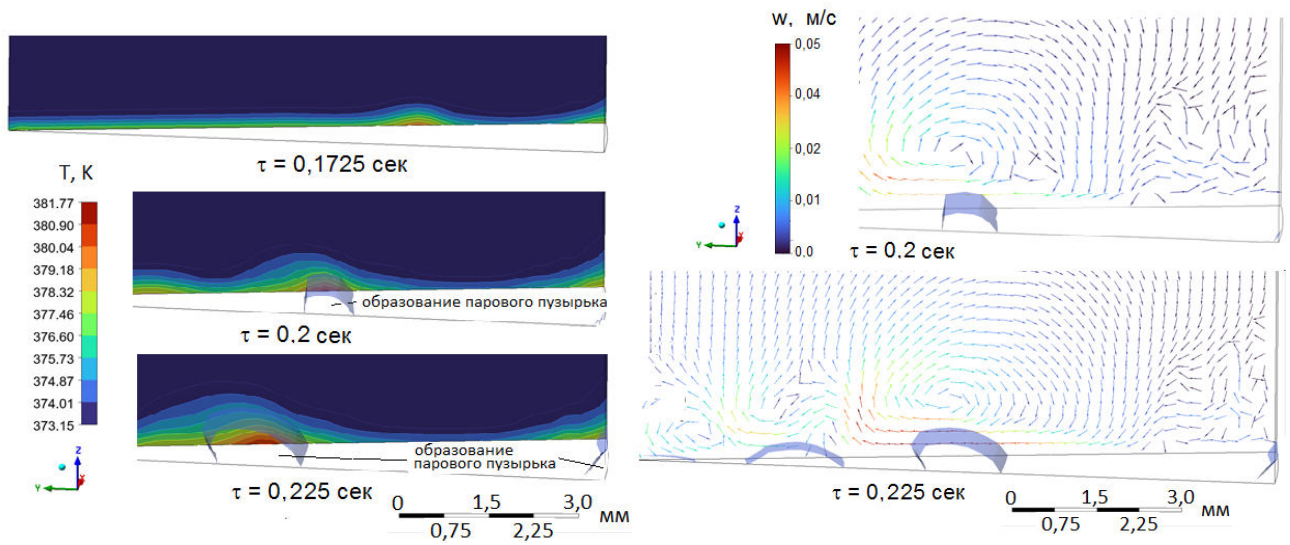
Таблица 1

Визуализация интенсивности образования пузырьков при кипении воды на гладкой горизонтальной поверхностях (шаг сетки на фото 1х1 мм)

		
39 кВт/м^2	113 кВт/м^2	546 кВт/м^2
		
62,4 кВт/м^2	154 кВт/м^2	1047 кВт/м^2

Известно [11], что кипение возникает на поверхности кипения при локальном перегреве слоя жидкости в пристенной области – тепловом пограничном слое. Обычно температура перегрева составляет до 5-35 °С выше температуры насыщения жидкости в зависимости от конкретных условий. При проведенном численном моделировании толщина теплового пограничного слоя не превышает 0,5 мм и перегрев составляет не более 8 °С (рис.2, а). В объеме жидкости возникает свободноконвективное течение – в центре цилиндрического объема наблюдаем подъемное движение жидкости, а вдоль теплоизолированных стенок объема – опускное. Однако, при возникновении на поверхности

паровых пузырьков около них возникают локальные вихревые структуры, при этом от центра полусферы парового зародыша нагретые слои воды стремятся вверх, а по бокам зародыша и, далее, парового пузырька, движение жидкости к основанию пузырька (рис.2, б).



а б

Рисунок 2. Поле температур по высоте объема жидкости (а) и распределение векторов скорости (б) свободноконвективного движения воды по высоте объема около поверхности нагрева при возникновении парового зародыша

На рис.3 показана схема развития парового пузырька во время пузырькового кипения. Механизм зарождения пузырей основан на предположении о наличии на поверхности нагрева микроскопических дефектов, на которых возникают местные перегревы жидкости и зарождение парового пузыря. Рост пузыря определяется балансом между процессами испарения на границе раздела фаз по периметру парового пузырька и теплоподводом к этой границе. Наибольшее испарение происходит в микрослое жидкости под паровым пузырем. В центральной части этого микрослоя за счет полного испарения жидкости может возникнуть сухое пятно. Это хорошо показано в работах [12-14]. Отрыв пузыря происходит, когда сила плавучести превышает силы поверхностного натяжения и адгезии, удерживающие пузырь на поверхности. При превышении подъемной силы над другими, пузырек удлиняется и появляется пережим в пристенной области пузыря, по которому происходит, отрыв пузыря. На поверхности остается малый паровой пузырек. Оторвавшийся пузырь движется вверх с сопутствующим потоком жидкости, а новая порция жидкости замещает оторвавшийся пузырь. Моделирование этих процессов требует учета сложной геометрии пузыря и нестационарного характера тепловых и гидродинамических полей вокруг пузыря.

На рис.4 показано возникновение и развитие парового пузырька на поверхности при различных плотностях теплового потока.

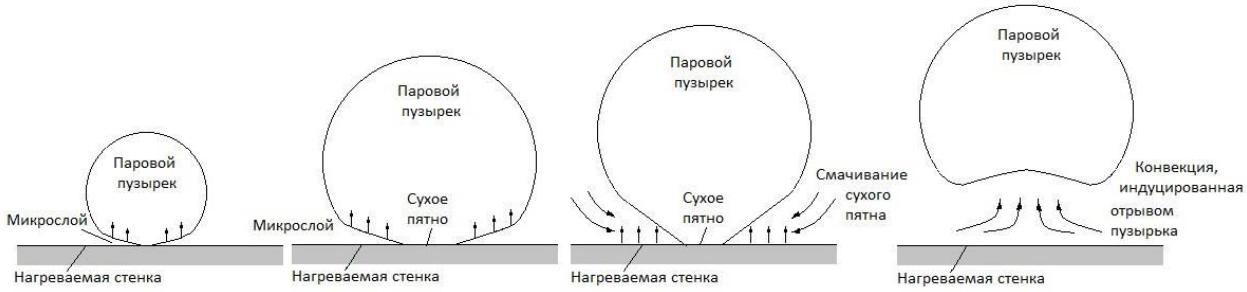


Рисунок 3. Схема развития и отрыва парового пузырька

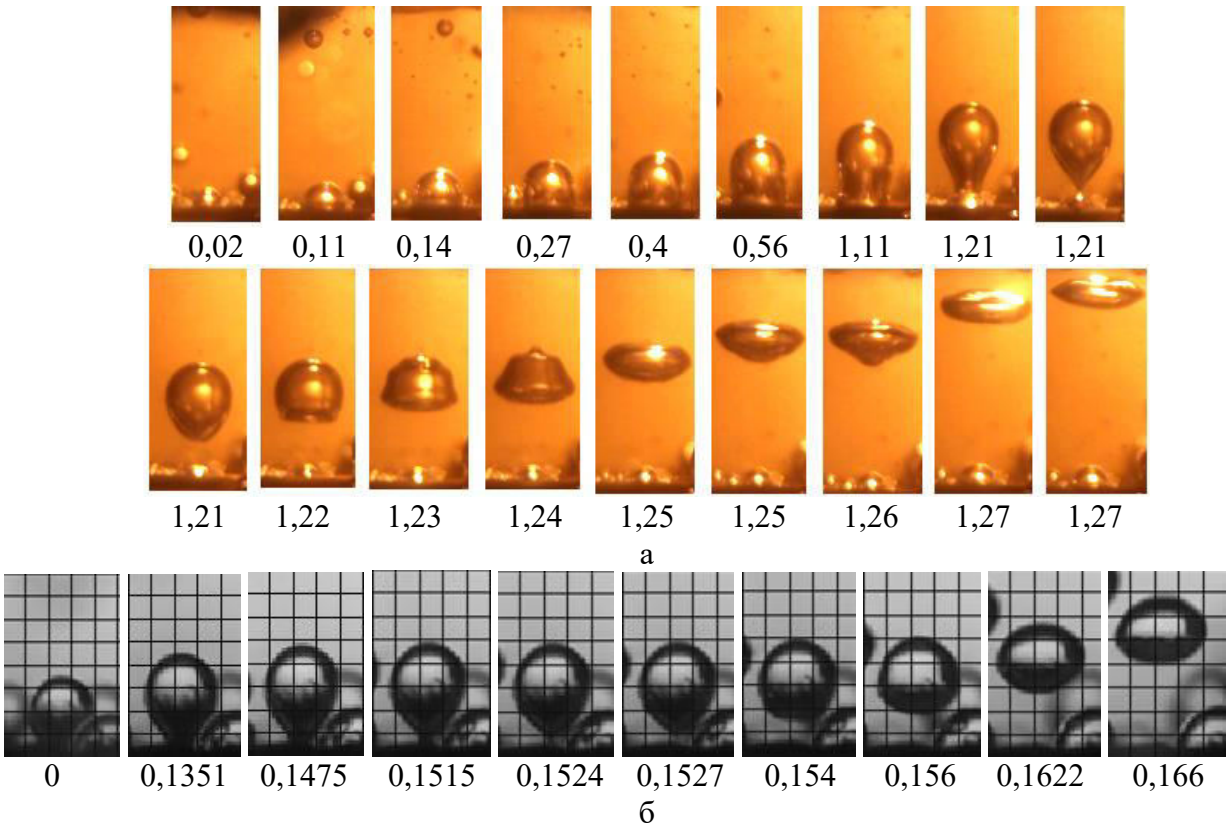


Рисунок 4. Результаты визуализации образования, роста и отрыва паровых пузырьков на поверхностях кипения: а – q_1 = 6 кВт/м^2; б – q_1 = 23 кВт/м^2; в - q_1 = 62 кВт/м^2; Указано время в сек. Масштаб фоновой сетки 1×1 мм

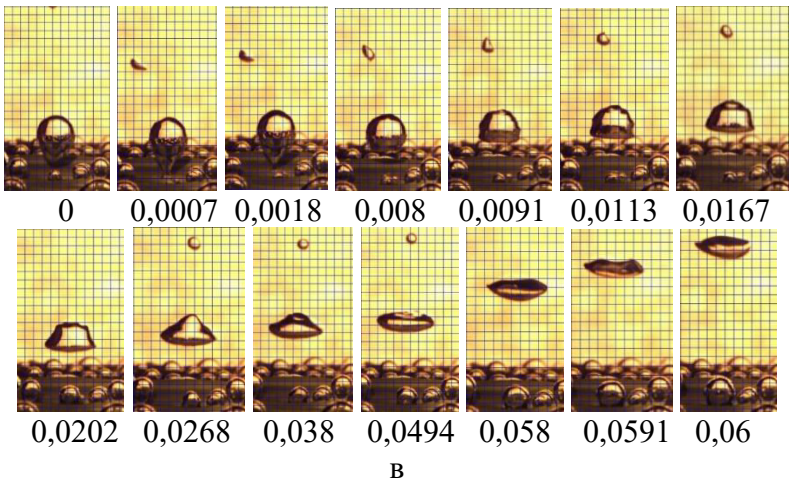


Рисунок 4 (продолжение). Результаты визуализации образования, роста и отрыва паровых пузырьков на поверхностях кипения: а – q_1 = 6 кВт/м^2; б – q_1 = 23 кВт/м^2; в - q_1 = 62 кВт/м^2; Указано время в сек. Масштаб фоновой сетки 1×1 мм

По результатам численного исследования кипения воды на гладкой поверхности при q_1 = 20 кВт/м^2 на рис.5 и 6 показана динамика развития парового пузырька на фоне полей скоростей и температур жидкости и пара. Границы парового пузырька определялись по условию – 10% паросодержания в расчетной ячейке модели VoF. Данное значение более четко определяло границы парового пузырька.

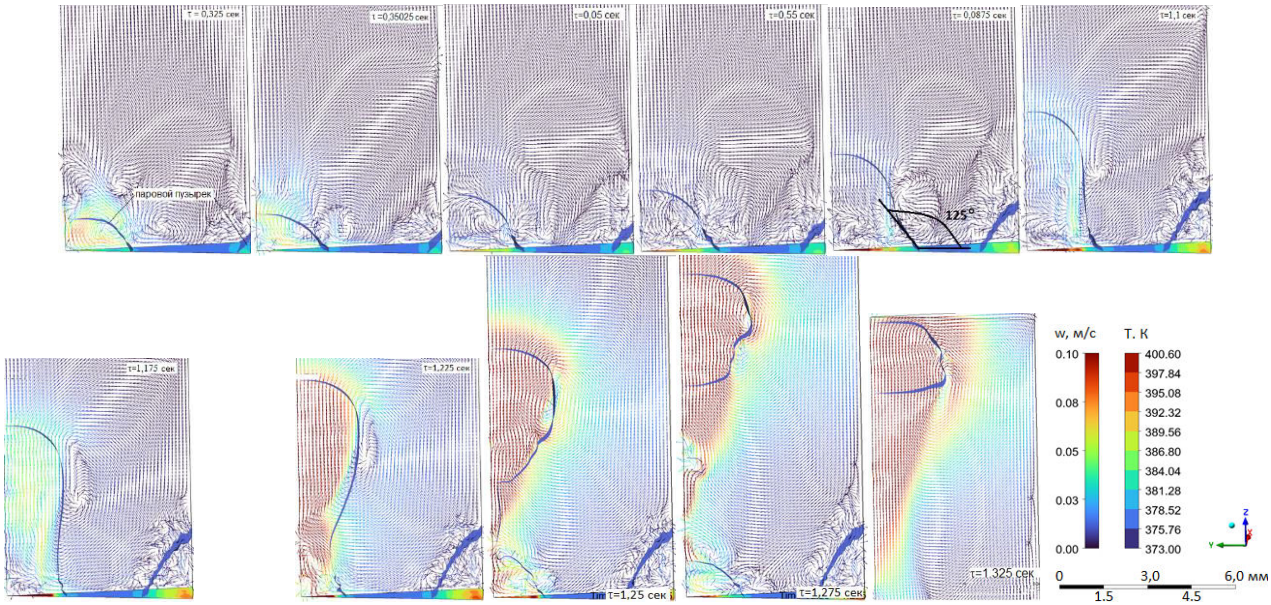


Рисунок 5. Динамика развития парового пузырька и его отрыв, поля скоростей при свободнноконвевном движении жидкости и парового пузырька, динамика изменения температуры поверхности кипения по результатам численного исследования кипения воды на гладкой поверхности при $q_1 = 20$ кВт/м^2

Отрывные диаметры паровых пузырьков связаны с влиянием смачиваемости поверхности. В нашем случае диаметр отрывного пузырька составил 6 мм. Отрывной диаметр парового пузырька регламентируется значением контактного угла θ и коэффициентом поверхностного натяжения. Значение угла более 90° показывает, что поверхность кипения гидрофобная (не склонна к смачиванию). Диаметр отрывного пузырька можно определить по зависимости Фрица: $d_0 = 0,0208 \cdot \theta \cdot \sqrt{\sigma / \left(g \cdot \left(\rho_ж - \rho_п\right)\right)}$. В численном исследовании угол θ составляет 125° (рис.5), вследствие этого при параметрах воды и пара на линии насыщения при атмосферном давлении расчетный диаметр отрывного парового пузырька должен составлять 6,5 мм, что практически совпадает с полученным при численном исследовании значением.

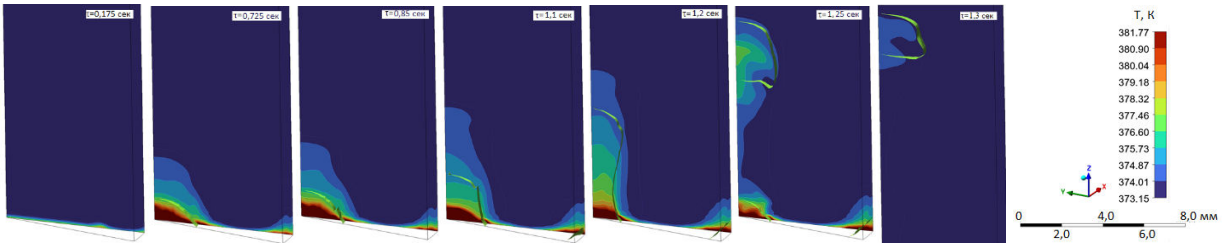


Рисунок 6. Изменение температуры воды и водяного пара при возникновении, росте и отрыве парового пузырька

В ходе численного исследования средняя температура поверхности кипения составляет 104-110 °С в разные моменты времени в зависимости от размера и стадии состояния парового пузырька. При средней температуре поверхности 107 °С, средний коэффициент теплоотдачи должен составлять при плотности теплового потока $q_1 = 20\,000$ Вт - $\alpha = 2857$ Вт/м^{2}К. Согласно известной зависимости Михеева для оценки коэффициента теплоотдачи при кипении воды при давлении 1-40 бар: $\alpha = 3,14 \cdot q^{0,7} \cdot p^{0,15}$, коэффициент теплоотдачи должен составлять $\alpha = .3218$ Вт/м^{2}К. Как видно, расхождение в значениях составляет 11 %, что для испльзования формулы Михеева удовлетворительно.

Таким образом в работе представлены результаты первого тестового численного моделирования процесса кипения воды в условиях свободной конвекции. Показано, что модель способна адекватно описывать процесс кипения и оценивать локальные параметры. Однако требуется продолжение серии работ по повышению точности расчетов, определения параметров теплообмена и т.д.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Соглашения о предоставлении субсидии из федерального бюджета на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг, шифр FZSU-2023-0004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Dhire V. K., Warrier G.R., Aktinol E.* Numerical Simulation of Pool Boiling: A Review // Journal of Heat Transfer. 2013, Vol.135. 061502. pp. 1-17.

2. *Georgoula A., Marengo M.* Numerical simulation of pool boiling: the effects of initial thermal boundary layer, contact angle and wall superheat // 14th UK Heat Transfer Conference. Edinburgh, United Kingdom. 2013. – 11 p.

3. *Kunugi T.* Brief review of latest direct numerical simulation on pool and film boiling // Nuclear Engineering and Technology. 2012. Vol.44, №.8. pp. 847-854.

4. *Kharangate C.R., Mudawar I.* Review of Computational Studies on Boiling and Condensation // Int. J. Heat Mass Transfer. 2017. V. 108. P. 1164.

5. *Podowski M.Z.* Toward Mechanistic Modeling of Boiling Heat Transfer // Nucl. Eng. Technol. 2012. № 8. P. 889.

6. *Гортышов Ю.Ф., Попов И.А., Зубков Н.Н., Каськов С.И., Щелчков А.В.* Кипение воды на микроструктурированных поверхностях // Труды Академэнерго. 2012. № 1. С.14-31.

7. *Щелчков А.В., Попов И.А., Зубков Н.Н.* Кипение жидкости на микроструктурированных поверхностях в условиях свободной конвекции // ИФЖ. 2016. Т.89. № 5. С. 1160–1169.

8. Интенсификация теплоотдачи и критические тепловые потоки при кипении на поверхностях с микрооребрением / *И.А. Попов, А.В. Щелчков, Ю.Ф. Гортышов, Н.Н. Зубков* // ТВТ. 2017. Т. 55. № 4. С. 537–548.

9. *Аксянов Р.А.* Исследование теплообмена при кипении на микроструктурированных поверхностях в условиях свободной конвекции. Дис. … канд. техн. наук. – Казань: КНИТУ-КАИ, 2021. – 171 с.

10. *Лэй Р.А.* Теплообмен при кипении различных жидкостей на микроштырьковых поверхностях в условиях свободной конвекции. Дис. … канд. техн. наук. – Казань: КНИТУ-КАИ, 2022. – 134 с.

11. *Ягов В.В.* Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях. М.: Изд. дом МЭИ, 2014. 542 с.

12. *Сердюков В.С., Суртаев А.С., Павленко А.Н., Чернявский А.Н.* Исследование локального теплообмена в окрестности контактной линии под паровыми пузырями при кипении жидкостей // ТВТ. 2018, том 56, № 4, с. 563–570.

13. *Суртаев А.С., Сердюков В.С., Моисеев М.И.* Применение высокоскоростной инфракрасн ой термографии для исследования кипения жидкости // ПТЭ. 2016. № 4. С. 140.

14. *Суртаев А.С., Сердюков В.С.* Исследование динамики контактной линии под паровым пузырем при кипении жидкости на поверхности прозрачного нагревателя // Теплофизика и Аэромеханика. 2018. Т. 25. № 1. С. 71–77.

NUMERICAL SIMULATION OF THE POOL BOILING OF WATER ON A SMOOTH HORIZONTAL SURFACE

Smirnov K.I.[1], Popov I.A.[1,2]

Supervisor: Popov I.A., Professor, Doctor of Engineering Sciences

([1]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, [2]Kazan State Agriculture University, Kazan)

Abstract. The report presents the results of numerical simulation of the boiling process of water on a smooth horizontal surface under conditions of free convection. The ANSYS Fluent with the VoF model was used. The nucleation, bubble growth, vapor bubble separation under the pool boiling regime with singles bubbles, changes in temperatures, pressures, and velocities in the liquid and vapor bubble are analyzed. All the results are compared with the results of experimental studies.

УДК 621.515

ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СТУПЕНЕЙ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

Хасанов Н.Г., Ахметзянов А.М., Идиятуллин Б.Ф.

(АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», г. Казань)

Аннотация. В статье описаны успехи в проектировании современных ступеней одновальных центробежных компрессоров (ЦБК), выраженных в совершенствовании по трем направлениям – увеличении коэффициента расхода ступени, политропного коэффициента полезного действия, динамической стабильности ротора (толщины вала).

АО «НИИтурбокомпрессор» выполняет порядка 150 газодинамических проектов в год. Объём расчётов, а также необходимость гарантировать заранее заказчику параметры эксплуатации, не дают возможность ориентироваться только на индивидуальное проектирование проточной части с нуля, даже современными методами. Неизбежно применение расчётно- экспериментальных подходов. Предприятие применяет пересчёт газодинамических характеристик испытанных модельных ступеней на фактические условия эксплуатации. При этом, исходя из теории подобия, эквивалентность режимов – кинематическое и термодинамическое подобие – в модельной и фактической ступени будет наблюдаться при совпадении безразмерных чисел-комплексов – условного коэффициента расхода φ_0, условного числа Маха M_y, политропного КПД $\eta_{пол}$, числа Рейнольдса Re, коэффициента политропного напора $\psi_{пол}$[1].

В основе данного подхода, лежит банк модельных ступеней, представляющий собой набор газодинамических характеристик вида $\eta_{пол}, \psi_{пол} = f(\varphi_0, M_y)$, и соответствующей геометрии проточной части. Набор ступеней в корпуса сжатия также ведется по заранее известным правилам. Пример схемы модельного ряда приведен на рисунке 1:

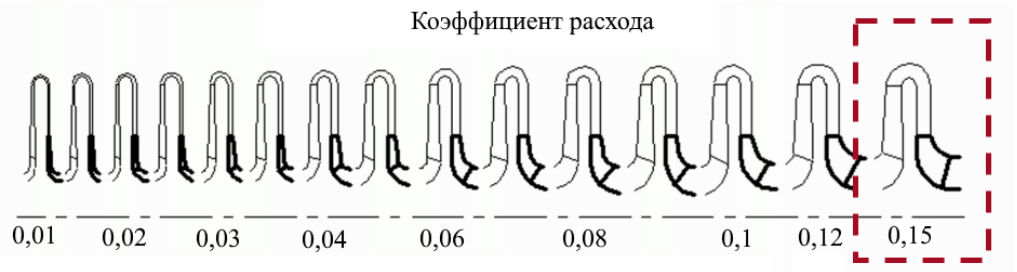


Рисунок 1. Схема ряда модельных ступеней

На протяжении долгих лет НИИтурбокомпрессор для одновальных компрессоров применял ряд модельных ступеней фирмы Дресссер-Кларк, лицензированных еще в 70х годах. Растущие запросы потребителя на надежную и эффективную технику, а также конкуренция с передовыми производителями вынудила провести газодинамическую модернизацию ступеней данного ряда.

Целевые показатели ряда, соответствующие лучшим мировым производителям: политропный КПД $\eta_{пол} > 85$ для самой эффективной ступени ряда, втулочное отношение (отношение диаметра вала к диаметру рабочего колеса) $\bar{d}_{втул} = d_0/D_2 > 0.4$, диапазон

коэффициентов расхода, который необходимо перекрыть $\Delta\varphi_0 = 0{,}18 - 0{,}012$, тип ступеней – промежуточные.

Ряд модельных ступеней перекрыт двумя типами - базовыми ступенями, с наиболее эффективной конфигурацией лопаточного аппарата для данного расхода, и промежуточными, которые получаются из базовых путем подрезки меридионального контура для сдвига расхода в меньшую сторону. Базовые ступени ряда подвергаются испытаниям на стенде газодинамики. Дискретность ряда по коэффициенту расхода подбирается так, чтобы соседние ступени перекрывались на 10 процентов [2].

Во всех ступенях ряда применены безлопаточные диффузоры для максимальной ширины характеристики и контактные уплотнения по покрывным дискам

Успешная модернизация ряда осуществлена применяем современных методов газодинамического проектирования – сквозным 1d-3d анализом, схема которого приведена на рисунке 2.

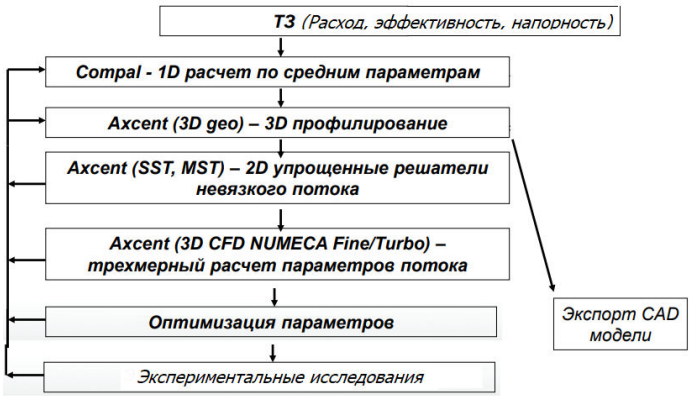


Рисунок 2. Схема сквозного проектирования центробежной ступени

Известна переменчивость распределения коэффициента потерь в ступени центробежного компрессора в зависимости от φ_0 [3]. Так, для высокорасходных ступеней определяющими являются потери от смешения низкопотенциального потока, для низкорасходных – потери дискового трения. Поэтому, неизбежно, в ряду ступеней имеется оптимум эффективности в области благоприятных коэффициентов расхода $\varphi_0 \approx 0{,}08$, небольшое понижение в высокорасходном, и существенное – в низкорасходном.

Среднерасходный ряд ступеней получен путем профилирования лопаток рабочего колеса на основе анализа невязкого потока методом кривизны струек тока [4], [5]. При отсутствии выраженной сепарации потока, что в диапазоне средних расходов реализуемо, данный метод отличает быстродействие и возможность перебрать большое количество вариантов в численном эксперименте. Внешний вид характерной для ряда ступени представлен на рисунке 3. Ряд отличают осерадиальные колеса с заостренными к концу лопатками, с профилем близким к образующей, полученной вращением двух конических поверхностей.

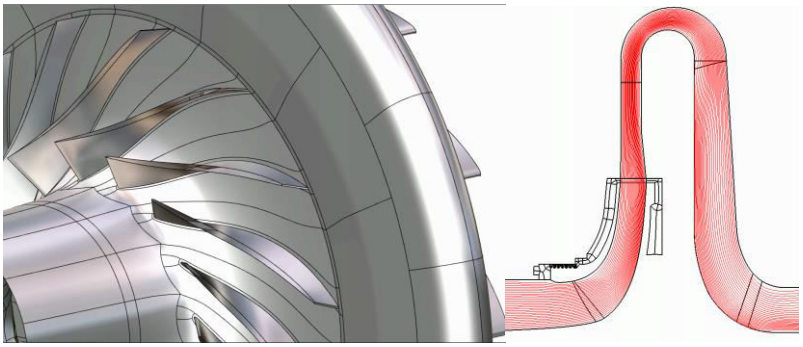


Рисунок 3. Внешний вид и меридиональный контур ступени среднерасходного ряда

Высокорасходный ряд ступеней спроектирован на основе модернизации ступени аналога в CFD-постановке. Решением для достижения эффективности проточной части, являлась симметричность эпюры расходной скорости на выходе из рабочего колеса с формированием выраженного ядра потока для снижения потерь смешения в диффузоре. Достижения благоприятной картины течения при $\varphi_0 > 0.13$ осуществлено применением диагональных колес. Уделялось внимание и степени реактивности рабочего колеса (РК) - максимум работы с восстановлением давления совершается в РК с «разгрузкой» статора, который работает при небольших скоростях и нужен скорее для разворота потока.

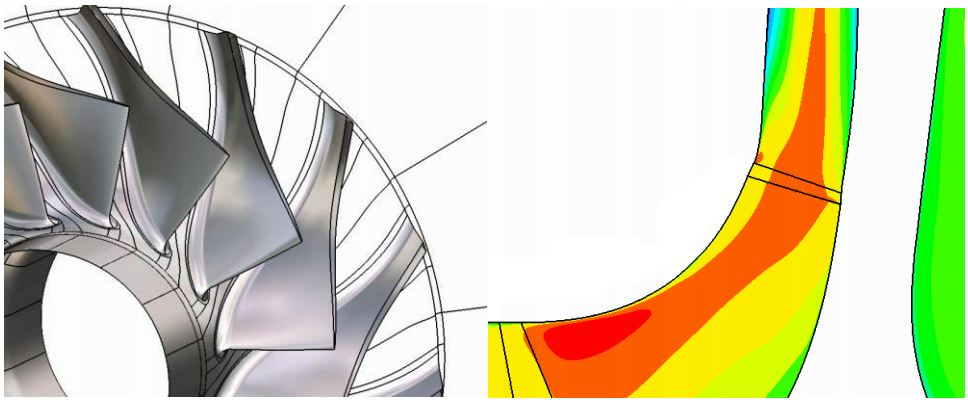


Рисунок 4. Внешний вид высокорасходной ступени и выходная эпюра расходной скорости на выходе из РК

При проектировании малорасходных ступеней основным ограничением является ширина рабочего колеса - для увеличения зоны свободного потока относительно ширины пограничных слоев и минимизации потерь трения. В качестве исходной ступени-аналога принята модельная ступень ряда Дрессер-Кларк. Далее проточная часть параметризировалась – сечения твердотельной геометрии описывались сплайнами, полюса которых являлись параметрами оптимизации. Критерий оптимизации – максимум изоэнтропийного КПД. Устанавливались ограничения штрафными функциями на минимально возможной коэффициент напора в рабочей точке. Поиск экстремума целевой функции осуществлялся с привлечением машинного обучения и генетических алгоритмов. Проточные части-кандидаты для генетического алгоритма выбирались из суррогатной модели с проверкой в CFD-расчёте только на конечной итерации.

Так же применялся оригинальный механизм для избавления от необходимости проверять помпажную точку при оптимизации – помпажный запас обеспечивался автоматически.

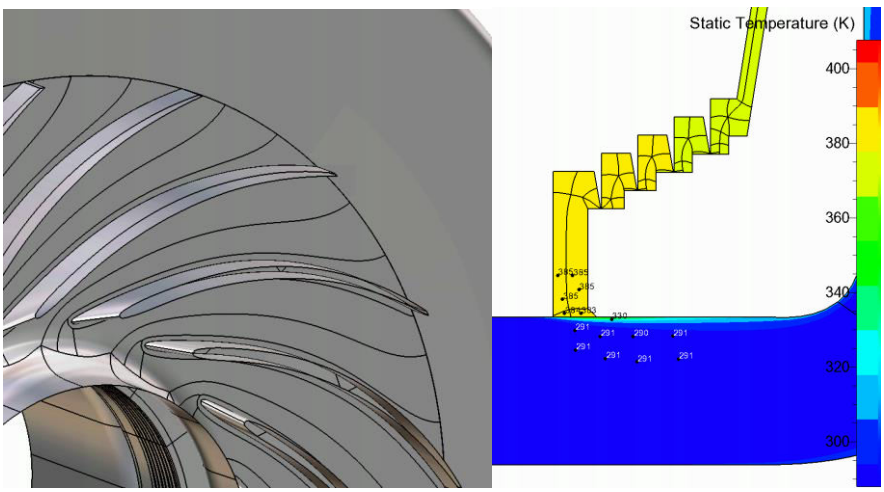


Рисунок 5. Внешний вид ступени и область нагрева покрывного дика потоком, выходящим из зазора

Вывод. На основе комплекса работ разработан ряд модельных ступеней, пригодный к применению в промышленных ЦБК высокой производительности и эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Галеркин Ю.Б.* Турбокомпрессоры: рабочий процесс, расчет и проектирование проточной части // КХТ, Москва. 2010. — 581 с.

2. *Шнепп В.Б.* Конструкция и расчёт центробежных компрессорных машин // Машиностроение, Москва. 1995. — 240 с.

3. *Khoshkalam N.; Mojaddam M.; Pullen K.R.* Characterization of the Performance of a Turbocharger Centrifugal Compressor by Component Loss Contributions. // Energies. 2019. 2711p.

4. *Лунев А.Т.* Разработка высокоэффективных сменных проточных частей центробежных компрессоров газоперекачивающих агрегатов: автореферат дис. ... кандидата технических наук // Казан. гос. технол. ун-т. 2005. — 16 с.

5. *David Japikse, N.C. Baines.* Introduction to Turbomachinery. // Concepts ETI. 1994 – 494p.

GAS DYNAMIC DESIGN OF HIGH-EFFICIENCY SPINAL COMPRESSOR STEPS

Hasanov N.G., Akhmetzyanov A.M., Idiyatullin B.F.

(V.B. Shnepp Research Institute of Turbocompressors, Kazan)

Abstract. The article describes the successes in the design of modern stages of single–shaft centrifugal compressors (CBCS), expressed in improvements in three areas - increasing the flow rate of the stage, the polytropic efficiency, and the dynamic stability of the rotor (shaft thickness).

УДК 662.953.2, 004.942

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОВОЗДУШНОГО ПОТОКА ВЕНТИЛЯТОРА SHUFT CFS 160 S

Шайхутдинов Я.О., Тихонов О.А.

Научный руководитель: Павлов Г.И., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Актуальность исследования заключается в изучении возможности использования энергии хордальных струй для увеличения закрутки воздушного потока, формируемого осевым вентилятором SHUFT CFs 160 S. В рамках данной работы выполнено численное моделирование газовоздушного потока в сопловом блоке блочной горелки с хордальной подачей газовых струй среднего давления.

Бурному развитию современных технологий способствует не только машиностроительная отрасль, но и новые методы математического моделирования. Они позволяют инженерам и ученым с достаточной точностью и меньшими затратами достичь желаемый результат за короткий промежуток времени. Современные методы CFD-моделирования (Computational Fluid Dynamics) позволяют выполнять гидродинамические расчеты практически любой сложности с использованием специализированного программного обеспечения (ПО). Наиболее успешным и популярным является программный пакет ANSYS, который включает в себя большое количество инструментов для решения задач из разных областей физики. Многие из методов решения (так называемые решатели), которые используется в программе, основываются на численном решении уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу [1]. В зависимости от поставленной задачи метод решения может усложняться и корректироваться.

Численное моделирование воздушного потока на выходе канального центробежного вентилятора SHUFT CFs 160 S проводилось в программном комплексе ANSYS Fluent. Предварительная 3D-модель вентилятора была смоделирована в системе автоматизированного проектирования «КОМПАС-3D». Итоговая модель представлена на рис. 1.

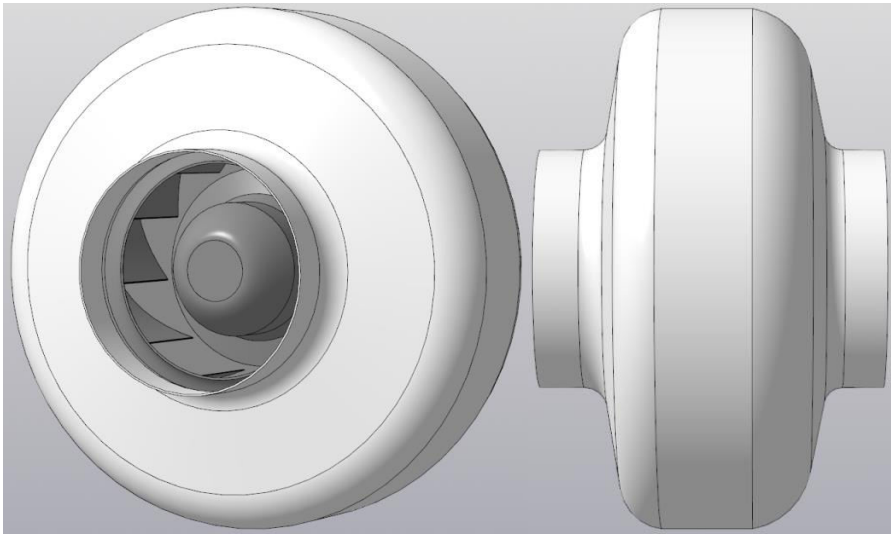


Рисунок 1. 3D-модель вентилятора

Решатель ANSYS Fluent использует сетку конечных объемов [2], которая была сформирована с использованием ANSYS Mesh. Для моделирования изначально использовалась тетраэдрическая сетка с дальнейшим ее преобразованием в полиэдральную с целью оптимизации количества элементов и времени расчета модели в целом. По итогу моделирования сетки были получены следующие показатели качества: общее количество элементов 900 788; среднее значение показателя Skewness 0,26472. В общей сложности расчет проходил в 3500 итераций.

Для расчетов использовалась комбинированная k–ω модель и сдвиговых напряжений Ментера SST [3, 5]. В зоне входного сечения (inlet) был задан массовый расход воздуха температурой 20 °C в размере 0,2876 кг/с согласно паспортным характеристикам вентилятора [4]. Частота вращения принята на уровне 2500 об/мин [4].

Валидация расчетных результатов проводилась при помощи анемометра марки Hot Wire Anemometer GM8903 [6], которым замерялась скорость воздушного потока в выходном сечении в разных точках. В данном случае сравнение проводилось по замеренной средней скорости закрученного потока. Результаты замеров и полученных отклонений представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение результатов моделирования с экспериментом

Точка замера	Скорость потока, м/с		Отклонение
	Модель	Эксперимент	
Верхняя зона (у контактной коробки)	22,5	24,2	-7,0%
Левая зона	22,9	24,0	-4,6%
Нижняя зона	23,4	25,1	-6,7%
Правая зона	23,1	24,6	-6,1%

Из табличных данных следует, что результаты теоретических исследований близки к реальным значениям - отклонение скоростей не превышает 7%. В процессе моделирования также было выявлено, что выбранный вентилятор обеспечивает значительную закрутку потока без использования дополнительных устройств, что делает его перспективным в использовании в различных газогорелочных устройствах.

Фото экспериментального стенда с использованием данной модели вентилятора представлено на рис. 2, результаты расчета воздушного потока представлены на рис. 3-4.

Рисунок 2. Фото экспериментального стенда

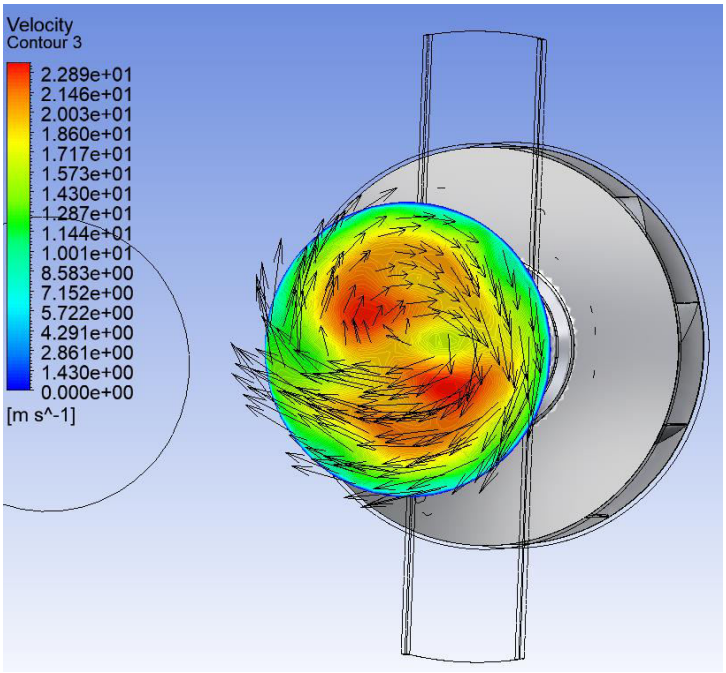


Рисунок 3. Диаграмма векторного поля скоростей (выход из корпуса вентилятора)

Из диаграммы видно, что тангенциальная составляющая скорости неравномерно распределяется по сечению выходного отверстия – имеются зоны с максимальным и минимальным значениями тангенциальной скорости. Экспериментально также замечено, что эти зоны меняют местоположение по кругу с определенной частотой вращения. Это явление установлено впервые.

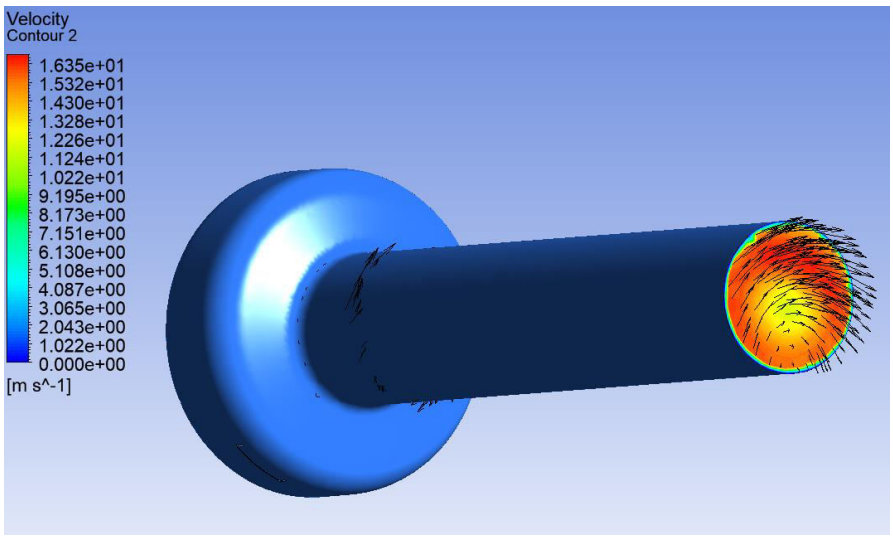


Рисунок 4. Диаграмма векторного поля скоростей (выходное сечение соплового блока)

Присоединение к выходу вентилятора соплового блока (цилиндрического патрубка) длиной 5 калибров меняет картину распределения тангенциальной составляющей скорости – она становится более равномерной в выходном сечении по сравнению с аналогичными результатами без патрубка (рис. 3).

По мере движения воздушного потока по патрубку его скорость снижается: максимальная скорость потока на входе в сопловой блок составляла 22,89 м/с, в выходном сечении – 16,35 м/с. Это свидетельствует о том, что значительная часть энергии потока тратится на увеличение тангенциальной составляющей скорости, которая является основным параметром, влияющим на крутку. Интересно наблюдать за изменением средней скорости воздушного потока вдоль оси цилиндрического патрубка (рис. 5). На расстоянии около 2 калибров от входной части патрубка можно заметить большую неравномерность распределения средней скорости воздушного потока. С дальнейшим удалением места наблюдения от начальной части патрубка неравномерность снижается.

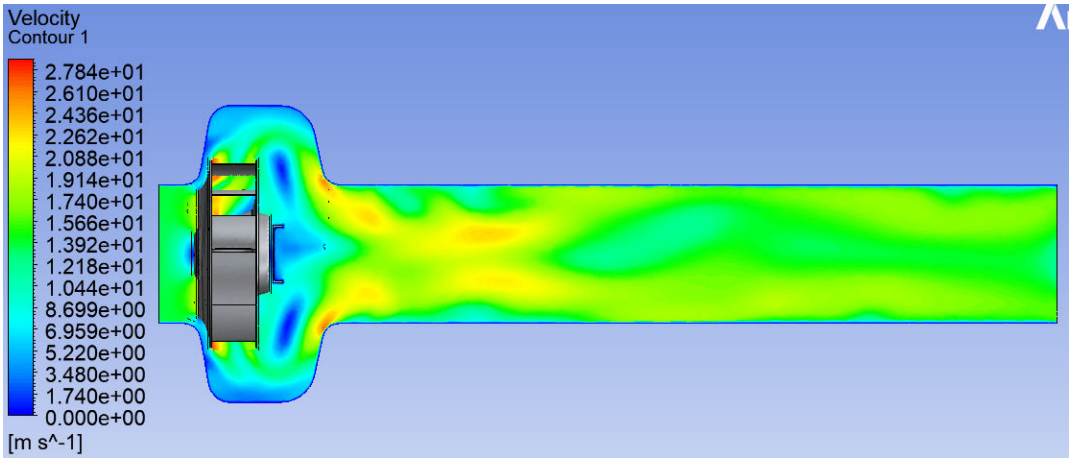


Рисунок 5. Диаграмма распределения средней скорости по продольному сечению цилиндрического патрубка

С целью оценки влияния энергии газовых струй, подаваемых в воздушный поток по хордам, проводились отдельные исследования. Расчетная модель была усовершенствована путем добавления газового коллектора с четырьмя соплами. Согласно источнику [7], для 4-х сопловых смесителей оптимальный угол подачи газа в воздушный поток составлял 26°. При таком угле обеспечивалось наилучшее распределение горючего газа в потоке воздуха. Схема присоединения патрубков для подачи газа представлена на рис. 6.

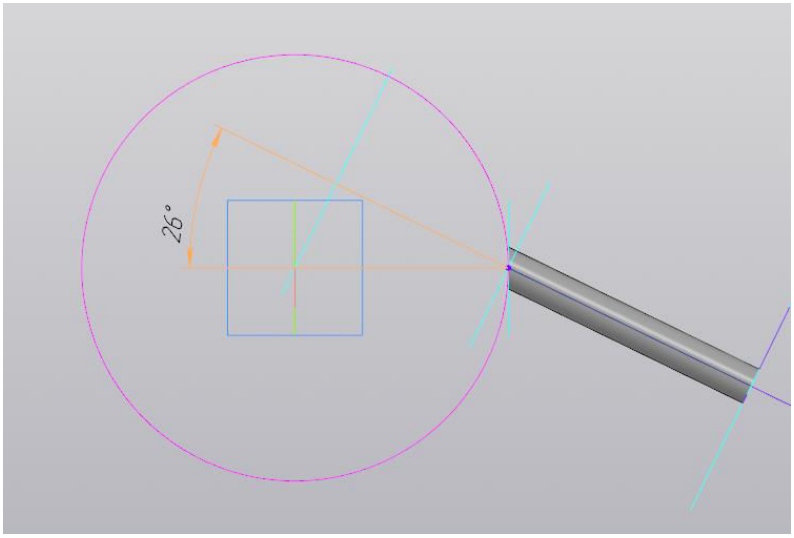


Рисунок 6. Схема присоединения одного из патрубков

На рис. 7 представлена диаграмма векторного поля скоростей в одном из сечений цилиндрического патрубка, расположенного за газовыми соплами.

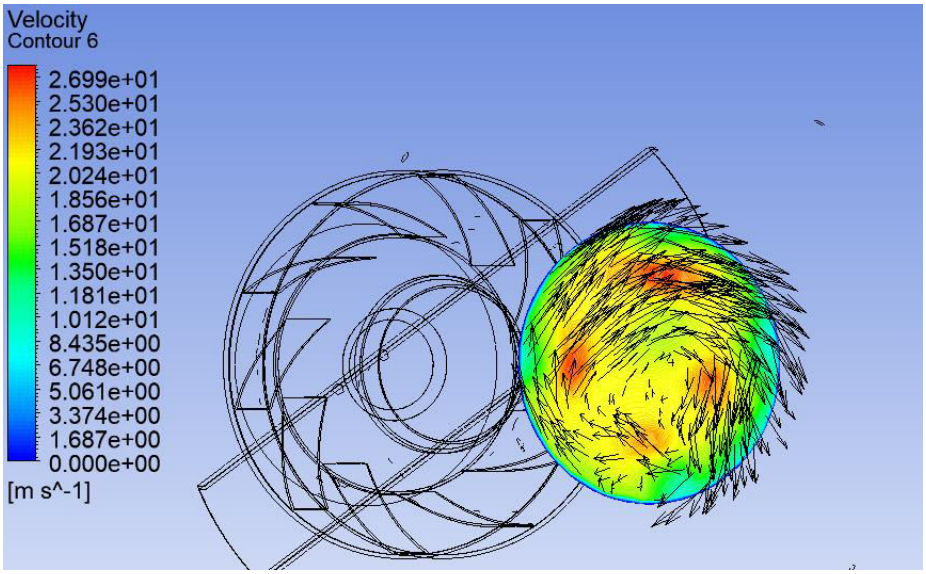


Рисунок 7. Диаграмма векторного поля скоростей в одном из сечений цилиндрического патрубка, расположенного за газовыми соплами

Из диаграммы видно, что в зоне истечения газовых струй тангенциальная скорость существенно выше, чем в других зонах сечения. Другой характер распределения тангенциальной скорости наблюдается и в выходном сечении цилиндрического патрубка (рис. 8). В периферийной части значения скоростей также превышают значения скоростей в центре потока. Такая закономерность распределения тангенциальной скорости характерна сильно закрученным потокам.

При анализе количественных показателей было выявлено, что без подачи газовых струй (учитывается энергия только воздушного потока) в выходном сечении соплового блока среднее значение тангенциальной скорости составило 15,2 м/с, а с хордальными струями – 16,9 м/с. Таким образом, подача газовых струй по хордам приводит к увеличению средней тангенциальной скорости на 11%.

Следует обратить внимание и на изменение средней скорости воздушного потока вдоль оси соплового блока. С хордальными газовыми струями она также увеличивается почти на 10 %.

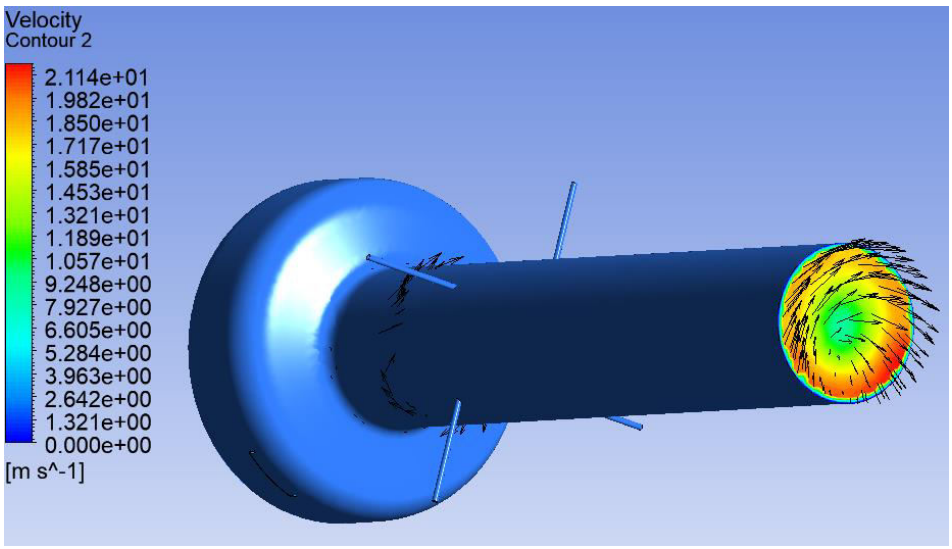


Рисунок 8. Диаграмма векторного поля скоростей в выходном сечении

Замечено, что подача хордальных газовых струй по сечению патрубка увеличивает гидродинамическое сопротивление соплового блока: разность средних значений избыточного давления по сечению до и после сопел составляет 51 Па (203,6-152,8 = 50,8). Верификация численных расчетов осуществлялась аналитическим методом. Объемный расход газа определялся по формуле

$$\dot{V} = F \cdot \omega_{\text{ср}}, \quad (1)$$

где $\dot{V}$ – объемный расход газа, м^3/ч;

$\omega_{\text{ср}}$ - средняя скорость истечения газа из сопла, м/с;

F - площадь сечения газового сопла.

Средняя скорость истечения газовых струй из сопел рассчитывалась по инженерной формуле:

$$\omega_{\text{ср}} = \sqrt{2\frac{k}{k-1}p_1\upsilon_1\left(1-\nu^{\frac{k-1}{k}}\right)}. \quad (2)$$

Сравнение расчетных данных, полученных в модели и по формулам (1) и (2), свидетельствует о том, что расхождение полученных значений расхода газа не превышает 1,37%, средней скорости истечения газа из сопла - 4,5%. На основании этого можно утверждать, что математическая модель адекватно описывает газодинамические процессы в рассматриваемом сопловом блоке. Предложенную теоретическую модель можно использовать для решения практических задач, связанных с созданием нового соплового блока без закручивающих лопаток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Первухин Д.О., Косых П.В*. Численное моделирование течения воздушного потока в шахтном осевом вентиляторе при реверсировании // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/chislennoe-modelirovanie-techeniya-vozdushnogo-potoka-v-shahtnom-osevom-ventilyatore-pri-reversirovanii (дата обращения: 04.06.2025).

2. Решатели гидрогазодинамики общего назначения // CAE Expert. – URL: *https://cae-expert.ru/product/ansys-cfd* (дата обращения: 04.06.2025).

3. *Menter F.R*. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications // AIAA Journal. 1994. Vol. 32, No 8. P. 1598–1605.

4. CFs 160 S Канальный центробежный вентилятор // Vent-Style. – URL: https://www.vent-style.ru/goods/shuft-cfs-160-s (дата обращения: 04.06.2025).

5. *Снегирёв А.Ю.* Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. — 143 с.

6. Hot Wire Anemometer GM8903 // BENETECH. – URL: http://www.benetechco.net/en/products/gm8903.html (дата обращения: 04.06.2025).

7. Сопловой блок блочной горелки с хордальными газовыми струями / Павлов Г.И., Теляшов Д.А., Шайхутдинов Я.О./ В книге: «Горение топлива: теория, эксперимент, приложения». Сб. тезисов докладов XII Всерос. конф. с междунар. участием. Новосибирск, 11.11.2024. С. 76.

NUMERICAL SIMULATION OF GAS-AIR FLOW OF THE SHUFT CFS 160 S FAN

Shaikhutdinov Y., Tihonov O.

Supervisor: Pavlov G., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The relevance of the study lies in studying the possibility of using the energy of chordal jets to increase the swirl of the air flow generated by the axial fan SHUFT CFs 160 S. Within the framework of this work, numerical modeling of the gas-air flow in the nozzle block of a block burner with chordal supply of medium-pressure gas jets was performed.

УДК 532.584

ОСОБЕННОСТИ БИНАРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СУСПЕНЗИОННЫХ КАПЕЛЬ ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Шуляев С.А., Клименко А.

Научный руководитель: Исламова А.Г., доцент, к. ф.-м. н.

(Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск)

Аннотация. В работе представлены результаты экспериментов по исследованию бинарных столкновений капель водоугольной суспензии при изменении температуры воздуха (25–200 °C) и концентрации твёрдой фазы (0,5–5%). С применением высокоскоростной видеосъёмки зарегистрированы различные режимы взаимодействия капель. На основе полученных данных составлены карты режимов, отражающие границы переходов между ними в зависимости от содержания твёрдых частиц и температуры окружающей среды.

В последние годы наблюдается значительный интерес к изучению свойств водоугольных суспензий (ВУС) [1,2], однако многие аспекты их поведения остаются недостаточно изученными. В частности, взаимодействие капель ВУС между собой при различных условиях (температура, концентрация, углы атаки) требует дальнейшего исследования. Это обусловлено тем, что такие процессы могут существенно влиять на эффективность работы оборудования, а также на экологические и экономические показатели производственных процессов. Таким образом, изучение взаимодействия капель водоугольной суспензии различных концентраций при варьировании условий внешней среды представляет собой важную область исследований, имеющую значительное практическое значение.

Цель работы состояла в установлении основных закономерностей бинарных столкновений капель суспензий. Соударение происходило в воздушной среде при варьировании концентрации твердых частиц в суспензионном составе и температуры внешней среды. В таблице 1 приведены физические свойства использованных растворов, определенные ранее в работе [3].

Таблица 1

Физические свойства водоугольных суспензий [3]

№	Тип жидкости	Плотность, ρ_l (кг·м$^{-3}$)	Поверхностное натяжение, σ_l (Н·м$^{-1}$)	Вязкость, μ_l (мПа·с)
1	ВУС 0,5 масс.%	1009	0,0718	1,49
2	ВУС 1 масс.%	1012	0,0740	1,5
3	ВУС 5 масс.%	1029	0,0915	1,6

Подробное описание экспериментального стенда и методики проведения экспериментов описаны в работе [4]. При изучении исходов столкновения капель рассчитывались значения линейного параметра взаимодействия (B), позволяющего учитывать расстояние между центрами масс капель (b), сталкивающихся между собой:

$$B = 2 \cdot b/(d_{d1} + d_{d2}),$$

где d_{d1} и d_{d2} – диаметры взаимодействующих капель.

Рассчитано число Вебера – критерий подобия, определяющий отношение инерции жидкости к поверхностному натяжению:

$$\mathrm{We} = \rho_d \cdot d_d \cdot {U_d}^2/\sigma,$$

где ρ_d – плотность суспензии; σ_d – поверхностное натяжение суспензии; μ_d – динамическая вязкость суспензии.

На рисунке 1 представлены видеокадры бинарных столкновений капель суспензий, демонстрирующие выделенные в работе режимы: отскок, агломерация, рефлексивное растяжение и дробление.

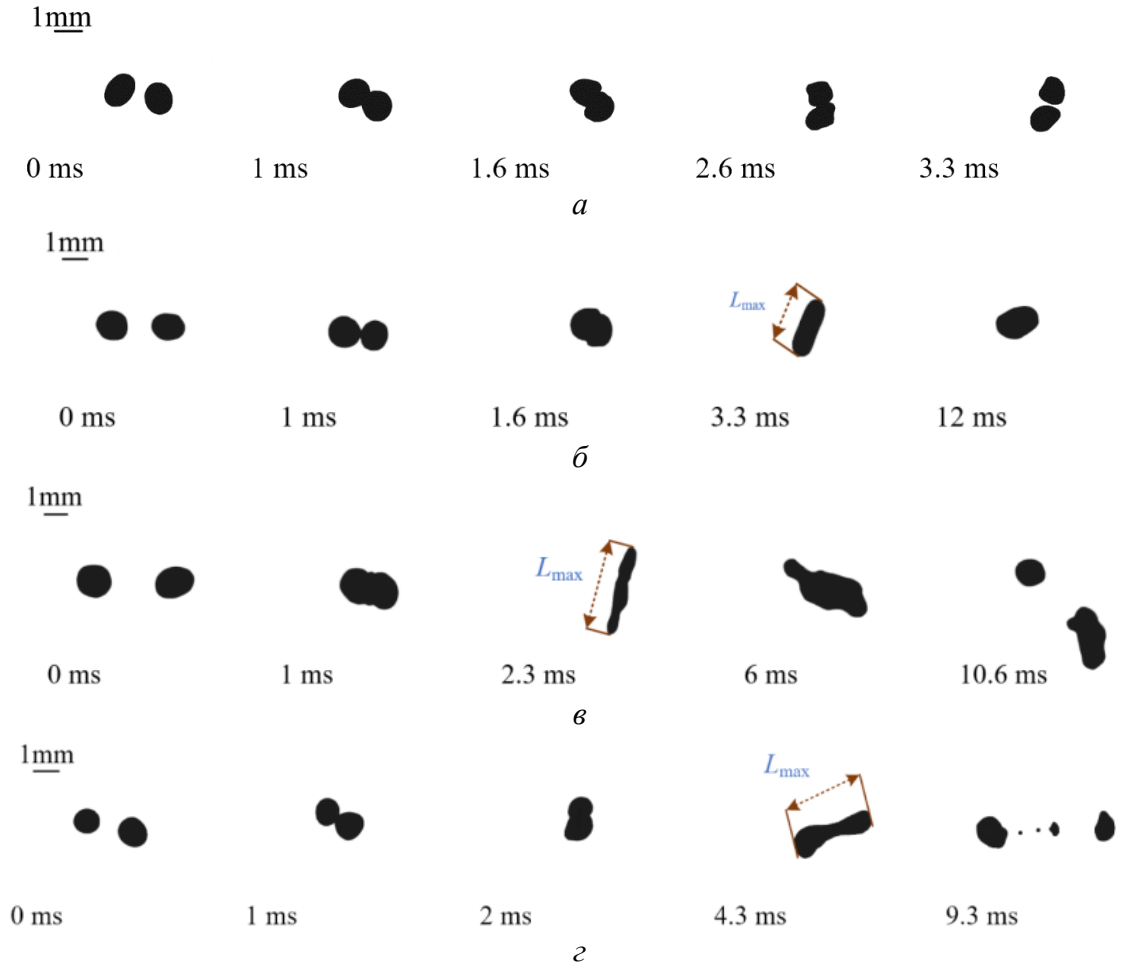
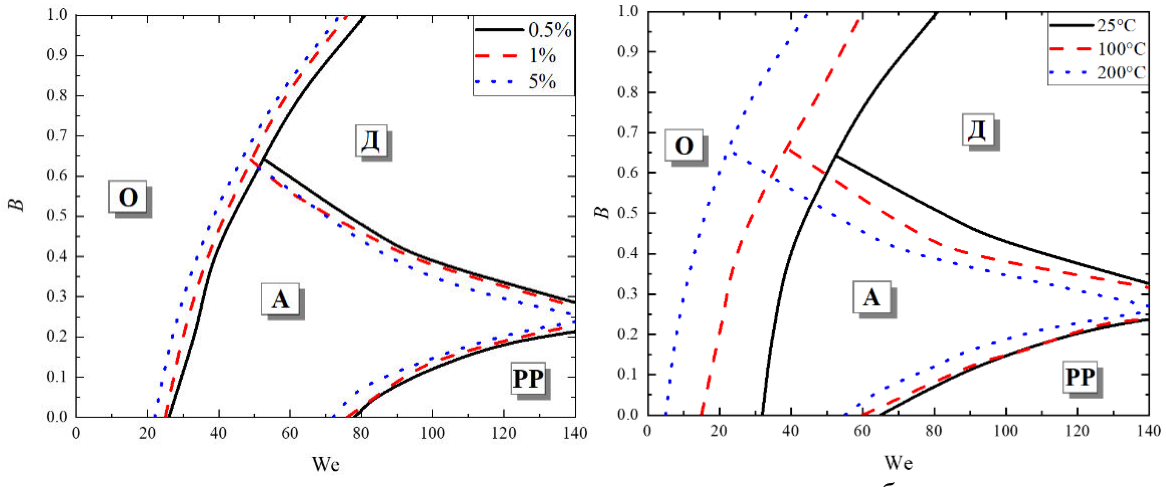


Рисунок 1. Видеокадры бинарного соударения капель суспензий: *а* – режим отскока (We = 25); *б* – режим агломерации (We = 47); *в* – режим рефлексивного растяжения (We = 100); *г* – режим дробления (We = 120)

Низкие числа Вебера (We ≈ 0–32) соответствуют режиму отскока: капли кратковременно деформируются, затем расходятся и восстанавливают форму. В диапазоне We ≈ 21–55 реализуется агломерация, когда жидкая плёнка между каплями разрушается, и они сливаются без образования фрагментов. Более высокие We в сочетании с малым параметром центричности (*B* ≈ 0–0,3) приводят к рефлексивному растяжению: капли объединяются, образуют диск, вытягиваются в цилиндр и распадаются на несколько частей. При B ≈ 0,3–1 возникает дробление, характеризующееся кратковременным слиянием и последующим распадом вытянутой капли на фрагменты.

На рисунке 2 показаны карты режимов взаимодействия капель суспензий в координатах We(*B*) при изменении концентрации твёрдой фазы (*а*) и температуры окружающей среды (*б*). Увеличение содержания угольной фазы от 0,5 до 5 масс.% приводит лишь к небольшому смещению границ раздела режимов в сторону меньших критических чисел Вебера (на 1–7%), что говорит о слабом влиянии концентрации твёрдых частиц в пределах исследованного диапазона. Температура оказывает значительно большее воздействие. С её ростом граница режима отскока заметно смещается к меньшим числам Вебера, что связано с изменением вязкости и поверхностного натяжения суспензии. В отличие от режима отскока, который сильно зависит как от вязкости, так и от поверхностного натяжения, граница режима рефлексивного растяжения демонстрирует меньшую чувствительность к изменениям этих параметров. Это объясняет большую разницу между смещениями границ режимов отскока и рефлексивного растяжения при изменении температуры внешней среды.



а *б*

Рисунок 2. Карты режимов взаимодействия (А – агломерация; О – отскок; Д – дробление; РР – рефлексивное растяжение) капель суспензий при варьировании концентрации суспензии от 0,5 масс.% до 5 масс.% (*а*) и температуры окружающей среды от 25 до 200 °С (*б*)

Таким образом сформулирован вывод о слабом влиянии концентрации твердой фазы на смещение границ режимов. Повышение температуры, напротив, существенно смещает границу режима отскока в сторону меньших чисел Вебера, что связано с изменением вязкости и поверхностного натяжения. В отличие от режима отскока, граница режима рефлексивного растяжения менее чувствительна к температуре, так как её формирование определяется преимущественно поверхностным натяжением, а не вязкостью. Это подтверждает, что вклад реологических свойств жидкости в исход столкновения капель неоднозначен и зависит от конкретного режима.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-71-10040, https://rscf.ru/project/23-71-10040/.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Nyashina G.S.* et al. Environmental benefits and drawbacks of composite fuels based on industrial wastes and different ranks of coal // J. Hazard. Mater. 2018. V. 347. P. 359–370.

2. *Osintsev K., Aliukov S., Alabugin A.* A Review of Methods, and Analytical and Experimental Studies on the Use of Coal–Water Suspensions // Mathematics. 2022. V. 10, № 20. P. 1–25.

3. *Islamova A.G., Shlegel N.E., Strizhak P.A.* Impact of physical properties of coal slurry droplets on their interaction with coal particles // Exp. Therm. Fluid Sci. 2025. Vol. 166. P. 111478.

4. *Tkachenko P.P., Shlegel N.E., Volkov R.S., Strizhak P.A.* Experimental study of miscibility of liquids in binary droplet collisions // Chem. Eng. Res. Des.. 2021. V. 168. P. 1–12.

EFFECTS OF AMBIENT AIR TEMPERATURE ON BINARY COLLISIONS OF COAL–WATER SUSPENSION DROPLETS

Shulyaev S.A., Klimenko A.

Supervisor: Islamova A.G., Associate Professor, Candidate of Physico-Mathematical Sciences

(*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk*)

Abstract. This paper describes the results of an experimental study of binary collisions of droplets of a coal-water suspension with varying ambient air temperature (from 25 to 200 °C) and the concentration of solid coal particles (from 0.5 to 5%). Using high-speed video recording, various modes of droplet interaction are recorded. Maps of the modes of interaction of suspension droplets are constructed, which make it possible to determine the boundaries between the modes depending on the concentration of the solid phase in the suspension and the ambient temperature.

УДК 536+537+621.45.00.11.030

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГОРЮЧИХ И МОТОРНЫХ АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ

Юсупов А.А., Селянин К.А.

Научный руководитель: Алтунин В.А., профессор, д. т. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Аннотация. В докладе раскрывается конструктивная схема экспериментальной установки и рабочего участка для исследования характеристик и возможностей электрического ветра в жидких углеводородных горючих и в моторных авиационных маслах при их естественной и вынужденной конвекции, при их различных температурах и давлениях.

Для проведения экспериментальных исследований характеристик и возможностей электростатических полей (Е) в жидких углеводородных горючих (УВГ) и моторных авиационных маслах (МАМ) была создана экспериментальная установка с рабочим участком, который показан на рис. 1, 2. Данный рабочий участок позволяет проводить исследования в условиях естественной и вынужденной конвекции жидких УВГ и МАМ, при различных давлениях и температурах.

Рабочий участок (см. рис. 1) выполнен с окнами визуализации, с рабочими электродами системы «Игла — игла», с различными сменными металлическими фильтровочными полотнами с размерами стороны ячейки от 3 мм до 0,05 мм.

Размеры рабочего участка: длина - 200 мм, ширина – 110 мм, высота – 80 мм.

Размеры его каждого окна визуализации: длина – 80 мм, ширина – 45 мм.

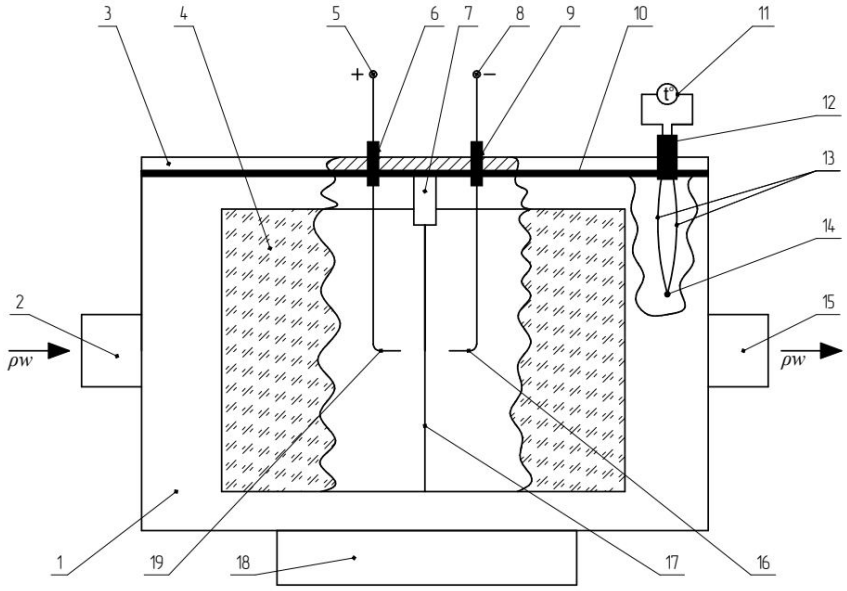


Рис. 1. Конструктивная схема нового рабочего участка:
1 — корпус рабочего участка; 2 — входной канал; 3 — съемная крышка; 4 — окно визуализации; 5 — точка крепления контакта для подвода электростатического напряжения на отдающую иглу; 6 — гидроэлектроизоляция отдающей иглы; 7 — стационарный держатель экспериментальной съемной металлической сетки; 8 — точка крепления контакта для подвода электростатического напряжения на принимающую иглу;
9 — гидроэлектроизоляция принимающей иглы; 10 — гидроизоляционная прокладка между крышкой и корпусом; 11 — датчик температуры; 12 — гидроэлектроизоляция термопары;
13 — термопара; 14 — точка замера температуры; 15 — выходной канал;
16 — принимающая игла; 17 — рабочая съемная металлическая сетка;
18 — подогревающее устройство; 19 — отдающая игла

Данные геометрические размеры рабочего участка и окон визуализации выполнены из условия обеспечения эффективной работы E и электрического ветра при образовании электрогидравлического факела при естественной и вынужденной конвекции жидких УВГ и МАМ, а также – из условия возможности проведения эффективной визуализации всех электрогидродинамических процессов с возможностью замеров геометрических характеристик электрического ветра при его прохождении через съёмные рабочие металлические фильтровочные сетки с различными размерами ячеек.

Ранее было установлено [1-13], что:

- в жидких УВГ и МАМ скорость прокачки W = 6,0 м/с является граничной, т.е. при такой скорости прокачки электрический ветер уже не способен влиять на тепловые процессы в них, т.к. все заряженные частицы рабочего тела уносятся потоком;

- в жидких УВГ и МАМ при их естественной и вынужденной конвекции, при различных давлениях - существуют зоны насыщения электростатическими полями E, в которых дальнейшее увеличение подаваемого электростатического напряжения не приводит к дальнейшему увеличению коэффициента теплоотдачи и к увеличению площади предотвращения осадкообразования;

- импульсное, т.е. периодичное, включение E даже с малым интервалом задержки между включениями 0,5 секунд - уже приводит к появлению углеродистого осадка на нагреваемых металлических деталях в объёмах жидких УВГ и МАМ при их естественной и вынужденной конвекции, при различных давлениях.

Результаты этих ранних исследований будут обязательно учитываться при проведении предстоящих исследований с использованием E в данном рабочем участке.

Рабочие характеристики новой установки с новым рабочим участком показаны в таблице 1.

Таблица 1

Предельные параметры экспериментальной установки

Параметры	Минимальное значение	Максимальное значение
Давление МАМ и жидкого УВГ в установке, МПа	0,1	3,0
Скорость МАМ и жидкого УВГ в рабочем участке, м/с	0	6,0
Температура МАМ и жидкого УВГ в рабочем участке, К	293	493
Потребляемая мощность электродвигателем, Вт	500	3000
Напряжение электростатического поля на отдающей игле, кВ	0	50
Расстояние между остриями рабочих соосных игл в рабочем участке, мм	5	15
Размеры сторон ячейки сменных металлических сеток, мм	0, 05	3,0

На рис. 2 показан общий вид нового рабочего участка.

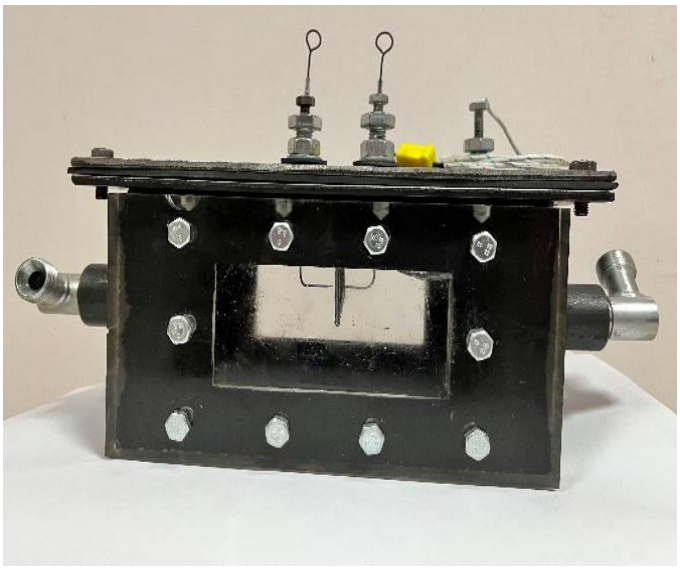


Рис. 2. Общий вид нового рабочего участка

Для создания *E* используется прибор марки АФ-3 (см. рис. 3), который может подавать на отдающую иглу электростатическое напряжение до 50 кВ.

Рис. 3. Общий вид (фотография) высоковольтного ступенчатого повышающего трансформатора марки АФ-3

Электростатическое напряжение, реально подаваемое на отдающую иглу в ходе экспериментов, фиксировано повышается от 0 до (25 – 30) кВ через 5 кВ. Из ранних исследований *E* в жидких УВГ и МАМ известно, что при подаче более (25 – 30) кВ, в зависимости от расстояния между остриями соосных рабочих игл, наступает зона насыщения *E*, поэтому данный рабочий предел – является оптимальным и эффективным.

Расстояния между рабочими соосными иглами составляет: 5 мм, 10 мм, 15 мм. Из ранних исследований *E* в жидких УВГ и МАМ также известно, что данные расстояния являются самыми оптимальными и эффективными для обеспечения работы электрического ветра по интенсификации теплоотдачи и предотвращению осадкообразования.

В предыдущих исследованиях *E* в жидких УВГ и МАМ было установлено [4, 8, 9, 12, 13], что толщина рабочих соосных игл от 1 до 3 мм, а также угол заточки острия каждой иглы от 15 до 60 градусов – не влияют на конфигурацию распространения силовых линий *E* и работу электрического ветра, поэтому в данном рабочем участке применяются рабочие соосные иглы, выполненные из электропроводной сварочной проволоки толщиной 2,5 мм с углом заточки каждой иглы: 30 градусов.

Температура рабочего тела (жидкого УВГ или МАМ) в данном рабочем участке фиксировано увеличивается: 20 °С (293 К); 40 °С (313 К); 60 °С (330 К); 80 °С (353 К); 100 °С (373 К); 120 °С (393 К); 140 °С (413 К); 160 °С (433 К); 180 °С (453 К); 200 °С (473 К); 220 °С (493 К), что обеспечит нагрев и сменной рабочей металлической сетки, а также появление на ней твёрдых углеродистых отложений.

Давление в данном рабочем участке фиксировано повышается: от 0,1 до 2,5 МПа через 0,5 МПа.

Скорость прокачки рабочего тела в рабочем участке фиксировано изменяется от 0 до 6 м/с через 1 м/с.

Предполагается, что первый этап экспериментов будет проведен с жидким УВГ марки дизельное топливо (ДТ), второй этап — с жидким УВГ марки ТС-1, третий этап — с МАМ марки МС — 20.

Каждый этап будет проведен в условиях естественной конвекции, затем — в условиях вынужденной.

Каждый эксперимент в условиях естественной конвекции рабочего тела будет проводиться с конкретной металлической сеткой с известными геометрическими характеристиками ячеек, с определением и установкой рабочих параметров (расстоянием между рабочими соосными иглами, температурой рабочего тела в рабочем участке, температурой окружающей среды, давлением в рабочем участке).

Через окна визуализации будет производиться фото- и киносъемка тепловых и гидродинамических процессов без включения Е и с их включением.

При включении *E* при $U = 5$ кВ от отдающей иглы начнет появляться электрический ветер с небольшим гидравлическим факелом, при повышении подаваемого электростатического напряжения этот гидравлический факел будет увеличиваться.

Длина гидравлического факела будет измеряться и заноситься в рабочий журнал — при каждом подаваемом электростатическом напряжении на отдающую иглу при конкретных термодинамических условиях жидких УВГ и МАМ.

При использовании металлических сеток с крупными ячейками (3 мм, 2 мм, 1,5 мм, 1,0 мм) ожидается, что гидравлический факел электрического ветра будет беспрепятственно проходить через них, а по мере уменьшения размеров ячеек — уже начнут возникать трудности. Возможно, что при малых размерах ячеек (0,5 мм; 0,1 мм; 0,05 мм) гидравлический факел электрического ветра вообще не сможет преодолеть эти препятствия.

Эти предположения будут раскрыты только после проведения экспериментальных исследований.

При подогреве жидкого УВГ или МАМ до температуры 40 °С (313 К) в них появятся электрические (+ –) заряды, т.е. эти жидкости станут электропроводными, а при температуре 100 °С (373 К) — в них появятся диполи, которые активно участвуют в осадкообразовании, ,

т.е. эта температура является началом процесса осадкообразования [3-13].

В ходе экспериментов также будут выявлены особенности влияния *E* на предотвращение осадкообразования на различных металлических сетках. Возможно, что при малых геометрических размерах ячеек металлических сеток гидравлический факел электрического ветра не сможет преодолеть полотно данной сетки, но *E* смогут предотвратить осадкообразование на ней — в зоне прохождения силовых линий, т.е. раскрытие этого вопроса также возможно только после проведения экспериментальных исследований.

После каждого эксперимента (при конкретном подаваемом электростатическом напряжении) будет производиться разборка рабочего участка с визуальным осмотром рабочей сменной металлической сетки — для определения влияния *E* на предотвращение осадкообразования на ней.

Предполагается, что повышение температуры рабочего тела будет способствовать увеличению длины гидравлического факела в жидких УВГ и в МАМ. Такие эксперименты будут проводиться без металлических сеток, при фиксированном расстоянии между соосными рабочими иглами, при фиксированном подаваемом электростатическом напряжении и при фиксированных повышениях температуры и давления.

Результаты таких исследований станут основой для разработки новых способов определения ТФС жидких УВГ и МАМ. Здесь также возможно будет определять возможности электрического ветра для его применения в качестве гидравлического насоса в жидких УВГ и в МАМ. Исходные данные и результаты каждого эксперимента будут заноситься в рабочий журнал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Дубовкин Н.Ф., Яновский Л.С., Харин А.А. и др.* Топлива для воздушно-реактивных двигателей. Москва, Изд-во «МАТИ» — Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского, 2001, 443 с.

2. *Яновский Л.С., Дубовкин Н.Ф., Галимов Ф.М. и др.* Инженерные основы авиационной химмотологии. Казань, Изд-во Казанского ун-та, 2005. 714 с.

3. *Алтунин В.А.* Исследование особенностей теплоотдачи к углеводородным горючим и охладителям в энергетических установках многоразового использования. Книга первая. Казань. Изд-во «Казанский гос. ун-т им. В.И. Ульянова — Ленина», 2005. 272 с.

4. *Алтунин В.А.* Исследование влияния электростатических и магнитных полей на особенности теплоотдачи к углеводородным горючим и охладителям. Книга вторая. Казань: изд-во «Казанский гос. ун-т им. В.И. Ульянова-Ленина, 2006. 230 с.

5. *Altunin V.A., Altunin K.V., Aliev I.N., Gortyshov U.F., Dresvyannikov F.N., Obukhova L.A., Tarasevich S.E., Yanovskaya M.L.* Analysis of investigations of electric fields in different media and conditions. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2012, vol. 85, no. 4, pp. 959–976.

6. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Гортышов Ю.Ф., Давлатов Н.Б., Зарипова М.А., Керножицкий В.А., Колычев А.В., Разносчиков В.В., Сафаров М.М., Яновский Л.С., Яновская М.Л.* Некоторые пути повышения эффективности жидкостных реактивных двигателей летательных аппаратов на углеводородных и азотосодержащих горючих и охладителях. Казань. Редакционно-издательский центр «Школа», 2020. 148 с.

7. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Львов М.В., Щиголев А.А., Алиев И.Н., Яновская М.Л.* Проблемы систем смазки авиационных двигателей // Тепловые процессы в технике, 2021, т. 13, № 8, с. 357–384.

8. *Алтунин В.А., Львов М.В., Юсупов А.А., Щиголев А.А., Гортышов Ю.Ф., Кореев Е.П., Яновская М.Л.* Результаты экспериментального исследования влияния электростатических полей на тепловые процессы в моторном авиационном масле марки МС-20 в условиях его вынужденной конвекции. Часть 1. Инженерный журнал: наука и инновации, 2023, вып. 11, http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-11-2317.

9. *Алтунин В.А., Львов М.В., Юсупов А.А., Щиголев А.А., Гортышов Ю.Ф., Кореев Е.П., Яновская М.Л.* Результаты экспериментального исследования влияния электростатических полей на тепловые процессы в моторном авиационном масле марки МС-20 в условиях его вынужденной конвекции. Часть 2. Инженерный журнал: наука и инновации, 2023, вып. 12, http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-12-2324.

10. *Алтунин В.А.* Анализ тепловых процессов в жидких углеводородных горючих и охладителях двигателей летательных аппаратов. 46 Академические чтения по космонавтике. Сек. № 7: «Развитие космонавтики. Фундаментальные проблемы газодинамики, горения и теплообмена». Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022, т. 1, с. 428–430.

11. *Алтунин В.А., Львов М.В., Каськов А.С., Щиголев А.А., Яновская М.Л.* Проблемы осадкообразования в системах смазки двигателей летательных аппаратов. Современные проблемы ракетной и космической техники: сб. научных статей. Казань. Редакционно-издательский центр «Школа», 2022, с. 99–113.

12. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Щиголев А.А., Платонов Е.Н.* Разработка способов увеличения ресурса и надёжности систем смазки двигателей внутреннего сгорания наземного транспорта // Изв. вузов. Машиностроение. 2015. №10 (667). С. 48-58.

13. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Щиголев А.А., Юсупов А.А.* Исследование возможности применения магнитных и электростатических полей для борьбы с осадкообразованием в авиационных моторных маслах двигателей, энергоустановок и техносистем наземного, воздушного и аэрокосмического базирования // Изв. вузов. Машиностроение. 2017. №3 (684). С. 76-88).

DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL SETUP FOR RESEARCH IN LIQUID HYDROCARBON FUELS AND ENGINE AVIATION OILS

Yusupov A.A., Selyanin K.A.

Supervisor: Altunin V.A., Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The report reveals the design scheme of the experimental setup and working area for studying the characteristics and capabilities of electric wind in liquid hydrocarbon fuels and in motor aviation oils during their natural and forced convection, at their various temperatures and pressures.

УДК 536+537+621.45.00.11.030

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЕТРА В ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГОРЮЧИХ И МОТОРНЫХ АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ

Юсупов А.А., Селянин К.А.

Научный руководитель: Алтунин В.А., профессор, д. т. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Аннотация. В докладе на основе обзора и анализа научно-технической литературы проводится обоснование необходимости проведения экспериментальных исследований электрического ветра в жидких углеводородных горючих и моторных авиационных маслах при их естественной и вынужденной конвекции, при различных давлениях и температурах.

Одним из опасных и негативных процессов, происходящих в топливно - подающих, топливно – охлаждающих и смазывающих системах двигателей летательных аппаратов (ЛА) является процесс осадкообразования, из-за чего несанкционированно, неожиданно и раньше

положенного срока двигатели ЛА выходят из строя, создаются аварийные ситуации, аварии, с возникновением пожаров и взрывов [1-26].

В докладе подробно описывается негативность осадкообразования в воздушно - реактивных двигателях (ВРД), в жидкостных ракетных двигателях (ЖРД), в авиационных и наземных поршневых двигателях внутреннего сгорания (ДВС).

Процесс осадкообразования в топливной системе ВРД приводит:

- к преждевременному закупориванию различных фильтров;

- к заеданию золотников в насосах-регуляторах, что ведёт к «зависанию» оборотов двигателя при числе оборотов, составляющем (60 - 70) % от максимальных;

- к повышению времени приемлемости или к помпажу двигателя, к колебанию оборотов или невыходу двигателя на максимальные обороты из-за отложений на прецизионных парах, к самовыключению двигателя на земле и в воздухе или к «раскрутке» оборотов на высоте из-за заедания поршня золотника ограничителя нарастания давления или зависания штока сервопоршня, гидрозамедлителя и т.п.;

- к частичному или полному закупориванию форсуночных фильтров и форсуночных каналов, что ведёт к частичной или полной потере тяги, к неправильной организации распыла (например, струйного) и горения, к изменению эпюры температурного поля газового потока, к короблению и прогару стенок жаровых труб и возгоранию двигателя;

- к частичной (полной) потере тяги;

- к образованию течи углеводородного горючего и охладителя, пожара и взрыва;

- к неуправляемости и срыву полётного задания и т.д.;

- к коррозии и досрочному разрушению топливно-охлаждающих каналов двигателей, энергоустановок и техносистем многоразового использования.

Известно, что через 900 циклов работы, например, ВРД НК-8-2У самолёта Ту-154 подвергается капитальному ремонту:

- снятию двигателя с самолёта с дальнейшей отправкой на завод;

- промывке в заводских условиях специальными агрессивными жидкостями с дальнейшей утилизацией получаемых продуктов, что связано с большими экологическими трудностями;

- замене закоксованных фильтров и форсунок и т.д.

Негативный процесс осадкообразования в системах смазки ВРД приводит к закоксовыванию масляных форсунок уже через 800 часов (циклов) работы двигателя, к масляному голоданию и разрушению двигателя. Простой ЛА из-за организации ремонта двигателя влечёт за собой большие экономические и материальные потери.

Процесс осадкообразования в жидкостных ракетных двигателях (ЖРД), в гиперзвуковых прямоточных воздушно-реактивных двигателях приводит к подобным негативным явлениям:

- к несанкционированному и внезапному повышению температуры стенки рубашки охлаждения за 2-3 минуты после запуска;

- к ухудшению теплоотдачи в рубашках охлаждения и к их прогару;

- к закоксовыванию форсунок и неправильной организации горения из-за струйного распыла и нерасчётности смешения компонентов;

- к частичной или полной потере тяги, к пожару и взрыву двигателя или энергоустановки в земных и космических условиях.

Негативные последствия осадкообразования в полной мере относятся и к вспомогательным энергоустановкам многоразового использования: к ЖРД малой тяги (ЖРДМТ), к ВРД малой тяги, к различным теплообменникам (в том числе и масляным), радиаторам, газогенераторам (ГГ) и т.д.

В поршневых двигателях внутреннего сгорания (ДВС) авиационного (воздушного) и наземного базирования и применения осадкообразованию подвержены топливные и масляные каналы, форсунки, теплообменные аппараты. Например, масляные форсунки дизельных ДВС полностью закоксовываются уже через 800 часов (циклов) работы двигателя.

В докладе показано, что практически во всех двигателях, энергоустановках и техносистемах наземного, воздушного, аэрокосмического и космического базирования имеются металлические фильтры и фильтрующие системы с сеточными полотнами с различными малыми размерами пропускных ячеек, которые покрываются твёрдыми углеродистыми осадками, а также задерживают осадки по ходу движения горючего или масла.

Процесс осадкообразования ($\delta_{ос}$) является сложным и зависит от многих факторов, например, для жидких углеводородных горючих и охладителей такими факторами являются:

$\delta_{ос}$ =f ($T_{ст.}$; $T_{ж.,г}$; q; p; W; M; П; $К_{шер.}$, K_{O_2} ; $К_{ин.}$; X; N; Г; ТААК давл.; E; τ и др.),

где $T_{ст.}$ - температура стенки (канала со стороны углеводородного горючего (охладителя); $T_{ж.,\ г.}$ - температура жидкого (газообразного) углеводородного горючего (охладителя); q – плотность теплового потока; p - давление в топливно - охлаждающей системе; W - скорость прокачки углеводородного горючего (охладителя); M - материал стенки; П - присадки; $К_{шер.}$ - степень шероховатости поверхности; K_{O_2} - насыщенность кислородом; $К_{ин.}$ - насыщенность инертными газами; X - вид углеводородного горючего (охладителя), его физико-химические и физико-технические характеристики и свойства; N - число циклов двигателя, энергоустановки, техзносистемы; Г - геометрические характеристики внутренних каналов и узлов топливно-охлаждающих систем (расстояния между деталями, габариты, виды искусственных интенсифкаторов теплоотдачи и т.д.); ТААК давления – термоакустические автоколебания давления; E – электростатические поля; τ – время наработки.

Другое опасное тепловое явление – это возникновение термоакустических автоколебаний (ТААК) давления, которые происходят в каналах рубашек охлаждения ЖРД [7, 8, 12, 19].

Они способствуют образованию локально - чередующихся зон перегревов и прогаров рубашки охлаждения в области критического сечения сопла и откалыванию твердых углеродистых осадков с дальнейшим засорением самих каналов и форсунок, с возникновением пожаров и взрывов, особенно при стендовых испытаниях.

Практически во всех двигателях ЛА применяются различные фильтры, выполненные из металлических сеток, которые в ходе эксплуатации топливных и масляных систем тоже покрываются твёрдым углеродистым осадком, что также приводит к различным аварийным ситуациям и авариям.

В докладе подробно изложена информация об условиях зарождения осадка в жидких углеводородных горючих и в моторных авиационных маслах, о существующих и перспективных способах борьбы с этим негативным и опасным явлением. Ранее было установлено [8], что электростатические поля способствуют интенсификации теплоотдачи к углеводородным горючим и моторным авиационным маслам, предотвращению осадкообразования на нагреваемых деталях в среде жидкого углеводородного горючего и моторного авиационного масла, при помощи визуализации было доказано, что электрический ветер, как разновидность электростатического поля, также участвует в интенсификации тепломассообмена. В докладе показаны особенности исследования электростатических полей различными учёными в различных средах [8, 9], приведены результаты экспериментальных исследований электростатических полей в жидких углеводородных горючих и моторных авиационных маслах авторов данного доклада, где раскрыты особенности применения электростатических полей для борьбы с осадкообразованием в двигателях ЛА, в том числе, и на металлических полотнах сетчатых фильтров [9-26].

Экспериментальные исследования по влиянию электростатических полей на тепловые процессы в другом жидком углеводородном горючем, например, в дизельном топливе, с металлическими пластинками, трубками и сетчатыми фильтровочными полотнами авторами статьи и другими авторами – не проводились. Однако до сих пор неизвестно, как влияют электростатические поля на осадкообразование и на прохождение гидравлического факела

электрического ветра через ячейки металлического фильтровочного полотна с очень малыми размерами, например, менее 1 мм, при различных термодинамических условиях по давлению, температуре и скорости прокачки рабочей жидкости (жидкого углеводородного горючего или моторного авиационного масла). Т.е. необходимо экспериментально определить возможности электрического ветра по гидравлическому преодолению металлических сетчатых фильтровочных полотен с очень малыми проходными ячейками в среде жидкого углеводородного горючего и моторного авиационного масла, т.е. необходимо определить минимальные размеры ячеек металлической сетки, которые будут границей применимости электростатических полей в жидких углеводородных горючих и в моторных авиационных маслах - при создании топливных и масляных металлических сетчатых фильтровочных систем с применением электростатических полей в перспективных двигателях ЛА.

Предполагается, что электростатические поля могут применяться, в том числе, и для обеспечения вынужденной конвекции в топливных и масляных системах двигателей ЛА, а также – для обеспечения электрораспыла жидких углеводородных горючих и моторных авиационных масел через топливные и масляные форсунки в случаях аварийных ситуаций при отказе основных насосов, на что авторами статьи были получены патенты на изобретения РФ новых топливно-подающих каналов и коллекторов ВРД, новых рубашек охлаждения ЖРД, новых систем охлаждения топливных форсунок ВРД и др.

Также известно [9-26], что применение электростатических полей в различных двигателях, энергоустановках и техносистемах способствует только положительным, например,:

а) применение электростатических полей в жидких углеводородных горючих и охладителях способствует:

- полной предтопливной подготовке;
- ионизации горючего с дальнейшим повышением полноты, качества и экологичности его сжигания;
-повышению ресурса, надёжности, эффективности и экономичности двигателей, энергоустановок и техносистем;

б) применение электростатических полей в смеси двух и более жидких углеводородных горючих и охладителей способствует:

- полной предтопливной подготовке (смешению, ионизации и гомогенизации, т.е. созданию нового горючего с новыми теплофизическими, энергетическими и теплообразующими свойствами);
- повышению полноты, качества и экологичности его сжигания;
- повышению ресурса, надёжности, эффективности, выживаемости, неуязвимости и экономичности двигателей, энергоустановок и техносистем, что очень важно, особенно в сложных современных климатических и боевых условиях эксплуатации техники двойного назначения при ограниченных запасах какого-либо одного вида, типа и марки горючего или нескольких разных горючих;

в) применение электростатических полей в моторных авиационных маслах способствует:

- ионизации моторных авиационных масел;
- поддержанию и восстановлению физических, теплофизических и технико-эксплуатационных свойств моторных авиационных масел;
- увеличению эксплуатационного ресурса моторных авиационных масел;
- повышению ресурса, надёжности, эффективности и экономичности двигателей, энергоустановок и техносистем двойного назначения;

г) применение электростатических полей в смеси двух и более моторных авиационных масел способствует:

- ионизации, качественному смешению и гомогенизации, т.е. образованию нового вида моторного авиационного масла с новыми смазывающими, теплофизическими,

физическими и эксплуатационными свойствами полученного нового моторного авиационного масла;

- увеличению срока эксплуатации нового моторного авиационного масла;

- увеличению ресурса, надёжности, выживаемости, неуязвимости, эффективности и экономичности двигателей, энергоустановок и техносистем двойного назначения.

Кроме того, по особенностям визуализации электрического ветра открывается возможность создания нового способа определения теплофизических свойств жидких углеводородных горючих и моторных авиационных масел при различных термодинамических условиях, на что будут поданы новые заявки на изобретения РФ. Авторами доклада разработан общий алгоритм учёта δ_{oc} в жидких углеводородных горючих и моторных авиационных маслах при проектировании, создании и эксплуатации различных двигателей, энергоустановок и техносистем одно – и многоразового использования нового поколения двойного назначения наземного, воздушного, аэрокосмического и космического базирования.

Но вопросы влияния электростатических полей (и электрического ветра) на предотвращение осадкообразования на металлических сеточных фильтрах, на гидродинамические возможности прохождения электрического ветра через такие фильтры - остаются неисследованными. Поэтому экспериментальные исследования всех этих вопросов являются очень актуальными и необходимыми.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Дубовкин Н.Ф., Яновский Л.С., Харин А.А. и др.* Топлива для воздушно-реактивных двигателей. Москва: Изд-во «МАТИ» — Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского, 2001, 443 с.

2. *Дубовкин Н.Ф., Маланичева В.Г., Массур Ю.П., Федоров Е.П.* Физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив: справочник. Москва: Изд-во «Химия», 1985. 240 с.

3. *Яновский, Л.С., Иванов В.Ф., Галимов Ф.М., Сапгир Г.Б.* Коксоотложения в авиационных и ракетных двигателях. Казань: Изд-во «Абак», 1999. 284 с.

4. *Яновский Л.С., Дубовкин Н.Ф., Галимов Ф.М. и др.* Инженерные основы авиационной химмотологии. Казань, Изд-во Казанского ун-та, 2005. 714 с.

5. *Яновский Л.С.* Образование коксоотложений в тракте охлаждения ракетных двигателей, работающих на углеводородных горючих. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2006, № 3, с. 3–15.

6. *Большаков Г.Ф.* Физико-химические основы образования осадков в реактивных топливах. Ленинград: Изд-во «Химия», 1972. 232 с.

7. *Алтунин В.А.* Исследование особенностей теплоотдачи к углеводородным горючим и охладителям в энергетических установках многоразового использования. Книга первая. Казань: Изд-во «Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова — Ленина», 2005. 272 с.

8. *Алтунин В.А.* Исследование влияния электростатических и магнитных полей на особенности теплоотдачи к углеводородным горючим и охладителям. Книга вторая. Казань: Изд-во «Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина, 2006. 230 с.

9. *Altunin V.A., Altunin K.V., Aliev I.N., Gortyshov U.F., Dresvyannikov F.N., Obukhova L.A., Tarasevich S.E., Yanovskaya M.L.* Analysis of investigations of electric fields in different media and conditions. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2012, vol. 85, no. 4, pp. 959–976.

10. *Алтунин К.В.* Повышение ресурса реактивных двигателей на жидких углеводородных горючих за счет применения новых форсунок // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. № 1-2. 2015. – С. 37-42.

11. *Алтунин В.А., Львов М.В., Гинятуллин И.А., Каськов А.С., Платонов Е.Н., Щиголев А.А., Яновская М.Л.* Разработка топливно-масляных теплообменных аппаратов для

двигателей воздушных и аэрокосмических летательных аппаратов. Материалы докладов 55-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского «Научное значение трудов К.Э. Циолковского: история и современность». Секция №2: «Проблемы ракетной и космической техники». РАН. РАКЦ. (15–16 сентября 2020). Калуга. Изд-во «Эйдос», 2020, с. 216–217.

12. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Гортышов Ю.Ф., Давлатов Н.Б., Зарипова М.А., Керножицкий В.А., Колычев А.В., Разносчиков В.В., Сафаров М.М., Яновский Л.С., Яновская М.Л.* Некоторые пути повышения эффективности жидкостных реактивных двигателей летательных аппаратов на углеводородных и азотосодержащих горючих и охладителях. Казань: Изд-во Редакционно-издательский центр «Школа», 2020. 148 с.

13. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Львов М.В., Щиголев А.А., Алиев И.Н., Яновская М.Л.* Проблемы систем смазки авиационных двигателей // Тепловые процессы в технике, 2021, т. 13, № 8, с. 357–384.

14. *Алтунин В.А., Львов М.В., Юсупов А.А., Щиголев А.А., Гортышов Ю.Ф., Кореев Е.П., Яновская М.Л.* Результаты экспериментального исследования влияния электростатических полей на тепловые процессы в моторном авиационном масле марки МС-20 в условиях его вынужденной конвекции. Часть 1. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2023, вып. 11, http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-11-2317.

15. *Алтунин В.А., Львов М.В., Юсупов А.А., Щиголев А.А., Гортышов Ю.Ф., Кореев Е.П., Яновская М.Л.* Результаты экспериментального исследования влияния электростатических полей на тепловые процессы в моторном авиационном масле марки МС-20 в условиях его вынужденной конвекции. Часть 2. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2023, вып. 12, http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-12-2324.

16. *Алтунин В.А.* Анализ тепловых процессов в жидких углеводородных горючих и охладителях двигателей летательных аппаратов. 46 Академические чтения по космонавтике. Секция № 7: «Развитие космонавтики. Фундаментальные проблемы газодинамики, горения и теплообмена». Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022, т. 1, с. 428–430.

17. *Алтунин В.А., Львов М.В., Каськов А.С., Щиголев А.А., Яновская М.Л.* Проблемы осадкообразования в системах смазки двигателей летательных аппаратов. Современные проблемы ракетной и космической техники: сб. научных статей. Казань: Изд-во Редакционно-издательский центр «Школа», 2022, с. 99–113.

18. *Алтунин К.В.* Функционально-стоимостной анализ горелочных устройств и форсунок: монография. Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2020. 156 с.

19. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Платонов Е.Н., Коханова С.Я., Яновская М.Л.* Разработка способов борьбы с термоакустическими автоколебаниями давления в топливно-охлаждающих каналах двигателей и энергоустановок летательных аппаратов наземного, воздушного, аэрокосмического и космического применения // Известия вузов. Машиностроение. 2017. №10 (691). С. 77-90).

20. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Щиголев А.А., Платонов Е.Н.* Разработка способов увеличения ресурса и надёжности систем смазки двигателей внутреннего сгорания наземного транспорта // Известия вузов. Машиностроение. 2015. №10 (667). С. 48-58.

21. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Щиголев А.А., Юсупов А.А.* Исследование возможности применения магнитных и электростатических полей для борьбы с осадкообразованием в авиационных моторных маслах двигателей, энергоустановок и техносистем наземного, воздушного и аэрокосмического базирования // Известия вузов. Машиностроение. 2017. №3 (684). С. 76-88).

22. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Абдуллин М.Р., Львов М.Л., Щиголев А.А., Платонов Е.Н., Юсупов А.А., Алиев И.Н., Яновский Л.С., Яновская М.Л.* Некоторые пути совершенствования двигателей и энергоустановок марки «НК». Часть 1. Тепловые процессы в технике, 2021, т. 13, № 12, с. 530–542.

23. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Абдуллин М.Р.*, Некоторые пути совершенствования двигателей и энергоустановок марки «НК» на жидких и газообразных углеводородных горючих. Тезисы докладов 20-ой Международной конференции «Авиация и космонавтика».

Москва: Изд-во «Перо», 2021, с. 86–88.

24. *Алтунин В.А., Алтунин К.В., Абдуллин М.Р., Львов М.Л., Щиголев А.А., Платонов Е.Н., Юсупов А.А., Алиев И.Н., Яновский Л.С., Яновская М.Л.* Некоторые пути совершенствования двигателей и энергоустановок марки «НК». Часть 2. Тепловые процессы в технике, 2022, т. 14, № 1, с. 9–21.

25. *Львов М.В., Алтунин В.А.* Разработка экспериментальной установки для исследования влияния электростатических полей на тепловые процессы в моторных авиационных маслах в условиях вынужденной конвекции // 46 Академические чтения по космонавтике. Секция № 7: «Развитие космонавтики. Фундаментальные проблемы газодинамики, горения и теплообмена». М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022, т. 1, с. 458–460.

26. *Алтунин В.А., Юсупов А.А., Львов М.В., Кореев Е.П., Жилякова А.Е., Яновская М.Л.* Создание экспериментальной установки по исследованию влияния электростатических полей на тепловые и гидравлические процессы в топливных и масляных фильтрах двигателей летательных аппаратов воздушного, аэрокосмического и космического базирования // Сборник материалов 2-го Всероссийского научно-технического форума по двигателям и энергетическим установкам имени Н.Д. Кузнецова. Самара: Изд-во Самарского университета, 2024, с. 170–172.

JUSTIFICATION OF THE NEED FOR CONDUCTING EXPERIMENTAL STUDIES OF ELECTRIC WIND IN LIQUID HYDROCARBON FUEL AND MOTOR AVIATION OILS

Yusupov A.A., Selyanin K.A.

Supervisor: Altunin V.A., Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The report, based on a review and analysis of scientific and technical literature, substantiates the need to conduct experimental studies of electric wind in liquid hydrocarbon fuels and motor aviation oils during their natural and forced convection, at various pressures and temperatures.

СЕКЦИЯ 10
ФИЗИКА. ФИЗИКА ПЛАЗМЫ. НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ

УДК 537.52

ОБЗОР НАУЧНЫХ ОСНОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ РАЗРЯДОВ

Ахметзянов Р.Ф., Ахатов М.Ф.

Научный руководитель: Каюмов Р.Р., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе кратко обозреваются особенности и возможности высокочастотных индукционных и ёмкостных разрядов, приведены экспериментальные исследования по теме.

Разрядом называют всякий процесс, при котором электрический ток протекает через ионизированный газ, а также процесс возникновения ионизации под действием приложенного электрического поля.

Высокочастотным разрядом (ВЧ) в газах низкого давления называют разряд в электрических переменных полях при условии, что длина волны колебаний намного меньше межэлектродного промежутка. Высокочастотные разряды в ВЧ-диапазоне (10^{-1} — 10^{2} МГц) различают на H и E типы разрядов — по тому, является ли поле вихревым или потенциальным. Температура разрядной плазмы в этих случаях достигает T≈8000—11000 K [1].

Стоит отметить, что в случае высокочастотного разряда возникает специфическая проблема, отсутствующая в цепях постоянного тока, — необходимость согласования разряда, как нагрузки, с выходным сопротивлением генератора. Эффективная работа ВЧ-генератора невозможна без обеспечения такого согласования. Электрические параметры плазмы, такие как омическое сопротивление, собственная и взаимная индуктивность (определяющая магнитную связь с индуктором), оказывают непосредственное влияние на работу всей электросистемы. Эти параметры, в свою очередь, напрямую зависят от пространственного распределения температуры и токов в разрядном промежутке.

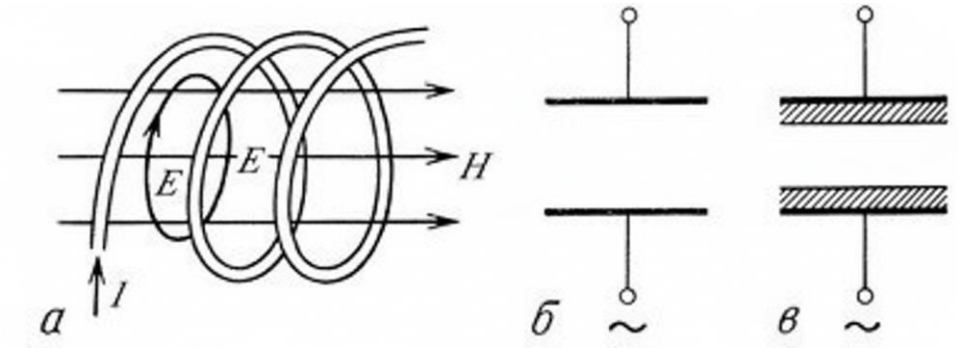


Рисунок 1. Схема возбуждения ВЧ-разрядов
а) индукционный; б) ёмкостный; в) ёмкостный безэлектродный (изоляторы заштрихованы)

Высокочастотные разряды H-типа или же индукционные (ВЧИ) разряды имеют такое название из-за определяющей роли магнитного поля H. Они работают по следующему принципу: высокочастотный переменный ток пропускается через электромагнитную катушку, содержащую один или несколько витков. Создаваемое этим током переменное магнитное поле, направленное вдоль оси катушки (рис. 1, а), индуцирует внутри нее вихревое электрическое поле E за счет изменения магнитного потока. Силовые линии этого поля представляют собой замкнутые окружности, концентрические с витками катушки. Указанное электрическое поле инициирует и поддерживает разряд, при котором токи протекают по этим круговым линиям. На практике разряд создается в диэлектрической трубке с тестируемым газом, помещенным внутрь соленоида. Для поддержания разряда нужное значение поля E существенно меньше, чем для его зажигания. Поэтому для

инициации разряда в объем вводят вспомогательный электрод, который частично испаряется и дает термоэлектроны, после чего его удаляют [2]. ВЧИ-разряды являются безэлектродными и чаще всего применяются для поддержания плазмы при давлении p≈1 атм. [3].

На основе индукционных разрядов созданы безэлектродные плазмотроны. Ключевым их преимуществом перед электродными является отсутствие контакта плазмы с материалом электродов, что исключает её загрязнение продуктами эрозии. Это обеспечивает получение чистой плазмы, что очень важно для таких применений, как синтез сверхчистых соединений, производство высокочистых гранул тугоплавких материалов и решения задач прецизионной металлургии. Кроме того, данный принцип действия обеспечивает практически неограниченное время работы, в то время как мощные дуговые плазмотроны подвержены быстрому износу и выходу из строя электродов. В качестве основных технологических проблем следует отметить сложность реализации мощного ВЧ-разряда и применение более дорогостоящих и требовательных к обслуживанию источников питания на основе мощных ламповых генераторов [1].

Опытным доказательством работоспособности метода плазменной обработки с помощью ВЧИ-разряда можно считать работу [4]. Задача эксперимента — проверка гипотезы о том, что плазменная модификация может повысить адгезию стекла к полимерному связующему. Объектами исследования были стеклянные микрошарики, соответствующие ГОСТ Р53172-2008, и пластины минерального стекла в качестве модельных объектов. После обработки проводились испытания адгезионной прочности по ИСО 4624 на приборе Neurtek KN-10, результаты измерения приведены в табл. 1. Также были проведены исследования износостойкости покрытий при интенсивных механических нагрузках. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 1

Значения адгезионной прочности образцов минерального стекла

Время выдержки после обработки, сут.	Сила отрыва, кг/фут	Площадь отрыва, %
Без обработки	29	47
0	33	65
1	42	90
7	42	92,5

Таблица 2

Результаты исследований износостойкости покрытий

Образец	Потеря массы после механического воздействия, г	Относительная потеря массы, %
Обработанный	1,69	18,76
Без Обработки	2,5	27,79

Из представленных таблиц видно, что плазменная обработка значительно улучшила адгезионные свойства представленных материалов, а износостойкость покрытий на основе плазмо-модифицированных стеклянных элементов возросла на 9%.

В случае высокочастотных разрядов Е-типа или же ёмкостных (ВЧЕ) разрядов напряжение подают на электроды, обычно это две плоские параллельные пластины, так как они лучше других вариантов подходят для обработки результатов, оценок и теории. Данная система в отношении к переменному напряжению подобна конденсатору, «ёмкости», из-за чего этот тип разряда и получил своё название. Определяющую роль здесь играет электрическое поле. В зависимости от наличия диэлектрика ВЧЕ-разряды делят на электродные и безэлектродные (см. рис. 1, б, в). На частотах $f \leq 10$ кГц изолирующие диэлектрики представляют большое ёмкостное сопротивление, потому чаще используют оголённые электроды, но практически серьёзной разницы между наличием и отсутствием диэлектрика нет. Рабочие давления плазмообразующего газа ниже, чем у ВЧИ-разрядов, и

находятся в районе 10^{-1} — 10^{2} Тор. При протекании тока в газе происходит большое количество сопутствующих явлений, а в области разряда присутствуют весьма чувствительные к конфигурации внешнего поля неоднородности, вызванные различием элементарных процессов в разных точках. Из-за этих особенностей требуются детальные исследования и крайне точное оборудование.

Несмотря на сложность технологии, высокая плотность энергии, сконцентрированной в плазменном разряде, обеспечивает интенсивное воздействие на обрабатываемые материалы, благодаря чему ВЧЕ-разряды стали широко использоваться в различных научных и промышленных отраслях. Высокочастотная плазменная обработка используется в таких процессах, как травление поверхностей, модификация их физико-химических свойств, осаждение тонких плёнок плазмохимический синтез наночастиц и т.д. [5].

Следующая работа была нацелена на получение полимерного волокнистого композиционного материала с высокими механическими характеристиками с помощью плазменной обработки с ВЧЕ-разрядом [6]. Объект исследования — многофиламентные модифицированные полиэтиленовые волокна марки D800 с молекулярной массой $1{,}5 \cdot 10^{6}$ г/моль. В табл. 3 представлены результаты испытаний волокон на разрыв после плазменной обработки при разных режимах.

Таблица 3

Значения максимальной нагрузки, выдержанной композитным материалом при выдергивании волокна из матрицы

Режимы обработки			Капиллярность, H, мм	σ, МПа
I, А	U, кВ	t, с		
-	-	-	-	247
0,65	4,5	180	63	480
0,5	2,5	180	44	430
0,5	4,5	180	24	457

Результаты испытаний показали, что плазменная модификация поверхности волокон привела к значительному увеличению прочности их адгезии с матрицей. Рост прочности композитного материала оказался более чем в два раза, что обусловлено гидрофилизацией поверхности волокна и, как следствие, кардинальным улучшением его адгезионных характеристик.

Как итог, высокочастотные разряды представляют собой крайне требовательную к теоретической и технической базе технологию, но при этом обладают удивительным количеством полезных и повсеместно применяемых функций, а представленные экспериментальные данные подтверждают эффективность и перспективность плазменной обработки с использованием ВЧ-разрядов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Райзер Ю.П.* Физика газового разряда. Научное издание / Ю.П. Райзер – 3-е изд. перераб. и доп. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2009. С. 374-644.

2. *Жданов С.К., Курнаев В.А., Романовский М.К., Цветков И.В.* Основы физических процессов в плазме и плазменных установках; Под ред. В.А. Курнаева. М: МИФИ, 2007. С. 303-306.

3. *Привалов А.С.* Уникальность и преимущества безэлектродных электрических газовых разрядов // Проблемы и перспективы развития России: Молодежный взгляд в будущее: сборник научных статей 5-й Всероссийской научной конференции: в 4 т., Курск, 20–21 октября 2022 года. Том 4. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 249-255.

4. *Мифтахов И.С., Вознесенский Э.Ф., Абдуллин И.Ш [и др.].* Повышение механических свойств световозвращающих покрытий за счет плазменной высокочастотной обработки // Вестник Технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 7. – С. 83-85.

5. *Борисов А.В., Бондарева Т.В., Пячин С.А, Круглов М.С.* Применение емкостного ВЧ разряда для обработки материалов // Материалы секционных заседаний 61-й студенческой научно-практической конференции ТОГУ, Хабаровск, 01–31 мая 2021 года. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2021. – С. 6-9.

6. *Сергеева Е.А.* Влияние плазмы ВЧЕ-разряда на физико-механические свойства волокон и композиционных материалов / Е.А. Сергеева, И.А. Гришанова, И.Ш. Абдуллин // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 7. – С. 109-112.

REVIEW OF SCIENTIFIC BASIS AND TECHNOLOGICAL APPLICATION OF HIGH-FREQUENCY DISCHARGES

Akhmetzyanov R.F., Akhatov M.F.

Supervisor: Kayumov R.R., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper briefly reviews the features and capabilities of high-frequency inductive and capacitive discharges and presents experimental studies on the topic.

УДК 527.525

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЧИ-РАЗРЯДА В ИНЕРТНЫХ ГАЗАХ ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ

Байханов Т.Х.

Научный руководитель: Сайфутдинов А.И. д. ф-м. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Аннотация. Представленная работа направлена на методологические исследования и параметрический анализ основных характеристик плазмы ВЧИ-разрядов в аргоне в широком диапазоне входных условий: по вкладываемой мощности, давлению газа в геометрических подобных условиях. Такое исследование было проведено для разрядов при низких давлениях. Однако в связи с разработкой различных приложения, функционирующих в условиях форвакуума и высоком давлении необходимо провести дополнительные исследования при средних и высоких давлениях.

Постановка проблемы

Современные технологии микроэлектроники, материаловедения, плазмохимической обработки и аналитических методик активно используют источники индуктивно-связанной плазмы (ВЧИ-разрядов), обладающих высокой эффективностью и универсальностью. Однако на практике существует ряд нерешённых проблем, связанных с предсказуемостью и масштабируемостью характеристик таких разрядов при изменении внешних параметров (мощности, давления, геометрии). Практическая значимость работы обусловлена тем, что применение традиционных эмпирических подходов к проектированию ВЧИ-систем не обеспечивает надёжного управления параметрами плазмы, особенно в условиях средних и высоких давлений, востребованных в новых технологических установках. Теоретически наблюдается дефицит обобщённых моделей, которые учитывают нелинейность плазмохимических процессов, тепловые эффекты и нарушения классических законов подобия. В научной литературе также присутствуют противоречия: с одной стороны, модели, основанные на классических уравнениях подобия, предполагают универсальность масштабирования, с другой — экспериментальные и численные данные демонстрируют отклонения от этих закономерностей при определённых условиях. Таким образом, существует необходимость в разработке самосогласованной физико-математической модели ВЧИ-разряда, пригодной для анализа процессов при различных режимах давления и мощности. Формулируемая проблема исследования заключается в выявлении границ

применимости законов подобия для ВЧИ-разрядов и определении факторов, приводящих к их нарушению в условиях технологической значимости.

Теоретическое обоснование

Теоретическая база исследования включает в себя современные подходы к моделированию плазменных процессов, включая расширенные гидродинамические модели, уравнения электромагнитного поля (в частности, уравнение векторного потенциала, полученное из уравнений Максвелла), а также системы химической кинетики. В работе используются методы анализа, разработанные на основе трудов Ю.П. Райзера, А.А. Кудрявцева, С.Т. Суржикова, а также недавних публикаций А.И. Сайфутдинова и соавторов, касающихся моделирования разрядов в инертных газах. Для описания поведения электронной и ионной компонент плазмы использованы уравнения переноса, баланс энергии, уравнение Пуассона и эмпирические зависимости скоростей элементарных процессов в аргоновой плазме. Законы подобия анализируются на основе подходов Месяца Г.А. и их применения в нелокальных, слабоионизированных и термогидродинамически связанных режимах. Важной особенностью данного исследования является включение эффектов ступенчатой и Пеннинговской ионизации, чья роль традиционно недооценивалась в масштабных моделях. Также рассматривается влияние тепловых эффектов на параметры разряда и их вклад в нарушение ожидаемой динамики.

Методы и выборка

Исследование базируется на численном моделировании с использованием лицензированного программного комплекса COMSOL Multiphysics, в котором реализована возможность решения связанных задач электромагнетизма, теплопереноса и химической кинетики. В качестве исходных данных заданы геометрические параметры разрядной камеры, свойства аргона как рабочего газа, параметры катушки индуктора и граничные условия. Методика включает последовательное решение уравнений Максвелла, уравнения энергии электронов и тяжелых частиц, а также системы кинетических уравнений с учетом актуальных реакций в аргоновой плазме. Для обработки данных использованы встроенные средства визуализации полей, концентраций и температур, а также сравнение полученных распределений с теоретическими предсказаниями. Исследуемая "выборка" включает в себя три случая геометрически подобных ВЧИ-разрядов, различающихся по частоте, давлению и мощности: от 10 Торр до 100 Торр и от 25 Вт до 3000 Вт подробнее см в Таблице 1. Такая параметризация позволяет анализировать влияние масштабных преобразований на характеристики плазмы и проверять применимость законов подобия. Особое внимание уделяется анализу концентрации электронов, температуры газа, а также относительного вклада различных ионизационных процессов.

Таблица 1

Параметры подобных разрядов, рассмотренных в работе

L, см	R, см	f, МГц	p, Торр	P, Вт
15	2	2.7	10	25 – 250
3	0.4	13.56	50	70 – 1500
1.5	0.2	27	100	100– 3000

Обсуждение результатов

В результате моделирования сформирована самосогласованная физико-математическая модель ВЧИ-разряда, учитывающая тепловые, электрические и химические процессы. Установлено, что при повышении мощности возрастает температура газа и концентрация электронов, что соответствует теоретическим ожиданиям см Рис 1-2. Однако выявлено, что законы подобия (в частности, соотношение $n/p^2=const$) выполняются не во всех режимах. При низком давлении (10 Торр) и высокой мощности доминируют процессы ступенчатой и Пеннинговской ионизации, которые являются недопустимыми с точки зрения

масштабных преобразований. Это приводит к тому, что концентрация электронов возрастает сильнее, чем предсказывает теория. Напротив, при давлениях 50 и 100 Торр наблюдается лучшее согласование с предсказаниями модели подобия, особенно в тех случаях, где основную роль играет прямая ионизация. Полученные результаты уточняют известные данные о применимости законов подобия и подтверждают выводы исследований Г.А. Месяца о необходимости учитывать тепловые и нелинейные эффекты в реальных системах. Таким образом, гипотеза о применимости законов подобия на всех масштабах не подтверждается полностью: полученные результаты показывают, что масштабируемость ВЧИ-разрядов существенно ограничена режимом ионизации и температурным профилем.

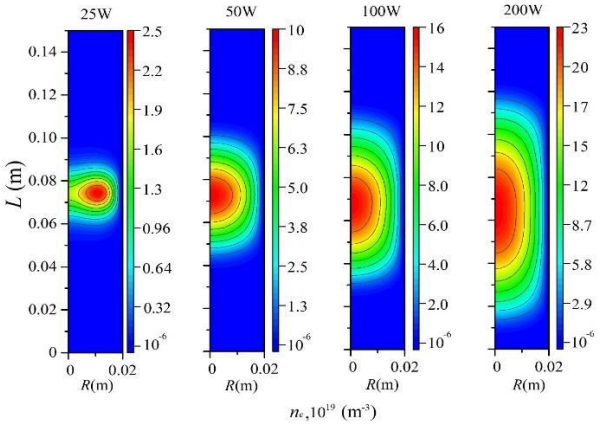


Рис.1 Распределение концентрации электронов в плазме ВЧИ-разряда в трубке при давлении 10 Торр и различных значениях вкладываемой мощности

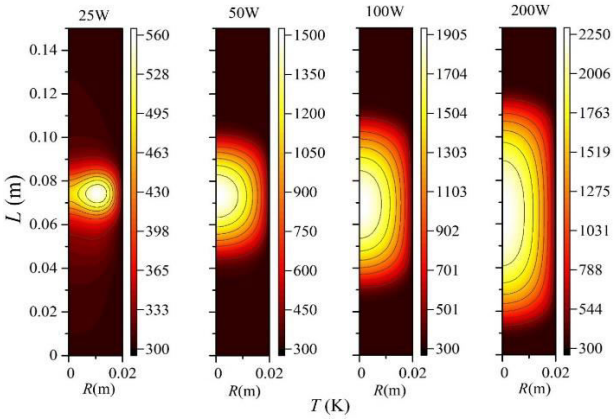


Рис. 2 Распределение температуры газа в плазме ВЧИ-разряда в трубке при давлении 10 Торр и различных значениях вкладываемой мощности

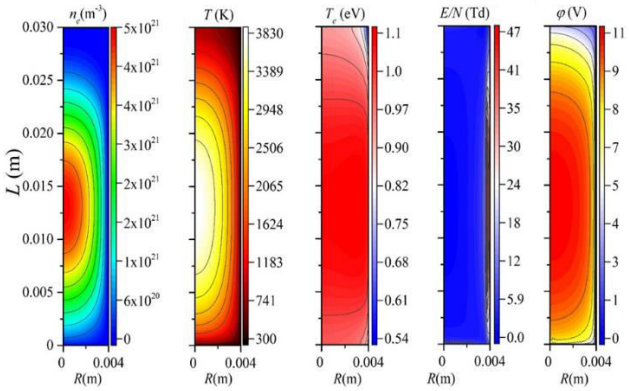


Рис.3 Сравнительный анализ распределения основных параметров подобных ВЧИ-разрядов при 50 Торр, 13.56 МГц и 250 Вт.

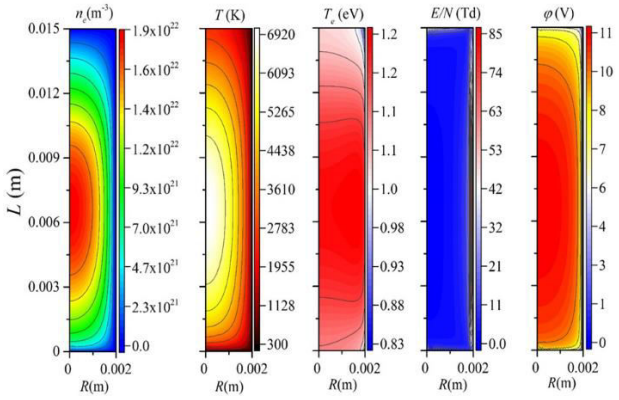


Рис.4 Сравнительный анализ распределения основных параметров подобных ВЧИ-разрядов при 100 Торр, 27 МГц и 500 Вт.

Заключение

Результаты проведённого исследования обладают высокой прикладной и теоретической значимостью. Предложенная модель может быть использована в инженерной практике для точного прогнозирования параметров ВЧИ-разрядов в установках различного масштаба. Особенно полезной она будет в задачах плазменной обработки при средних и высоких давлениях, где традиционные подходы оказываются недостаточными. В перспективе данная модель может быть адаптирована для других инертных и активных газов, с учётом специфики их ионизационных процессов. Результаты исследования открывают возможность более точной калибровки технологических параметров в

микроэлектронике, аддитивном производстве, аналитических методах и других областях. Дальнейшие направления включают в себя экспериментальную верификацию модели и разработку упрощённых инженерных версий с использованием полученных данных для быстрой оценки режимов. Важно подчеркнуть, что расширение модели с учётом трехмерных эффектов и нестационарных процессов представляет перспективное направление для будущих исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Raiser Yu.P.* Physics of gas discharge. Dolgoprudny: Publishing house “Intellect”, 2009. – 734 p.

2. *Kudryavtsev A.A., Smirnov A.S., Tsendin L.D.* Physics of glow discharge. St. Petersburg: Lan Publishing House, 2010. – 512 p.

3. *Surzhikov S.T.* Computational Physics of Electrical Discharges in Gas Flows. de Gruyter, 2012. https://doi.org/10.1515/9783110270419.

4. *Saifutdinov A.I.* //Plasma Sources Science and Technology. 2022. V. 31. no. 9. – P. 094008.

5. *Месяц Г.А.* Законы подобия в импульсных газовых разрядах //Успехи физических наук. – 2006. – Т. 176. – №. 10. – С. 1069-1091.

MODELING OF ICP DISCHARGE IN INERT GASES FOR APPLICATIONS.

Baykhanov T.Kh.

Supervisor: Saifutdinov A.I., Doctor of Physical and Mathematical Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. The presented work is aimed at methodological research and parametric analysis of the main characteristics of RFI discharge plasma in argon in a wide range of input conditions: by input power, gas pressure in geometrically similar conditions. Such a study was conducted for discharges at low pressures. However, in connection with the development of various applications operating in forevacuum and high pressure conditions, it is necessary to conduct additional studies at medium and high pressures.

УДК 537.52

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУЙНОГО ВЧ РАЗРЯДА ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ НА МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ СТ-3

Гайсин И.И.

Научный руководитель: Каюмов Р.Р., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе исследуется влияние высокочастотного (ВЧ) разряда со струйным течением электролита на модификацию микротвердости и шероховатости материалов.

ВЧ-разряд — это вид электрического разряда в газе, который создается и поддерживается с помощью внешнего электромагнитного поля высокой частоты (обычно от сотен килогерц до десятков мегагерц) [1].

Современные задачи машиностроения, аэрокосмической и биомедицинской отраслей предъявляют повышенные требования к функциональным свойствам поверхностного слоя конструкционных материалов. Ключевыми характеристиками, определяющими износостойкость, усталостную прочность и коррозионную стойкость деталей, являются их микротвердость и шероховатость. В связи с этим активно развиваются методы

поверхностной обработки, направленные на целенаправленное изменение этих параметров без ухудшения объемных свойств материала.

Изменение шероховатости нужно для снижения трения, повышение износостойкости, улучшение адгезии, увеличение коррозионной стойкости и т.д. [2].

Оптимально гладкая поверхность в узлах трения значительно снижает силы трения и энергопотери. Слишком шероховатая поверхность имеет микровыступы, которые легко скалываются и стираются, становясь источником абразивного износа. Их сглаживание увеличивает срок службы. Таким образом, цель — не всегда сделать поверхность максимально гладкой. Цель — получить оптимальную, управляемую шероховатость, которая обеспечит наилучшие эксплуатационные характеристики детали в конкретных условиях.

Повышение микротвердости поверхностного слоя, так же, является ключевым способом увеличения износостойкости и усталостной прочности деталей. Контроль этого параметра позволяет оценить эффективность упрочняющей обработки и глубину модифицированного слоя [3].

Экспериментальные исследования проводились на установке УГПН-1 с использованием высокочастотного разряда, взаимодействующего со струей электролита в условиях пониженного давления. В качестве рабочей среды применялся водный раствор сульфата аммония ($(NH_4)_2SO_4$) с массовой долей 3%. Детальное описание параметров эксперимента представлено в таблице 1.

Таблица 1

Параметры эксперимента

Напряжение на аноде, U_a, кВ	Действующее напряжение разряда, U,кВ	Действующий ток разряда, I, А	Давление, Па	Длина струи, h, мм	Диаметр струи, d, мм	Деталь материала
2,5	0,68	0,5	10^4	30	1,5	Ст-3

При проведении эксперимента разряд горит стабильно в объеме желтым свечением, на границе раздела струя и электролит возникает закипание электролита, образуются пузырьки, в эту область установлен образец марки Ст 3 для обработки. Обработка проходит в объеме, сопровождается очисткой поверхности (рис. 1), (рис. 2) [4].

Рис. 1. Форма ВЧ разряда со струйным течением электролита в процессе обработки

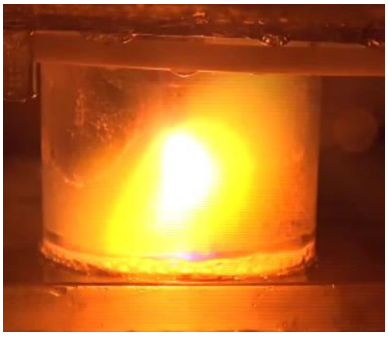


Рис. 2. Форма ВЧ разряда со струйным течением электролита в процессе обработки

Измерение шероховатости проводилось на контактном профилометре «Профилометр модели 130» (рис. 3). Алмазная игла прибора сканировала поверхность образца, преобразуя её неровности в электрический сигнал. Полученный профиль обрабатывался программой с применением стандартных фильтров для выделения компоненты шероховатости и последующего расчета параметров класса шероховатости, Ra и Rz в соответствии со стандартом ГОСТ 25142.

Рис. 3. Профилометр 130

Деталь марки Ст-3 до обработки имеет шероховатость со значениями Ra=3.16, Rz=18.0 а после обработки ВЧ разрядом со струйным течением электролита при пониженном давлении, деталь марки Ст3 имеет значения Ra = 1.01, Rz = 4.62 (Таблица 2). Обработка проводилась не менее 5 раз, после чего был высчитан средний показатель. Класс шероховатости после обработки со струйным течением электролита, изменился с 6а до 7б. Образцы до (Рис. 4) и после (Рис. 5) [5].

Таблица 2

Ст-3	Класс шероховатости	Ra	Rz
До обработки	6а	3,16	18,0
После обработки	7б	1,01	4,62

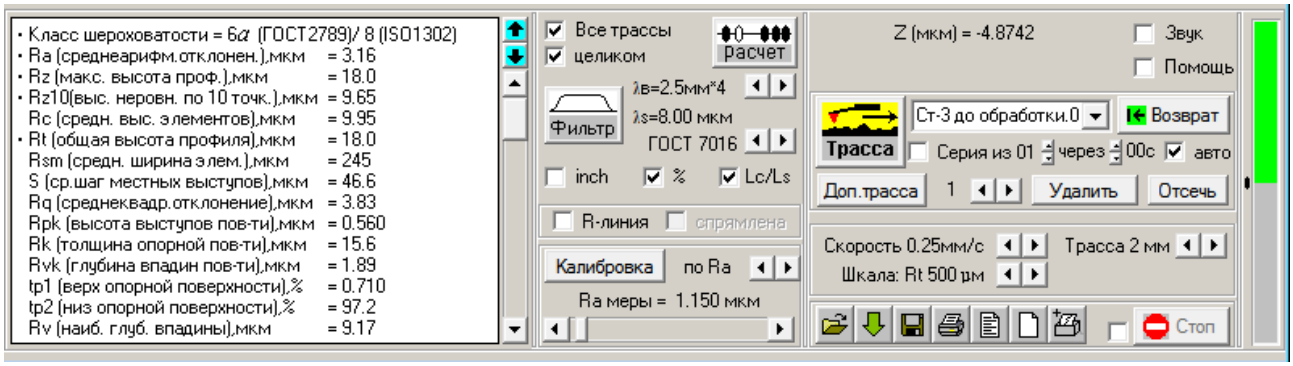


Рис. 4. Данные до обработки

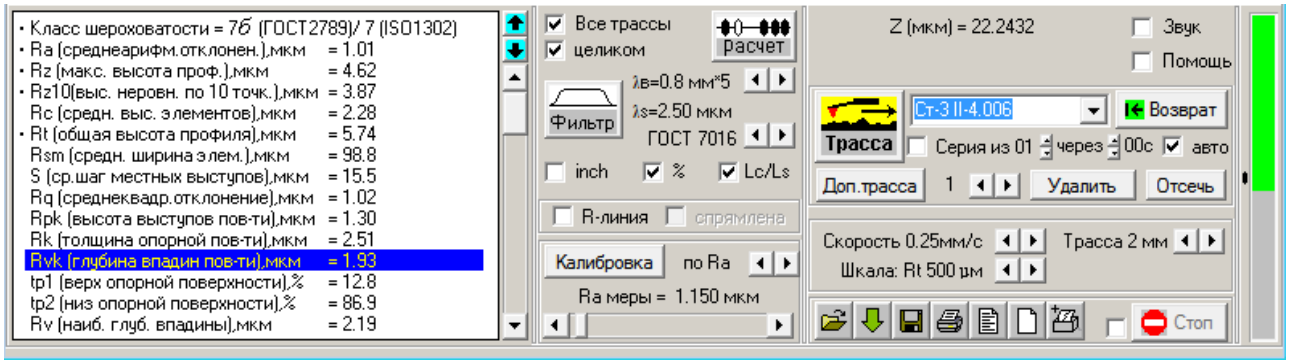


Рис. 5. Данные после обработки

Образцы до (Рис. 6а) и после (Рис. 6б) были просмотрены под электронным микроскопом с длинной масштабной линейки 100 микрон. Так же была исследована микротвердость образцов на твердомере Tukon 2500, измеряющий твердость по методу Виккерса с нагрузкой на образец 0,2 Н в течении 5 секунд.

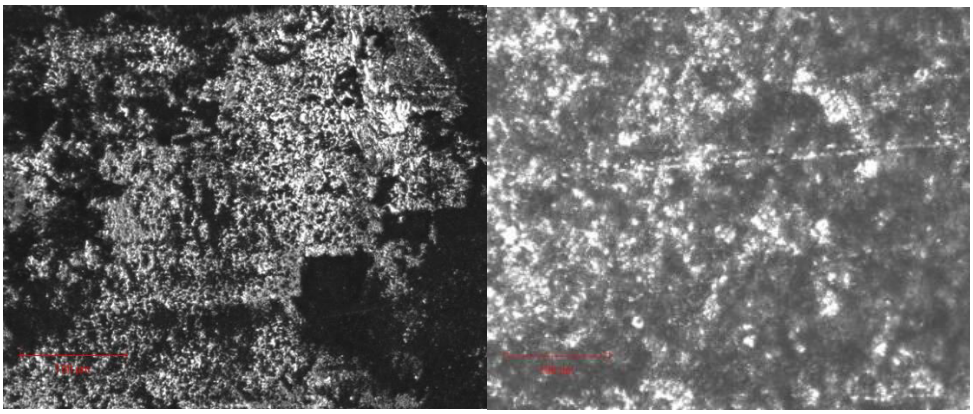


Рис. 6. Микроструктура образца марки Ст-3 а) до обработки, б) после обработки высокочастотного (ВЧ) разряда со струйным течением электролита.

Микротвердость образцов увеличивалась с $HV_{0,2}$ = 159,5 до $HV_{0,2}$ =181 единиц. Микротвердость после обработки со струйным течением электролита увеличилась на 13,48%

Таким образом, обработка поверхности детали Ст-3 низкотемпературной ВЧ-плазмой с электролитическим струйным потоком при пониженном давлении привела к увеличению микротвердости марки детали на 13,48% и уменьшение шероховатости Ra и Rz на 68,04% и 74,34% соответственно, с увеличением класса шероховатости с 6а до 7б, в соответствии с со стандартом ГОСТ 25142 [6].

Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. . *Kayumov R.R, Kuputdinova A.I., Gaisin A.F.* Electrolyte-Plasma Production of Metal Powders for Additive Manufacturing // Metal Science and Heat Treatment. – 2024. – Vol. 66, No. 1-2. – P. 32-37. – DOI 10.1007/s11041-024-01014-4.

2. *E.R. Belgibaev, M.N. Semenov, R.R. Kayumov [et al.].* Plasma-Liquid Welding of Plates from Electrical Steel // Metal Science and Heat Treatment. – 2024. – Vol. 66, No. 7-8. – P. 452-457. – DOI 10.1007/s11041-024-01070-w.

3. *Р.Р. Каюмов, А.И. Купутдинова. Д.Н. Мирханов, А.Ф. Гайсин.* Электрический разряд между металлическим катодом и жидким неметаллическим анодом // Физика плазмы. – 2024. – Т. 50, № 1. – С. 102-109.

4. *Каюмов Р.Р., Абдуллин И.Ш., Гайсин А.Ф.* Исследование ВЧ разряда со струйным течением электролита // Физическая электроника: Материалы XIII Всероссийской конференции, Махачкала, 25–29 сентября 2024 года. – Махачкала: Дагестанский государственный университет, 2024. – С. 168-171.

5. *M.F. Akhatov, F.M. Gaisin, F.R. Iskhakov [et al.].* Influence of composition ofelectrolyte on electric discharge in liquid // Journal of Physics: Conference Series, Kazan, 05–09июня 2017 года. Vol. 927. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2017. – P.012002.

6. *D.N. Mirkhanov, A.F. Gaisin, A.I.Kuputdinova, R.A. Mukhametov.* Electrophysical and heat propertiesof the discharge with liquid anode // Journal of Physics: Conference Series, Kazan, 05–09 июня 2017 года. Vol. 927. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2017 – P. 012017.

EXPERIMENTAL STUDY OF HF JET DISCHARGE AT REDUCED PRESSURE ON THE SURFACE MORPHOLOGY OF THE ST-3 PART

Gaisin I.I.
Supervisor: Kayumov R.R., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper investigates the influence of electrolyte jet resistance on the parameters of the RF discharge and the modification of the microhardness and roughness of materials.

УДК 537.52

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ПОМОЩИ ВЧ РАЗРЯДА ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ

Гайсин И.И.
Научный руководитель: Каюмов Р.Р., доцент, к. т. н.
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Аннотация. В данной работе исследуется роль ВЧ разряда со струйным течением электролита при пониженном давлении на изменение шероховатости материала.

ВЧ-разряд (высокочастотный разряд) — это вид электрического разряда в газе, который создается и поддерживается с помощью внешнего электромагнитного поля высокой частоты (обычно от сотен килогерц до десятков мегагерц).

Электрический разряд — это процесс протекания тока через газ, который сопровождается ионизацией его атомов и молекул и образованием плазмы. Ионизация происходит благодаря внешнему электрическому полю, которое сообщает электронам достаточную энергию для столкновений с нейтральными частицами газа.

Плазма — это частично или полностью ионизированный газ, основным свойством которого является квазинейтральность. Это означает, что в макроскопических объемах концентрации положительных и отрицательных зарядов практически равны. Однако на микроуровне постоянно возникают локальные нарушения нейтральности, порождающие сильные электрические поля. Эти поля играют ключевую роль в поведении плазмы, немедленно восстанавливая нарушенное равновесие.

Высокочастотный (ВЧ) разряд — это тип разряда, поддерживаемый переменным электромагнитным полем с частотой от единиц мегагерц (МГц) до гигагерц (ГГц). Выделяют две основные его разновидности: Ёмкостной (ВЧЕ-разряд), где поле создается между двумя электродами. Индукционный (ВЧИ-разряд), который является безэлектродным. В этом случае разряд создается внутри диэлектрической трубки, помещенной в катушку индуктивности. Переменный ток, протекающий через катушку, создаёт переменное магнитное поле, которое, в свою очередь, индуцирует в газе вихревое электрическое поле. Это поле и ускоряет заряженные частицы, обеспечивая ионизацию и поддержание плазмы.

В современных условиях развития машиностроения, аэрокосмической и биомедицинской отраслей особое значение приобретает контроль и управление шероховатостью поверхности конструкционных материалов. Именно шероховатость во многом определяет критически важные эксплуатационные характеристики деталей: сопротивление усталости, износостойкость, адгезию и коррозионную стойкость. Точное

управление микрорельфом поверхности позволяет оптимизировать функциональные свойства изделий без изменения их химического состава или объемных механических характеристик. Это обуславливает активный поиск и развитие передовых методов обработки, обеспечивающих воспроизводимое формирование заданных параметров шероховатости.

Достижение оптимального уровня шероховатости поверхности является критически важным фактором для эффективной работы вышесказанных систем. Наличие на поверхности микроскопических выступов, характерное для повышенной шероховатости, провоцирует процессы хрупкого разрушения и абразивного износа, что приводит к интенсивной деградации контактирующих пар. Напротив, сглаженный микрорельеф способствует минимизации сил трения и снижению энергетических потерь. Таким образом, центральная задача современных технологий обработки заключается не в достижении абсолютной гладкости, а в целенаправленном формировании контролируемой топографии поверхности, которая обеспечит максимальный ресурс и функциональность изделия в специфических условиях его эксплуатации.

Экспериментальные исследования проводились на лабораторной установке с использованием высокочастотного разряда, взаимодействующего со струей электролита в условиях пониженного давления. В качестве рабочей среды применялся водный раствор сульфата аммония ($(NH_4)_2SO_4$) с массовой долей 3% в технической воде. Подробное описание параметров эксперимента представлено в таблице 1.

Таблица 1

Параметры эксперимента

Напряжение на аноде, U_a, кВ	Действующее напряжение разряда, U,кВ	Действующий ток разряда, I, А	Давление, Па	Длина струи, h, мм	Состав электролита	Диаметр струи, d, мм	Деталь материала
2,5	0,81 - 0,83	0,5	$13x10^3$ – $32x10^3$	30	3 % раствор $(NH_4)_2SO_4$	1,5	Ст-3

Эксперимент проводился при двух разных параметрах, при давлении $13x10^3$ и давлении $32x10^3$.

Для первого параметра разряд горит, пробивая рядов вдоль струи, фиолетово-белым свечением (рис. 1).

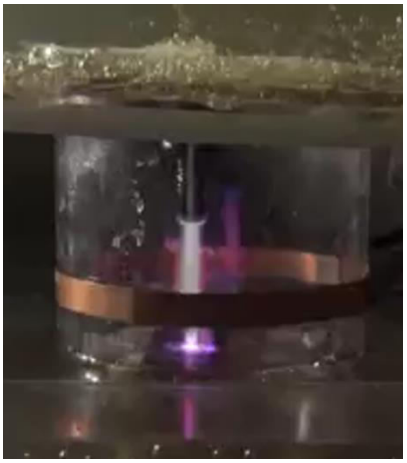


Рис. 1. Форма ВЧ разряда со струйным течением электролита в процессе обработки

Для второго параметра разряд горит стабильно, фиолетовым свечением (рис. 2).

Рис. 2. Форма ВЧ разряда со струйным течением электролита в процессе обработки детали марки Ст-3

На границе раздела струя - электролит установлен образец марки Ст-3 для обработки ВЧ разряда со струйным течением электролита. Обработка проходит в объеме, сопровождается очисткой поверхности.

Измерение параметров шероховатости поверхности выполнялось на контактном профилометре модели 130 (рис. 3). В процессе измерений алмазная игла датчика перемещалась вдоль контролируемой поверхности, преобразуя вертикальные отклонения в аналоговый электрический сигнал. Полученные данные о профиле обрабатывались специализированным программным обеспечением, в котором применялись стандартные методы фильтрации для выделения составляющей шероховатости. На основе отфильтрованного профиля проводился расчет следующих параметров: среднего арифметического отклонения профиля Ra, высоты неровностей по десяти точкам Rz, а также класса шероховатости в соответствии с требованиями ГОСТ 25142-82.

Рис. 3. Профилометр 130

В результате обработки ВЧ-разрядом со струйным течением электролита при пониженном давлении шероховатость поверхности стали Ст-3 существенно снизилась: среднее арифметическое отклонение профиля Ra уменьшилось с 3,16 до 0,837 и 0,86 мкм, а высота неровностей по десяти точкам Rz – с 18,0 до 5,91 и 4,49 мкм (Таблица 2). Так же для наглядной визуализации приведена таблица с изменением шероховатости и класса шероховатости (рис. 5). Данные получены усреднением по пяти измерениям. Визуальная динамика изменения морфологии поверхности представлена на рис. 4а (до обработки), рис. 4б (после обработки первый режим) и рис. 4в (после обработки второй режим) [5].

Таблица 2

Ст-3	Ra	Rz	Класс шероховатости
До обработки	3,16	18,0	6а
После обработки 1 режим	0,837	5,91	7в
После обработки 2 режим	0,86	4,49	7в

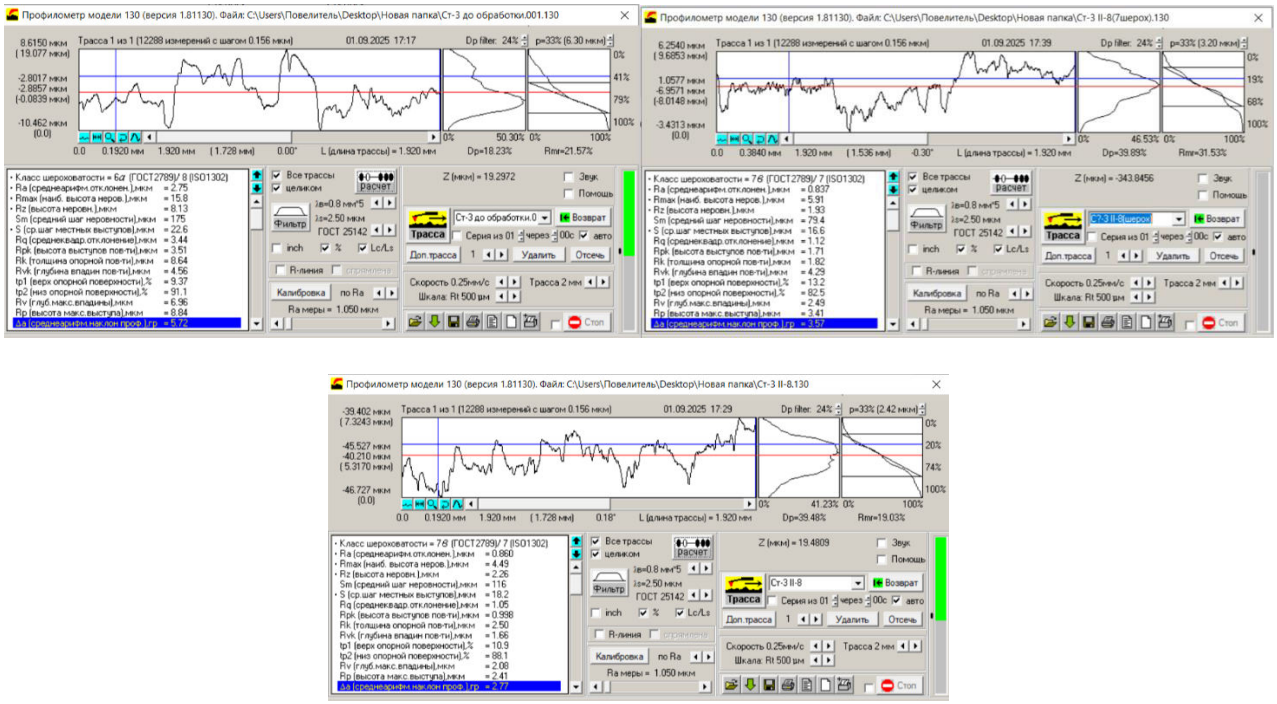


Рис. 4. Визуальная динамика изменения морфологии поверхности до обработки (а), после обработки первым режимом (б), после обработки вторым режимом (в)

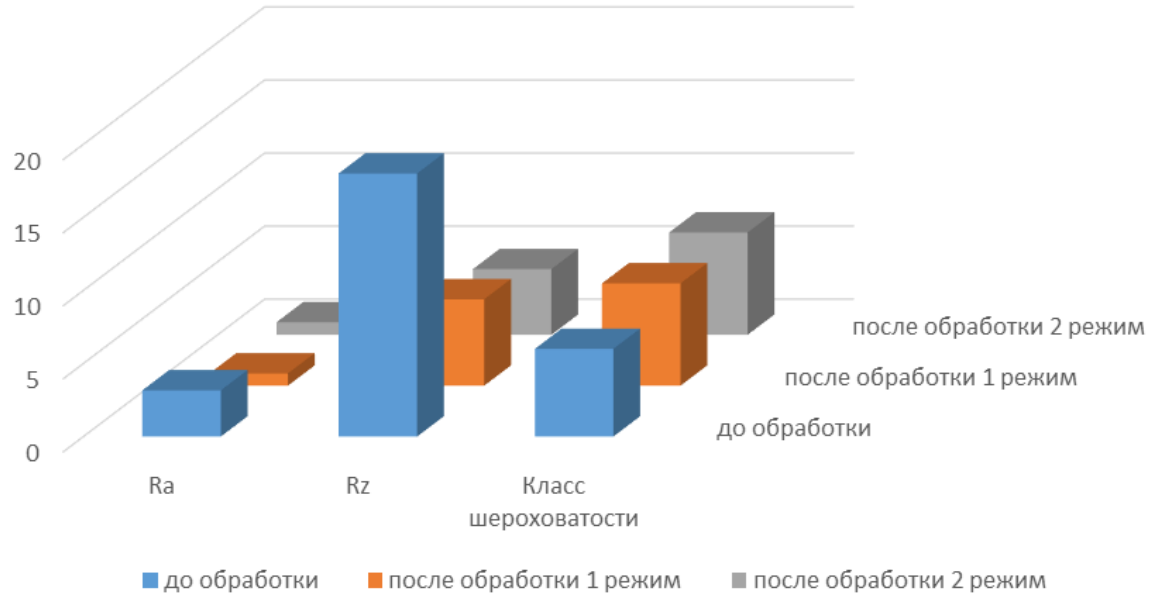


Рис. 5. Наглядная визуализация изменения параметров

Образцы до (Рис. 6а) и после (Рис. 6б, 6в) были просмотрены под электронным микроскопом с длинной масштабной линейки 100 микрон.

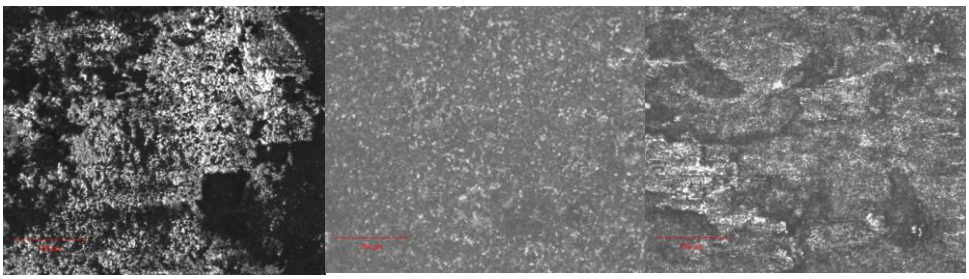


Рис. 6. Микроструктура образца марки Ст-3: до обработки (а), после обработки первым режимом (б), после обработки вторым режимом (в)

Таким образом, обработка поверхности детали Ст-3 низкотемпературной ВЧ-плазмой с электролитическим струйным потоком при пониженном давлении привела к увеличению класса шероховатости на один класс, с 6а до 7в, в соответствии со стандартом ГОСТ-25142 [6].

Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Kayumov R.R.* Electrolyte-Plasma Production of Metal Powders for Additive Manufacturing / R.R. Kayumov, A.I. Kuputdinova, A.F. Gaisin // Metal Science and Heat Treatment. – 2024. – Vol. 66, No. 1-2. – P. 32-37. – DOI 10.1007/s11041-024-01014-4.

2. *Belgibaev E.R., Semenov M.N., Kayumov R.R [et al.]*. Plasma-Liquid Welding of Plates from Electrical Steel // Metal Science and Heat Treatment. – 2024. – Vol. 66, No. 7-8. – P. 452-457. – DOI 10.1007/s11041-024-01070-w.

3. *Каюмов Р.Р., Купутдинова А.И. Мирханов Д.Н, Гайсин А.Ф.* Электрический разряд между металлическим катодом и жидким неметаллическим анодом // Физика плазмы. – 2024. – Т. 50, № 1. – С. 102-109.

4. *Каюмов Р.Р. Абдуллин И.Ш, Гайсин А.Ф.* Исследование ВЧ разряда со струйным течением электролита // Физическая электроника: Материалы XIII Всероссийской конференции, Махачкала, 25–29 сентября 2024 г. – Махачкала: Дагестанский государственный университет, 2024. – С. 168-171.

5. *Райзер Ю.П.* Физика газового разряда. Научное издание – 3-е изд. перераб. и доп. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2009. С. 374-644.

6. *Akhatov M.F., Gaisin F.M, Iskhakov F.R. [et al.].* Influence of composition ofelectrolyte on electric discharge in liquid // Journal of Physics: Conference Series, Kazan, 05–09июня 2017 года. Vol. 927. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2017. – P.012002.

7. *Mirkhanov D.N., Gaisin. Kuputdinova A.I, Mukhametov R.A.* Electrophysical and heat propertiesof the discharge with liquid *A.F.* anode // Journal of Physics: Conference Series, Kazan, 05–09 июня 2017 года. Vol. 927. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2017. – P. 012017.

EXPERIMENTAL STUDY OF CHANGES IN ROUGHNESS USING HF DISCHARGE AT LOW PRESSURE

Gaisin I.I., Kayumov R.R.

Supervisor: Kayumov R.R., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper examines the role of high-frequency discharge with a jet flow of electrolyte at low pressure on the change in material roughness.

УДК 577; 57.05; 546.41

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ НЕЙТРОФИЛОВ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ДЕЙСТВИИ НАНОЧАСТИЦ ГИДРОКСИАПАТИТА КАЛЬЦИЯ

Григорьева Д.В., Крапицкая А.А., Ивашкевич Д.Е., Янчарский В.А., Сак Е.В.

(Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. Установлено, что сферические наночастицы гидроксиапатита кальция (НЧ CaHAP), полученные методом лазерной абляции, вызывают дозозависимую вне- и внутриклеточную генерацию активных форм кислорода и галогенов нейтрофилами. Показано, что в данный процесс вовлечены нерецепторные тирозинкиназы семейства Src, фосфатидилинозитол-3-киназа и фосфолипаза С. Выявлено, что НЧ CaHAP активируют экзоцитоз содержимого специфических и желатиназных гранул, а также секреторных пузырьков нейтрофилов.

Введение. Гидроксиапатит кальция (CaHAP) широко используется в качестве заменителя костной ткани или биоматериалов для покрытия при заболеваниях костей или металлических частей протезов. Высвобождение частиц CaHAP вызывает воспалительную реакцию и, если его не контролировать, может привести к потере импланта. Воспалительная реакция может включать в себя Toll-зависимую активацию макрофагов с выработкой этими клетками провоспалительных цитокинов [1] и усиленной продукцией активных форм кислорода (АФК) [2]. Наночастицы (НЧ) CaHAP обладают потенциалом в качестве средств улучшенной диагностики заболеваний благодаря их способности циркулировать в крови и распределяться по организму для визуализации тканей и клеток, а также для терапевтических применений для доставки целевых молекул [3]. НЧ CaHAP также используются для доставки генов и в качестве противораковых препаратов, ингибируя рост опухолевых клеток и вызывая их апоптоз [4-6]. В ряде исследований было показано, что биологическая активность НЧ CaHAP в значительной степени зависит от их размера, поверхностного заряда, а также морфологии [7-12]. При различных путях поступления НЧ в организм (в качестве системы доставки или являясь побочными продуктами деградации) они неизбежно будут контактировать с клетками организма. Полиморфноядерные лейкоциты (нейтрофилы) являются самими многочисленными клетками иммунной системы, которые первыми будут реагировать на вторжение в организм чужеродного объекта. В связи с вышесказанным, целью данной работы явилось изучение основных функциональных откликов нейтрофилов в ответ на НЧ CaHAP.

Материалы и методы. *НЧ CaHAP были получены* методом лазерной абляции. В качестве источника излучения был выбран волоконный иттербиевый лазер P-Mark TT 100 (Pokkels, Москва). Длина волны излучения составила 1064 нм, энергия в импульсе – 1,50 мДж, диаметр перетяжки – 100,00 мкм, длительность импульса – 200 нс, частота повторения – 35 кГц, длительность облучения – 60 мин. Были получены сферические НЧ CaHAP, средний размер которых, определенный методом просвечивающей электронной микроскопии и методом динамического рассеяния света, составил 15 нм.

Нейтрофилы выделяли из венозной крови здоровых доноров, полученной из РНПЦ «Трансфузиологии и медицинских биотехнологий» (Минск) как описано ранее [13]. Венозную кровь, стабилизированную цитратом натрия (109 мМ, 9:1 (v:v)), смешивали с декстраном Т70 (6 %, 5:1 (v:v)) и отстаивали в течение 40-60 мин для оседания эритроцитов. От остатка эритроцитов в обогащенной лейкоцитами плазме избавлялись с помощью осмотического гемолиза. Полученную суспензию лейкоцитов наслаивали на гистопак-1077 и центрифугировали в течение 10-15 мин при 450 *g*. Осадок нейтрофилов отмывали фосфатно-солевым буфером (ФСБ: 123 мМ NaCl, 8,3 мМ Na_2HPO_4, 2,7 мМ KCl и 1,2 мМ KH_2PO_4, pH 7,4), ресуспендировали ФСБ, содержащим 2 мг/мл D-глюкозы, и хранили при +4 °C в течение 6-8 ч. Выделенная суспензия клеток содержала, как правило, не менее 95 % нейтрофилов, жизнеспособность которых по тесту с пропидиум йодидом составляла более 95 %.

Внеклеточную генерацию пероксида водорода (H_2O_2) нейтрофилами оценивали флуоресцентным методом как описано ранее [14] с использованием системы «скополетин-пероксидаза хрена (HRP)-азид натрия (NaN_3)». К 1 мл нейтрофилов (1×10^6 кл/мл) в ФСБ, содержащем 1 мМ $CaCl_2$ и 0,5 мМ $MgCl_2$, добавляли «скополетиновый коктейль», содержащий 1 мкМ скополетина (флуоресцентный субстрат HRP), 20 мкг/мл HRP и 1 мМ NaN_3, инкубировали в течение 5 мин при 37 °С и постоянном перемешивании, после чего к клеткам добавляли НЧ CaHAP в различных концентрациях и на компьютеризированном спектрофлуориметре СМ 2203 (СОЛАР, Минск) регистрировали снижение интенсивности флуоресценции скополетина на длине волны 460 нм при возбуждении флуоресценции светом с длиной волны 350 нм. В качестве количественного параметра, характеризующего внеклеточную генерацию H_2O_2 нейтрофилами, использовали тангенс угла наклона линейного участка зарегистрированных кинетических кривых.

Внутриклеточную генерацию активных форм кислорода (АФК) *и галогенов* (АФГ) в нейтрофилах оценивали методом проточной цитометрии с использование флуоресцентных зондов 2′,7′-дихлородигидрофлуоресцеин диацетата (H_2DCFDA) и аминофенилфлуоресцеина (APF), соответственно, как описано ранее [15]. Нейтрофилы (3×10^6 кл/мл) в ФСБ, содержащем 1 мМ $CaCl_2$ и 0,5 мМ $MgCl_2$, инкубировали с H_2DCFDA (1 мкМ) или APF (2,5 мкМ) в течение 10 мин при комнатной температуре, после чего к клеткам добавляли НЧ CaHAP в различных концентрациях и инкубировали в течение 5-30 мин при 37 °С. Далее клеточную суспензию разбавляли в 3 раза ФСБ, содержащим 1 мМ $CaCl_2$ и 0,5 мМ $MgCl_2$, и анализировали на проточной цитометре CytoFocus 820 (Healicom, Китай). Популяцию нейтрофилов определяли по соотношению величин прямого и бокового светорассеяния. В каждом образце анализировали не менее 20000 одиночных нейтрофилов. Для возбуждения флуоресценции H_2DCFDA и APF использовали лазер с длиной волны 488 нм, для регистрации фильтр 530±30 нм (FITC-канал). В качестве количественного параметра, характеризующего внутриклеточную продукцию АФК/АФГ нейтрофилами, использовали медиану интенсивности H_2DCFDA/APF в популяции H_2DCFDA/APF-положительных нейтрофилов.

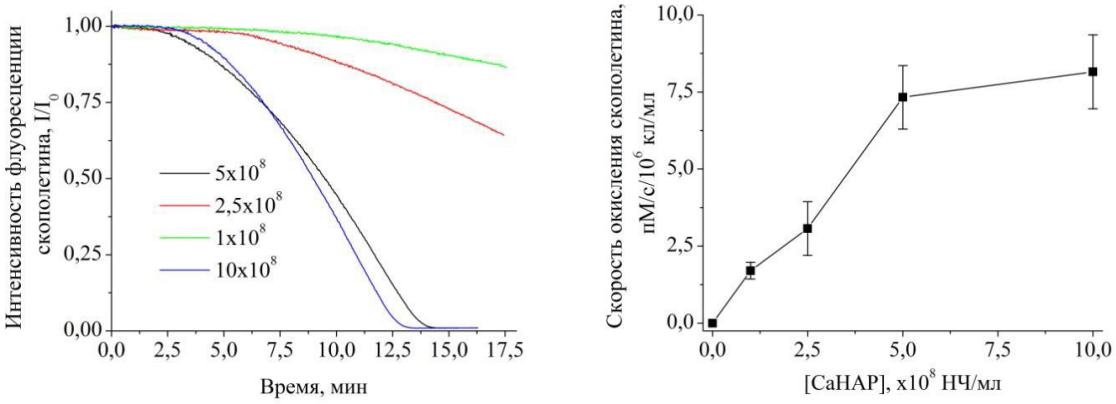
Секреторную дегрануляцию нейтрофилов оценивали методом проточной цитометрии по экспозиции на плазматической мембране CD66b-FITC – маркера выхода содержимого специфических гранул и CD11b-APC – маркера экзоцитоза содержимого желатиназных везикул и секреторных пузырьков нейтрофилов, как описано ранее [16]. Нейтрофилы (3×10^6 кл/мл) в ФСБ, содержащем 1 мМ $CaCl_2$ и 0,5 мМ $MgCl_2$, инкубировали с НЧ CaHAP в различных концентрациях в течение 20 мин при 37°С, после чего к клеткам добавляли на 5 мин CD66b-FITC и CD11b-APC в концентрации 1% (v:v), разбавляли клеточную суспензию в 3 раза и анализировали на проточном цитометре CytoFocus 820. Для возбуждения флуоресценции CD66b-FITC использовали лазер с длиной волны 488 нм, для регистрации фильтр 530±30 нм (FITC-канал); для возбуждения CD11b-APC – лазер с длиной волны 638 нм, для регистрации – фильтр 660±20нм. В качестве количественных параметров, характеризующих дегрануляцию нейтрофилов, использовали процент CD66b-FITC/CD11b-APC-положительных событий в популяции нейтрофилов.

В серии экспериментов по регистрации продукции АФК нейтрофилами в ответ на НЧ CaHAP клетки предварительно инкубировали с ингибиторами внутриклеточных сигнальных систем: дифениленiодония хлорид (DPI, 20 мкМ), PP2 (100 мкМ), LY294002 (100 мкМ), цитохалазин b (cyt b, 5 мкМ), U73122 (620 нМ), соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (EDTA, 1 мМ). В ряде экспериментов в качестве «положительного» контроля использовали стандартный агонист нейтрофилов – форболовый эфир форбол 12-миристат 13-ацетат (PMA).

Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена с использованием программы Origin (OriginLab Corporation, США). Данные представлены как среднее ± стандартная ошибка среднего значения. Кинетические кривые представлены как типичные для серии из 5–7 независимых экспериментов. Достоверность различий средних

рассчитывали с применением *t*-критерия Стьюдента, принимая различия достоверными при уровне значимости $p < 0{,}05$. Данные проточной цитометрии обрабатывали при помощи прилагаемого к проточному цитометру программного обеспечения CytoFocus (версия 1.0.2.0).

Результаты и их обсуждение. Ранее нами было показано, что инкубация нейтрофилов с НЧ CaHAP в концентрации 10×10^8 НЧ/мл в течение 1 ч при 37 °C не приводит к повреждению плазматической мембраны нейтрофилов (данные не представлены). На рисунке 1 а приведены типичные кинетические кривые окисления скополетина в суспензии нейтрофилов в ответ на внесение НЧ CaHAP в различных концентрациях. Видно, что с увеличением количества НЧ CaHAP скорость окисления скополетина увеличивается дозозависимым образом (рисунок 1 б), что свидетельствует о внеклеточной продукции H_2O_2 нейтрофилами.



а б

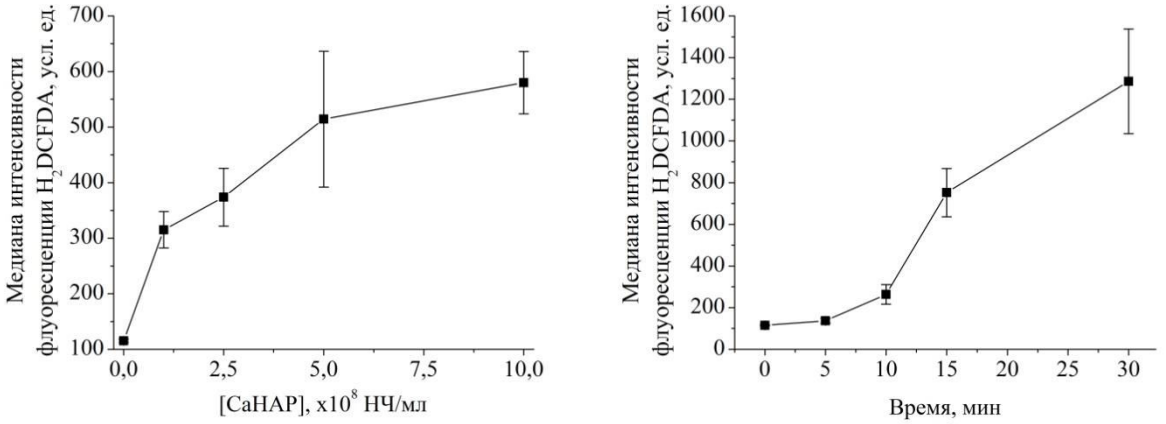
Рисунок 1.Влияние НЧ CaHAP на внеклеточную продукцию H_2O_2 нейтрофилами
а – Типичные кинетические кривые окисления скополетина в суспензии нейтрофилов, активированных НЧ CaHAP в различных концентрациях. б – Зависимость скорости окисления скополетина в суспензии нейтрофилов от концентрации НЧ CaHAP

Как видно из данных, представленных на рисунке 2, НЧ CaHAP вызывают зависимое от концентрации НЧ (рисунок 2 а) и от времени инкубации с ними (рисунок 2 б) увеличение интенсивности флуоресценции H_2DCFDA в нейтрофилах, что свидетельствует о внутриклеточной генерации АФК в нейтрофилах. Однако, необходимо отметить, что эффекты НЧ CaHAP на активацию респираторного взрыва нейтрофилов были на порядок меньше по сравнению с эффектами стандартного индуктора респираторного взрыва нейтрофилов – форболового эфира PMA: так, медиана интенсивности флуоресценции H_2DCFDA в нейтрофилах при активации PMA (50 нМ, 10 мин при 37°C) составила 4836±1037 усл. ед. против эффекта НЧ CaHAP (10×10^8 НЧ/мл, 10 мин при 37°C) 264±47 усл. ед.

Как видно из данных, представленных на рисунке 3 а, НЧ CaHAP также инициировали внутриклеточную продукцию АФГ в нейтрофилах: так, медиана интенсивности флуоресценции APF, окисляющегося преимущественно хлорноватистой кислотой (HOCl), образование которой катализирует фермент азурофильных гранул нейтрофилов – миелопероксидаза (МПО), увеличивалась с увеличением концентрации НЧ CaHAP. Можно предположить, что НЧ CaHAP эндоцитируются нейтрофилами с образованием эндо/фагосом, которые затем сливаются с азурофильными гранулами нейтрофилов, содержащими МПО, с образованием эндо/фаголизосом, в которых и происходит генерация HOCl.

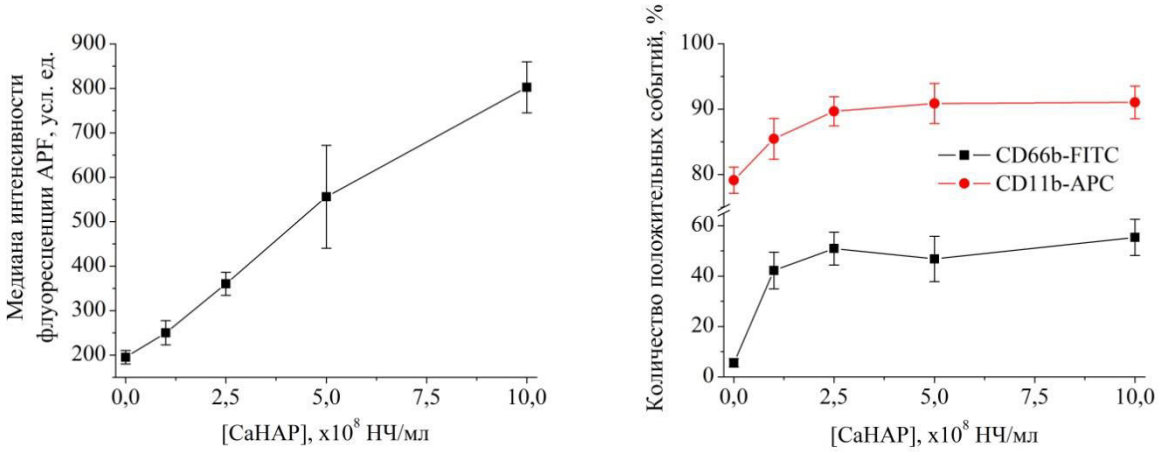
При исследовании влияния НЧ CaHAP на экзоцитоз содержимого гранул нейтрофилов (рисунок 3 б) во внеклеточное пространство было выявлено, что НЧ CaHAP

вызывают концентрационно-зависимый выход содержимого специфических (маркер CD66b-FITC) и желатиназных гранул и секреторных пузырьков (маркер CD11b-APC) во внеклеточное пространство.



а б

Рисунок 2. Зависимость внутриклеточной генерации АФК в нейтрофилах от концентрации НЧ CaHAP (а) и времени инкубации с НЧ CaHAP (10×10^8 НЧ/мл) (б)

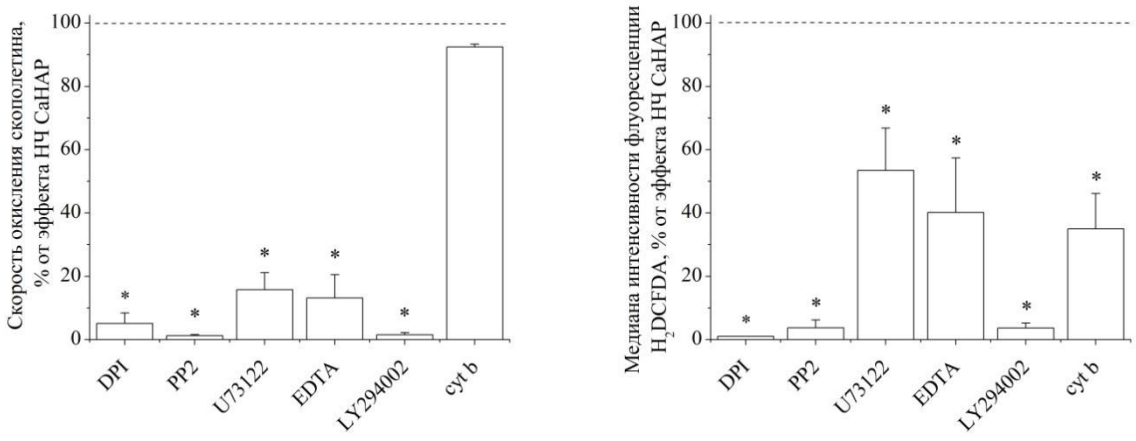


а б

Рисунок 3 – Зависимость внутриклеточной генерации АФГ в нейтрофилах (а) и экспозиции на плазматической мембране маркеров секреторной дегрануляции (б) от концентрации НЧ CaHAP

Далее нами были идентифицированы внутриклеточные сигнальные системы, участвующие в активации нейтрофилов в ответ на НЧ CaHAP. На рисунке 4 приведены данные ингибиторного анализа вне- и внутриклеточной продукции АФК нейтрофилами в ответ на НЧ CaHAP. Видно, что как вне- так и внутриклеточная генерация АФК нейтрофилами в ответ на НЧ CaHAP снижалась в присутствии DPI – ингибитора флавиновых ферментов. Эти данные свидетельствуют о том, что при действии НЧ CaHAP происходит сборка и активация НАДФН-оксидазы нейтрофилов на плазматической мембране (тест со скополетином) и на мембранах эндо/фагосом в клетках (тест с H_2DCFDA). Показано также, что продукция АФК снижалась в присутствии PP2 – ингибитора нерецепторных цитозольных тирозинкиназ семейства Src (Lck, Fyn и Hck), LY294002 – ингибитора фосфатидилинозитол-3-киназы и U73122 – ингибитора фосфолипазы С, что указывает на участие данных сигнальных молекул в активации нейтрофилов в отчет на НЧ CaHAP. Ингибирование индуцированной НЧ CaHAP активации респираторного взрыва нейтрофилов также наблюдалось в бескальцивой среде, содержащей EDTA – хелатор ионов Ca^{2+}, что

указывает на важную роль данных двухвалентных сигнальных ионов в активации нейтрофилов в ответ на НЧ CaHAP.



а б

Рисунок 4. Влияние ингибиторов внутриклеточных сигнальных систем на вне- (а) и внутриклеточную (б) генерацию АФК нейтрофилами в отчет на НЧ CaHAP
Используемые концентрации: DPI – 20 мкМ, PP2 – 100 мкМ, U73122 – 620 нМ, EDTA – 1 мМ, LY294002 – 50 мкМ, cyt b – 5 мкМ, НЧ CaHAP – 10×10^8 НЧ/мл. За 100 % принят эффект НЧ CaHAP. $^*p < 0{,}05$ по сравнению с эффектом НЧ CaHAP.

Cyt b, препятствующий полимеризации актиновых филаментов цитоскелета, не влиял на внеклеточную, но ингибировал внутриклеточную продукцию АФК в нейтрофилах в ответ на НЧ CaHAP, что является косвенным подтверждением выдвинутой выше гипотезы об эндоцитозе НЧ CaHAP нейтрофилами, поскольку актин вовлечен в подавляющее большинство типов эндоцитоза НЧ нейтрофилами [17].

Заключение. НЧ CaHAP диаметром 15 нм, полученные методом лазерной абляции, способные вызывать вне- и внутриклеточную генерацию АФК и АФГ нейтрофилами, а также экзоцитоз содержимого гранул нейтрофилов, могут быть использованы для разработки на их основе средств доставки антибактериальных и противовирусных препаратов, что может усиливать их действие за счет дополнительной активации нейтрофилов. В остальных случаях необходимо учитывать оказываемые НЧ CaHAP эффекты активации функциональных откликов клеток иммунной системы. Выявление рецепторных структур нейтрофилов для НЧ CaHAP может быть полезным для разработки терапевтических средств, направленных на снижение воспалительной реакции организма при применении НЧ.

Финансирование. Работа поддержана грантом Министерства образования Республики Беларусь (Договор № 002/2025-БГУ от 07.04.2025).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Hua Y., Wu J., Wu H., Su C., Li X., Ao Q., Zeng Q., Zhu X., Zhang X.* Exposure to hydroxyapatite nanoparticles enhances Toll-like receptor 4 signal transduction and overcomes endotoxin tolerance in vitro and in vivo // Acta Biomater. 2021. Vol. 135. P. 650–662.

2. *Mestres G., Espanol M., Xia W., Persson C., Ginebra M.P., Ott M.K.* Inflammatory response to nano- and microstructured hydroxyapatite // PLoS One. 2015. Vol. 10. № 3. P. e0120381.

3. *Loo S.C., Moore T., Banik B., Alexis F.* Biomedical applications of hydroxyapatite nanoparticles // Curr Pharm Biotechnol. 2010. Vol. 11. № 4. P. 333–342.

4. *Han Y., Li S., Cao X., Yuan L., Wang Y., Yin Y., Qiu T., Dai H., Wang X.* Different inhibitory effect and mechanism of hydroxyapatite nanoparticles on normal cells and cancer cells in vitro and in vivo // Sci Rep. 2014. Vol. 4. P. 7134.

5. *Dong X., Zang C., Sun Y., Zhang S., Liu C., Qian J.* Hydroxyapatite nanoparticles induced calcium overload-initiated cancer cell-specific apoptosis through inhibition of PMCA and activation of calpain // J Mater Chem B. 2023. Vol. 11. № 32. P. 7609–7622.

6. *Xu J., Xu P., Li Z., Huang J., Yang Z.* Oxidative stress and apoptosis induced by hydroxyapatite nanoparticles in C6 cells // J Biomed Mater Res A. 2012. Vol. 100. № 3. P. 738–745.

7. *Lebre F., Sridharan R., Sawkins M.J., Kelly D.J., O'Brien F.J., Lavelle E.C.* The shape and size of hydroxyapatite particles dictate inflammatory responses following implantation // Sci Rep. 2017. Vol. 7. № 1. P. 2922.

8. *Xu Z., Liu C., Wei J., Sun J.* Effects of four types of hydroxyapatite nanoparticles with different nanocrystal morphologies and sizes on apoptosis in rat osteoblasts // J Appl Toxicol. 2012. Vol. 32. № 6. P. 429–435.

9. *Lara-Ochoa S., Ortega-Lara W., Guerrero-Beltrán C.E.* Hydroxyapatite nanoparticles in drug delivery: physicochemistry and applications // Pharmaceutics. 2021. Vol. 13. № 10. P. 1642.

10. *Pujari-Palmer S., Chen S., Rubino S., Weng H., Xia W., Engqvist H., Tang L., Ott M.K.* In vivo and in vitro evaluation of hydroxyapatite nanoparticle morphology on the acute inflammatory response // Biomaterials. 2016. Vol. 90. P. 1–11.

11. *Chen L., Mccrate J.M., Lee J.C., Li H.* The role of surface charge on the uptake and biocompatibility of hydroxyapatite nanoparticles with osteoblast cells // Nanotechnology. 2011. Vol. 22. № 10. P. 105708.

12. *Yang X., Li Y., Liu X., Zhang R., Feng Q.* In vitro uptake of hydroxyapatite nanoparticles and their effect on osteogenic differentiation of human mesenchymal stem cells // Stem Cells Int. 2018. Vol. 2018. P. 2036176.

13. *Grigorieva D.V., Gorudko I.V., Grudinina N.A., Panasenko O.M., Semak I.V., Sokolov A.V., Timoshenko A.V.* Lactoferrin modified by hypohalous acids: partial loss in activation of human neutrophils // Int J Biol Macromol. 2022. Vol. 195. P. 30–40.

14. *Gorudko I.V., Grigorieva D.V., Shamova E.V., Kostevich V.A., Sokolov A.V., Mikhalchik E.V., Cherenkevich S.N., Arnhold J., Panasenko O.M.* Hypohalous acid-modified human serum albumin induces neutrophil NADPH oxidase activation, degranulation, and shape change // Free Radic Biol Med. 2014. Vol. 68. P. 326–334.

15. *Gorudko I.V., Grigorieva D.V., Gusakov G.A., Baran L.V., Reut V.E., Sak E.V., Baimler I.V., Simakin A.V., Dorokhov A.S., Izmailov A.Y., Serov D.A., Gudkov S.V.* Rod and spherical selenium nanoparticles: Physicochemical properties and effects on red blood cells and neutrophils // Biochim Biophys Acta Gen Subj. 2025. Vol. 1869. № 5. P. 130777.

16. *Panasenko O.M., Ivanov V.A., Mikhalchik E.V., Gorudko I.V., Grigorieva D.V., Basyreva L.Y., Shmeleva E.V., Gusev S.A., Kostevich V.A., Gorbunov N.P., Sokolov A.V.* Methylglyoxal-modified human serum albumin binds to leukocyte myeloperoxidase and inhibits its enzymatic activity // Antioxidants (Basel). 2022. Vol. 11. № 11. P. 2263.

17. *Sousa de Almeida M., Susnik E., Drasler B., Taladriz-Blanco P., Petri-Fink A., Rothen-Rutishauser B.* Understanding nanoparticle endocytosis to improve targeting strategies in nanomedicine // Chem Soc Rev. 2021. Vol. 50. № 9. P. 5397–5434.

FUNCTIONAL ACTIVITY OF HUMAN BLOOD NEUTROPHILS UNDER THE ACTION OF CALCIUM HYDROXYAPATITE NANOPARTICLES

Grigorieva D.V., Krapitskaya A.A., Ivashkevich D.E., Yancharski U.A., Sak E.V.
(Belarusian State University, Minsk)

Abstract. It has been established that spherical calcium hydroxyapatite nanoparticles (CaHAP NPs) obtained by laser ablation cause dose-dependent extra- and intracellular generation of reactive oxygen and halogen species by neutrophils. It has been shown that non-receptor tyrosine kinases of the Src family, phosphatidylinositol-3-kinase and phospholipase C are involved in this

process. It has been revealed that CaHAP NPs activate exocytosis of the contents of specific and gelatinase granules, as well as secretory vesicles of neutrophils.

УДК 532.529

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАПЕЛЬНОГО ПОТОКА С ТВЕРДЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Клименко А., Шуляев С.А.

Научный руководитель: Исламова А.Г., доцент, к. ф.-м. н.

(Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск)

Аннотация. В работе представлены результаты исследования характеристик столкновения капельного потока с твердыми частицами при варьировании температуры воздушного потока. В качестве частиц использовался уголь и песок. Получены диаграммы реализации режима дробления от числа Вебера при варьировании температуры воздушного потока.

На сегодняшний день практически все сферы промышленности сопровождаются выбросом большого количества токсичных жидких, газообразных и твердых веществ [1]. Соответственно, особую важность с точки зрения влияния на окружающую среду и здоровье человека приобретает проблема очистки газовых и жидкостных потоков от дисперсных твердых (пылевых) частиц. Актуальным является разработка принципиально новых технологий, а также совершенствование отдельных элементов существующих пылеулавливающих устройств. Для решения этой задачи необходимо проведение как численных, так и экспериментальных исследований. Анализ достижений мирового научного сообщества, показал, что к настоящему времени большое количество работ направлены на численные исследования процессов взаимодействия капель и частиц в условиях, приближенных к нормальным [2,3]. Однако, практически отсутствуют экспериментальные результаты по взаимодействию капель с частицами, полученные в условиях, приближенных к реальным технологическим процессам.

Целью работы являлось определение воздействия внешних факторов (температура и скорость потока) на процессы столкновения капель воды с твердыми частицами. Методика проведения экспериментальных исследований подробно рассмотрена в работе [4]. В качестве твердых частиц выбраны частицы песка и угля марки К. Физические свойства последних приведены в таблице 1.

Таблица 1

Физические свойства угля и песка [5]

Свойство	Песок	Уголь
Теплопроводность	0,35 Вт/ (м·°С)	0,08-0,14 Вт/ (м·°С)
Теплоемкость	800 Дж/(кг·°С)	1100 Дж/(кг·°С)
Плотность	1530 кг/м^3	1340 кг/м^3

В ходе исследования рассчитывалось число Вебера, позволяющее учесть силы инерции и поверхностного натяжения:

$$\mathrm{We} = 2 \cdot \rho_d \cdot R_d \cdot U^2 / \sigma,$$

где ρ_d – плотность воды, кг/м^3, R_d – радиус капли, м; U – скорость взаимодействия между каплей и частицей, м/с; σ – поверхностное натяжения капли, Н/м.

На рисунке 1 представлены типичные видеокадры соударения капельного потока воды с частицами угля и песка. По результатам анализа экспериментальных исследований по соударению капель воды с твердыми частицами выделено два режима взаимодействия – агломерация и дробление. Режим агломерации, характеризовался слиянием капли с частицей. Из полученных видеограмм (рис. 1*а*) видно, что при относительно низких

скоростях взаимодействия (до 1,35 м/с), капля испытывает незначительную деформацию после столкновения с твердой частицей. Последняя проникает в каплю и удерживается в её объёме благодаря силам вязкости и поверхностного натяжения. После осаждения частицы капля стабилизируется и восстанавливает свою исходную форму. Установлено, что режим агломерации протекает при малом отношении размеров капли к размерам частицы ($\Delta \leq 0{,}3$) и малых скоростях взаимодействия капель и частиц (~1,2 м/с). Второй режим – дробление, при котором соударение капли с твердой частицей сопровождалось формированием вторичных фрагментов (рис. 1*б*). Если результирующая скорость взаимодействия капли и частицы высокая (более 5 м/с), инерционные силы превалировали над поверхностными, вызывая сильную деформацию капли. На ее поверхности капли формировалась область контакта с частицей, которая становилась источником разрыва. В результате этого процесса образовывались вторичные фрагменты.

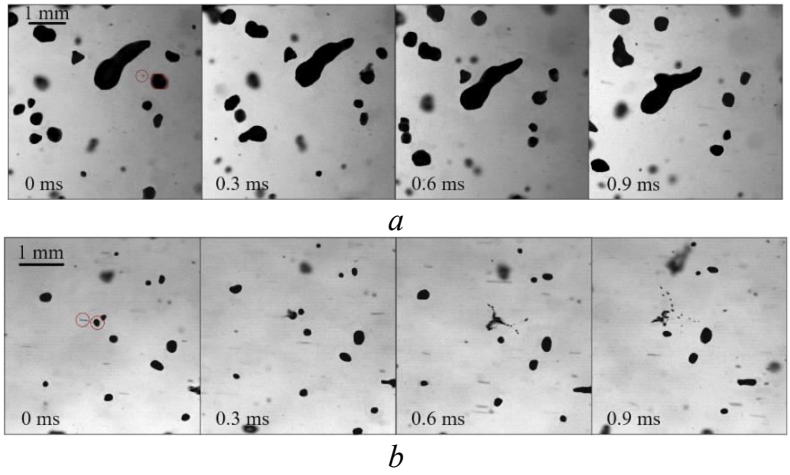


Рис. 1. Типичные видеокадры соударения капельного потока воды с твердыми частицами угля: *а* – агломерация; *б* – дробление

На рисунке 2 представлено частота реализации режима дробления (P_s) от числа Вебера.

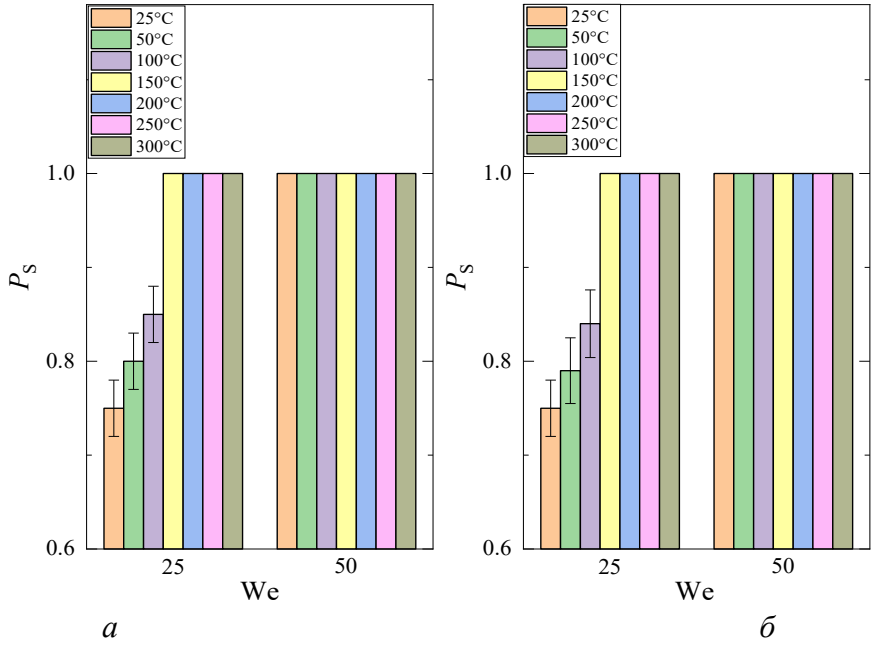
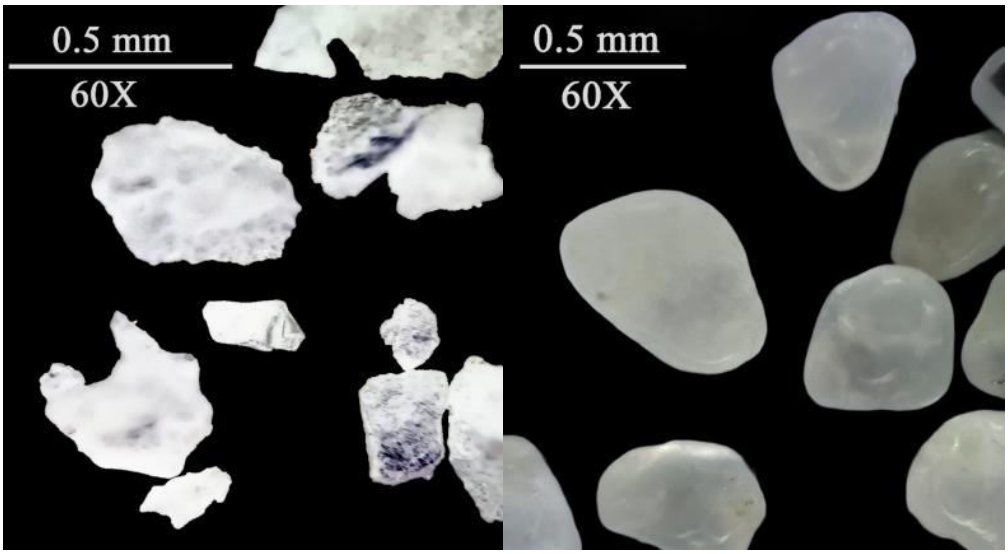


Рис. 2. Частота реализации режима дробления при варьировании числа Вебера и температуры окружающей среды в аэрозольных потоках при взаимодействии капель воды с песком (*а*) и углем (*б*)

Установлено, что с ростом температуры окружающей среды повышается вероятность реализации режима дробления в среднем на 5–10%. Это обусловлено изменением реологических свойств воды (плотности, вязкости, а также поверхностного натяжения). При таких значениях числа Вебера силы инерции преобладают над силами поверхностного натяжения. Так, в условиях движения капли размером R_d = 1 мм со скоростью U_d = 5 м/с и при температуре среды T = 100°C через 0,05 с температура капли (T_d) возросла на ~8,2 °C, а при T = 200°C T_d повысилась на ~14 °C. Таким образом, поверхностное натяжение жидкости уменьшалось на 2,1 и 3,6% соответственно, а также при высоких температурах (T = 150–300) реализовывался только режим дробления. При этом вероятность реализации режима дробления возрастает с увеличением скорости взаимодействия капли воды с твёрдой частицей. В случае, когда значение We превышает 50, реализуется только режим дробления. Под воздействием высокой скорости капли воды становятся более восприимчивыми к деформации при столкновении с твёрдыми частицами, что значительно повышает частоту реализации процесса дробления.

Показано, что частота реализации режима дробления повышается при взаимодействии капель воды с песком (рис. 2*а*) по сравнению с взаимодействием с углем (рис. 2*б*) на 2–5 %. На рисунке 3 представлены фотоизображения частиц угля и песка при 60х увеличении.



а *б*

Рис.3. Фотоизображения песка (*а*) и угля (*б*) под микроскопом при 60х увеличении

Свойства частиц оказывают прямое влияние на результат взаимодействия с каплей жидкости. Из-за наличия локальных выступов на поверхности угольных частиц, на границе капля-частица возникало повышенное трение и сопротивление прохождению через каплю. Кроме того, шероховатая и угловатая структура угольных частиц способствовала удержанию воды на поверхности в микротрещинах и пористых участках. В то же время, гладкая и округлая поверхность частиц песка уменьшала трение и способствовала равномерному растеканию воды. Отсутствие пористой структуры песка предотвращало поглощение воды, что ускоряло процесс растекания жидкости и уменьшало время контакта капли с поверхностью. Это способствовало более быстрому переходу к режиму полного растекания воды по поверхности песчинок, что снижало общее сопротивление и улучшало смачивание.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-71-10040, https://rscf.ru/project/23-71-10040/.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Nie W., Liu F., Peng H., Xu C., Lei C., Akanyange S.N., Mwabaima F.I.* Study on the mechanism of surfactant droplet wetting and coagulation of respiratory dust: The case of AEO-9 //Journal of Molecular Liquids. – 2024. – V. 394. – p. 123742.

2. *Xu C., Nie W., Peng H., Zhang S., Liu F., Yi S., Cha X., Mwabaima F.I.* Numerical simulation of the dynamic wetting of coal dust by spray droplets //Energy. – 2023. – V. 270. – p. 126667.

3. *Charinpanitkul T., Tanthapanichakoon W.* Deterministic model of open-space dust removal system using water spray nozzle: Effects of polydispersity of water droplet and dust particle //Separation and Purification Technology. – 2011. – V. 77. – №. 3. – p. 382-388.

4. *Islamova A.G., Shlegel N.E., Strizhak P.A.* Influence of collision conditions between aerosol flows of liquid droplets and solid particles typical for wet vortex dust collectors //Energy. – 2024. – V. 298. – p. 131373.

5. *Chen S.X*. Thermal conductivity of sands // Heat Mass Transf. – 2008. – V. 44. – p. 1241–1246.

INFLUENCE OF THE AIR FLOW TEMPERATURE ON THE INTERACTION OF THE DROPLET FLOW WITH SOLID PARTICLES

Klimenko A., Shulyaev S.A.

Supervisor: Islamova A.G., Associate Professor, Candidate of Physico-Mathematical Sciences

(*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk*)

Abstract. The paper presents the results of a study of the characteristics of the collision of a droplet stream with solid particles when the temperature of the air stream varies. Coal and sand were used as particles. Diagrams of the implementation of the crushing mode from the Weber number are obtained with varying air flow temperature.

УДК 527.525

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВЧИ-РАЗРЯДЕ В ПАРАХ ЙОДА

Макушев А.А.

Научный руководитель: Сайфутдинов А. И., профессор, д. ф-м. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлены результаты численных расчетов ВЧИ-разряда в парах йода. Получена динамика всех основных параметров плазмы.

Коррекция орбиты малых космических аппаратов на сегодняшний день осуществляется при помощи ионных двигателей. В основе их работы лежит ионизация рабочего тела (чаще всего - газа) и последующее придание импульса образовавшимся ионам через внешние электрические или магнитные поля.

Наиболее популярным выбором на роль топлива для таких устройств является ксенон. Это инертный газ с высокой атомной массой и малым порогом ионизации. Среди его недостатков выделяют высокую стоимость, малые объёмы добычи и необходимость наличия криогенных установок [1]. В качестве более дешёвой альтернативы предлагается использовать йод. Его стоимость меньше на порядок, он добывается в больших количествах, при нагреве в условиях низкого давления он переходит из твёрдого состояния сразу в газообразное. Однако это не инертное вещество – следует учитывать осаждение паров йода на внешних элементах конструкции.

Из-за достаточно большой трудоёмкости, что наземных, что орбитальных испытаний, хорошим аналогом может послужить численное моделирование плазменных процессов. Сегодня данный инструмент позволяет получить точные данные о концентрациях заряженных частиц, температурах газа и электронов без необходимости проводить эксперимент.

В данной работе представлены результаты численного эксперимента по зажиганию высокочастотного индукционного (ВЧИ) разряда в парах йода. Геометрия была взята из работ [2,3], а сечения для плазмохимических реакций из работы [4,5]. Расчётная область представлена на рис. 1. Это двумерная осесимметричная геометрия с радиусом 6 см и высотой 10 см для зоны горения разряда. Между ней и катушкой находится вакуум.

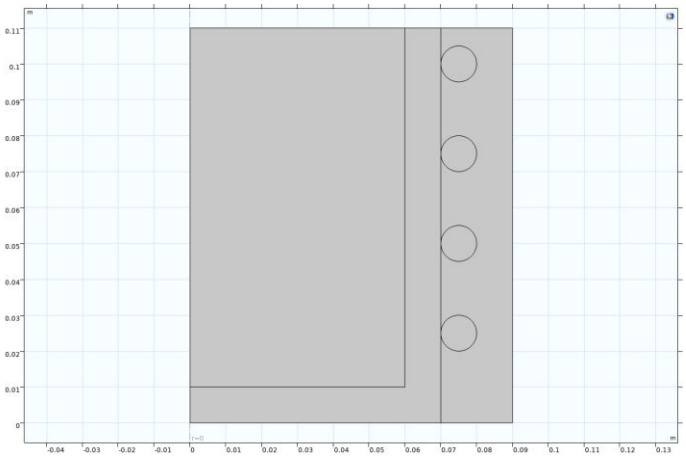


Рис. 1. Расчётная область.

В эксперименте учитывались следующие типы частиц: электроны, атомы и молекулы йода в основном состоянии, 4 вида возбуждённых атома йода, возбуждённая молекула йода, положительный и отрицательный атомарные ионы йода, и положительный молекулярный ион йода. Более подробно все реакции представлены в Таблице 1, а также в работах [3,5].

Таблица 1

Используемые плазмохимические реакции

№	Плазмохимическая реакция	Пороговая энергия, эВ
1	$e + I \Rightarrow e + I$	0
2	$e + I \Rightarrow 2e + I +$	10.45
3	$e + I \Rightarrow e + Is1$	0.9426
4	$e + Is1 \Rightarrow e + I$	-0.9426
5	$e + I \Rightarrow e + Is2$	6.7736
6	$e + Is2 \Rightarrow e + I$	-6.7736
7	$e + I \Rightarrow e + Is3$	8.0473
8	$e + Is3 \Rightarrow e + II$	-8.0473
9	$e + I \Rightarrow e + Is4$	8.1848
10	$e + Is4 \Rightarrow e + I$	-8.1848
11	$e + Is1 \Rightarrow e + Is1$	0
12	$e + Is1 \Rightarrow e + Is2$	5.831
13	$e + Is2 \Rightarrow e + Is1$	-5.831
14	$e + Is1 \Rightarrow e + Is3$	7.1047
15	$e + Is3 \Rightarrow e + Is1$	-7.1047
16	$e + Is1 \Rightarrow e + Is4I$	7.2422
17	$e + Is4 \Rightarrow e + Is1$	-7.2422
18	$e + I_2 \Rightarrow e + I_2$	0
19	$e + I_2 \Rightarrow 2e + I_2 +$	9.31
20	$e + I_2 \Rightarrow e + 2I$	1.542
21	$e + I_2 \Rightarrow e + I + I +$	11.94
22	$e + I_2 \Rightarrow I + I -$	-
23	$e + I_2 \Rightarrow e + I_2s$	2.18
24	$e + I_2s \Rightarrow e + I_2$	-2.18

25	$e + I_2 + \Rightarrow e + I + I +$	2.18
26	$I_2 + I + \Rightarrow I + I_2 +$	-
27	$I - + I_2 + \Rightarrow 3I$	0
28	$I + + I - \Rightarrow 2I$	0
29	$I_2 + Is1 \Rightarrow I_2 + I$	-
30	$e + I - \Rightarrow 2e + I$	3.059

Рассмотрим эволюцию системы с начальным давлением 2.5 Па, частоте на катушке 13.56 МГц и подаваемой мощности 100 Ватт.

На рис. 2 представлены концентрации заряженных частиц в начальный момент времени. В самом начале плазма состоит преимущественно из отрицательных атомных ионов и положительных молекулярных ионов йода, что характеризует её как ион-ионную. Это связано с изначальным наличием большого количества молекул йода, распад которых является основным источником заряженных частиц (I_2^+ и I^-). При этом концентрация электронов лишь на порядок меньше, чем концентрация I^-, тогда как разница между I^+ и I_2^+ достигает четырех порядков. Более широкое распределение концентрации электронов обусловлено их большей подвижностью по сравнению с массивными ионами, в то время как молекулярные ионы концентрируются в наименьшей области. Резкое снижение концентрации частиц у стенок вызвано рекомбинацией на их поверхности. Кроме того, на стенках происходит объединение атомов йода в молекулы, что служит основным источником молекулярного йода в системе.

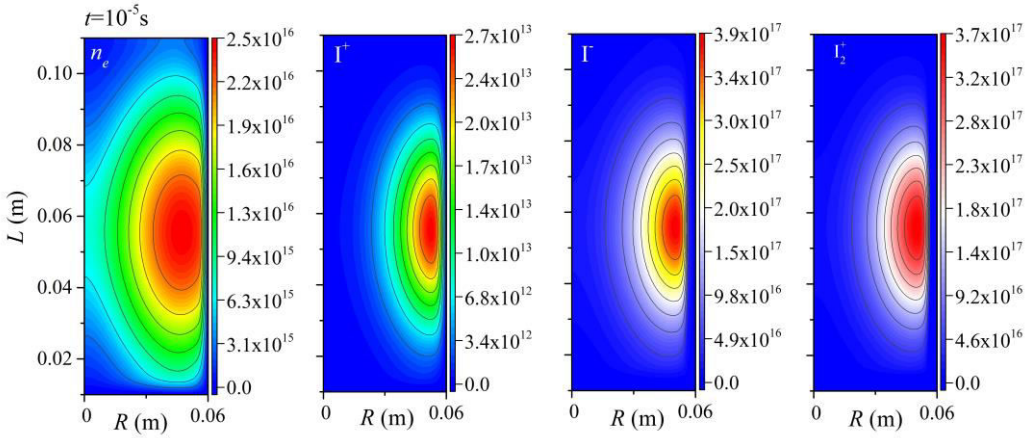


Рис. 2. Концентрация заряженных частиц в момент времени t = 10^{-5} с.

На рис. 3 наблюдается выравнивание показателей концентраций частиц, хотя основными положительными и отрицательными частицами всё ещё являются ионы.

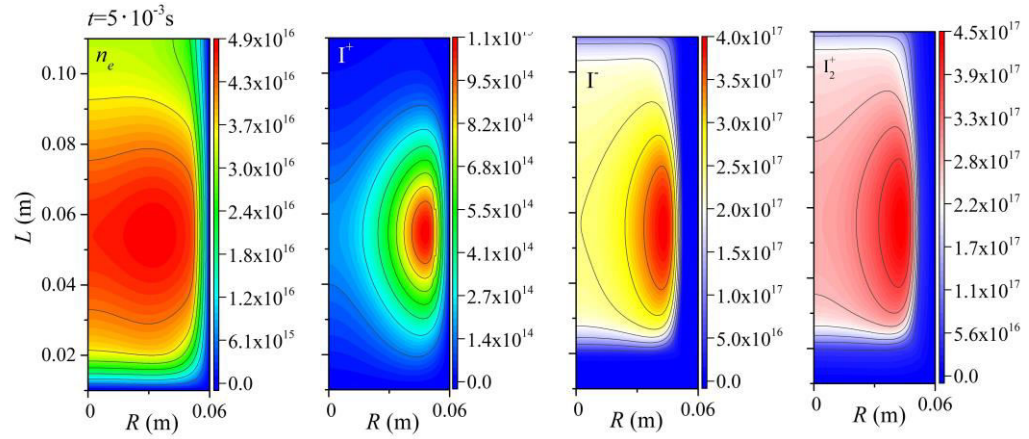


Рис. 3. Концентрация заряженных частиц в момент времени t = $5 \cdot 10^{-5}$ с.

Спустя 10 миллисекунд после начала горения разряда (рис. 4) наблюдается переход к электрон-ионной плазме, где основными носителями заряда выступают электроны и положительные атомарные ионы йода. Концентрация отрицательных атомарных и положительных молекулярных ионов йода при этом снижается. Причина в том, что диссоциацию молекул инициируют, главным образом, положительные атомарные ионы йода и электроны. С ростом их концентрации равновесие между процессами распада и образования молекул смещается в сторону распада, поскольку фактор, определяющий образование молекул (коэффициент прилипания), остаётся неизменным. Это же объясняет снижение количества отрицательных ионов, поскольку реакция диссоциации является основным их источником. Дополнительным фактором является пространственное расположение источников частиц: молекулы образуются у стенок, а электроны и I^+ - вблизи оси.

В стабильном режиме (рис. 5) окончательно формируется картина распределения заряженных частиц, где концентрации электронов и I^+ в 1000 раз превышают концентрации I^- и I_2^+.

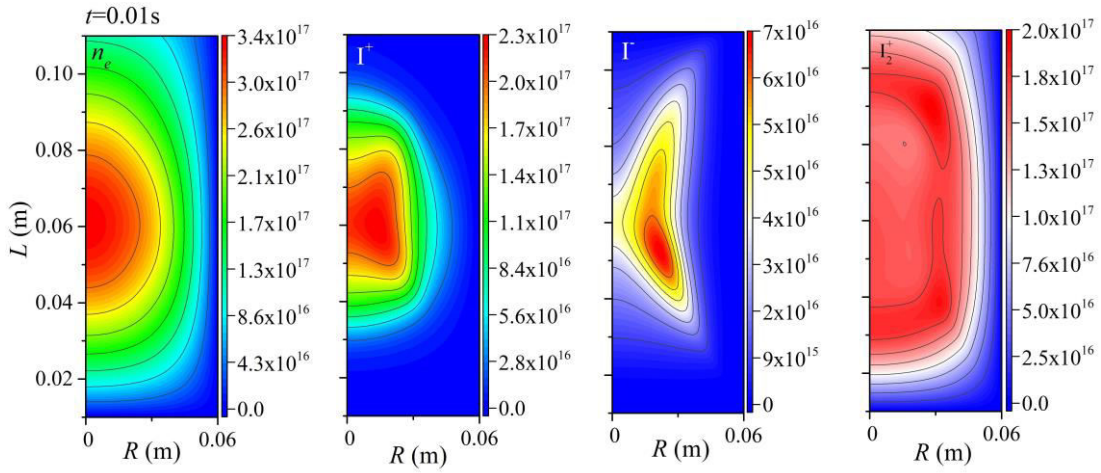


Рис. 4. Концентрация заряженных частиц в момент времени t = 0.01с.

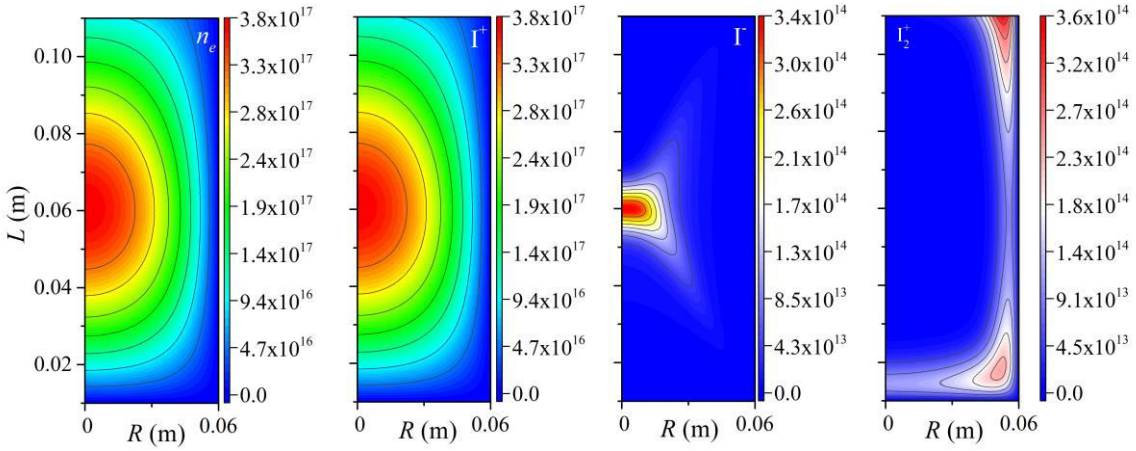


Рис. 5. Концентрация заряженных частиц в установившемся режиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Островский В.Г., Смоленцев А.А., Щербина П.А.* Йод как альтернативное рабочее тело электроракетных двигателей //Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика СП Королёва (национального исследовательского университета). – 2014. – №. 5-4 (47). – С. 131-136.

2. *Levko D., Raja L.L.* Fluid modeling of inductively coupled iodine plasma for electric propulsion conditions //Journal of Applied Physics. – 2021. – Т. 130. – №. 17.

3. *Saifutdinova A.A., Makushev A.A., Gatiyatullin F.R., Saifutdinov A.I.* Simulation of the Plasma Parameters Dynamics in Iodine in an Electric Rocket Engine based on ICP Discharge //High Energy Chemistry. – 2024. – Т. 58. – №. Suppl 2. – С. S215-S224.

4. Esteves B. Investigation of iodine plasmas for space propulsion applications: дис. – Institut polytechnique de Paris, 2022.

5. *Saifutdinova A.A., Makushev A.A., Sysoev S.S., Saifutdinov A.I.* Parametric Analysis of Plasma-Chemical Processes in Electrodeless RF and Microwave Discharges in Iodine Vapor //High Energy Chemistry. – 2024. – Т. 58. – №. 5. – С. 575-582.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF MODELING PLASMOCHEMICAL PROCESSES IN AN HF DISCHARGE IN IODINE VAPOR

Makushev A.A.

Supervisor: Sayfutdinov A.I., Full Professor, Doctor of Physico-Mathematical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents the results of numerical calculations of the HF discharge in iodine vapor. The dynamics of all the main plasma parameters is obtained.

УДК 527.525

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СВЧ-РАЗРЯДА В МОЛЕКУЛЯРНЫХ ГАЗАХ ДЛЯ ЗАДАЧ ПЛАЗМЕННОЙ АЭРОДИНАМИКИ

Мардеев А.Р.

Научный руководитель: Сайфутдинов А.И., профессор, д. ф-м. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлено численное моделирование микроволнового разряда в молекулярном азоте при давлении 100 торр и частоте 9,6 ГГц. Разработана самосогласованная физико-математическая модель, учитывающая электродинамику, тепломассообмен и детальную плазмохимическую кинетику с 62 реакциями. Показана эволюция плазмоидов от диффузной к контрагированной форме, а также динамика концентраций частиц и температурных параметров плазмы. Полученные результаты способствуют пониманию механизмов нагрева газа и могут быть использованы в задачах плазменной аэродинамики и управления течениями на высоких скоростях.

Исследования показывают, что СВЧ-разряды могут значительно влиять на сверхзвуковые и гиперзвуковые потоки, что открывает новые возможности для управления лобовым сопротивлением и улучшения общей аэродинамики [1]. В данной работе основное внимание уделяется численному моделированию СВЧ-разряда в азоте и анализу его основных характеристик. Полученные результаты могут способствовать развитию новых эффективных методов управления аэродинамикой с использованием плазмы.

Ниже будут рассмотрены основные этапы моделирования динамики СВЧ-разряда. Произведены численные расчёты в азоте при давлении 100 торр и микроволновой частоте 9.6 ГГц, которые показали динамику СВЧ пробоя, его переход от диффузной формы в контрагированную. Представлена динамика изменения концентрации заряженных и возбуждённых частиц плазмы при изменении режима работы разряда, пространственное распределение температуры газа и колебательной температуры азота, а также распределение напряжённости электрического поля. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего совершенствования методов генерации плазмы и разработки новых технологических процессов на её основе.

В ходе работы были проанализированы основные теоретические сведения о сверхвысокочастотных разрядах [2]. Сформулирована самосогласованная физико-математическая модель, которая учитывает достаточно детальную кинетику элементарных процессов, теплофизические и газодинамические процессы в области формирования разряда, а также двумерный характер образования плазмоида. Для описания СВЧ электромагнитной волны решается уравнение Гельмгольца:

$$\nabla \times (\mu_r^{-1} \nabla \times \mathrm{E}) - (\omega^2 \varepsilon \varepsilon_r - i\omega\sigma)\mathrm{E} = 0, \quad (1)$$

где

$$\sigma = \frac{e^2 n_e}{\left(m_e(\nu_{el} + i\omega)\right)}. \quad (2)$$

Здесь E – это напряжённость электрического поля, σ — электропроводность плазмы, ν_{el} — частота упругих столкновений электронов с частицами; $\omega_{pe} = (e^2 n_e/\varepsilon_0 m_e)^{1/2}$– плазменная частота; μ_r – магнитная проницаемость среды; ε_r – диэлектрическая проницаемость среды.

Для рассматриваемой расчетной области, в которой формируется разряд, относительная диэлектрическая проницаемость равна единице, а плотность тока плазмы может быть выражена следующим образом:

$$\mathrm{J} = \sigma \mathrm{E}. \quad (3)$$

Решая это уравнение с соответствующими граничными условиями, можно определить энергию, передаваемую электронам от электромагнитного поля:

$$Q_{rh} = \frac{1}{2} Re(\mathrm{J} \cdot \mathrm{E}^*). \quad (4)$$

В уравнении (4) Re обозначает действительную часть выражения, а E^* – комплексно-сопряженное значение E.

Развитие микроволнового разряда описывается системой уравнений расширенной гидродинамической модели. Она включает в себя k уравнений химической кинетики для концентрации для всех типов частиц (нейтральных, возбужденного вида, электронов и ионов); уравнение для электрона плотность энергии; и уравнение Пуассона для самосогласованного электрического поля в плазме, что, в свою очередь, связана с электрическим потенциалом φ.

Скорость изменения концентрации k-ой частицы описывается уравнением неразрывности:

$$\frac{\partial n_k}{\partial t} + \nabla \cdot \Gamma_k + (\mathrm{u} \cdot \nabla) n_k = R_k, \quad (5)$$

$$\Gamma_k = -n_k(\mu_k \cdot \mathrm{E}) - \mathrm{D}_k \cdot \nabla n_k, \quad (6)$$

где Γ_k – вектор потока -ой частицы, а R_k – их источник или сток, $\mathrm{D}_k = \mu_k T_k$ – коэффициент диффузии, u – скорость течения газа. Выражения для источников запишутся через коэффициенты скоростей реакций, участвующих в изменении концентрации электронов:

$$R_k = \sum_j x_j k_j N_n n_k. \quad (7)$$

Здесь x_j – мольная доля рассматриваемого сорта частиц, k_j – константа скорости реакции j, N_n – концентрация нейтральных частиц.

Для описания газодинамических эффектов и нагрева газа модель дополнена уравнениями Навье–Стокса, уравнением энергетического баланса для тяжелых частиц плазмы и уравнением для релаксации колебательной энергии молекул азота:

$$\frac{\partial(\rho h_h)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho h_h \mathrm{u}) - \nabla\left(\Lambda \nabla T + \sum_k h_k \Gamma_k\right) - \frac{\partial p}{\partial t} - \hat{\tau} : \nabla \mathrm{u} = S_{el} + \mathrm{Q}_{\mathrm{electronic}} + \mathrm{Q}_{\mathrm{rec}} + \mathrm{Q}_{\mathrm{VT}}, \quad (12)$$

$$\frac{\partial E_v}{\partial t} + \nabla \cdot (E_v \mathrm{u}) = \mathrm{Q}_{\mathrm{eV}} - \mathrm{Q}_{\mathrm{VT}}, \quad (13)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathrm{u}) = 0, \quad (14)$$

$$\frac{\partial (\rho \mathrm{u})}{\partial t} + (\rho \mathrm{u} \cdot \nabla)\mathrm{u} = -\nabla p + \nabla \cdot \hat{\tau}, \quad (15)$$

$$\hat{\tau} = \mu(\nabla \mathrm{u} + (\nabla \mathrm{u})^T) - \frac{2}{3}\mu(\nabla \mathrm{u})\hat{I}. \quad (16)$$

Здесь ρ и p – плотность и давление газа соответственно, u - скорость газа, E_v – удельная энергия колебаний, μ – коэффициент вязкости, а Λ – коэффициент поступательной теплопроводности. Удельная энтальпия h_h поступательной и вращательной степеней свободы тяжелых частиц связана с энтальпиями частиц $h_h = \sum_k Y_k h_k$, где Y_k – массовая доля -й частицы и $h_k = \int C_{p,k}^* dT$, где $C_{p,k}^* = C_{p,k} - (dE_v/dT)$ – удельная теплоемкость при постоянном давлении для k-й частицы без учета вклада колебательных степеней свободы. Термин $\sum_k h_k \Gamma_k$ в уравнении (12) соответствует потоку энтальпии, обусловленному диффузией. Выработка энергии связана с реакциями рекомбинации $\mathrm{Q_{rec}} = \sum_{rec} \varepsilon_{rec} R_{rec}$, скорость и коэффициент которых зависят от молекулярного иона; $\mathrm{Q_{electronic}} = \sum_l \varepsilon_l R_l$ представляет собой долю энергии, которая передается на нагрев нейтральных частиц в результате диссоциации N_2 при электронном ударе и тушения электронно-возбужденных молекул азота. Последние слагаемые в уравнениях (12) и (13) описывают VT (колебательно–поступательную) релаксацию и рассчитаны с использованием метода Ландау–Теллера, $Q_{VT} = \frac{E_v - E_{v0}}{\tau_{VT}}$, где E_{v0} – энергия колебаний в локальном равновесии, а τ_{VT} – время VT релаксации при столкновениях колебательно возбужденных молекул $N_2(v)$ с другими молекулами и атомами. Полный набор элементарных процессов в азоте включает реакции с участием следующих компонентов: N_2, N, $N_2(A)$, $N_2(B)$, $N_2(C)$, $N_2(a1)$, $N(d)$, $N(p)$, N^+, N_2^+, и N_4^+.

Размер области моделирования составляет 0,4λ × 2λ, т.к. именно эти размеры позволили создать одиночный плазмоид и изучить детали его формирования. На горизонтальных гранях заданы две идентичные волны, падающие в противоположных направлениях, образуя стоячую волну. При такой конфигурации расчетной области и падающих волн в стоячей волне имеется только одна пучность. В работе предполагалось, что электромагнитные волны с амплитудой E_0 =1,7 кВ/см и частотой 9,6 ГГц падают на обе длинные стороны расчетной области; то есть максимальное среднеквадратичное значение поля стоячей волны составляет 5,4 кВ/см, что превышает значение критического поля при таких условиях в азоте.

В данной работе используется кинетическая схема, включающая 62 плазмохимических реакций с участием нейтральных, возбуждённых и ионизированных форм азота, основанная на опубликованных данных и охватывающая процессы возбуждения, ионизации, рекомбинации, диссоциации и колебательных переходов. Реакции описаны через соответствующие поперечные сечения и коэффициенты скорости, рассчитанные на основе функции распределения энергии электронов, полученной из уравнения Больцмана. Учтены также обновления по сравнению с предыдущими моделями, включая новые реакции и уточнённые параметры [3,4,5].

Результаты численных расчётов для разряда в азоте при давлении 100 торр продемонстрировали динамику микроволнового пробоя, удлинение микроволнового плазмоида и его переход от диффузной формы к контрагированной. Представлена динамика изменения концентрации заряженных и возбуждённых частиц плазмы при изменении режима работы разряда.

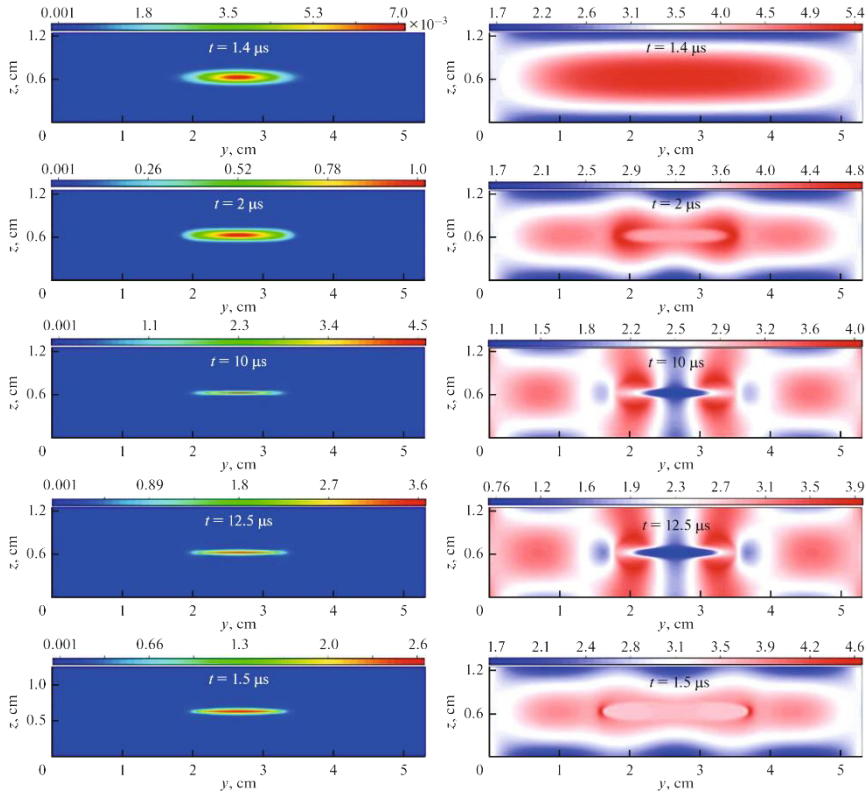


Рисунок 1. Распределение концентрации электронов (слева) и напряжённости электрического поля (справа) в СВЧ-разряде

Из рисунка видно, что максимальная напряжённость электрического поля наблюдается в центральной области и составляет 5.4 кВ/см. К моменту времени t = 2 мкс плотность электронов достигает значения 10^{20} $м^{-3}$, при этом плазмоид начинает искажать внешнее электрическое поле. К моменту времени t = 3-5 мкс плазмоид удлиняется до длины около 2 см, и разряд приобретает диффузную форму. Максимальное значение электронной плотности достигает 4.5×10^{20} $м^{-3}$ в момент времени t = 10 мкс, в этих условиях внешнее электрическое поле больше не проникает в микроволновый плазмоид, так как плазменная частота превысила частоту внешнего поля. В сжатом режиме наблюдается интенсивный нагрев газа в области разряда. К моменту времени t = 15 мкс плотность электронов незначительно уменьшается до значения 2.6 ×1020 м-3, температура газа повышается до 2160 К, а колебательная температура азота – до 3070 К. Это позволяет нам сделать вывод о том, что разряд перешёл от диффузной формы в контрагированную (нитевидную) [3].

Таким образом, данная работа вносит значительный вклад в развитие теории и практики плазменных технологий. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего совершенствования методов генерации плазмы, а также для разработки новых технологических процессов на её основе. Перспективы дальнейших исследований включают изучение взаимодействия плазмы с различными материалами, а также применение полученных данных для улучшения существующих и создания новых математических моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Fukunari M. et al.* Rocket propulsion powered using a gyrotron //Journal of Energy and Power Engineering. – 2017. – Vol. 11, No. 6. – C. 363-371.

2. *Moisan M., Pelletier J.* Physics of collisional plasmas: introduction to high-frequency discharges. – Springer Science & Business Media, 2012.

3. *A.A. Saifutdinova, A.R. Mardeev, A.A. Galiev [et al.].* Filamentation Dynamics of High-Pressure Microwave Discharge in Nitrogen // High Energy Chemistry. – 2024. – Vol. 58, No. 2. – P. 271-279.

4. *Saifutdinov A., Kustova E.* Simulation of filamentation dynamics of microwave discharge in nitrogen // Plasma Sources Science and Technology. – 2023. – Т. 32. – №. 12. – С. 125010.

5. *Saifutdinov A.I., Kustova E.V.* Dynamics of plasma formation and gas heating in a focused-microwave discharge in nitrogen //Journal of Applied Physics. – 2021. – Т. 129. – №. 2.

SIMULATION OF MICROWAVE DISCHARGE DYNAMICS IN MOLECULAR GASES FOR PLASMA AERODYNAMICS PROBLEMS

Mardeev A.R.

Supervisor: Sayfutdinov A.I., Full, Professor, Doctor of Physico-Mathematical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents a numerical simulation of a microwave discharge in molecular nitrogen at a pressure of 100 torr and a frequency of 9.6 GHz. A self-consistent physico-mathematical model has been developed that takes into account electrodynamics, heat and mass transfer, and detailed plasma chemical kinetics with 62 reactions. The evolution of plasmoids from a diffuse to a counteracted form is shown, as well as the dynamics of particle concentrations and plasma temperature parameters. The results obtained contribute to understanding the mechanisms of gas heating and can be used in problems of plasma aerodynamics and flow control at high speeds.

УДК 544.6.018; 544.6.076; 544.63

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ КАНАЛОВ

Сухарев А.О., Белов М.Д., Антипин А.М.

Научный руководитель: Нагулин К.Ю., доцент, д. т. н.,

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Данное исследование посвящено проблеме электролитно-плазменной обработки каналов изделий, изготовленных аддитивным методом. В работе предлагаются способы повышения эффективности обработки внутренних полостей и отверстий изделий и способы повышения стабильности процесса.

В современном производстве нашли широкое применение аддитивные методы изготовления деталей из-за ряда своих преимуществ в сравнении с традиционными методами. Детали, изготовленные из спеченного порошка аддитивным методом, имеют высокую шероховатость поверхности (порядка 10 - 40 мкм), неровности и поры, которые затрудняют применение этих деталей из-за высоких требований к качеству поверхности. Изготовленные аддитивным методом детали зачастую имеют в себе каналы и отверстия, которые сложно или невозможно обработать традиционными методами. В виду этого современное производство требует применения эффективных методов обработки печатных поверхностей. Один из наиболее универсальных и перспективных методов обработки печатных изделий - струйная электролитно-плазменная обработка (далее ЭПО) позволяющая производить селективную обработку поверхности с любой геометрией. Главными достоинствами технологии являются:

- Возможность обработки сложнопрофильных поверхностей деталей;
- Удаление заусенцев и скругление острых углов;
- Декоративное полирование металлоизделий;
- Очистка поверхности от загрязнений и подготовка ее для нанесения покрытий;
- Обработка каналов и внутренних полостей изделия.

Для проведения эксперимента с применением технологии ЭПО использовалась роботизированная система на основе KUKA KR04 (Германия), позволяющая производить

локальную обработку поверхности, каналов и полостей изделия. На рисунке 1 показана принципиальная схема установки. С помощью данной системы проводилась обработка исследуемых образцов, с последующем контролем качества поверхности. Электролит - 5% раствор по массе сульфата аммония ((NH4)2SO4) в дистиллированной воде.

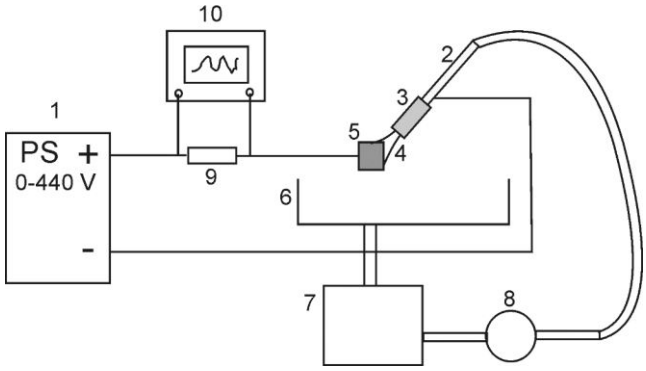


Рисунок 1. Лабораторная система для струйной ЭПО: 1- источник постоянного тока; 2 – сопло из нержавеющей стали; 3 – форсунка из фторопласта; 4 – струя электролита; 5 – обрабатываемая деталь; 6 – поддон для сбора электролита; 7 – накопительный бак с термостатом; 8 – насос перекачки электролита; 9 – измерительное сопротивление; 10 – осциллограф.

ЭПО, как и любой другой способ обработки, требует соблюдения определенных условий для стабильности процесса, потому что работа ведется с электрическим током и жидкими электролитами.

При обработке изделий с высокими показателями шероховатости Ra (около 40 мкм) рабочее напряжение необходимо увеличить до 400 - 450 В. По мере улучшения качества поверхности следует постепенно понижать напряжение до 350 - 380В в соответствии с текущей предполагаемой шероховатостью. Это позволяет добиться предельно качественной и равномерной обработки поверхности, путем постепенного понижения агрессивности воздействия. Положение сопла в канале или отверстии, равно как и на любой поверхности должно обеспечивать максимальное истечение электролита. В идеале струя должна быть направлена параллельно к поверхности изделия. Это защищает сопло от избыточного газообразования и, следовательно, предотвращает образование дуговых разрядов, кроме того скопление электролита в одном месте сдавливает парогазовую оболочку и вызывает избыточное травление материала в указанной зоне.

В процессе внутренней обработки каналов стоит учитывать особенности геометрии обрабатываемой поверхности и регулировать рабочее напряжение и скорость потока электролита для поддержания стабильной парогазовой оболочки. Так для обработки внутри каналов следует снизить напряжение на 20 - 40 В. Скорость движения сопла по поверхности играет не менее важную роль в качестве и скорости обработки. Для получения равномерно гладкой поверхности рекомендуется избегать остановок при движении сопла и подбирать скорость движения исходя из шероховатости обрабатываемой поверхности. Скорость потока электролита следует снизить на 20 – 30% для предотвращения скопления электролита и поддержания стабильного образования плазмы.

Для обеспечения высокого качества обработки внутри канала, рекомендуется обратить особое внимание на соосность сопла во время движения относительно канала, для лучшего истечения электролита. [2].

В случае если внутренняя поверхность канала или отверстия имеет остатки поддержек или высокий показатель шероховатости Ra, который затрудняет обработку соплом подходящего диаметра, необходимо используя сопло меньшего диаметра на высоких показателях напряжения (400 - 450В) «пробить» вход в канал или отверстие. Дальнейшая обработка ведется соплом большего диаметра и со средним показателем напряжения.

При проведении регулярной обработки каналов рационально применять сопла, специализирующиеся на их обработки. Пример такого сопла представлен на рисунках 2 и 3, и представляет собой заглушенную с торца диэлектрическую трубку с 4 отверстиями, расположенными на окружности, параллельно торцу. В ходе проведения экспериментов был испытан образец такого сопла, который показал свою высокую эффективность за счет того, что обработка поверхности ведется секторами по 90°, в результате чего обрабатывается большая площадь, чем обычным соплом-трубкой. Для проведения дальнейших испытаний было изготовлено сопло аналогичной конструкцией, с массивом отверстий ромбовидной формы, которое обрабатывает сектор в 360°. Такая конструкция показала себя наиболее эффективной для обработки внутренней поверхности.

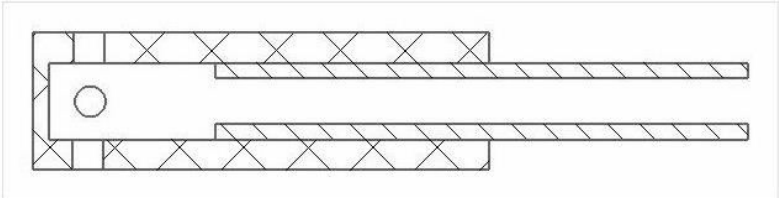


Рисунок 1 – Схема сопла для обработки каналов;

Рисунок 2. Диэлектрический наконечник сопла;

Траектория движения таких сопел в канале должна быть спиралевидной, для исключения необработанных участков. При обработке каналов обычным трубчатым соплом необходимо поворачивать деталь вокруг оси по мере увеличения площади обработанной поверхности, так как при таком виде обработки воздействие оказывается на узкие участки поверхности, в результате чего поверхность обрабатывается не равномерно. Сопло, по мере продвижения вглубь, должно двигаться без давления на него и оставаться на безопасном расстоянии до необработанного участка. Следует уделять внимание состоянию сопла при обработке узких каналов, так как сопло быстро истирает безопасное расстояние трубки-диэлектрика. [3].

После обработки специальным соплом шероховатость внутренней поверхности каналов снизилась с 20 до 1,5 мкм по Ra. Сравнение состояния до и после обработки представлено на рисунке 3. В результате полировки внутренняя поверхность приобрела отражательную способность, из канала были удалены остатки поддержек, рельеф стал гладким.

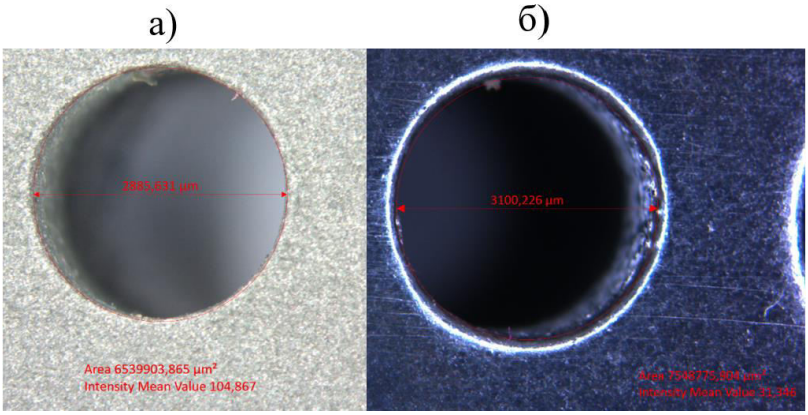


Рисунок 3. сравнение отверстия: а) - до обработки; б) - после обработки;

Проведенные эксперименты показали, что применение специальных сопел для обработки и изменение режима обработки в соответствии с поверхностью канала повышают эффективность ЭПО для обработки внутренних поверхностей изделий. Данная технология является перспективной нуждается в проведении дальнейших исследований.

Результаты были получены в рамках реализации Программы развития Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение№075-15-2025-129)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Белов М.Д., Терентьев А.А., Нагулин К.Ю., Гильмутдинов А.Х.* Струйная электролитно-плазменная обработка как способ полировки поверхности сложнопрофильных изделий аддитивного производства // III Международная конференция «Газоразрядная плазма и синтез наноструктур», 2022. - ISBN 978-5-907665-16-3. – С. 377-380.

2. *Белов М.Д., Сухарев А.О., Постнов В.В., Терентьев А.А., Нагулин К.Ю., Гильмутдинов А.Х.* Технология обработки каналов и полостей методом электролитно-плазменной обработки. V Международная конференция «Газоразрядная плазма и синтез наноструктур». - 2024.

3. *Куликов И.С.* Электролитно-плазменная обработка материалов / И.С. Куликов, С.В. Ващенко, А.Я. Каменев. – Минск: Беларус. навука, 2010 – 232 с.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF ELECTROLYTE-PLASMA TREATMENT OF CHANNELS

Sukharev A.O., Belov M.D., Antipin A.M.

Supervisor: Nagulin K.Yu., Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. This study is devoted to the problem of electrolyte-plasma treatment of channels of products manufactured by the additive method. The paper suggests ways to improve the processing efficiency of internal cavities and openings of products and ways to increase the stability of processing.

УДК 544.6.018; 544.6.076; 544.63

ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СЕТЧАТЫХ СТРУКТУР, ИЗГОТОВЛЕННЫХ АДДИТИВНЫМ МЕТОДАМИ

Сухарев А.О., Белов М.Д., Терентьев А.А.

Научный руководитель: Нагулин К.Ю., доцент, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе исследуется эффективность электролитно-плазменной обработки металлических сетчатых структур, изготовленных аддитивными методами. Цель исследования повысить эксплуатационные характеристики изделий имеющих сетчатую структуру, путем улучшения качества поверхности изделия.

Применение пространственных сетчатых структур это один из способов оптимизации деталей аддитивного производства. Их использование позволяет сократить количество материала необходимого для изготовления и снизить вес готового изделия (рисунок 1). Изменение типа ячеек, их размеров и плотности позволяет сетчатой структуре эффективно поглощать ударную энергию в различных направлениях. Латис структура позволяет эффективно производить теплообмен, что позволяет изготавливать миниатюрное системы охлаждения, катализаторы. Изменяя расстояние между ячейками сетки возможно получит

систему фильтрации жидкости и газа, что актуально для медицинской, нефтегазовой, авиационной и автомобильной промышленности.

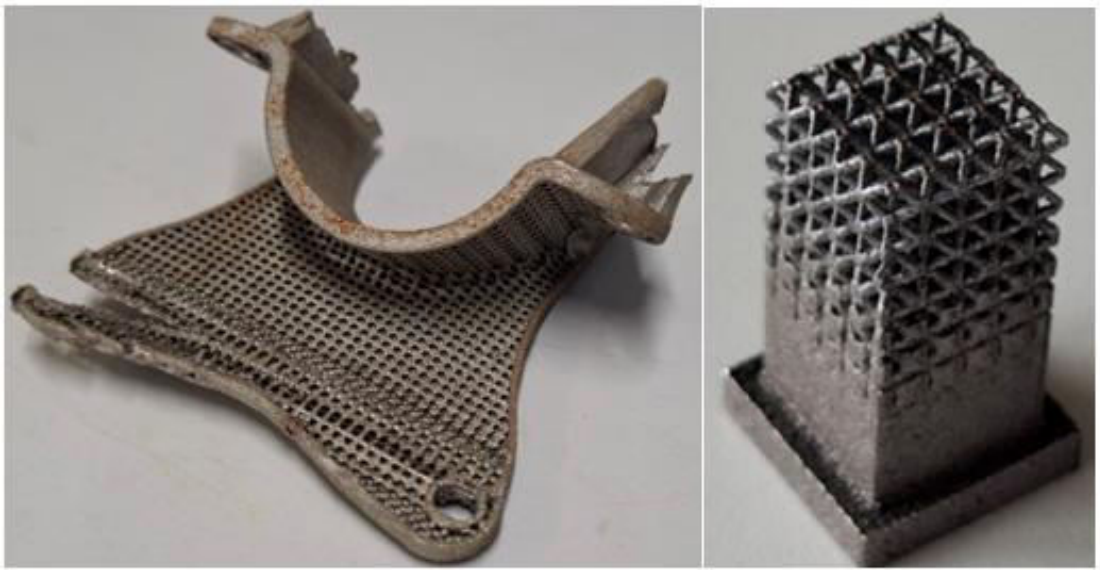


Рисунок 1. Пример использования латис структур в печатных изделиях;

Аддитивно изготовленные сетчатые объёмные структуры имеют остатки поддержек для печати и высокий показатель шероховатости поверхности, что затрудняет их применение для большинства задач. Остатки поддержек могут вызвать повреждения соприкасающихся деталей или всего механизма, а также органов, при использовании сетчатых структур в имплантатах. Высокий показатель шероховатости повышает трение жидкости или газа, проходящих через структуру, что снижает показатели теплообмена, фильтрующей и катализационной способности изделий.

Совокупность данных особенностей латис структур требует применения особых методов для их обработки. Механический методы обработки невозможно применить из-за геометрических особенностей изделий. Применение пескоструйной обработки может повредить тонкие ячейки или забить их обрабатывающим материалом. Химическая полировка неспособна убрать поддержки от печати и требует много времени на обработку. Метод электрохимической полировки не способен обработать ячейки, находящиеся внутри структуры из-за экранирования. «Сухая» электрохимическая полировка имеет малую применимость из-за того, что гранулы с электролитом могут забиваться в ячейки, что вызывает неравномерную обработку или повреждение изделия. Наиболее актуальным способом обработки ячеистых структур является струйная электролитно-плазменная полировка (ЭПО), так этот метод лишен эффекта экранирования, удаляет поддержки, требует сравнительно мало времени для обработки. [1].

В эксперименте по обработке использовались 3 изделия (рисунок 2), имеющих пространственные сетчатые структуры, изготовленные из сплавов Inconel718 и РН1.

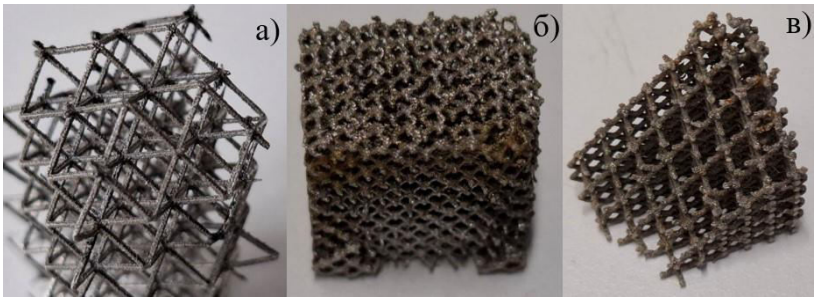


Рисунок 2. Обрабатываемые изделия; а) – изделие из Inconel 718; б), в) - изделия из РН1;

Измерить показатель шероховатости не представляется возможным, однако сравнение снимков поверхности с аналогичными аддитивными изделиями указывает на шероховатость порядка 9 – 12 мкм по R_a. Для проведения обработки использовалась установка струйной электролитно-плазменной обработки с рабочим напряжением 400 В, электролит – 5% водный раствор по массе $(NH_4)_2SO_4$. В ходе эксперимента изделия обрабатывались до достижения шероховатости по R_a порядка 1 мкм. Сопло для подачи электролита устанавливалось таким образом, чтобы струя проходила максимально количество ячеек, обеспечивая равномерность обработки пор всему сечению структуры. Результаты обработки представлены на рисунке 3. [2]

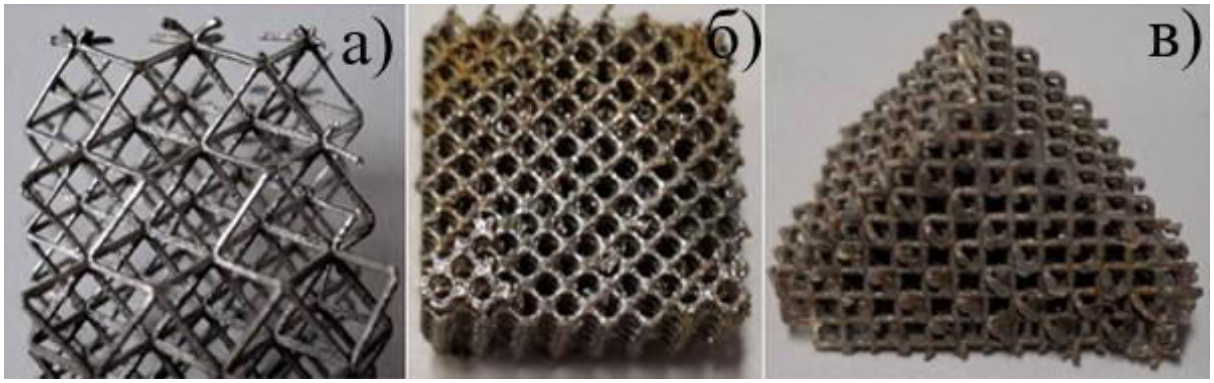


Рисунок 3. Обработанные участки изделий; а) – изделие из Inconel 718;
б), в) - изделия из PH1;

В ходе обработки с поверхности структур были удалены неспечённые частицы порошка. Образец из сплава Inconel 718 до обработки имел границы ячеек со средней толщиной 0,4 мм, с ярко выраженными неровностями и выпирающими частицами. В результате обработки его толщина уменьшалась до 0,26 мм, профиль границ ячеек выровнялся, поверхность приобрела отражательную способность. Углы, образованные пересечением границ ячеек в результате обработки, скруглились. Ячейки имеют равномерную обработку в независимости от расположения в структуре. Для обработки экспериментального участка образца до достижения шероховатости по R_a порядка 1 мкм потребовалось 1,5 минуты. Было проведено исследование образца с помощью микроскопа, результаты представлены на рисунке 4.

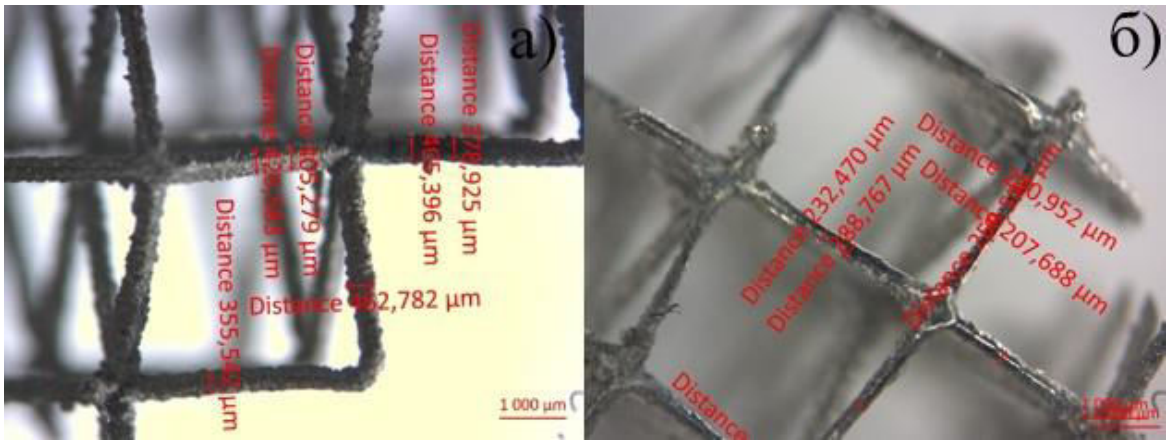


Рисунок 4. Фото образца из Inconel 718 под увеличением 1,5х; а) – до обработки;
б) – после обработки;

Образцы, изготовленные из стали PH1 имеют отражательную способность. Ячейки равномерно обработаны по всему объему исследуемых зон обработки, углы на границах скруглены, поверхность гладкая. Размер ячеек данных структур на порядок меньше чем у

образца из Inconel 718, в результате чего, более подробное исследование качества поверхности затруднено. Для обработки данных изделий до достижения шероховатости по R_a порядка 1 мкм потребовалось 2,5 минуты. На рисунке 5 представлены снимки на микроскопе исследуемых образцов с увеличением 1,5х. На снимках видно уменьшение выступающих частиц и выравнивание контура ячеек. Во время обработки структура очистилась от загрязнений и коррозии [3].

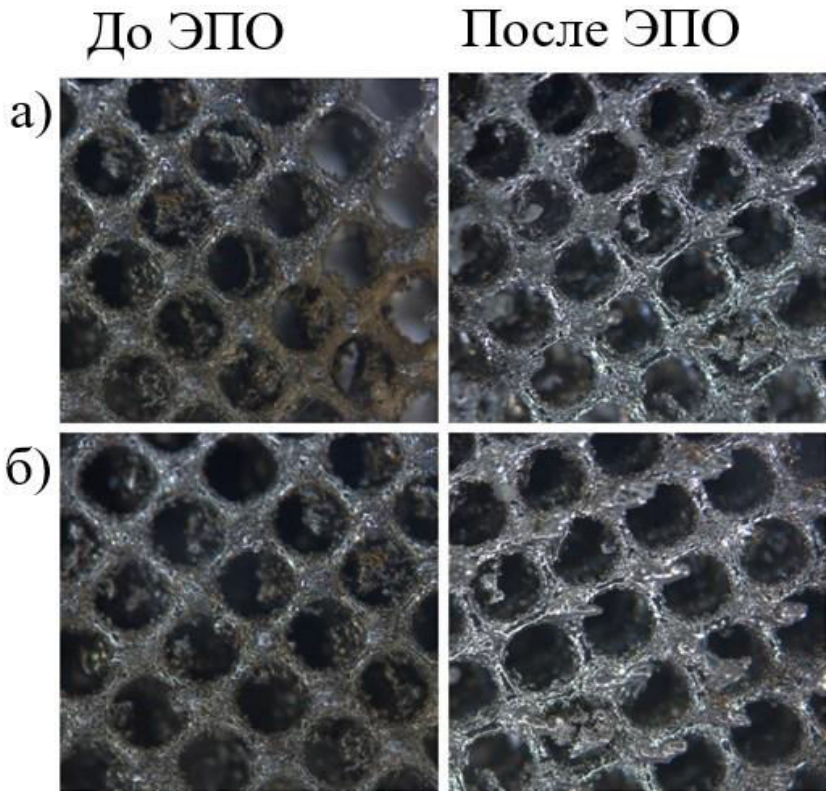


Рисунок 5. Фото образцов из PH1 под увеличением 1,5х; а) – образец 1; б) – образец 2.

Входе эксперимента технология электролитно-плазменной полировки показала свою эффективность для обработки пространственных сетчатых структур. Результаты микроскопии полированных участков показали примерную шероховатость 1 мкм по R_a, и возможность применения технологии ЭПО для очистки уже использующихся латис структур от загрязнений. Полученное качество поверхности удовлетворяет требованиям большинства отраслей, где могут применятся ячеистые структуры. Поскольку данная технология обработки является наиболее перспективной среди других методов, то необходимо проведение исследований для её дальнейшего внедрения в промышленность.

Результаты были получены в рамках реализации Программы развития Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение№075-15-2025-129)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *X.P. Wang, H.L. Duan, Y.W. Sun, H. Gao Advances* in the research of polishing technologies for additive manufacturing metal parts Surf. Technol., 49 (04) (2020), pp. 1-10, 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2020.04.001.

2. Electro-Polishing VS Chemical Polishing World Iron & Steel Co., Ltd Jul 21, 2021 https://www.worldironsteel.com/news/electro-polishing-vs-chemical-polishing-47784594.html Текст: электронный. – 2025. – URL: https://aws.amazon.com/ru/what-is/python (дата обращения: 22.06.2025).

3. *Gaysin A.F., Gil'mutdinov A.K., Mirkhanov D.N.* Electrolytic-plasma treatment of the surface of a part produced with the use of additive technology Metal Science and Heat Treatment. 2018. Т. 60. № 1-2. С. 128-132.

ELECTROLYTE-PLASMA PROCESSING OF SPATIAL MESH STRUCTURES OBTAINED BY ADDITIVE METHODS

Sukharev A.O., Belov M.D., Terentyev A.A.
Supervisor: Nagulin K.Yu., Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. In this article, the effectiveness of electrolyte-plasma treatment of metal mesh structures made by additive methods is investigated. The purpose of the study is to improve the performance characteristics of products with a mesh structure by improving the surface quality of the product.

УДК 681.7.062.2

ТОНКИЕ ПЛЕНКИ ОКСИДОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ

Трекушевский Д.С.
Научный руководитель: Сидорова С.В., доцент, к. т. н.
(Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Москва)

Аннотация. В статье представлен анализ материалов и методов изготовления диэлектрических лазерных зеркал на основе тонких оксидных плёнок. Особое внимание уделено выбору материалов для ближнего УФ-диапазона и технологии магнетронного распыления для формирования функциональных слоев зеркала.

Современные лазерные технологии невозможно представить без использования лазерных зеркал. Зеркала выполняют важные функции генерации и позиционирования лазерного луча в различных областях лазерной техники, оптики и фотоники. Простейшей конструкцией зеркала является тонкая металлическая пленка на стеклянной подложке. Однако такая конструкция обладает существенным недостатком – высокими потерями на поглощение. Потери даже в 5% поглощаемого излучения серьезно сказываются на производительности в лазерных системах с большим количеством зеркал, а в мощных промышленных лазерах могут привести к их разрушению. Потребность в зеркалах с высоким коэффициентом отражения привела к распространению новой конструкции лазерного зеркала на основе брэгговского отражателя. Брэгговское зеркало представляет собой фотонный кристалл, состоящий из нескольких пар слоев двух различных оптических материалов [1]. Такая конструкция позволяет достичь конструктивной интерференции отраженных лазерных лучей и, тем самым, добиться высокого коэффициента отражения, близкого к единице. В качестве диэлектрических материалов для отражающих слоев таких зеркал зачастую используются прозрачные оксиды. Они обладают низкой поглощательной способностью и высокой термической прочностью, что делает их подходящими материалами для изготовления диэлектрических зеркал [2].

Диэлектрические зеркала, за счет своих оптических свойств находят применение во многих областях оптики, фотоники и лазерных технологий. В первую очередь, зеркала используются для генерации лазерного луча в лазерных резонаторах [2]. Также брэгговские отражатели являются элементами лазерных установок и применяются для позиционирования лазерного луча [3]. Вместе с тем, брэгговские зеркала имеют потенциал для использования в теплозащитных системах, для производства оптических и фотонных интегральных схемах, в измерительном оборудовании (спектрофотометрия, Рамановская спектрометрия) [4].

Однако в настоящее время наиболее востребованы лазерные зеркала для УФ-спектра. Это вызвано сложностями при работе с УФ-излучением ввиду возрастающего поглощения интенсивности света даже прозрачными материалами по мере приближения к экстремальному УФ, а также нестабильностью значения показателя преломления [4]. Вместе

с тем УФ-лазеры имеют меньшие размеры пятна фокусировки [5], что позволяет использовать их в областях науки и производства с повышенными требованиями к точности обработки. Это открывает новые возможности для развития спектроскопии [6], биомедицинских технологий [7] и производства микроэлектроники [5].

Диэлектрические (брэгговские) лазерные зеркала представляют собой одномерный фотонный кристалл, состоящий из нескольких пар слоев прозрачных материалов [1]. Фотонный кристалл – это периодическая структура, которая позволяет влиять на распространение излучения в одном или нескольких направлениях. Каждый фотонный кристалл обладает фотонной запрещенной зоной (ФЗЗ) – областью частот, не пропускаемых структурой фотонного кристалла [8]. Устройство брэгговской решетки основано на явлении конструктивной интерференции (рисунок 1).

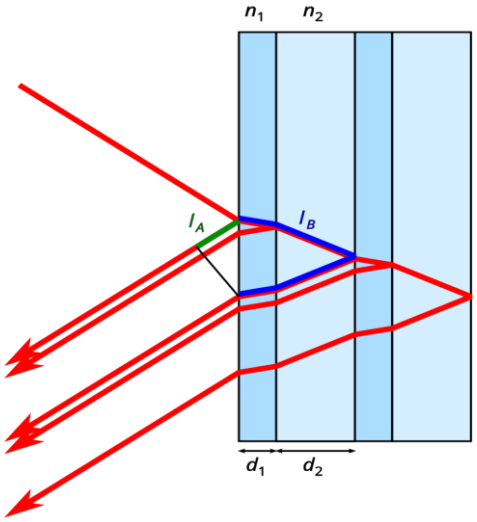


Рисунок 1. Принцип работы брэгговского зеркала: n_1 – L-слой, n_2 – H-слой, d_1 – толщина L-слоя, d_2 – толщина H-слоя, I_A – отраженный луч, I_B – преломленный луч

Отражатель состоит из нескольких пар слоев с низким и высоким показателями преломления (L-слои и H-слои соответственно), сформированных на подложке с высоким пропусканием света. Оптическая толщина каждого слоя подбирается равной четверти средней длины волны ФЗЗ [9]:

$$n_1 d_1 = n_2 d_2 = \frac{\lambda_{cp}}{4}. \quad (1)$$

Из-за этого оптические пути I_A и I_B различаются ровно на одну длину волны, поэтому разность фаз между двумя волнами, отраженными от H-слоя, составляет 2π, то есть разность фаз отсутствует. В тоже время разница в оптическом пути лучей, отраженных от L-слоев, составляет половину длины волны и смещает фазу на π, однако ввиду перехода из более плотной оптической среды в менее плотную фаза отраженного луча дополнительно смещается на π и суммарно это смещение составляет 2π. В результате все отраженные волны имеют одинаковую фазу этому отраженные лучи света совпадают по фазе, и лучи усиливают друг друга, что обеспечивает высокий коэффициент отражения, который может превышать 99,99% [1,9]. При этом ширина ФЗЗ прямо пропорциональна разнице показателей преломления [10].

Разнообразие материалов и методов создания диэлектрических лазерных зеркал вызывает необходимость в определении требуемой технологии их изготовления.

Целью данной работы является анализ и выбор материалов и методов изготовления диэлектрических зеркал для последующего проектирования зеркала.

В конструкции диэлектрического зеркала присутствуют три вида элементов: L-слои, H-слои и подложка. В качестве основных критериев для выбора материалов

функциональных слоев рассматривались оптические, диэлектрические и термические свойства материалов. Эти группы параметров различных материалов влияют как на эффективность самих зеркал, так и на их технологичность. К оптическим свойствам относится показатель преломления материала и коэффициент потерь на поглощение (для L-слоев). Также были выбраны в качестве критериев диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь, поскольку эти параметры имеют важное значение для некоторых методов формирования функциональных слоев. Кроме того, выбор материалов определялся, исходя из температур фазового перехода, теплоемкости и коэффициента температурного расширения. Это не только влияет на процесс изготовления, но и важно при работе с высокомощными лазерами.

Для формирования L-слоев наиболее часто используются оксид кремния SiO_2 и оксид алюминия Al_2O_3. Физические свойства данных материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Физические свойства L-оксидов

Свойства	L-оксиды	
	SiO_2	Al_2O_3
Показатель преломления	1,44–1,5	1,6–1,7
α, ppm[1]	95	53
Диэлектрическая проницаемость[2]	2,5 3,9	7 10
Тангенс угла диэлектрических потерь[3], 10^3	0,1	0,3
Температура фазового перехода[4], К	393 436 503 848 1143 1743 2001	773–973 973–1173 1173
Теплоемкость[5], Дж/(моль*К)	79,0–82,7	44,0–44,6
КТР, K^{-1} *10^{-6}	5–7	4–6

В качестве функционального материала для разработки зеркала был выбран оксид кремния SiO_2. Хотя оксид алюминия обладает более низкими потерями на поглощение по сравнению с оксидом кремния [11], выбор в пользу SiO_2 обусловлен лучшими диэлектрическими [12] и термическими свойствами [2], а также низким и относительно стабильным в ближнем УФ-спектре показателем преломления при условии предварительной термической обработки (термический отжиг) [4].

Среди материалов, которые используются для формирования H-слоев, наиболее распространены следующие оксиды: оксид циркония ZrO_2, оксид титана TiO_2, оксид тантала Ta_2O_5, оксид гафния HfO_2, оксид ниобия Nb_2O_5.

Оксид циркония ZrO_2 обладает наименьшим показателем преломления (1,8–2,1) однако является одним из наиболее термически стабильных материалов. К таковым относятся также оксиды тантала Ta_2O_5 и гафния HfO_2, при этом показатель преломления у них несколько выше оп сравнению с ZrO_2 (2,02–2,24 и 1,9–2,05 соответственно). Оксид титана TiO_2 обладает наибольшим показателем преломления из всех, который может быть увеличен с применением термообработки в процессе формирования функциональных слоев.

[1] Потери рассчитывались в защитном слое L-оксида на зеркале SiO2/Ta2O5.

[2] Верхнее значение – для 20 °С, нижнее значение – для 300 °С.

[3] Значения взяты для пленок, полученных методами реактивного магнетронного распыления (Al2O3) и магнетронного распыления в ВЧ-разряде (SiO_2).

[4] Фазы кремния по возрастанию температуры: γ-тридимит, β-тридимит, β-кристобалит, β-кварц, α-тридимит, α-кристобалит, α-кварц, расплав. Фазы алюминия по возрастанию температуры: низкотемпературные фазы (γ-,η-, χ-Al_2O_3), высокотемпературные фазы, α-Al_2O_3 (корунд).

[5] Молярная изобарная теплоемкость при температуре 298,15 К. Зависит от фазы оксида.

Однако существенным недостатком оксида титана являются худшие диэлектрические свойства, что может осложнить процесс нанесения тонких пленок некоторыми методами. Компромиссным вариантом является оксид ниобия Nb_2O_5. Он обладает высоким показателем преломления, хорошими диэлектрическими свойствами, однако является термическими менее стабильным, что наоборот может осложнить процесс термообработки.

Обобщенные данные о физических свойствах Н-оксидов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Физические свойства Н-оксидов

Свойства	Н-оксиды				
	ZrO_2	TiO_2	Ta_2O_5	HfO_2	Nb_2O_5
Показатель преломления[6]	1,8–2,1	2,2–2,5 2,5–3	2,02–2,24	1,90–2,05	2,15–2,5
Диэлектрическая проницаемость[7]	1012	10–80	12–30 35,4	14–18 25	100
Тангенс угла диэлектрических потерь[8], 10^3	0,3–1,0	5–6	0,9	0,3–0,7	1,0–2,0
Температура фазового перехода, К	723	523	1470	1033	653 1323 1423
Теплоемкость[9], Дж/(моль*К)	55,9	55,1–55,3	134,9	60,3	132,0
КТР, K^{-1} *10^{-6}	4–8	7–10	8	-1–5	6

В результате анализа материалов, используемых для изготовления Н-слоев диэлектрических зеркал, для последующего изготовления лазерного зеркала был выбран оксид титана TiO_2. Хотя он обладает наихудшими диэлектрическими свойствами из всех приведенных оксидов [12], оксид титана имеет наибольший показатель преломления, с потенциалом его увеличения в процессе термообработки, при этом температура фазового перехода достаточно низкая по сравнению с другими оксидами, а кристаллическая фаза при достаточно высокой температуре является необратимой [13].

Выбор материала подложки обуславливается необходимостью иметь высокое пропускание для подложки. С одной стороны, поглощение света при работе с мощными лазерами будет способствовать перегреву зеркала, с другой стороны может отразиться на результате сложения отраженных лучей и снизить суммарный коэффициент отражения зеркала. Высоким пропусканием света обладает кварцевое стекло [14]. Наилучшим пропусканием в УФ-спектре обладают стекла марок Spectrosil (99% в диапазоне длин волн 170–1000 нм) и OH Vitreosil (95–99% в диапазоне длин волн 280–1000 нм). Российскими аналогами являются стекла марок КУ-1 и КУ-2 соответственно [15].

Данные о пропускании стекол различных марок приведены в таблице 3.

[6] Для TiO_2 верхнее значение – для аморфной фазы (анатаз), нижнее – для кристаллической фазы (рутил). Для ZrO_2 зависит от фазового перехода при термообработке. Для Ta_2O_5 и HfO_2 – от напуска реактивного газа при распылении.

[7] Для ZrO_2, HfO_2 верхнее значение – для 20 °С, нижнее значение – для 300 °С. Для TiO_2 и Ta_2O_5 значение обратно пропорционально концентрации реактивного газа при распылении.

[8] Значения взяты для пленок, полученных методами реактивного магнетронного распыления (ZrO_2) и магнетронного распыления в ВЧ-разряде (TiO_2, HfO_2, Ta_2O_5, Nb_2O_5).

[9] Молярная изобарная теплоемкость при температуре 298,15 К. Зависит от фазы оксида.

Таблица 3

Пропускающая способность кварцевого стекла различных марок

Марка стекла/ Пропускание в диапазоне длин волн	170–200 нм	200–280 нм	280–1000 нм	1000–2000 нм	2000–2500 нм	2500–3000 нм	3000–3500 нм
Spectrosil	99%	99%	99%	85–99%	60–90%	0–70%	70–85%
OH Vitreosil	<60%	60–95%	95–99%	90–99%	80–95%	0–80%	80–85%
OG Vitreosil	<40%	40–90%	95–99%	90–99%	80–95%	0–80%	80–85%
IR Vitreosil	<40%	4–90%	90–95%	95%	95%	85–95%	85%

Существует множество различных методов формирования тонких оксидных пленок. Среди них золь-гель метод, метод погружения, а также группа вакуумных методов [4]. Исходя из возможностей лабораторного оборудования, были рассмотрены вакуумные методы нанесения тонких пленок. Эта группа методов в свою очередь подразделяется на химические и физические методы осаждения. Химическое осаждение не подходит ввиду отсутствия оборудования для работы с токсичными веществами [16]. Физическое осаждение оксидных пленок может осуществляться следующими методами: электронно-лучевое испарение, магнетронное распыление в среде реактивного газа (кислород), магнетронное распыление из оксидной мишени. Возможности и ограничения данных методов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Возможности и ограничения физических методов осаждения оксидных пленок

Метод	Рабочее давление, Па	Максимальная температура плавления напыляемого материала, К	Потребляемая мощность источника, кВт	Скорость напыления материала, нм/мин
Электронно-лучевое испарение	10^{-7}–10^{-8}	3000	0,75–1,5	600–6000
Реактивное магнетронное распыление	10^{-3}	–	4 + 2,7	0,1
Магнетронное распыление из оксидной мишени	10^{-4}	–	0,16–1,0	13,1–23,2

После анализа характеристик приведенных методов выбор сделан в пользу ВЧ-магнетронного распыления. Отказ от электронно-лучевого испарения обусловлен слишком высокими скоростями испарения, из-за чего невозможно соблюсти необходимую точность для толщин получаемых пленок. Реактивное магнетронное распыление имеет меньшую производительность при распылении оксидов при высокой потребляемой мощности и сопоставимом рабочем давлении процесса. Кроме того, использования кислорода в качестве реактивного газа повышает пожароопасность процесса. Поэтому наиболее подходящим методом нанесения тонких пленок является магнетронное распыление из мишеней оксида кремния SiO_2 и оксида титана TiO_2.

В ходе выполнения работы была обоснована актуальность применения диэлектрических лазерных зеркал в различных областях лазерной техники, оптики и фотоники. Особенно востребованным является применение зеркал для ближних УФ-лазеров, используемых в производстве микроэлектроники, спектроскопии и биомедицинских технологиях. По результатам анализа материалов, используемых для изготовления зеркал, был составлен перечень наиболее распространенных материалов (L- и H-оксиды, материалы

подложки) и приведены их физические свойства, влияющие на оптические характеристики и технологичность лазерных зеркал.

Для последующего изготовления диэлектрического зеркала были выбраны оксид кремния SiO_2 и оксид титана TiO_2 в качестве L- и H-оксидов соответственно. Преимуществом оксида кремния является совокупность подходящих оптических и диэлектрических свойств. Оксид титана был выбран, исходя из его наилучших оптических свойств. Оба материала имеют высокий потенциал улучшения оптических свойств при термической обработке. Наиболее подходящим материалом подложки является кварцевое стекло марки КУ-1 ввиду его высокого пропускания. Проведен анализ методов формирования функциональных слоев, в результате которого выбран метод магнетронного распыления из оксидной мишени. Метод обладает высокой скоростью нанесения тонких оксидных пленок, меньшей мощностью, независимостью от термических характеристик распыляемого материала и безопасностью. Дальнейшее направление исследований связано с проведением расчетов геометрических и оптических параметров диэлектрического лазерного зеркала и отработкой режимов нанесения тонких пленок для функциональных слоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кульчин Ю.Н.* Современная оптика и фотоника нано- и микросистем — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2016. — 440 с. — ISBN 978-5-9221-1646-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/91158 (дата обращения: 22.05.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. *Притоцкий Е.М., Притоцкая А.П., Панков М.А.* Многослойные диэлектрические зеркала для мощных полупроводниковых лазеров // Computational nanotechnology. 2017. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/mnogosloynye-dielektricheskie-zerkala-dlya-moschnyh-poluprovodnikovyh-lazerov (дата обращения: 22.07.2025).

3. *Szipőcs R., & Kőházi-Kis A.* (1997). Theory and design of chirped dielectric laser mirrors. Applied Physics B: Lasers and Optics, 65(2), 115–135. doi:10.1007/s003400050258

4. *Yepuri V., Dubey R.S., & Kumar B.* (2020). Rapid and economic fabrication approach of dielectric reflectors for energy harvesting applications. Scientific reports, 10(1), 15930. https://doi.org/10.1038/s41598-020-73052-w

5. *Шелыгина С.Н., Акимов А.А., Буров Н.В., Шаймадиева Д.С., Рао К.* Ультрафиолетовая лазерная резка // Фотоника. – 2019. – Т. 13, № 3. – С. 252–261. – DOI: 10.22184/FROS.2019.13.3.252.261.

6. *Mao Y., Zhao D., Yan S. et al.* A vacuum ultraviolet laser with a submicrometer spot for spatially resolved photoemission spectroscopy. Light Sci Appl 10, 22 (2021). https://doi.org/10.1038/s41377-021-00463-3

7. *Паршина А.А., Филиппова Е.М.* Применение лазерного излучения в медицине: обзор и перспективы // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – С. 194. – DOI: 10.18411/tmio-02-2023-288.

8. *Ворзобова Н.Д., Денисюк И.Ю.* Оптические методы формирования микроэлементов информационных систем - СПб: Спб ГУ ИТМО, 2008. - 82 с. - 100 экз.

9. *Bertilsson F.* Design of Multilayer Dielectric Mirrors Optimized for Femtosecond Laser Pulses //Lund Reports on Atomic Physics. – 2015.

10. *Macleod H.A.* (2017). Thin-Film Optical Filters (5th ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/b21960

11. *Азарова В.В.* Исследование возможности применения оксида алюминия в качестве материала с низким показателем преломления для напыления диэлектрических зеркал лазерных гироскопов / В.В. Азарова, А.С. Данилов // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники: материалы 26-й Всероссийской молодежной научной конференции, Ульяновск, 24–26 октября 2023 г. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2023. – С. 249-251. – DOI 10.61527/APPFE-2023.249-251. – EDN ACPDQE.

12. *Robertson J.* (2004). High dielectric constant oxides. http://dx.doi.org/10.1051/epjap:2004206. 28. 10.1051/epjap:2004206.

13. *Бачериков Ю.Ю., Дмитрук Н.Л., Конакова Р.В., Кондратенко О.С., Литвин О.С., Миленин В.В., Охрименко О.Б., Капитанчук Л.М., Светличный А.М., Поляков В.В., Шелкунов А.А.* Влияние быстрого термического отжига на свойства тонких диэлектрических пленок оксидов гадолиния, титана и эрбия на поверхности карбида кремния // Журнал технической физики, 2007, том 77, выпуск 2 URL: https://journals.ioffe.ru/articles/9061 (дата обращения: 26.04.2025).

14. *Немилов С.В.* Оптическое материаловедение: оптические стекла - Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2011. - 175 с. - 100 экз.

15. ГОСТ 15130—86. Стекло кварцевое оптическое. Общие технические условия. — Введ. 1988-01-01. — М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. — 30 с.

16. *Панфилов Ю.В.* Формирование функциональных слоев - Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018.

OXIDE THIN FILMS FOR LASER DIELECTRIC MIRRORS

Trekushevskii D.S.

Supervisor: Sidorova S.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Bauman Moscow State Technical University, Moscow)

Abstract. The article provides a analysis of materials and methods for manufacturing dielectric laser mirrors based on thin oxide films. Special attention is paid to material selection for the near-UV range and magnetron sputtering technology for forming mirror functional layers.

УДК 527.525

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА В АРГОНЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ И КРЕМНИЕВЫХ НАНОСТРУКТУР

Фазулзянов Р.А.

Научный руководитель: Сайфутдинов А.И., профессор, д. ф-м. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Представленная работа направлена на исследование и анализ параметров основных характеристик плазмы дуговых разрядов в аргоне с учетом испарения углерода и кремния в разрядный промежуток. В данной работе в качестве среды моделирования было использовано программное обеспечение COMSOL Multiphysics, в котором задавались необходимые уравнения, начальные и граничные условия, геометрия разрядного промежутка. Результаты численных исследований продемонстрировали интенсивное испарение углерода с катода и испарение кремния с поверхности композитного анода.

Постановка проблемы

На данный момент в мире существуют множество методов синтеза наноструктур. Однако большое внимание заслужили плазмохимические методы за счет относительной дешевизны процесса. Главным образом принцип плазменного синтеза с помощью дугового разряда заключается в сильном нагреве электродов из-за чего материал на них начинает испаряться и оседать на стенках разрядной камеры. Микродуги используются в плазменном синтезе наноструктур, в миниатюрных ионизационных детекторах для анализа состава материалов, в аддитивном производстве, микросварке и ремонте поврежденных поверхностей дорогих компонентов. Несмотря на такое широкое применение атмосферных микродуговых разрядов, следует отметить, что их экспериментальная диагностика

представляет сложную задачу из-за их малых размеров. Как с практической точки зрения, так и с точки зрения фундаментальных исследований, выгодно знать, как интегральные параметры плазменного разряда, так и их пространственное распределение. Изучать свойства плазмы в подобных условиях становится крайне трудной задачей, что делает математическое моделирование удобным инструментом в прогнозировании параметров плазмы. Недостающие экспериментальные данные можно получить с помощью численного моделирования процессов разряда. Таким образом существует необходимость в разработке физико-математической модели газового разряда, позволяющей осуществлять контроль параметров плазмы, а также прогнозировать испарение материала электродов в разрядный промежуток, что чрезвычайно важно с точки зрения прогнозирования наноструктур.

Теоретическое обоснование

Теоретический базис исследования основан на расширенном гидродинамическом описании плазмы с учетом уравнения теплопроводности для описания нагрева электродов. За основу взяты работы [1-4]. Для описания поведения различных компонент плазмы использованы уравнения неразрывности для концентрации рассматриваемых сортов частиц, баланса плотности энергии, уравнение Пуассона, уравнение баланса энергии тяжелой компоненты плазмы. Важной особенностью данного исследования является учет испарения материала электрода в газовую фазу, который описывается с помощью уравнения Герца–Кнудсена–Ленгмюра, а также уравнение насыщенных паров частиц углерода вблизи поверхности катода (более подробно см работы [3-7]).

Методы и выборка

Исследование основано на численном моделировании с использованием пакета COMSOL Multiphysics, который позволяет решить уравнения модели методом конечных элементов. В качестве исходных данных заданы геометрические параметры разрядного промежутка, теплофизические свойства графитового катода, кремниевого анода, давление газа, начальные и граничные условия. Для определения констант с участием электронов определялась сверткой сечения с функцией распределения электронов, которая определялась из уравнения Больцмана. Для сечений неупругих процессов с аргоном и углеродом использовались данные из работ [3,8] Для сечений неупругих процессов с участием атомов кремния использовались данные из работы [9-13], представленные на рисунке 1. Для обработки данных использованы встроенные средства визуализации концентраций, температур и потенциала. Исследуемая «выборка» включает в себя случаи дуговых разрядов, различающихся по плотности тока: от $4 \cdot 10^5 \mathrm{A/m^2}$ до $4 \cdot 10^6 \mathrm{A/m^2}$, что соответствует разрядным токам от 15 А до 150 А, соответственно, в случае если радиус электродов составляет 2 мм. Особое внимание уделяется анализу концентрации частиц, температуры газа, а также потенциалу электрического поля.

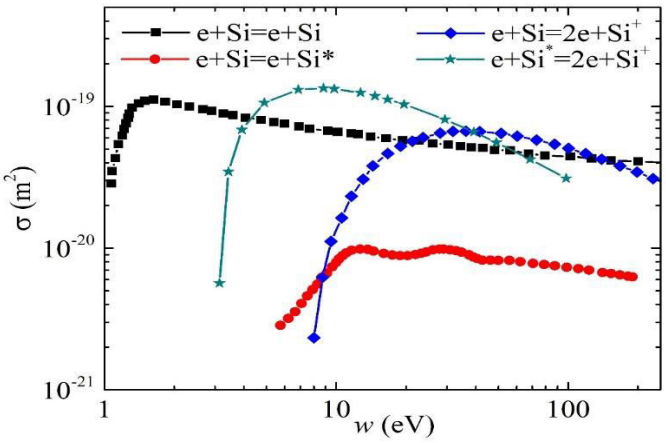
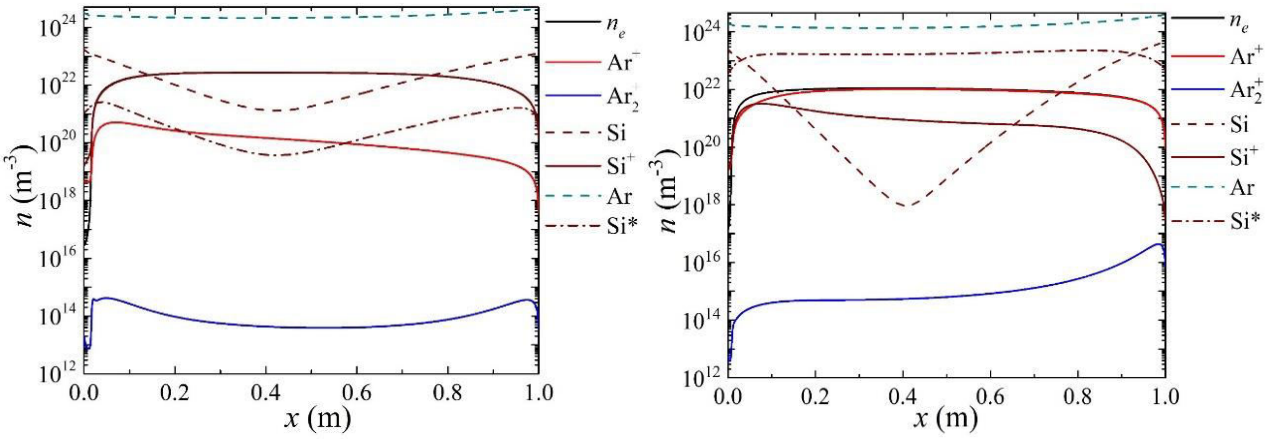


Рисунок 1. Сечения упругих и неупругих процессов электронов с атомами кремния [9], учитываемые в модели.

Обсуждение результатов

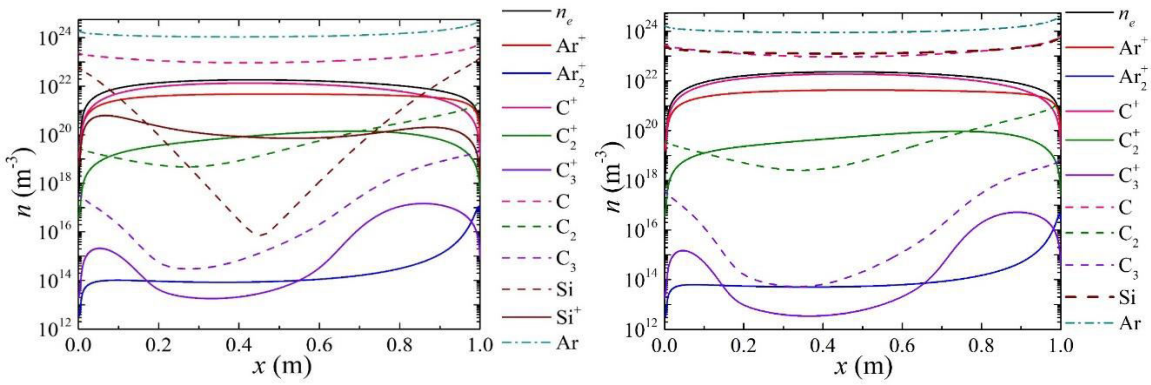
На рис. 2 представлены распределения концентраций заряженных и нейтральных частиц с учетом испарения кремния с поверхности анода, и образования иона кремния при плотности тока $2\cdot10^6\,\mathrm{A/m^2}$, что соответствует силе тока 80А при радиусе электродов 2 мм. Видно, что происходит интенсивное испарение кремния с поверхности анода. Максимальные значения испаренного кремния наблюдаются вблизи поверхностей электродов и достигает значения $1.5\cdot10^{23}\,\mathrm{m^{-3}}$, при этом в центральной области образуется минимум, обусловленный высокой скоростью прямой ионизации. Модельный расчет без учета образования иона кремния, показал формирование практически плоского профиля концентрации нейтральных частиц кремния. Из рисунка 2 *a* также видно, что концентрация ионов кремния превышает концентрацию ионов аргона по всей длине разрядного промежутка. Максимальное значения составляет $2.6\cdot10^{22}\,\mathrm{m^{-3}}$. Другими словами, разряд «горит по кремнию». При этом максимальное значение концентрации ионов аргона наблюдается в прикатодной области разряда и составляет $4\cdot10^{20}\,\mathrm{m^{-3}}$. Столь высокие значения концентрации ионов кремния обусловлены высоким значением скорости ступенчатой ионизации.



a) b)

Рисунок 2. Распределение концентраций заряженных и нейтральных частиц в дуговом разряде с учетом испарения кремния с поверхности анода а) с учетом ступенчатой ионизации Si и рекомбинации Si^+, *b*) без учета.

Так, на рисунке 3 представлены распределения концентраций заряженных и нейтральных частиц с учетом испарения кремния с поверхности анода, а также атомарных и молекулярных частиц углерода с поверхности графитового катода при тех же условиях, что и на рисунке 2. Наблюдается достаточно интенсивное испарение атомов и молекул углерода. Так, концентрация атомарного углерода достигает значения $5\cdot10^{23}\,\mathrm{m^{-3}}$ вблизи электродов, а концентрация испаренного кремния вблизи поверхностей электродов $1.3\cdot10^{23}\,\mathrm{m^{-3}}$. При этом необходимо отметить, что доминирующим ионом является ион атомарного углерода. Концентрация ионов кремния несколько снижается по сравнению с результатами, представленными на Рис. 2. Он становится третьим по значимости ионом после иона атомарного углерода и атомарного иона аргона.



a) b)

Рисунок 3. Распределение концентраций заряженных и нейтральных частиц с учетом испарения углерода с поверхности катода и кремния с поверхности анода, a) с учетом образования иона Si^+ и b) без учета образования Si^+ и Si*.

Заключение

Таким образом, в работе сформулирована самосогласованная модель, проведены численные расчеты по исследованию испарения материала графитового катода и композитного анода в разрядный промежуток. Помимо плазмохимических процессов буферного газа аргона учтены также процессы с участием атомов и молекул углерода, а также атомов кремния. Численные расчеты продемонстрировали достаточно интенсивное испарение материала электродов, а именно углеродных частиц и частиц кремния. Было показано, что при увеличении плотности тока доминирующим сортом ионов становится ион углерода C^+, а ион кремния Si^+ является третьим по значимости ионом после C^+ и Ar^+, соответственно.

Исследование поддержано РНФ, проект № 24-22-20091.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Raizer Y.P., Allen J.E.* Gas discharge physics. – Berlin: Springer, 1997. – Т. 2. – С. 274.

2. *Kolev S., Bogaerts A.A.* 2D model for a gliding arc discharge //Plasma Sources Science and Technology. – 2014. – Т. 24. – №. 1. – С. 015025.

3. *Saifutdinov A., Timerkaev B.* Modeling and comparative analysis of atmospheric pressure anodic carbon arc discharge in argon and helium–producing carbon nanostructures //Nanomaterials. – 2023. – Т. 13. – №. 13. – С. 1966.

4. *Saifutdinov A.I.* Numerical study of various scenarios for the formation of atmospheric pressure DC discharge characteristics in argon: From glow to arc discharge //Plasma Sources Science and Technology. – 2022. – Т. 31. – №. 9. – С. 094008.

5. *Knacke O., Stranski I.N.* The mechanism of evaporation //Progress in Metal Physics. – 1956. – Т. 6. – С. 181-235.

6. *Benilov M.S. et al.* Vaporization of a solid surface in an ambient gas //Journal of Physics D: Applied Physics. – 2001. – Т. 34. – №. 13. – С. 1993.

7. *Thorn R.J., Winslow G.H.* Vaporization coefficient of graphite and composition of the equilibrium vapor //The Journal of Chemical Physics. – 1957. – Т. 26. – №. 1. – С. 186-196.

8. *Saifutdinov A.I. et al.* Numerical Analysis of the Influence of Evaporation of the High- and Low-Melting-Point Anode Materials on Parameters of a Microarc Discharge //Plasma Physics Reports. – 2023. – Т. 49. – №. 10. – С. 1187-1198.

9. *Meredith R.J. et al.* Low-energy elastic scattering of electrons by bound silicon and germanium atoms //Journal of applied physics. – 1990. – Т. 68. – №. 10. – С. 4937-4941.

10. *Kolosov P.A., Krasavin A.Y., Smirnov Y.M.* Collisional excitation cross sections for atomic silicon //Soviet Astronomy, vol. 25, Nov.-Dec. 1981, p. 690-692. Translation. Astronomicheskii Zhurnal, vol. 58, Nov.-Dec. 1981, p. 1213-1216. – 1981. – Т. 25. – С. 690-692.

11. *Ganas P.S.* Electron impact excitation of Sii //Astronomy and Astrophysics Supplement Series. – 1999. – Т. 138. – №. 2. – С. 323-326.

12. *Colgan J., Zhang H.L., Fontes C.J.* Electron-impact excitation and ionization cross sections for the Si, Cl, and Ar isonuclear sequences //Physical Review A. – 2008. – Т. 77. – №. 6. – С. 062704.

13. *Jonauskas V.* Electron impact single ionization for Si atom //Atomic Data and Nuclear Data Tables. – 2020. – Т. 135. – С. 101363.

MODELING OF ARC DISCHARGE IN ARGON TO STUDY THE PARAMETERS OF THE PROCESS OF SYNTHESIS OF CARBON AND SILICON NANOSTRUCTURES

Fazulzyanov R.A.

Supervisor: Saifutdinov A.I., Full Professor, Doctor of Physico-Mathematical Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. The presented work is aimed at the study and analysis of the parameters of the main characteristics of arc discharge plasma in argon, taking into account the evaporation of carbon and silicon into the discharge gap. In this work, the COMSOL Multiphysics software was used as a modeling environment, in which the necessary equations, initial and boundary conditions, and the geometry of the discharge gap were specified. The results of numerical studies demonstrated intense evaporation of carbon from the cathode and evaporation of silicon from the surface of the composite anode.

СЕКЦИЯ 11
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ В ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

УДК 517.9+514.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛАССИЧЕСКИХ КРИВЫХ

Аксанова З.Р.
Научный руководитель: Михайлов И.П., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Лениногорский филиал, г. Лениногорск)

Аннотация. Статья исследует применение методов математического анализа для изучения классических кривых, в частности, декартова листа — кривой третьего порядка. Рассматриваются дифференциальные и интегральные методы анализа, включая вычисление производных, касательных, асимптот и площадей. Особое внимание уделено параметрическому и полярному представлению кривой, а также её геометрическим свойствам.

Классические кривые, такие как декартов лист, представляют собой не только исторический интерес, но и являются прекрасным примером для демонстрации возможностей математического анализа. В данной статье мы исследуем эту кривую, начиная от её параметрических и полярных представлений до вычисления асимптот, касательных и площадей, что позволяет глубже понять её геометрическую природу и математическую красоту. Этот анализ не только демонстрирует мощь математических инструментов, но и подчеркивает их важность для изучения сложных кривых, встречающихся в теории и практике.

«Декартов лист – линия, которая состоит из петли и двух бесконечных ветвей. Декартов лист можно задать уравнением $x^3+y^3-3axy=0$ или в полярных координатах $r=\frac{3a\cos\varphi\sin\varphi}{\cos^3\varphi+\sin^3\varphi}$» [1]. Параметр $3a$ определяется как диагональ квадрата, сторона которого равна наибольшей хорде петли.

Впервые уравнение кривой исследовал Р. Декарт в 1638 году, отсюда происходит название кривой, график которой напоминает лист растения. Однако Декарт построил только петлю в первом координатном угле, где x и y принимают положительные значения. Декарт полагал, что петля симметрично повторяется во всех четырёх координатных четвертях, в виде четырёх лепестков цветка. В то время эта кривая называлась цветком жасмина (Рис 1).

В современном виде эту кривую впервые представил Х. Гюйгенс в 1692 году (Рис 2).

Декартов лист, как кривая третьего порядка, может быть исследована только методами дифференциального вычисления. Кривая в природе не встречается и практического применения не имеет.

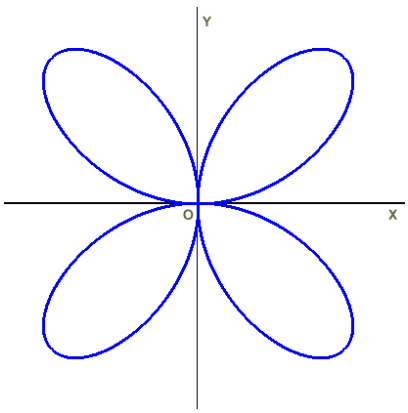


Рисунок 1 Цветок жасмина [2]

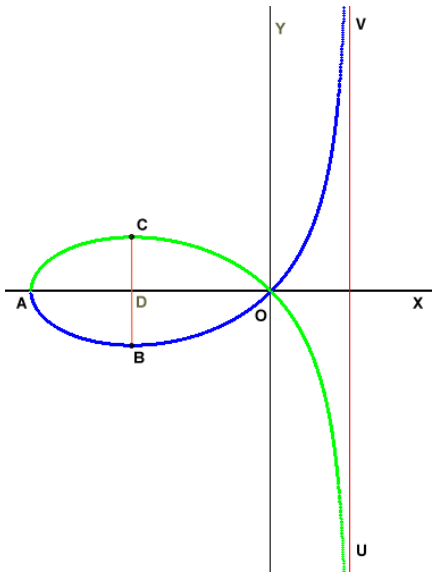


Рисунок 2 Пример графика декартового листа [2]

Пример декартового листа [2] OA – ось симметрии, её уравнение: $x = y$.

Уравнение асимптоты декартова листа (кривой 3-го порядка) можно получить из его канонического уравнения:

Каноническое уравнение декартова листа: $x^3 + y^3 - 3axy = 0$;

Для нахождения асимптоты наклонного типа $y = kx + b$ рассмотрим поведение кривой при $x \to \infty$.

Подставим $y = kx + b$ в исходное уравнение:

$$x^3 + (kx + b)^3 - 3ax(kx + b) = 0;$$

Раскрываем скобки и выделяем старшие члены:

$$x^3 + k^3x^3 + 3k^2bx^2 + \ldots - 3akx^2 - 3abx = 0;$$

Приравниваем коэффициенты при старших степенях x (x^3 и x^2):

- Для x^3: $1 + k^3 = 0 \Rightarrow k = -1$;
- Для x^2: $3k^2b - 3ak = 0 \Rightarrow$ при $k = -1$: $3b - 3a(-1) = 0 \Rightarrow b = -a$;

Таким образом, уравнение асимптоты: $y = -x - a$ или $x + y + a = 0$;

Геометрически это означает, что декартов лист приближается к прямой $x + y + a = 0$ при удалении в бесконечность.

Итак, UV – асимптота, её уравнение: $x + y + a = 0$;

Проведем исследование с помощью дифференциального исчисления.

Часто рассматривают повёрнутую на 135° кривую. Её уравнения выглядят следующим образом:

В прямоугольной системе:

$$y = \pm x\sqrt{\frac{l + x}{l - 3x}}, \text{ где } l = \frac{3a}{\sqrt{2}}.$$

В данном случае мы ось OA принимаем за ось абсцисс, направив последнюю от начала координат (точки O) к асимптоте UV.

Параметрически:

$$x = l\frac{t^2 - 1}{3t^2 + 1}, y = l\frac{t(t^2 - 1)}{3t^2 + 1}.$$

В полярных координатах:

$$\rho = \frac{l\left(\sin\varphi^2 - \cos^2\varphi\right)}{\cos\varphi\left(\cos\varphi^2 + 3\sin\varphi^2\right)}.$$

При $y = 0$ имеем $x = 0$ или $\sqrt{\frac{l+x}{l-3x}} = 0$, или $1 + x = 0 \Rightarrow x = -1 \Rightarrow x = -\frac{3a}{\sqrt{2}}$, то есть $OA = \frac{3a}{\sqrt{2}}$. Уравнение асимптоты UV определяется из выражения:

$$1 - 3x = 0 \Rightarrow x = \frac{l}{3} = \frac{a}{\sqrt{2}}$$ (l – длина дуги; a – параметр).

Найдем производную, чтобы найти максимальное значение функции и уравнение касательной:

$$y' = \left(x\sqrt{\frac{l+x}{l-3x}}\right)' = \frac{2lx}{(l-3x)\left(\sqrt{l-3x}\sqrt{l+x}\right)} + \sqrt{\frac{l+x}{l-3x}}.$$

Приравниваем производную к нулю. Решаем уравнение относительно x. В результате:

$$x = -\frac{l}{\sqrt{3}}$$

При этом значении x функция (2) имеет максимум на верхней дуге ACO — точка C и минимум на нижней дуге ABO — точка B. Значение функции в этих точках равно:

$$y\left(-\frac{l}{\sqrt{3}}\right) = \pm\frac{l}{\sqrt{3}}\sqrt{\frac{3-\sqrt{3}}{\sqrt{3}+1}}.$$

Значение производной y' в точке O равно ± 1, то есть касательные в точке O взаимно перпендикулярны и наклонены к оси абсцисс под углом $\pm\frac{\pi}{4}$.

В кривой, не повернутой на 135°, оси координат служат касательными к ветвям кривой в начале координат, поэтому кривая пересекает сама себя в начале координат под прямым углом.

Найдем уравнение касательной к декартовому листу.

Общее уравнение касательной имеет вид: $y = y'(x_0)(x - x_0) + y(x_0)$.

Уравнения касательных к декартову листу в его особой точке, совпадающей с началом координат, можно получить, приравнивая нулю группу членов низшей степени из уравнения кривой. В этом случае уравнения касательных имеют вид $x = 0, y = 0$.

Вводя в качестве параметра отношение $t = \frac{y}{x}$ и подставляя в уравнение кривой $y = xt$, легко получить параметрическое представление [3]:

$$\begin{cases} x = \dfrac{3at}{1+t^3} \\ y = \dfrac{3at^2}{1+t^3} \end{cases}, \left(-\infty < t < +\infty; t \neq -1\right).$$

Чтобы найти уравнение касательной в точке (x_0, y_0), продифференцируем неявно:

$$3x^2dx + 3y^2dy - 3a(ydx + xdy) = 0;$$

Отсюда производная:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{3x^2 - 3ay}{3ax - 3y^2} = \frac{x^2 - ay}{ax - y^2};$$

Уравнение касательной в точке (x_0, y_0):

$$y - y_0 = \frac{x_0^2 - ay_0}{ax_0 - y_0^2}(x - x_0);$$

После упрощения:

$$x_0^2 x + y_0^2 y - a(x_0 y + y_0 x) + a x_0 y_0 = 0;$$

Подставим параметризацию в уравнение касательной.

Пусть точка (x_0, y_0) соответствует параметру t_0, тогда:

$$x_0 = \frac{3at_0}{1+t_0^3}, y_0 = \frac{3at_0^2}{1+t_0^3}.$$

Подставляя в уравнение касательной:

$$\left(\left(\frac{3at_0}{1+t_0^3}\right)^2 - a\cdot\frac{3at_0^2}{1+t_0^3}\right)\left(x - \frac{3at_0}{1+t_0^3}\right) + \left(\left(\frac{3at_0^2}{1+t_0^3}\right)^2 - a\cdot\frac{3at_0}{1+t_0^3}\right)\left(y - \frac{3at_0^2}{1+t_0^3}\right) = 0;$$

После упрощения (используя $\left(1+t_0^3\right)^2$ в знаменателе):

$$\left(3at_0^2 - a\left(1+t_0^3\right)t_0^2\right)\left(x\left(1+t_0^3\right) - 3at_0\right) + \left(3at_0^4 - a\left(1+t_0^3\right)t_0\right)\left(y\left(1+t_0^3\right) - 3at_0^2\right) = 0;$$

В полярных координатах (ρ, φ) декартов лист имеет вид (O - полюс, OX - полярная ось)

$$\rho = \frac{3a\cos\varphi\sin\varphi}{\cos^3\varphi + \sin^3\varphi}.$$

Вычислим площадь петли декартова листа $x^3 + y^3 - 3axy = 0$ с помощью интегрального вычисления.

От неявного задания кривой перейдем к заданию в полярных координатах

$$x = \rho\cos\varphi, y = \rho\sin\varphi.$$

Тогда

$$\rho^3\cos\varphi + \rho^3\sin\varphi - 3a\rho^2\cos\varphi\sin\varphi = 0,$$

откуда, после сокращения на ρ^2, получим

$$\rho = \frac{3a\cos\varphi\sin\varphi}{\cos^3\varphi + \sin^3\varphi}.$$

Так как петля кривой отвечает изменению φ от 0 до $\frac{\pi}{2}$, то искомая площадь равна:

$$S = \frac{1}{2}\int_0^{\frac{\pi}{2}} \rho^2(\varphi)d\varphi = \frac{9a^2}{2}\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sin^2\varphi\cos^2\varphi}{\left(\cos^3\varphi + \sin^3\varphi\right)^2}d\varphi;$$

Вычислим площадь половины петли (от $\varphi = 0$ до $\varphi = \frac{\pi}{4}$) и затем удвоим ее.

$$S = \int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{9a^2\sin^2\varphi\cos^2\varphi}{(\cos^3\varphi + \sin^3\varphi)^2}d\varphi = \left|\begin{array}{l} tg\varphi = z, \\ \dfrac{d\varphi}{\cos^2\varphi} = dz, \\ \alpha = 0, \beta = 1 \end{array}\right| = 9a^2\int_0^1 \frac{z^2dz}{(1+z^3)^2} = \left|\begin{array}{l} 1+z^3 = v, \\ 3z^2dz = dv, \\ \alpha = 1, \beta = 2 \end{array}\right| = 3a^2\int_1^2 \frac{dv}{v^2} = \frac{3}{2}a^2.$$

Итак,

$$S = \frac{3}{2}a^2.$$

Найдем дифференциальное уравнение, решением которого является декартов лист:
Дифференцируем уравнение неявно по x:

$$\frac{d}{dx}(x^3+y^3-3axy)=0;$$

$$3x^2+3y^2\frac{dy}{dx}-3a(y+x\frac{dy}{dx})=0;$$

Упростим:

$$x^2+y^2y'-ay-axy'=0;$$

Выражаем y':

$$y^2y'-axy'=ay-x^2;$$

$$y'(y^2-ax)=ay-x^2;$$

$$y'=\frac{ay-x^2}{y^2-ax};$$

Это дифференциальное уравнение первого порядка.

Исключаем параметр a:

Из исходного декартового листа выражаем а:

$$a=\frac{x^3+y^3}{3xy};$$

Подставляем в выражение для y':

$$y'=\frac{(\frac{x^3+y^3}{3xy})y-x^2}{y^2-(\frac{x^3+y^3}{3xy})x}=\frac{(\frac{x^3+y^3}{3x})-x^2}{y^2-(\frac{x^4+xy^3}{3xy})};$$

Упрощаем числитель и знаменатель:

$$y'=\frac{\frac{x^3+y^3-3x^3}{3x}}{\frac{3xy^3-x^4-xy^3}{3xy}}=\frac{\frac{y^3-2x^3}{3x}}{\frac{2xy^3-x^4}{3xy}}=\frac{y^3-2x^3}{2y^3-x^3}\cdot\frac{y}{x};$$

Получаем:

$$y'=\frac{y(y^3-2x^3)}{x(2y^3-x^3)};$$

Итоговое дифференциальное уравнение – однородное уравнение первого порядка:

$$\frac{dy}{dx}=\frac{y(y^3-2x^3)}{x(2y^3-x^3)}.$$

Некоторые свойства декартового листа:

Функция четная;

Функция симметрична относительно биссектрисы $y=x$;

Начало координат – узловая точка с касательными, по которым проходят оси координат. Точка А – наиболее удаленная от узловой точки, имеет координаты $\left(\frac{3a}{2};\frac{3a}{2}\right)$ и является вершиной.

При $a=0$ уравнение имеет вид: $x^3+y^3=0$, тогда $y=-x$;

Вертикальная асимптота в декартовом листе — это прямая, задаваемая уравнением вида $x=a$. В этом случае определение асимптоты подтверждается, если хотя бы один из односторонних пределов функции в точке а бесконечен.

Наклонная асимптота: $y=-x-1$;

Число вертикальных асимптот графика функции не ограничено, а наклонных и горизонтальных в сумме может быть не более двух (при $x \to -\infty$ ($y \approx x$) и при $x \to +\infty$ ($y \approx -x$) ;

Прямая UV $(x + y + a) = 0$ – асимптота обеих бесконечных ветвей;

Радиус кривизны: в вершине $R_A = \frac{3a}{8\sqrt{2}} = \frac{l}{8}$;в узловой точке $RO = \frac{3a}{2} = \frac{l}{\sqrt{2}}$.

Площадь S_1 петли и площадь S_2 (бесконечной) полосы между бесконечными ветвями и асимптотой равны между собой и выражаются формулой:

$$S_1 = S_2 = \frac{3a^2}{2} = \left(\frac{l}{3}\right)^2 .$$

Построим различные графики декартова листа: декартов лист и его асимптота при $a = 10$ (Рис. 3), параметрический вид графика декартова листа при $a = 6$ (Рис. 4), построение в полярных координатах при $a = 6$ (Рис. 5).

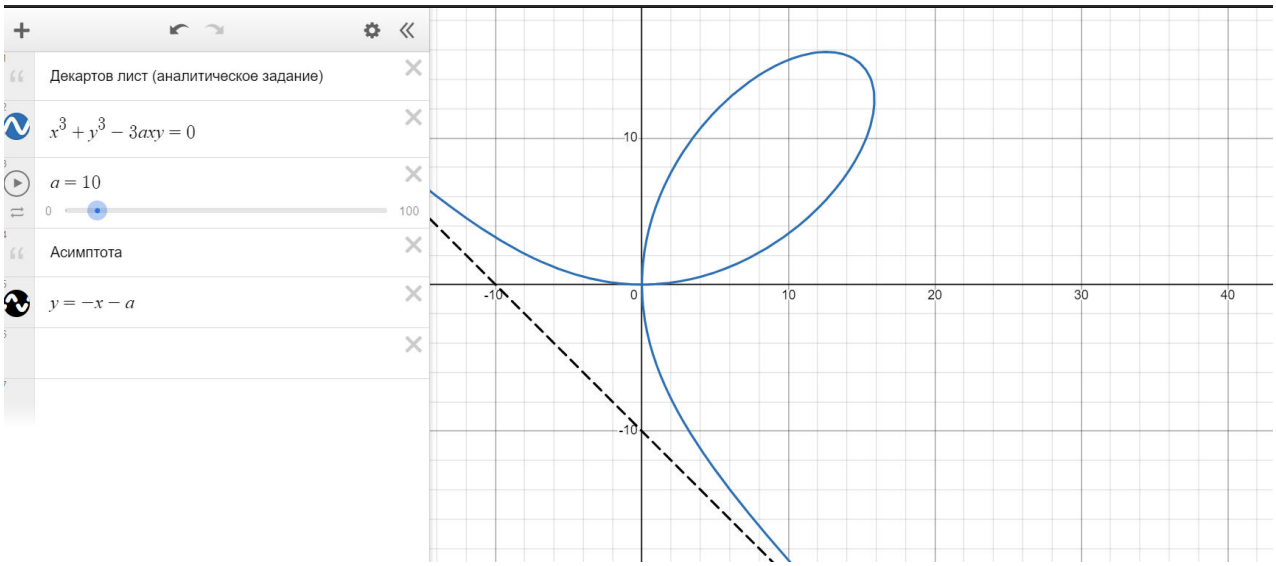


Рисунок 3 Декартов лист и его асимптота

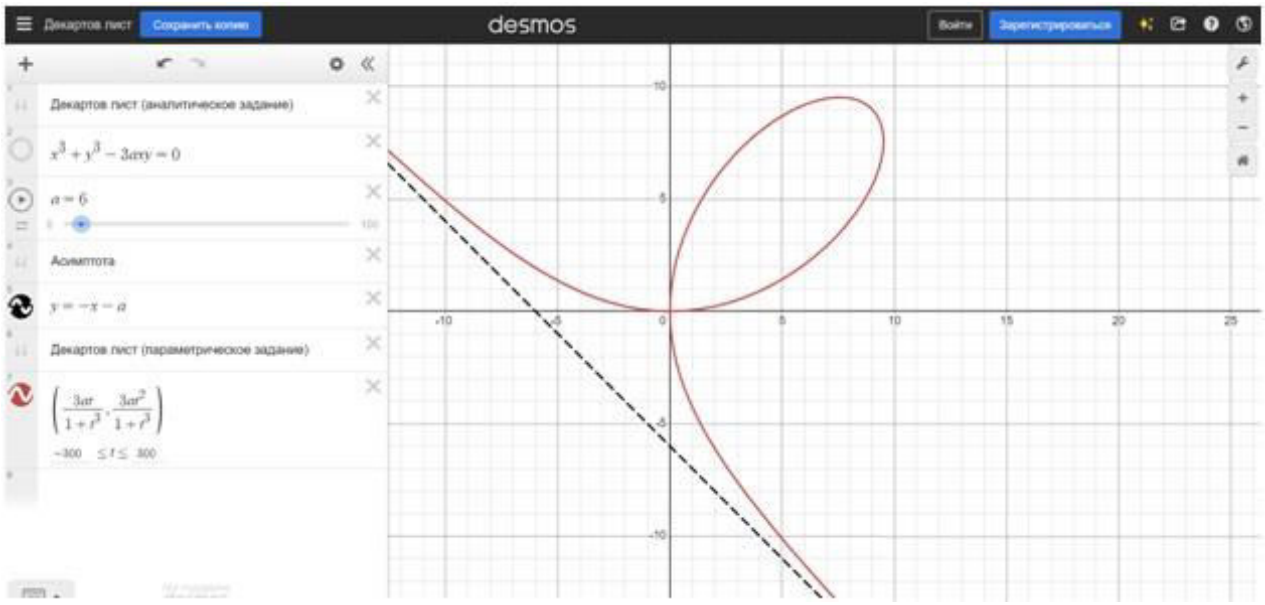


Рисунок 4 Параметрическое построение графика

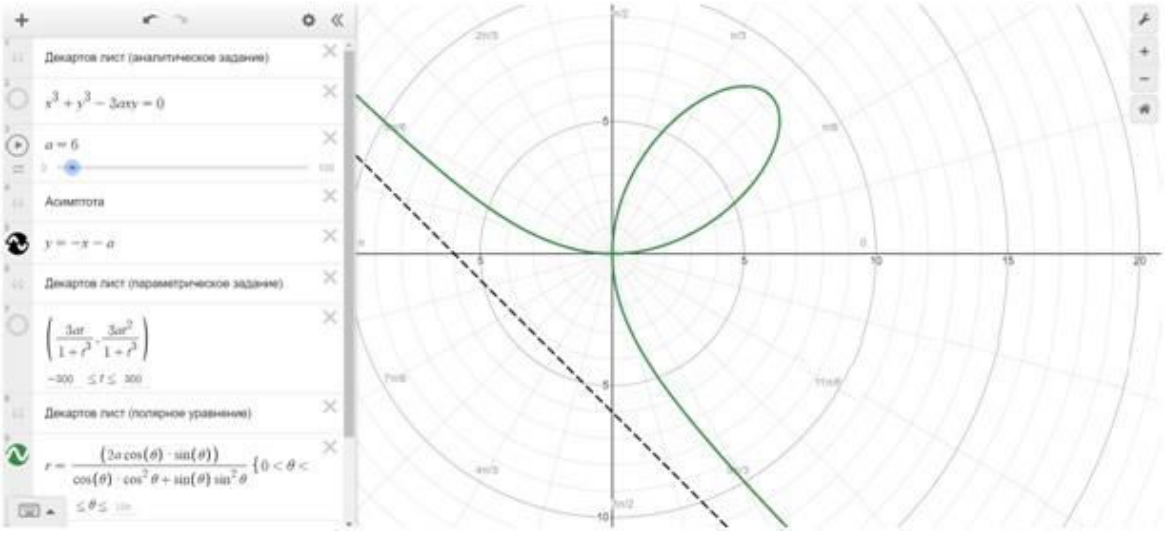


Рисунок 5 Построение в полярных координатах

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Блинова И.В.* Кривые, заданные параметрически и в полярных координатах: учебное пособие / И.В. Блинова, И.Ю. Попов. — Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2017. — 56 с.

2. Декартов лист [Электронный ресурс] // Рувики. 2025. URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Декартов_лист (дата обращения: 22.06.2025).

3. *Расулов Х.А.* Кривые линии третьего порядка [Электронный ресурс] // Инфоурок. 2025. URL: https://infourok.ru/kursovaya-rabota-na-temu-krivye-linii-tretego-poryadka-4137666.html (дата обращения: 22.06.2025).

USING MATHEMATICAL ANALYSIS TO STUDY CLASSICAL CURVES

Aksanova Z.R.

Supervisor: Mikhailov I.P., Senior Lecturer

(*Leninogorsk Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI", Leninogorsk*)

Abstract. The article explores the application of mathematical analysis methods to the study of classical curves, in particular, the Cartesian sheet, a curve of the third order. Differential and integral methods of analysis are considered, including the calculation of derivatives, tangents, asymptotes, and areas. Particular attention is paid to the parametric and polar representation of the curve, as well as its geometric properties.

УДК 531.3

ТРАЕКТОРНО-ВОЛНОВОЕ ОПИСАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОНА В АТОМЕ ВОДОРОДА

Ахметов Д., Кашапова А.

Научный руководитель: Валишин Н.Т., доцент, к. ф-м. н.,

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Метод V-функции применяется для исследования волнового характера движения электрона в атоме водорода, а также для сравнения полученных данных с результатами, полученными Шредингером.

Метод V-функции состоит из локального вариационного принципа (ЛВП), базовых теорем и новой постановки прямой и обратной задачи динамики [1-12]. Из метода V-функции следует, что траекторное движение объекта, которое описывается системой дифференциальных уравнений

$$\dot{x} = f(x), \tag{1}$$

где $x(t) = (x_1, x_2, ..., x_n)^T$ - вектор фазовых координат, $x \in R^n$, неразрывно связано с волновым движением, удовлетворяющим уравнению

$$\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} - \dot{x}^T W \dot{x} = 0, \quad W = \left[\frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial x_i \partial x_j} \right] \tag{2}$$

где $V(x,t)$ - кусочно-непрерывная волновая функция (V-функция) ($x \in R^n$, $t \in T$).

Для нахождения волновой функции решается уравнение (2), учитывая систему уравнений (1). Начальные и граничные условия, которые вытекают из метода V-функции, имеют вид:

$$V(x,t)\big|_{t=0} = V(x,0) = 0 \tag{3}$$

$$V(x,t)\big|_{x=0} = V(0,t) = 0 \tag{4}$$

$$\left.\frac{\partial V(x,t)}{\partial t}\right|_{t=0} = \frac{\partial V(x,0)}{\partial t} = const \tag{5}$$

$$\left.\frac{\partial V(x,t)}{\partial x}\right|_{x=0} = \frac{\partial V(0,t)}{\partial x} = k^{-1}\dot{x}(t). \tag{6}$$

Как известно, в атоме водорода траекторное движение электрона допускает первый интеграл, откуда с учетом потенциальной энергии атома водорода получаем квадрат скорости частицы (электрона)

$$\vartheta^2 = \frac{2(E + e^2/r)}{m} \tag{7}$$

Траекторному движению соответствует волновое движение, описываемое уравнением (2), которое с учетом (7) принимает вид

$$\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} - \frac{2(E + e^2/r)}{m} \nabla^2 V = 0, \tag{8}$$

Применяя метод разделения переменных в уравнении (8) $\left(V = X(x,y,z)T(t)\right)$, получаем следующее стационарное уравнение

$$\left(-\beta_0^2 + \frac{\alpha}{r} \right) \nabla^2 X + \omega^2 X = 0, \tag{9}$$

где $\beta_0^2 = -\frac{2E}{m}$, $\alpha = \frac{2e^2}{m}$.

В уравнении (9) перейдем к сферической системе координат и рассмотрим только сферически симметричные решения $\left(X = R(r)\right)$, сделав в нем замену $R = u/r$:

$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \left(\frac{k_0^2 \alpha}{\alpha - \beta_0^2 r} - k_0^2 \right) u = 0, \tag{10}$$

где $k_0^2 = \frac{\omega^2}{\beta_0^2} = -\frac{\omega^2 m}{2E}$.

Учитывая асимптотическое решение уравнения (10) ($r \to \infty$), запишем его общее решение в виде $u = c_1 u_-(r) + c_2 u_+(r) = e^{-k_0 r} f_-(r) + e^{k_0 r} f_+(r)$. Подставив его в (10), получим следующие уравнения:

$$f_{\pm}''(r) \pm 2k_0 f_{\pm}'(r) + \frac{\beta_1}{r_0 - r} f_{\pm}(r) = 0, \tag{11}$$

где $\beta_1 = k_0^2 \alpha / \beta_0^2 = \frac{1}{2} e^2 \omega^2 m_e / E^2$.

Решение уравнения (11) будем искать в виде следующего степенного ряда $f_{\pm}(r) = \sum_{m=0}^{\infty} a_m^{(\pm)} (r_0 - r)^m$. Уравнение (11) после данной подстановки принимает вид.

$$\sum_{n=0}^{\infty} [(n+1) n a_{n+1}^{(\pm)} \mp 2k_0 n a_n^{(\pm)} + \beta_1 a_n^{(\pm)}] (r_0 - r)^{n-1} = 0, \tag{12}$$

Отсюда следует, что $a_0 = 0$, а коэффициенты $a_{n+1}^{(\pm)}$ удовлетворяют рекуррентному соотношению

$$a_{n+1}^{(\pm)} = \frac{\pm 2k_0 n - \beta_1}{(n+1) n} a_n^{(\pm)} \tag{13}$$

Так как, исходя из обратной задачи динамики, мы ищем траекторию частицы (электрона), к тому же мы должны удовлетворять соотношениям (4) и (6), что имеет место при условии

$$\beta_1 = 2k_0 n \ (\beta_1 = \tfrac{1}{2} e^2 \omega^2 m_e / E^2, \ k_0^2 = -\frac{\omega^2 m}{2E}, \ \beta_1 > 0, k_0 > 0). \tag{14}$$

Данное условие выполняется лишь тогда, когда ряд $f_+(r) = \sum_{m=1}^{\infty} a_m^{(+)} (r_0 - r)^m$ обрывается, т.е. $a_m^{(+)} = 0$ при $m \geq n+1$, что приводит к следующему решению

$$u_{+,n}(r) = C \exp\{k_{0,n} r\} \sum_{m=1}^{n} a_m^{(+)} (r_{0,n} - r)^m, \tag{15}$$

где C – постоянная.

Из равенства (14), которое приводится к виду $E^3 / \omega^2 = -\frac{1}{8} e^4 m_e / n^2$, с учетом связи частоты и энергии $2E = \hbar\omega,$ вытекающего из проведенной оптико-механической аналогии[4,10], находим значение энергии n-го состояния электрона

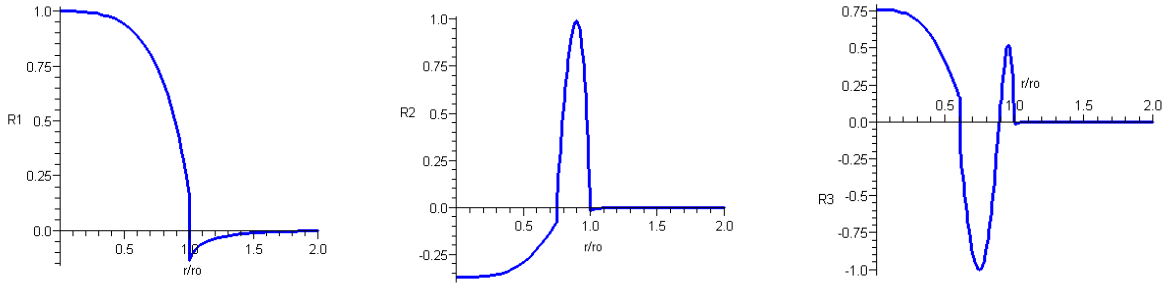
$$E_n = -\frac{e^4 m_e}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2}. \tag{16}$$

Отметим, что энергия n-го состояния в точности совпадает с решением, полученным в модели Бора [13] или на основе стационарного уравнения Шредингера [14].

Для нахождения второго линейно-независимого решения уравнения второго порядка, спадающего экспоненциально с расстоянием $u_{-,n}(r \to \infty) \sim \exp\{-k_{o,n} r\}$, используем формулу Лиувилля, которое для уравнения (10) принимает вид $u_-(r) = C u_+(r) \int \frac{1}{(u_+(r))^2} dr$ и с учетом решения (15) получим решение, т.е.

$$u_{-,n}(r) = C e^{k_{0,n} r} \sum_{m=1}^{n} a_m^{(+)} (r_{0,n} - r)^m \int \frac{e^{-2k_{0,n} r}}{\left(\sum_{m=1}^{n} a_m^{(+)} (r_{0,n} - r)^m \right)^2} dr, \tag{17}$$

Так как $R_{-,n} = \frac{u_{-,n}}{r}$, то в соответствии с (17) получим решения для $R_{-,n}$.



При моделировании движения электрона в кулоновском поле, метод V-функции позволяет установить правило квантования энергии атома водорода, которое полностью совпадает с классическими результатами Шредингера и Бора. При этом дискретность энергии возникает из удовлетворения условий, вытекающих из метода V-функции. В данном подходе стационарное поведение электрона на n-й устойчивом состоянии описывается волной R_n, спадающая экспоненциально к нулю при $r \to \infty$ и амплитуда которой переходит через нуль на сфере с радиусом Бора $r_{o,n}$, что означает существование траектории электрона на сфере данного радиуса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Valishin N.T., Valishin F.T. V*-function method: some solutions of direct and inverse dynamics problems in a new statement// Latvian Journal of Physics and Technical Sciences 2019, N 1, pp.70-81.

2. *Valishin N.T.* To Physical Statement of a Controllability Problem. // Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems, Vol. 11, Special Issue-05, 2019, pp.1708-1713.

3. *Valishin N., Moiseev S.* A method of V-function: ultimate solution to the direct and inverse problems of dynamics for a hydrogen-like atom // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol 4, №5(88) (2017) pp.23-32

4. *Valishin NT, Volkov AI, Bildanova Z.F and Selivanova V.A.* To continue the optical-mechanical analogy //Journal of Physics: Conference Series 1679 (2020) 022016

5. *Валишин Н.Т., Валишин Ф.Т., Моисеев С.А.* Траекторно-волновой подход к динамике электрона в атоме водорода. // Бутлеровские сообщения. Т.25. №5,2011г С.1-12

6. *Валишин Ф.Т., Валишин Н.Т.* Методологические горизонты казанской программы Н.Г. Четаева и продолжение оптико-механической аналогии // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева №1, 2008.

7. *Валишин Н.Т., Павлова К.Е., Давыдов Н.В.* Метод V-функции: к моделированию движения объекта в потенциальном поле сил. //Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева №3, 2009.

8. *Валишин Н.Т., Павлова К.Е., Халилова А.И.* Метод V-функции: решение прямой и обратной задачи динамики при движении объекта в центральном поле сил. //Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева №3, 2010.

9. *Валишин Н.Т.* Вариационный принцип и задачи траекторно-волновой динамики. // Вестник КНИТУ-КАИ – 2014. №2. С.181-190.

10. *Валишин Н.Т.* Метод V-функции и оптико-механическая аналогия // Научно-технический вестник Поволжья №5, 2015. С.18-21.

11. *Валишин Н.Т. Ефимов А.А., Макшакова В.А.* Решения уравнения типа волнового для гармонического осциллятора// Научно-технический вестник Поволжья №12, Казань, 2018

12. *Валишин Н.Т., Павлова К.Е., Давыдов Н.В.* Метод V-функции: к моделированию движения объекта в потенциальном поле сил. //Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева №3, 2009

13. N. Bohr, On the constitution of atoms and molecules. – Philosophical Magazine, 1913, v. 26, p.1-25, 476-502, 857-875.

14. *Schrödinger E., Quantisierung als Eigenwertproblem (I Mitt)* Annalen der Physik, 1926, Bd 79, S.361-376; (II Mitt) – Ibid., S.489-527; (III Mitt) – Ibid., Bd 80, S.437-490; (4 Mitt) – Ibid., Bd 81, S.109-139

MODELING OF THE TRAJECTORY-WAVE MOTION OF AN ELECTRON IN A HYDROGEN ATOM

Akhmetov D., Kashapova A.

Supervisor: Valishin N.T., Associate Professor, Candidate of Physico-mathematical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Based on the V-function method, the properties of the wave nature of the motion of an electron in a hydrogen atom are investigated. The results obtained by Schrodinger for the hydrogen atom are compared with classical results.

УДК 519.6, 532.5

ОБ ОДНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧЕ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ ПРИ СВЕРХЗВУКОВЫХ РЕЖИМАХ ТЕЧЕНИЯ

Брыскова Ю.М.

Научный руководитель: Анисимова И.В., заведующая кафедрой, д. ф-м. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассмотрена краевая задача пограничного слоя при обтекании цилиндрического тела сверхзвуковым потоком вязкого сжимаемого газа. Проведено преобразование уравнений с использованием методов группового анализа, что позволило перейти к системе обыкновенных дифференциальных уравнений. Для численного решения использована среда Вольфрам Математика (Wolfram Mathematica).

Введение

Исследование течений при сверхзвуковых скоростях требует учета сжимаемости, вязкости и теплопроводности газа. В окрестности поверхности тела возникает пограничный слой, оказывающий значительное влияние на структуру потока и аэродинамические характеристики. Применение безразмерных переменных и методов группового анализа позволяет упростить систему уравнений, выявив её симметрии. В работе была рассмотрена математическая модель ламинарного пограничного слоя на непроницаемом цилиндрическом теле при обтекании его совершенным газом под нулевым углом атаки. Модель содержала систему нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений и начально-краевые условия. Для численной реализации её решения модель была модифицирована с помощью отображения бесконечной области решения на конечную. После проведения линеаризации методом Пикара [1], на дискретной области для дифференциальной начально-краевой задачи была построена разностная задача, решение которой было получено численными методами.

Исходная модель и её преобразование

Рассматривается задача обтекания цилиндрического тела сверхзвуковым потоком газа.

Уравнения ламинарного пограничного слоя на непроницаемом цилиндрическом теле при обтекании его совершенным газом под нулевым углом атаки возьмем в виде [2-4]:

$$\rho\left(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}\right)=-\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu\frac{\partial u}{\partial y}\right),$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u)+\frac{\partial}{\partial y}(\rho v)=0, \qquad (1)$$

$$\rho\left(u\frac{\partial H}{\partial x}+v\frac{\partial H}{\partial y}\right)=\left(\frac{1}{\mathrm{Pr}}\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu\frac{\partial H}{\partial y}\right)+\left(1-\frac{1}{\mathrm{Pr}}\right)\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu u\frac{\partial u}{\partial y}\right)\right),$$

где $p=\rho RT$, $\mu=\mu_{e0}\tau b(\tau)$, $H=C_pT+\dfrac{u^2}{2}$.

Граничные условия:

$$u=0, v=0, H=H_w(x) \text{ при } y=0, x>0,$$
$$u\to U_e(x), H\to H_e \text{ при } y\to\infty, \qquad (2)$$
$$u=U_e(0), H=H_e \text{ при } x=0, y>0.$$

Здесь ось x направлена вдоль контура тела, а ось y – перпендикулярно ей, в направлении внешней нормали. Величины u и υ представляют собой проекции вектора скорости на координатные оси.

Далее используются следующие обозначения: p – давление; ρ – плотность; μ – вязкость газа; $H=C_pT+\dfrac{u^2}{2}$ – полная энтальпия; T – температура газа; C_p – теплоемкость при постоянном давлении; R – газовая постоянная; Pr – число Прандтля; $b(\tau)$ – известная функция безразмерной температуры $\tau=\dfrac{T}{T_{e_0}}$.

Для стенки выполняется соотношение:

$$H_w(x)=C_pT_w(x),$$

где T_w – заданная температура наружной стороны обшивки (допускается, что она равна температуре пристеночного слоя газа). Индекс "e" соответствует параметрам газа на внешней границе пограничного слоя, индекс "0" – параметрам в точке полного торможения потока, а индекс "w" параметрам газа на стенке.

Для приведения уравнений к форме, более подходящей для анализа, используется переход к переменным Дородницына, что позволяет учитывать влияние изменений температуры и плотности в направлении, перпендикулярном стенке [5]. Это преобразование осуществляется путём замены пространственных координат на обобщённые переменные, зависящие от безразмерной температуры и параметров внешнего потока. Далее вводятся новые безразмерные переменные и функции, в частности – обобщённые координаты и соответствующие компоненты скорости и функции тока [5-6]. Такая замена упрощает структуру исходных уравнений и делает возможным применение методов группового анализа за счет выявления симметрий модели.

После приведения системы к безразмерной форме, следующим шагом становится построение обобщённого инфинитезимального оператора, включающего производные по всем независимым и зависимым переменным. Это позволяет определить класс преобразований, сохраняющих структуру уравнений [7]. Поиск таких преобразований задача сводится к решению системы определяющих уравнений, связывающих компоненты оператора. Частное решение этой системы позволяет выявить конкретные законы симметрии, характерные для рассматриваемой модели.

Дальнейший анализ проводится для упрощённого случая, соответствующего физически обоснованным допущениям: число Прандтля, полагается равным единице, функция, описывающая изменение вязкости, принимается постоянной, а температура стенки задаётся фиксированным значением. При этих допущениях система уравнений существенно

упрощается: коэффициенты становятся постоянными, что делает модель более удобной для дальнейшей редукции. Один из найденных операторов симметрии используется для выделения инвариантной переменной, что позволяет перейти от системы в частных производных к эквивалентной фактор-системе обыкновенных дифференциальных уравнений, зависящих только от одного аргумента [8-9]:

$$\begin{cases} \left(\frac{1}{2}\xi\cdot I_1 - I_3\right)\frac{dI_1}{d\xi} + \frac{d^2 I_1}{d\xi^2} + C^*\left(1 - I_2 - I_1^2\right) = 0, \\ \frac{1}{2}\xi\cdot\frac{dI_1}{d\xi} - \frac{dI_3}{d\xi} = 0, \\ \left(\frac{1}{2}\xi\cdot I_1 - I_3\right)\frac{dI_2}{d\xi} + \frac{d^2 I_2}{d\xi^2} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Граничные условия примут вид:

при $\xi = 0:\ I_1 = 0, I_3 = 0, I_2 = 1 - \tau_w$, (4)

при $\xi \to \infty:\ I_1 \to 1, I_2 \to 0$.

Модифицируем математическую модель (3)–(4) с целью отображения бесконечной области решения $\xi \in [0;\infty)$ в конечный отрезок $z \in [0;1]$ с помощью замены переменной:

$$z = \frac{\xi}{1+\xi}. \quad (5)$$

откуда

$$\xi = \frac{z}{1-z}. \quad (6)$$

После введения замены переменной необходимо выразить производные по переменной ξ через производные по z. Вычислим первую и вторую производные:

$$\frac{dI}{d\xi} = \frac{dI}{dz}\frac{dz}{d\xi} = (1-z)^2\frac{dI}{dz},$$

$$\frac{d^2 I}{d\xi^2} = \frac{d}{d\xi}\left(\frac{dI}{d\xi}\right) = \frac{d}{dz}\left((1-z)^2\frac{dI}{dz}\right)\frac{dz}{d\xi}.$$

Продифференцировав произведение, получим:

$$\frac{d^2 I}{d\xi^2} = (1-z)^4\frac{d^2 I}{dz^2} - 2(1-z)^3\frac{dI}{dz}.$$

Теперь подставим эти выражения в исходную систему уравнений. С учетом преобразований, система примет следующий вид:

$$\begin{cases} (1-z)^4 I_1'' + \left[\left(\frac{1}{2}\xi(z)I_1 - I_3\right)(1-z)^2 - 2(1-z)^3\right]I_1' + C^*(1 - I_2 - I_1^2) = 0, \\ (1-z)^2 I_3' = \frac{1}{2}\xi(z)(1-z)^2 I_1', \\ (1-z)^4 I_2'' + \left[\left(\frac{1}{2}\xi(z)I_1 - I_3\right)(1-z)^2 - 2(1-z)^3\right]I_2' = 0, \end{cases} \quad (7)$$

где $\xi(z) = \frac{z}{1-z}$, $I' = \frac{dI}{dz}$, $I'' = \frac{d^2 I}{dz^2}$.

После упрощения система (7) примет окончательный вид:

$$\begin{cases} (1-z)^4 \dfrac{d^2 I_1}{dz^2} + \left[\left(\dfrac{z}{2(1-z)} I_1 - I_3 \right)(1-z)^2 - 2(1-z)^3 \right] \dfrac{dI_1}{dz} + C^*(1 - I_2 - I_1^2) = 0, \\ \dfrac{dI_3}{dz} = \dfrac{z}{2(1-z)} \dfrac{dI_1}{dz}, \\ (1-z)^4 \dfrac{d^2 I_2}{dz^2} + \left[\left(\dfrac{z}{2(1-z)} I_1 - I_3 \right)(1-z)^2 - 2(1-z)^3 \right] \dfrac{dI_2}{dz} = 0. \end{cases} \quad (8)$$

В результате замены (5)–(6) граничные условия (4) преобразуются к следующей форме:

при $\xi = 0 \Rightarrow z = 0 : I_1 = 0, I_3 = 0, I_2 = 1 - \tau_w$; (9)

при $\xi \to \infty \Rightarrow z \to 1 : I_1 \to 1, I_2 \to 0$.

Численное решение приведённой системы

После проведения линеаризации первого и третьего уравнений системы (7)–(8) методом Ньютона-Канторовича [1] на дискретной области для дифференциальной начально-краевой задачи была построена разностная задача.

Численное решение разностной задачи выполнялось в программной среде Вольфрам Математика (Wolfram Mathematica) [10]. Каждое из трёх уравнений решалось отдельно с использованием подходящих численных методов.

Первое уравнение, описывающее продольную составляющую скорости, представляет собой нелинейное дифференциальное уравнение второго порядка. После линеаризации методом Ньютона-Канторович для его решения использовался метод прогонки [11]. Бесконечная область была заменена конечным интервалом путём соответствующей замены переменной. После этого уравнение приведено к разностной схеме второго порядка точности. Итерационный процесс реализован с использованием релаксации и контроля сходимости по невязке. В результате получено распределение функции $I_1(z)$, удовлетворяющее граничным условиям $I_1(0) = 0$, $I_1(1) = 1$. Функция монотонно возрастает от нуля до единицы, что отражает установление продольной скорости на внешней границе пограничного слоя.

Второе уравнение, определяющее поперечную составляющую скорости, решалось методом Рунге–Кутты четвёртого порядка [11]. Правая часть уравнения содержала первую производную функции $I_1(z)$, которая была аппроксимирована центральной разностью. В качестве начального условия использовалось $I_3(0) = 0$. Полученное решение демонстрирует рост значения $I_3(z)$, что соответствует развитию поперечного течения в пограничном слое.

Третье уравнение описывает распределение температуры и также решалось методом прогонки. Коэффициенты разностной схемы рассчитывались на основе значений функции $I_1(z)$, полученных на первом этапе. Граничные условия принимались в виде $I_2(0) = 0.5$, $I_2(1) = 0$. Результатом стало убывающее температурное распределение вдоль нормали к стенке, что соответствует физически ожидаемому охлаждению газа при удалении от поверхности тела.

Анализ результатов численного моделирования

По результатам численного решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений построен обобщённый график (рисунок 1), на котором представлены зависимости основных функций. Графические зависимости позволяют наглядно проследить закономерности изменения параметров потока и подтвердить физическую состоятельность полученных решений.

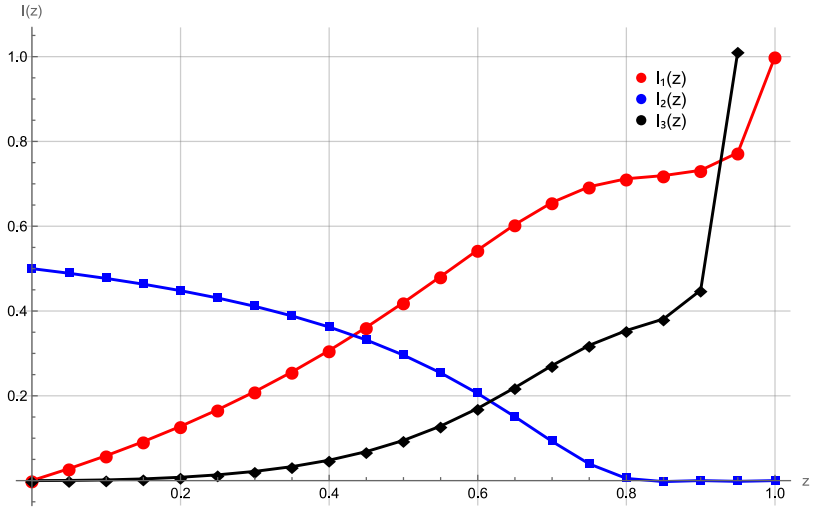


Рисунок 1. Результаты численного решения системы уравнений

Полученные численные зависимости демонстрируют характерное поведение исследуемых параметров внутри пограничного слоя. Найденные решения в полной мере удовлетворяют заданным граничным условиям, подтверждая корректность как математической постановки задачи, так и выбранных численных алгоритмов. Применённые методы продемонстрировали устойчивую сходимость и высокую вычислительную точность, обеспечив достоверность и воспроизводимость полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Игнатьева И.В*. О некоторых численных алгоритмах решения приближенных и полных уравнений Навье-Стокса: специальность 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Игнатьева Ирина Викторовна. – Чебоксары, 1998. – 20 с. – EDN ZKSEQV.

2. *Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В.* Теоретическая гидромеханика. - Т. II. – М.: Физматгиз. – 1963

3. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. М.: Наука. 1979. 847 с.

4. *Шлихтинг Г.* Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974. 711 с.

5. *Дородницын А.А.* Ламинарный пограничный слой в сжимаемом газе // Сб. теоретических работ по аэродинамике. М.: Оборонгиз. - 1957. -С. 140-173

6. *Лю-Шень-Цюань.* Расчет ламинарного пограничного слоя в сжимаемом газе при наличии отсоса или вдува // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1962. № 5. С. 868-883

7. *Ибрагимов Н.Х.* Азбука группового анализа // Новое в жизни, науке и технике. Сер. Математика, кибернетика. – М.: Знание. – 1989. - №8. – 48 с.

8. *Никифорова С.В.* О новых фактор-системах уравнений пограничного слоя при сверхзвуковых режимах течения // Казань: Материалы Всероссийской молодежной школы-конференции по математическому моделированию, алгебре и геометрии. – 2003. – С.29

9. *Никифорова С.В*. О новых фактор-системах уравнений пограничного слоя при сверхзвуковых режимах течения // Казань: Вестник КГТУ. - 2004. - №3. – С. 65-67

10. Компьютерная система Mathematica и расчетно-графические работы по высшей математике / Л.Ш. Мовчан, М.М. Карчевский, В.Н. Игнатьев, И.В. Анисимова; Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполев, Казанский (Приволжский) федеральный университет. – Казань: Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполев, 2008. – 96 с. – ISBN 978-5-7579-1148-9. – EDN YMGIOO.

11. *Анисимова, И. В*. Интегрирование дифференциальных уравнений высшего порядка и систем дифференциальных уравнений: учебное пособие / И.В. Анисимова, В.Н. Игнатьев, Л.Г. Цветков. – Казань: Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, 2018. – 164 с. – ISBN 978-5-7579-2353-6. – EDN LDDHWW.

ON A BOUNDARY LAYER PROBLEM IN HYPERSONIC FLOW REGIMES

Bryskova Y.M.
Supervisor: Anisimova I.V., Head of the Department, Doctor of Physico-Mathematical Sciences
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)*

Abstract. The paper considers a boundary layer problem arising during the flow of a viscous compressible gas over a cylindrical body in hypersonic conditions. The equations were transformed using group analysis methods, which made it possible to reduce them to a system of ordinary differential equations. The system was solved numerically using the Wolfram Mathematica environment.

УДК 517.9

РАСЧЕТ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ТЕЛА, ДВИГАЮЩЕГОСЯ ПО СЛОЖНОЙ ТРАЕКТОРИИ, С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА СОПРИКАСАЮЩЕЙСЯ ОКРУЖНОСТИ

Гуляк Е.А.
Научные руководители: Зорькина Н.В., доцент, к. п. н.
Громова Н.Ю., доцент, к. ф-м. н.
(Ульяновский институт гражданской авиации
имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, г. Ульяновск)

Аннотация. При проектировании транспортных систем и инженерных конструкций часто возникает необходимость расчета сил, действующих на тело при его движении по сложным траекториям. В данной работе представлен способ определения силы давления с использованием анализа кривизны траектории методом соприкасающейся окружности, что особенно актуально для задач, где требуется высокая точность расчетов при переменной кривизне пути.

Когда тело движется по криволинейной траектории, возникает центростремительное ускорение, величина которого напрямую зависит от вида кривизны пути в каждой конкретной точке. Именно этот параметр становится ключевым при расчете силы давления, действующей на тело или опорную конструкцию.

Для точного определения кривизны кривой в произвольной точке траектории применяется метод соприкасающейся окружности, заключающийся в нахождении такой окружности, которая наилучшим образом аппроксимирует траекторию в исследуемой точке. Радиус этой окружности R, называемый радиусом кривизны, вычисляется через производные функции, описывающей траекторию.

Рассмотрим функции f(x) и F(x;y) *(рис 1)*:

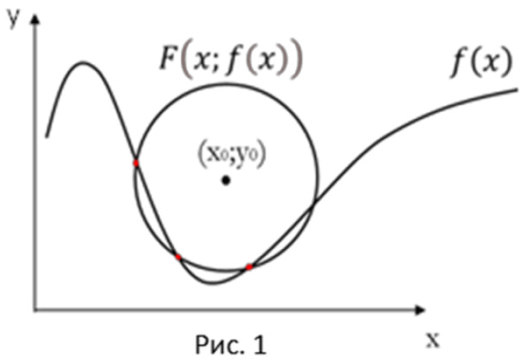


Рис. 1

$F(x;y) = (x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 - R^2$, такую, что $\begin{cases} f(x) = y \\ (x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 = R^2 \end{cases}$

Найдем первую и ворую производные: $F\big(x, f(x)\big)$:

$$F'(x) = 2(x-x_0) + 2(y-y_0)y' \Rightarrow \frac{1}{2}F'(x) = x - x_0 + (y-y_0)y'$$

$$\frac{1}{2}F''(x) = 1 + y'^2 + (y-y_0)y''$$

$F(x_1) = F(x_2) = F(x_3) = 0$ т.к. $\begin{cases} f(x) \cap F(x;y) = \{x_1; x_2; x_3\} \\ R^2 = (x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2, \ i = \overline{1,3} \end{cases}$

$\exists x_4 \mid x_1 < x_4 < x_2$, $F'(x_4) = 0$ и $\exists x_5 \mid x_2 < x_5 < x_3$, $F'(x_5) = 0$

По теореме Ролля, аналогично: $F'(x_4) = F'(x_5) \quad \exists x_6 \quad \mid x_4 < x_6 < x_5$, $F''(x_6) = 0$, тогда из $\begin{cases} F'(x_5) = 0 \\ F''(x_6) = 0 \end{cases}$: $\begin{cases} x_5 - x_0 + (y_5 - y_0)y_5' = 0 \\ 1 + y_6'^2 + (y_6 - y_0)y_6'' = 0 \end{cases}$, откуда

$\boldsymbol{x_0} = x_5 + \left(y_5 - y_6 - \frac{y_6'^2+1}{y_6''}\right)y_5'$ и $\boldsymbol{y_0} = y_6 + \frac{y_6'^2+1}{y_6''}$, тогда, при стягивании в одну точку получим: $\Delta x = |x_i - x_{i+1}|$, $i = \overline{1,5}$; $\Delta x \to 0$ и $x_1 \le x_j$, $x_3 \ge x_j$, $j = \overline{1,6}$

$$\lim_{\Delta x \to 0} x_0 = x + \left(y - y - \frac{y'^2+1}{y''}\right)y' = x - \frac{y'^2+1}{y''}y' \quad \text{и} \quad \lim_{\Delta x \to 0} y_o = y + \frac{y'^2+1}{y''}$$

Следовательно, радиус соприкасающейся окружности равен:

$$R = \sqrt{\left(x - x + \frac{y'^2+1}{y''}y'\right)^2 + \left(y - y - \frac{y'^2+1}{y''}\right)^2} = \frac{(y'^2+1)^{\frac{3}{2}}}{|y''|}$$

Однако, на практике траектория часто задается не аналитической функцией, а набором дискретных точек. В этом случае сначала необходимо построить непрерывную аппроксимацию пути. Для этой цели идеально подходит интерполяционный полином Лагранжа, который позволяет точно воспроизвести траекторию по заданным точкам и получить аналитическое выражение для последующего дифференцирования. Пусть заданы N точек траектории $(x_i; y_i)$, $i = \overline{0, N-1}$. Тогда можно составить интерполяционный полином Лагранжа степени N-1:

$$L(x) = \sum_{i=0}^{N-1} y_i l_i(x),$$

где базисные полиномы:

$$l_i(x) = \prod_{j=0}^{N-1} \frac{x - x_j}{x_i - x_j} \text{ при чем } j \neq i$$

Рассмотрим пример для трех точек, лежащих на данной кривой: $(x_1; y_1); (x_2; y_2); (x_3; y_3)$:

$$L_{(x)} = y_0 \frac{(x-x_1)(x-x_2)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)} + y_1 \frac{(x-x_0)(x-x_2)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)} + y_2 \frac{(x-x_0)(x-x_1)}{(x_2-x_0)(x_2-x_1)}$$

Сила давления тела будет различаться в зависимости от траектории движения. При движении без перегрузки $\left|\vec{P}\right| = \left|\vec{N}\right| = mg. \int$. С перегрузкой *(рис. 2)*:

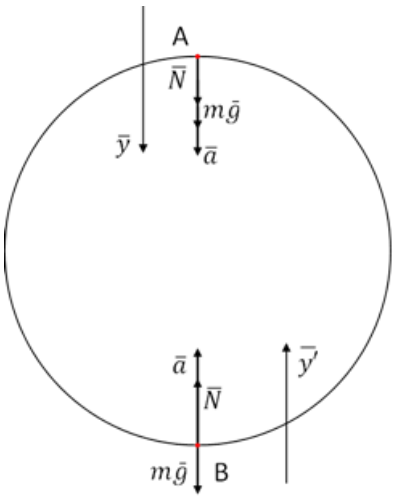


Рис. 2

В верхней точке (точка А):

Направление силы тяжести совпадает с направлением нормального ускорения

$$m\bar{a} = m\vec{g} + \vec{N} \;\; ; \;\; \text{на } Oy\text{: } ma = mg - N \;\; ; \;\; N = m(g-a) = m\left(g - \frac{v^2}{R}\right) = P$$

В нижней точке (точка В):

Направление силы тяжести противоположно направлению нормального ускорения

$$m\bar{a} = m\vec{g} + \vec{N} \;\; ; \;\; Oy'\text{: } ma = -mg + N \;\; ; \;\; N = m(g+a) = m\left(g + \frac{v^2}{R}\right) = P.$$

Рассмотрим применение этого метода на примере движения автомобиля массой 800 кг по прочному мосту. Траектория моста задана тремя контрольными точками: (0;0), (5;2) и (14;0) в условных единицах (например, 1 у.е. соответствует 100 метров). Построив полином Лагранжа для этих точек, мы получаем аналитическое описание траектории в виде квадратичной функции: $L(x) = 0\frac{(x-5)(x-14)}{(0-5)(0-14)} + 2\frac{(x-0)(x-14)}{(5-0)(5-14)} + 0\frac{(x-0)(x-5)}{(14-0)(14-5)} = -\frac{2}{45}(x^2 - 14x)$

Вычислив первую и вторую производные этой функции $L'(x) = -\frac{4}{45}x + \frac{28}{45}$; $L''(x) = -\frac{4}{45}$, мы можем определить радиус кривизны в любой точке моста. Например, для момента времени t = 8 с, когда автомобиль, движущийся с постоянной скоростью 20 м/с, проходит определенную дугу l, равную vt, так как тело движется с постоянной скоростью. $l = 20 * 8 = 160$м, а в выбранном масштабе – 1,6 у.е.. С другой стороны, для нахождения длины дуги можно воспользоваться формулой, включающей в себя начальную и конечную координату тела.

$$l = \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{1 + L'^2(x)}\, dx$$

Чтобы определить радиус кривизны в точке, необходимо знать ее координату. Для этого решим следующее уравнение относительно β

$$l = \int_{0}^{\beta} \sqrt{1 + \left(-\frac{4}{45}x + \frac{28}{45}\right)^2}\, dx = 1{,}6$$

Пусть $u = -\frac{4}{45}x + \frac{28}{45}$, $du = -\frac{4}{45}dx$, тогда $dx = -\frac{45}{4}du$, пределы интегрирования при $x = 0$: $u = \frac{28}{45}$ и при $x = \beta$: $u = -\frac{4}{45}\beta + \frac{28}{45}$.

Следовательно интеграл имеет вид:

$$\int_0^{\beta}\sqrt{1+\left(-\frac{4}{45}x+\frac{28}{45}\right)^2}\,dx=\int_{\frac{28}{45}}^{-\frac{4}{45}\beta+\frac{28}{45}}\left(-\frac{45}{4}\right)\sqrt{1+u^2}\,du=\frac{45}{4}\int_{-\frac{4}{45}\beta+\frac{28}{45}}^{\frac{28}{45}}\sqrt{1+u^2}\,du=$$

$$=\frac{45}{4}\left(\frac{1}{8}\left(\sqrt{1+u^2}+u\right)^2+\frac{1}{2}\ln\left|\sqrt{1+u^2}+u\right|-\frac{1}{8\left(\sqrt{1+u^2}+u\right)^2}\right)\Bigg|_{-\frac{4}{45}\beta+\frac{28}{45}}^{\frac{28}{45}}=$$

$$=\frac{45}{4}\left(\frac{1}{8}\left(\sqrt{1+\frac{28^2}{45}}+\frac{28}{45}\right)^2+\frac{1}{2}\ln\left|\sqrt{1+\frac{28^2}{45}}+\frac{28}{45}\right|-\frac{1}{8\left(\sqrt{1+\frac{28^2}{45}}+\frac{28}{45}\right)^2}\right)-\frac{45}{4}\left(\frac{1}{8}\left(\sqrt{1+-\frac{4}{45}\beta+\frac{28^2}{45}}-\right.\right.$$

$$\left.\left.-\frac{4}{45}\beta+\frac{28}{45}\right)^2++\frac{1}{2}ln\left|\sqrt{1+-\frac{4}{45}\beta+\frac{28^2}{45}}\pm\frac{4}{45}\beta+\frac{28}{45}\right|-\frac{1}{8\left(\sqrt{1+-\frac{4}{45}\beta+\frac{28^2}{45}}\pm\frac{4}{45}\beta+\frac{28}{45}\right)^2}\right).$$

Следовательно:

$$\frac{45}{4}\left(\frac{1}{8}\left(\sqrt{1+\frac{28^2}{45}}+\frac{28}{45}\right)^2+\frac{1}{2}\ln\left|\sqrt{1+\frac{28^2}{45}}+\frac{28}{45}\right|-\frac{1}{8\left(\sqrt{1+\frac{28^2}{45}}+\frac{28}{45}\right)^2}\right)-\frac{45}{4}\left(\frac{1}{8}\left(\sqrt{1+-\frac{4}{45}\beta+\frac{28^2}{45}}-\right.\right.$$

$$\left.\left.-\frac{4}{45}\beta+\frac{28}{45}\right)^2++\frac{1}{2}ln\left|\sqrt{1+-\frac{4}{45}\beta+\frac{28^2}{45}}+-\frac{4}{45}\beta+\frac{28}{45}\right|-\frac{1}{8\left(\sqrt{1+-\frac{4}{45}\beta+\frac{28^2}{45}}+-\frac{4}{45}\beta+\frac{28}{45}\right)^2}\right)=1{,}6$$

Используя метод Ньютона для решения уравнения получим, что $\beta \approx 1{,}3954$. Тогда x =1,3954 – абсцисса, в которой необходимо искать радиус кривизны кривой.

$$\mathrm{R}=\frac{\left(L'^2+1\right)^{\frac{3}{2}}}{|L''|}=\frac{\left(\left(\frac{-4\beta}{45}+\frac{28}{45}\right)^2+1\right)^{\frac{3}{2}}}{\frac{4}{45}}\approx 15{,}69$$

Используя ранее выбранный масштаб, получаем, что радиус кривизны в данной точке равен 1569 м. Зная этот параметр, вычислим силу давления. Так как мост выпуклый вверх ($L''<0$) сила давления будет вычисляться по формуле:

$$P=m\left(g-\frac{v^2}{R}\right)$$

Тогда: $P=800\left(10-\frac{20^2}{1569}\right)=7796$ Н

Ответ: 7796 Н.

Рассмотри преимущества описанного метода:

Метод демонстрирует эффективность для любых траекторий - от простых парабол до сложных кривых. В отличие от традиционных подходов, ограниченных определенными типами функций, данный метод работает с произвольными траекториями, заданными как аналитически, так и дискретными точками. Это особенно ценно при моделировании реальных условий движения, где траектории редко описываются простыми функциями. Соприкасающаяся окружность обеспечивает точность второго порядка, что позволяет корректно учитывать не только направление, но и интенсивность изменения кривизны. На практике это означает погрешность расчетов менее 1% для большинства инженерных задач, что подтверждается экспериментальными данными. Метод преобразует абстрактное понятие кривизны в конкретный геометрический образ - окружность определенного радиуса. Это существенно упрощает визуализацию и анализ результатов, позволяя инженерам буквально «видеть» кривизну траектории в каждой точке. Для работы метода достаточно знать координаты точек траектории, без требования аналитического описания кривой. Это делает его незаменимым при обработке экспериментальных данных и результатов полевых

измерений. Разработанная программа (на Python) позволяет проводить сотни динамических расчетов в секунду.

Недостатки метода и способы их устранения:

Вычислительная сложность при большом числе точек. При N > 20 точек резко возрастает степень полинома Лагранжа, что приводит к значительным вычислительным затратам и явлению Рунге. Для устранения необходимо ограничить количество точек ввода. Например, при работе с программой ограничиться вводом 10 точек и изменять первую введенную точку, заменяя ее координаты новой. Таким образом можно не терять частоту обновления и точность измерений. Ограничение на гладкость траектории, Метод требует двукратной дифференцируемости функции. Тогда для ломаных траекторий существуют специальные методы «скругления» углов, помимо этого можно использовать обобщенные функции в точках излома или разбивать траекторию на гладкие участки. Сложность пространственного обобщения для 3D-траекторий. Формулы при таких вводных существенно усложняются. С этим можно справиться введением параметрического задания кривой. При слишком большом шаге теряется точность. Так можно предложить адаптивные алгоритмы выбора шага.

Перспективные направления развития:

Возможно использовать в комбинации с методами машинного обучения для автоматического выбора оптимальных параметров расчета в зависимости от типа траектории. Использование возможностей GPU для параллельных вычислений, что особенно эффективно при обработке больших массивов данных. Разработка специализированного программного обучения с визуальным интерфейсом, позволяющим корректировать расчеты в реальном времени. Интеграция в метод таких параметров, как трение, аэродинамическое сопротивление, упругие деформации конструкций.

Эти усовершенствования позволяют существенно расширить область применения метода, сохраняя его основные преимущества - наглядность и физическую обоснованность. Особенно перспективным представляется внедрение адаптивных алгоритмов, автоматически подбирающих оптимальный метод расчета для каждого участка траектории.

Разработанный подход к расчету силы давления через метод соприкасающейся окружности демонстрирует высокую эффективность при решении практических задач динамики движения. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании дорожных развязок, мостовых конструкций и других инженерных объектов, где требуется точный учет переменной кривизны траектории. Дальнейшее развитие метода может быть связано с его оптимизацией для работы с большими массивами данных и адаптацией к реальным условиям, учитывающим факторы трения и сопротивления среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Романовский П.И.* Общий курс математического анализа в сжатом изложении - Москва: Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1962. - 331 с.: ил. - 60000 экз. - Текст: непосредственный.

2. *Бондарев Б.В*. Курс общей физики в 3 кн. Книга 1: механика: учебник для бакалавров/ Б.В. Бондарев, Н.П. Калашников, Г.Г. Спирин - Москва Издательство Юрайт, 2024 — 353 с.— (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-17167-9. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL:https://urait.ru/bcode/535752

CALCULATION OF PRESSURE FORCE FOR A BODY MOVING ALONG A COMPLEX TRAJECTORY USING THE OSCULATING CIRCLE METHOD

Gulyak E.A.

Supervisors: Zorkina N.V., Associate Professor, Candidate of Pedagogical Sciences,
Gromova N.Yu., Associate Professor, Candidate of Physico-Mathematical Sciences

(Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after
Chief Marshal of Aviation B.P. Bugaev Ulyanovsk)

Abstract. When designing transport systems and engineering structures, it is often necessary to calculate the forces acting on a body moving along complex trajectories. This paper presents a method for determining the pressure force by analyzing the trajectory's curvature using the osculating circle method. This approach is particularly relevant for tasks requiring high computational accuracy under variable path curvature. The abstract describes the essence of the research.

УДК004.414.23

МОДЕЛИ ГИБРИДНЫХ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ВЫСОТНЫЕ ПЛАТФОРМЫ

Демичева А.А.
Научный руководитель: Пономарев Д.Ю, доцент, д. т. н.
(Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск)

Аннотация. В настоящей статье рассмотрены высотные платформы с точки зрения теории массового обслуживания, приведено их описание как систем массового обслуживания, для дальнейшего использования в системах имитационного и математического моделирования. Определение вероятностно-временных характеристик моделируемых систем напрямую влияет на уровень качества обслуживания.

На сегодняшний день происходит формирование единого цифрового пространства, которое позволяет взаимодействовать друг с другом различного вида устройствам. Разрабатывается концепция «Бесшовного цифрового неба» предложенная компаниями АО «ГЛОНАСС» и «Платформой НТИ», а также лидерами отрасли беспилотной авиации, и объединяет в одну систему существующие технологии и платформы, применяемые для различных сфер, а именного наземной, воздушной и космической [1]. Такие системы включают в себя множество компонентов, а именно: абонентские станции (АС), земные станции (ЗС), беспилотные летательные аппараты (БПЛА), космические аппараты (КА), а также технологии проводной и беспроводной связи.

Одной из перспективных разработок является включение в системы связи элементов high-altitude platform station (HAPS), которые также называются атмосферным спутником или высотной платформой. Такое воздушное судно размещается на высоте 8-50 км в стратосфере и используется как ретранслятор или как полноценная станция, сравнимая по функционалу с наземной базовой станцией [2]. Это подтверждается как отечественными [3-4], так и зарубежными учеными [5-8].

В соответствии с информацией, представленной HAPS Alliance [9], под HAPS могут предполагаться следующие воздушные суда: воздушный шар, дирижабль, системы с фиксированным крылом. Для энергообеспечения систем используется солнечная энергия, твердое топливо и аккумуляторные системы, которые обеспечивают питанием как само устройство и его полет, так и полезную нагрузку, которую он переносит. Системы HAPS могут быть использованы как спутниковые системы для навигации, ретрансляции, прямого подключения абонентов, систем дистанционного зондирования Земли. Однако, в отличии от КА, HAPS расположены ближе к земной поверхности, а именно в стратосфере, и служат промежуточным слоем взаимодействия между спутниковыми системами и системами, находящимися в атмосфере – БПЛА, ЗС, АС. Относительно низкая высота полета HAPS позволяет уменьшить расстояние между взаимодействующими элементами, следовательно, и задержку при передаче, но при этом HAPS располагаются выше тропосферы, и при переносе на HAPS систем обработки данных, могут обеспечивать управление (оркестровку) элементов, находящихся на Земле или вблизи, в частности маршрутизировать передаваемые данные.

В связи с большим количеством разнородных элементов в гибридных спутниковых сетях связи, взаимодействующих между собой, проектирование и анализ таких сетей является трудоемкой задачей. Одним из подходов к изучению сетей передачи данных является моделирование систем, в частности математическое и имитационное. В связи с тем, что HAPS являются относительно новым элементом в системах связи, в настоящей статье рассмотрены высотные платформы с точки зрения теории массового обслуживания.

При рассмотрении HAPS в виде системы массового обслуживания (СМО) необходимо привести в соответствие понятия теории массового обслуживания и элементы системы передачи данных:

• Обслуживаемые требования, которые поступают в СМО, могут быть интерпретированы как сообщения (пакеты, требования или запросы), поступающие от устройств (ЗС, КА, АС, HAPS и др.), подключаемых к сети. Поступление требований может быть описано детерминированным или вероятностным законом распределения с заданной интенсивностью поступления;

• Обслуживающие устройства определяются как элементы системы, в которых происходит обработка данных и затрачиваются ресурсы, в частности процессорное время. Обслуживающее устройство может быть, как одноканальным, так и многоканальным, и определяется структурой рассматриваемого элемента. Обслуживание требований может происходить по заданному закону и характеризуется интенсивностью обработки канала или линии обслуживания;

• Очереди в СМО возникают перед обслуживающим устройством в виде накопления требований, ожидающих обработку обслуживающим устройством, в следствии разных интенсивностей поступления и обработки требований в рассматриваемую систему. Очереди могут быть описаны в виде буфера как конечного физического элемента памяти устройства. При упрощении моделируемой системы очередь может иметь бесконечную размерность, то есть быть задана в виде бесконечного буфера. При наличии бесконечного буфера в системе возникают условные потери, тогда необходимо анализировать такие характеристики как время нахождения требования в очереди и среднюю длину очереди; при отсутствии буфера – в системе возникают явные потери, тогда необходимо анализировать время нахождения требования на обслуживании, а также загрузку СМО; при наличии конечного буфера – в системе образуются комбинированные потери, включающие в себя и явные, и условные потери;

• Отказ в доступе для поступившего требования может наступить при перегрузке системы, когда нет возможности обслуживания в текущий момент времени и нет возможности постановки требования в очередь. Этот показатель будет влиять на вероятность потерь требований в системе и необходимость повторной передачи, что увеличивает поступающую в систему нагрузку.

При использовании математического моделирования для анализа систем передачи данных и их отдельных компонентов возникает вопрос определения численных значений вероятностно временных характеристик. Развитие пакетной передачи данных и широкое применение IP (Internet Protocol) протокола привело к разработке и усовершенствованию имеющихся стандартов и рекомендаций, в частности таких организаций как IEEE [10], МСЭ - Т [11-14], 3GPP. К характеристикам, влияющим на качество обслуживания относятся: вероятности потерь передаваемых пакетов данных; временные задержки пакетов в очередях, а также в обслуживающем устройстве; вариации задержек, а также другие характеристики. Решение проблемы качества обслуживания в гибридных инфокоммуникационных сетях также рассматривается в работах [15, 16].

Такое направление в прикладной математике как теория массового обслуживания позволяет определять численные характеристики для отдельных видов систем. Примером может служить закон Литтла, с помощью которого возможно нахождение среднего времени задержки, что-то же самое, что и время задержки пакета, а в общем случае требования, в системе, и складывается из времени ожидания обслуживания (времени нахождения в буфере)

и времени обслуживания. Согласно закону Литтла (формула 1) среднее число требований в системе (L) определяется интенсивностью поступления требований в систему (λ) и средним временем пребывания в системе (W):

$$W = \frac{L}{\lambda}. \quad (1)$$

Среднее число требований в системе (L) может быть определено с помощью формулы Полячека-Хинчина (формула 2):

$$\overline{N} = \rho + \frac{\rho^2(1+C_b^2)}{2(1-\rho)}, \quad (2)$$

где ρ – загрузка СМО; C – коэффициент вариации длительности обслуживания, зависит от вида вероятностного распределения. Для показательного распределения, как часто применимого для описания реальных потоков, $C_b = 1$.

Для анализа сложных систем может быть применен принцип декомпозиции. При рассмотрении высотной платформы ее компоненты могут быть представлены как отдельные СМО, а именно: входные интерфейсы, блоки обработки, выходные интерфейсы. Каждый компонент для дальнейшего анализа рассматривается отдельно. Под входным интерфейсом, например, может подразумеваться канал связи, ограниченный буфер, один канал обслуживания. Так каждый входной интерфейс представляется как СМО вида M/M/1/N согласно классификации Кендалла–Башарина, и определятся заданной интенсивностью обслуживания. Блок обработки зависит от аппаратной реализации, и в общем случае может быть представлен многоканальной системой с ограниченным буфером, как СМО вида M/M/m/N. Выходной интерфейс может быть представлен ограниченным буферов, в котором накапливаются требования для дальнейшей обработки и отправки в канал передачи, и может быть представлен как СМО вида M/M/1/N.

Использование систем имитационного моделирования позволяет с помощью специализированного программного обеспечения создать сеть передачи данных и проверить работу сети при различных входных характеристиках. Могут быть использованы, например, среда GPSS или Omnet++.

Среда GPSS дает возможность исследовать модель сети передачи данных с точки зрения теории массового обслуживания. В данной среде имитационного моделирования используются блоки, которые позволяют организовать: поток входящего трафика с различными приоритетами; очереди как ограниченные, так и неограниченные, анализировать количество поступивших в них транзактов, то есть элементов создаваемого потока, под которыми могут пониматься требования, сообщения, пакеты данных или другой элемент; одноканальные и многоканальные обслуживающие устройства, их загрузку, возможность отключения устройств при различных условиях; возможность сбора статистики и анализа полученных результатов моделирования.

Среда OMNet++ позволяет рассматривать элементы сети передачи данных с учетом используемых протоколов и технологий, в частности для создания как проводных, так и беспроводных сетей совместно с определенными характеристиками среды распространения. Анализ отдельных сетевых элементов может производиться на разных уровнях модели взаимодействия открытых систем OSI (Open Systems Interconnection), что позволяет всесторонне исследовать элемент при передаче через него потока данных. Стоит отметить совместимость OMNet++ с языком программирования C++, что позволяет добавлять описание алгоритмов работы компонентов модели с использованием программного кода.

Применение имитационного моделирования обеспечивает гибкий подход к проведению исследования гибридной сети передачи данных, позволяя учитывать взаимодействие разнородных технологий при применении в одной системе. Также имитационное моделирование не накладывает ограничений на количество узлов, что позволяет изучать системы любого масштаба, в пределах вычислительных ресурсов. Применение аналитического моделирования позволяет определять численные значения характеристик, анализируемых в сети. Однако необходимо учитывать количество узлов и связей между ними, для определения времени проведения вычислений.

Таким образом, используя понятия теории массового обслуживания, HAPS могут быть описаны и смоделированы как совокупность СМО с определенными параметрами. Далее, изучая выходные характеристики систем и определяя вероятностно-временные характеристики, могут быть сделаны выводы о работе системы, в частности определен уровень качества обслуживания.

Вывод. Высотные платформы HAPS используются как расширение имеющихся спутниковых систем передачи информации. Для оценки эффективности работы сложной системы может быть применено моделирование, в котором HAPS будут описаны в виде СМО. Оценка вероятностно-временные показателей системы передачи данных включает в себя вероятность потерь требований в системе, среднее время ожидания начала обслуживания, среднее число требований в системе, пропускная способность системы, задержки при передаче требований, которые напрямую влияют на уровень качества обслуживания.

Благодарности: работа выполнена в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» СибГУ им. М.Ф. Решетнева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. «Цифровое небо» будет создано в России для безопасного применения гражданских авиабеспилотников // Министерства транспорта Российской Федерации URL: https://mintrans.gov.ru/press-center/branch-news/3322 (дата обращения: 23.06.2025).

2. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks (Release 15) // NCU HSCC Lab URL: https://hscc.csie.ncu.edu.tw/38811.pdf (дата обращения: 23.06.2025).

3. *Карпов М.А., Лукьянчик В.Н., Васильева Т.Г.* Построение инфотелекоммуникационной сети на основе аэроплатформ в арктичесной зоне Российской Федерации // Телекоммуникации и связь. - 2024. - №1 (1). - С. 77-93.

4. *Девяткин Е.Е., Иванкович М.В., Пастух А.С.* Анализ возможности построения трехмерной архитектуры сетей 6G // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. - 2021. - №6. - С. 91 – 99.

5. *Y. Xing, F. Hsieh, A. Ghosh, and T. S. Rappaport*. High Altitude Platform Stations (HAPS): Architecture and System Performance // 2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC-Spring), April 2021, pp. 1-6.

6. *H. Kang and H. -K. Son*. Service Availability of HAPS considering its elevation angle, density, and altitude // 2023 14th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), Jeju Island, Korea, Republic of, 2023, pp. 1263-1266, doi: 10.1109/ICTC58733.2023.10393260.

7. *T.A. M. I. Aziz and Iskandar*. Disaster mitigation techniques based on LTE release 8 network employed using HAPS // 2014 8th International Conference on Telecommunication Systems Services and Applications (TSSA), Kuta, Bali, Indonesia, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/TSSA.2014.7065950.

8. *JihanNurSalsabila*. Feasibility Study of High Altitude Platform Station (HAPS) Implementation for Urban Areas in Indonesia: A Case Study of East Kalimantan // 2023 IEEE International Opportunity Research Scholars Symposium (ORSS), Atlanta, GA, USA, 2023, pp. 92-95, doi: 10.1109/ORSS58323.2023.10161950.

9. HAPS Architecture: Cell Towers in the Sky HAPS Reference Architecture Paper October 2024 // HAPS Alliance URL: https://hapsalliance.org/wp-content/uploads/formidable/12/2024_HAPS_Reference_Architecture_Cell_Towers_In_The_Sky_White_Paper.pdf (дата обращения: 23.09.2025).

10. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks---Quality of Service Provision by Network Systems // IEEE Std 802.1DC-2024. - 2024. - pp. 1-54., doi: 10.1109/IEEESTD.2024.10745929.

11. Y.1545.2: Quality of service metrics for continuity of performance of packet data-based services // ITU URL: https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1545.2-202207-I/en (дата обращения: 23.09.2025).
12. Y.1540: Internet protocol data communication service - IP packet transfer and availability performance parameters // ITU URL: https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1540/en (дата обращения: 01.08.2025).
13. ITU-T E.360.3 (05/2002) - QoS routing and related traffic engineering methods – QoS resource management methods // ITU URL: https://www.itu.int/myworkspace/#/t-rec/item?id=5590&lang=en (дата обращения: 27.07.2025).
14. ITU-T G.1010 (11/2001) - End-user multimedia QoS categories // ITU URL: https://www.itu.int/myworkspace/#/t-rec/item?id=5598&lang=en (дата обращения: 27.07.2025).
15. *Пономарев Д.Ю*. Базовые положения концепции обеспечения качества обслуживания в гибридных орбитально-наземных сетях // Радиотехника. 2025. Т. 89. № 5. С. 157−165.
16. *Пономарев Д.Ю., Демичева А.А*. Методы и модели обеспечения качества обслуживания в инфокоммуникационных сетях // Инновации на службе Отечеству / Сборник трудов // Анапа: Федеральное государственное автономное учреждение «Военный инновационный технополис «ЭРА», 2025. - С. 18-23.

MODELS OF HYBRID DATA TRANSMISSION NETWORKS USING HIGH-ALTITUDE PLATFORMS

Demicheva A.A.
(Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk)

Abstract. This article examines high-altitude platforms from the point of view of queuing theory, and describes them as queuing systems for further use in simulation and mathematical modeling systems. Determining the probabilistic and time characteristics of the modeled systems directly affects the level of service quality.

УДК 629.784

ТРЕУГОЛЬНАЯ ВРАЩАЮЩАЯСЯ СИСТЕМА МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ МАНЁВРА НА ОРБИТАХ БЕЗ ХИМИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

Екимовская А.А.
Научный руководитель: Лебедев В.В., д. т. н.
(Благотворительный фонд «Образование+»,
НИУ «Московский авиационный институт»)

Аннотация. Для расширения перечня задач, решаемых на орбитах, космические аппараты должны совершать манёвры. Но в малых космических аппаратах нет места для размещения двигателей и запаса химического топлива. Для устранения этого противоречия предлагается использовать кинетическую энергию вращения системы. Предложена вращающаяся треугольная конфигурация малых космических аппаратов, которая способна совершить манёвр Гомана.

Цель работы заключается в выполнении орбитального манёвра Гомана без использования химического топлива, только за счёт накопленной кинетической энергии вращающейся космической системы. Для достижения этой цели требуется решить первую техническую задачу эскизного проектирования - предложить общую схему вращающегося космического аппарата (КА), способного совершить орбитальный манёвр Гомана, то есть выполнить двухимпульсный переход с одной круговой орбиты на другую. Сформулированные цель и задача исследования актуальны вследствие масштабного

внедрения в практику малых космических аппаратов. В небольших объёмах современных конструкций хорошо размещается электронное оборудование и оптические системы, но для двигателя и баков с химическим топливом или баллонов для сжатых газов не остаётся места. Следовательно, современные малые КА в принципе не могут маневрировать на орбитах. Если целевые задачи применения таких КА требуют использовать различные орбиты, то в космос приходится выводить несколько образцов, что значительно повышает стоимость эксплуатации новой техники. В предлагаемой работе продолжается обоснование и приводится теоретическое доказательство возможности орбитального маневрирования только за счёт энергии вращения КА. Новизна работы заключается в предложении общей схемы вращающейся системы в виде трёх отсеков с размещением в вершинах равнобедренного треугольника, связанных стержнями или тросами.

Баллистический расчёт вращающейся системы

Для определённости будем предполагать, что вращающаяся космическая система должна совершить восходящий манёвр Гомана. Это означает, что первоначально вращающаяся система из трёх малых КА движется по круговой орбите с высотой h_1 над поверхностью Земли. Для достижения цели работы требуется перевести один из модулей системы малых КА на более высокую круговую орбиту с высотой $h_2 > h_1$ над поверхностью Земли, то есть с радиусом орбиты от центра тяготения Земли $r_2 = R_3 + h_2$. Орбитальный переход между круговыми орбитами выполняется по двухимпульсной схеме Гомана [1], показанной на рис.1 слева. На низкой круговой орбите в заданной точке КА должен получить дополнительную разгонную скорость $\vec{V}_1$. Эта точка считается перигеем. Разгонный импульс в перигее увеличивает апогей орбиты, КА начинает двигаться по переходной эллиптической траектории Гомана. Достаточно выполнить движение по одной половине эллипса, чтобы КА достиг апогея. Но можно совершить несколько оборотов вокруг Земли по эллиптической траектории. Принципиальным является второй разгонный импульс $\vec{V}_2$ в апогее, который увеличивает перигей. Это увеличение должно быть таким, чтобы новая орбита стала круговой, радиус новой орбиты равен апогейному удалению от центра Земли.

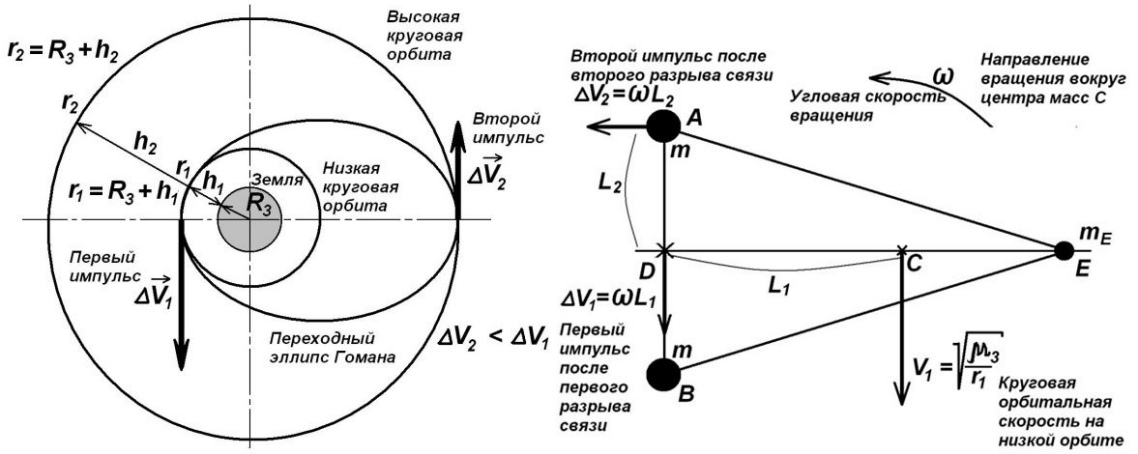


Рис. 1. Схема двухимпульсного орбитального перехода Гомана треугольной системой

Важным фактом для последующих расчётов является уменьшение требуемой величины добавочной скорости ΔV_2 при втором импульсе по сравнению с добавочной скоростью ΔV_1 при первом импульсе, то есть выполнение неравенства $\Delta V_2 < \Delta V_1$. Это является следствием интеграла энергии, потому что с увеличением удалённости от центра тяготения гравитационное действие Земли становится слабее.

В Техническом задании для малых КА определены требования по высотам орбит над поверхностью Земли. Это означает, что для заданных радиусов $r_1 = R_3 + h_1$ и $r_2 = R_3 + h_2$

начальной и конечной круговых орбит соответственно надо выполнить два увеличения скорости КА в указанных ранее точках. Величины дополнительных разгонных скоростей зависят от круговой скорости V_1 на первой круговой орбите и отношения $k = \frac{r_2}{r_1}$ радиуса второй круговой орбиты к радиусу первой круговой орбиты. Величина круговой скорости V_1 зависит от радиуса $r_1 = R_3 + h_1$ этой орбиты и вычисляется по формуле [1]: $V_1 = \sqrt{\frac{\mu_3}{r_1}}$. Гравитационный параметр Земли равен [1]: $\mu_3 = 398600\,\text{км}^3/\text{с}^2$. С учётом принятых обозначений величины ΔV_1 и ΔV_2 дополнительных разгонных скоростей в двухимпульсном манёвре Гоман вычисляются по формулам [1]: $\Delta V_1 = V_1\left(\sqrt{\frac{2k}{k+1}} - 1\right)$; $\Delta V_2 = V_1 \frac{1}{\sqrt{k}}\left(1 - \sqrt{\frac{2}{k+1}}\right)$.

Для последующих расчётов важно знать отношение этих двух значений дополнительных разгонных скоростей, для определённости обозначим его символом: $n = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = \frac{V_1\left(\sqrt{\frac{2k}{k+1}} - 1\right)}{V_1 \frac{1}{\sqrt{k}}\left(1 - \sqrt{\frac{2}{k+1}}\right)} = \frac{\sqrt{k}\left(\sqrt{2k} - \sqrt{k+1}\right)}{\sqrt{k+1} - \sqrt{2}}$. Указанные приращения скоростей являются линейными скоростями ΔV_1 и ΔV_2 вращения соответствующих точек в единой вращающейся космической системе малых КА. Из этого следует, что баллистические требования к вращающейся системе малых КА надо согласовать с геометрическим проектированием корпуса. Целью этой работы является исследование варианта треугольной вращающейся системы, состоящей из трёх модулей в виде малых КА, которые могут отделяться при разрыве соединительных связей – тросов или штанг.

Таким образом, баллистические требования к вращающейся системе из трёх малых КА сводятся к обеспечению двух линейных скоростей вращения. Во-первых, центр масс первой, оставшейся после отделения первого модуля, связки из второго и третьего малого КА должен иметь линейную скорость от вращения системы, равную первой величине дополнительной скорости в манёвре Гомана, то есть $\Delta V_1 = V_1\left(\sqrt{\frac{2k}{k+1}} - 1\right)$. Во-вторых, третий, конечный модуль малого КА на высокой круговой орбите, должен иметь линейную скорость вращения в связке со вторым модулем до его отделения, равную второй величине дополнительной скорости в манёвре Гомана, то есть $\Delta V_2 = V_1 \frac{1}{\sqrt{k}}\left(1 - \sqrt{\frac{2}{k+1}}\right)$.

Геометрический расчёт вращающейся системы

При начале исследования есть смысл изучить самый простой вариант треугольной вращающейся системы в виде равнобедренного треугольника, в вершинах которого расположены отделяемые модули в виде малых КА. В расчётной схеме первоначально эти модули предполагаются точечными массами. На рис.1 справа представлена общая геометрическая компоновочная схема вращающейся системы малых КА в начальном состоянии, до манёвра Гомана, то есть на низкой круговой орбите радиусом $r_1 = R_3 + h_1$.

Система имеет конфигурацию равнобедренного треугольника *ABE*, в котором боковые стороны равны $AE = BE$. В вершинах равнобедренного треугольника *ABE* размещены три модуля в виде малых КА. При этом в вершинах *A* и *B* размещены одинаковые

по массе модули, то есть $m_A = m_B = m$. В вершине *E* размещён модуль другой массы m_E. Точка *D* на основании равнобедренного треугольника *ABE* является серединой основания *AB*, то есть центром масс двух модулей с одинаковыми массами m_A и m_B. Точка С на высоте, биссектрисе и медиане ED является общим центром масс всей системы, то есть трёх точечных масс m_A, m_B, m_E. Три модуля в виде малых КА в точках *A, B, E* связаны в единую конструкцию либо жёсткими связями в виде стержней *AE, BE, AB,* либо в виде тросов, которые во время вращения натягиваются для сохранения треугольной конфигурации. Для дальнейшего исследования важно определить расстояния *CD* и *AD*, а также более свободное с конструкторской точки зрения расстояние *CE*. Треугольная система выводится на круговую околоземную орбиту радиусом $r_1 = R_3 + h_1$, поэтому центр масс системы *C* будет иметь соответствующую круговую скорость $V_1 = \sqrt{\frac{\mu_3}{r_1}}$. На рис.1 справа вектор этой скорости направлен вниз. Либо на Земле под обтекателем РН перед стартом, либо на орбите за счёт солнечной энергии и электродвигателей, но в этом случае нужны две одинаковые треугольные системы жёстко прикрепляемые к статору и ротору, система раскручивается до требуемой угловой скорости ω, значение которой надо будет рассчитать из условий совершения заданного манёвра Гомана. На рис.1 справа направление вращения системы показано стрелкой в верхней части схемы. После раскрутки системы точка *E* и размещённый в ней малый КА массой m_E приобретут линейную скорость $V_E = \omega \cdot CE$. Точка *D*, то есть середина отрезка *AB*, после раскрутки приобретёт линейную скорость $V_D = \omega \cdot CD = \omega \cdot L_1$.

В предлагаемой схеме не имеет значения, в какой плоскости происходит раскрутка треугольной системы. Это может быть не только плоскость местного горизонта, но и вертикальная плоскость или наклонная плоскость. Для системы управления важным является только требование постоянно определять направление круговой скорости $V_1 = \sqrt{\frac{\mu_3}{r_1}}$ и одновременно обрывать связи *AE* и *BE* в тот момент времени, когда скорость $V_D = \omega \cdot CD = \omega \cdot L_1$ точки *D* сонаправлена с круговой скоростью $V_1 = \sqrt{\frac{\mu_3}{r_1}}$, при этом скорость точки *E* будет, наоборот, противонаправлена круговой скорости.

Для получения первой дополнительной разгонной скорости в манёвре Гомана надо разорвать связи *AE* и *BE* для освобождения точечной массы m_E. Разрыв связей происходит в момент времени, когда скорость точки *D* сонаправлена с круговой скоростью. Значит, точка *D* получит дополнительный разгонный импульс, который переведёт её на орбиту переходного эллипса Гомана.

Второй разгонный импульс происходит в точке апогея переходной эллиптической траектории. Будем предполагать, что на высокую круговую орбиту выводится модуль, расположенный в точке *A*. Значит, разрыв связи *AB* должен произойти в точке апогея, когда вращающаяся система будет ориентирована так, что вектор скорости точки *A* будет сонаправлен вектору орбитальной скорости точки *D*. При этом вектор скорости точки *B* будет противонаправлен вектору орбитальной скорости точки *D*. Так как модуль КА в точке *A* получит разгонный импульс в апогее, то увеличится высота перигея. Модуль КА в точке *B*, напротив, получит тормозной импульс, такой же по величине, поэтому уменьшит величину перигея, но этот груз не является предметом изучения, он служит только иллюстрацией массы, от которой отталкивается разгоняемый модуль. Эллиптическая орбита заторможенного груза может оказаться с таким низким перигеем, что этот модуль малого КА войдёт в атмосферу Земли, затормозится и вернётся на Землю или сгорит в атмосфере. Получается, что для предлагаемой треугольной вращающейся космической системы с тремя модулями малых КА реальным становится удаление из околоземного космического

пространства двух блоков, что соответствует требованиям по снижению группировки космического мусора [2,3].

Ранее, при баллистических расчётах, было показано, что отношение величин дополнительных скоростей в первом и втором импульсах манёвра Гомана равно $n = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = \frac{V_1\left(\sqrt{\frac{2k}{k+1}} - 1\right)}{V_1 \frac{1}{\sqrt{k}}\left(1 - \sqrt{\frac{2}{k+1}}\right)} = \frac{\sqrt{k}\left(\sqrt{2k} - \sqrt{k+1}\right)}{\sqrt{k+1} - \sqrt{2}}$. Геометрические и механические расчёты кинематики вращающегося абсолютно твёрдого тела показывают, что отношение этих же дополнительных величин скоростей равно $n = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = \frac{\omega \cdot L_1}{\omega \cdot L_2} = \frac{L_1}{L_2}$, причём не зависит от радиуса $r_1 = R_3 + h_1$ начальной круговой орбиты. Следовательно, после приравнивания правых частей двух полученных формул записываем выражение для отношения двух расстояний: $\frac{L_1}{L_2} = \frac{\sqrt{k}\left(\sqrt{2k} - \sqrt{k+1}\right)}{\sqrt{k+1} - \sqrt{2}}$. Это отношение определяется только отношением $k = \frac{r_2}{r_1}$ радиусов конечной и начальной круговых орбит. Иными словами, расстояния L_1 и L_2 полностью определяют отношение $k = \frac{r_2}{r_1}$ радиусов конечной и начальной круговых орбит при орбитальном манёвре Гомана. В этом заключается главный геометрический смысл эскизного проектирования треугольной вращающейся системы малых КА. Таким образом, зная начальную и конечную круговые орбиты из Технического задания, сразу можно определить геометрическую конфигурацию вращающейся треугольной системы малых КА с точностью до преобразования подобия.

Массовый расчёт вращающейся системы

Массовые характеристики определяют эффективность применения космических средств. Особенно важным является отношение массы полезной нагрузки к массе исходной конструкции. Например, для современных РН при старте с поверхности Земли и доставке на низкую околоземную орбиту 200-400 км эта величина приблизительно равна 0,05, то есть составляет 5% от исходной массы. В случае космической орбитальной системы манёвр Гомана начинается не с поверхности Земли, а с низкой круговой орбиты, поэтому нет смысла сравнивать по этому показателю эффективность системы маневрирования с системой выведения в космос. Но при этом важно знать, как распределение массы между тремя малыми КА во вращающейся треугольной системе влияет на конечную массу конструкции, то есть на конечную массу малого КА, переведённого манёвром Гомана на высокую круговую орбиту. Для определения массовых характеристик системы нужно применить формулу для расчёта координат центра масс системы материальных точек. Математически это означает применение формул для исследования деления отрезка в заданном отношении, определяемом массами материальных точек. На рис.2 показана расчётная схема задачи. Положение центра масс C системы из трёх грузов определяется формулой $2mL_1 = m_E L_E$. Предполагается, что в левой части рисунка находятся два одинаковых груза массой m каждый, а в правой части расположен один груз массой m_E. Тогда конечная масса системы, то есть одного груза, на высокой круговой орбите будет равна $m = \frac{m_E L_E}{2L_1}$. Общая начальная масса системы равна $2m + m_E$. Значит, массовую эффективность вращающейся системы при маневрировании можно оценить отношением:

$$\frac{m}{2m+m_E}=\frac{\frac{m_E L_E}{2L_1}}{2\frac{m_E L_E}{2L_1}+m_E}=\frac{m_E\frac{L_E}{2L_1}}{m_E\left(\frac{L_E}{L_1}+1\right)}=\frac{\frac{L_E}{2L_1}}{\frac{L_E}{L_1}+1}=\frac{L_E}{2\left(L_E+L_1\right)}.$$

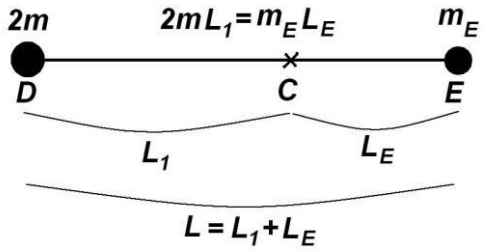


Рис. 2. Расчётная схема для анализа массовых характеристик

Обозначим $x=\frac{L_E}{L_1}$. Тогда получим функцию для исследования $f\left(x\right)=\frac{x}{2\left(x+1\right)}$. На рис.3 слева показан график этой функции. График функции имеет горизонтальную асимптоту $\lim\limits_{x\to+\infty}f\left(x\right)=\lim\limits_{x\to+\infty}\frac{x}{2\left(x+1\right)}=\frac{1}{2}=0,5$. Значит, предельное значение выбранного показателя качества равно 0,5, то есть 50%. Это означает, что в принципе в результате манёвра Гомана с низкой круговой орбиты на высокую круговую орбиту можно перевести до 50% от начальной массы вращающейся космической системы малых КА только за счёт запасённой кинетической энергии вращения системы, без использования химического топлива и ракетных двигателей. Такая асимптотика, то есть предельный, не достижимый случай соответствует сильно вытянутой треугольной системе, когда груз m_E можно сделать бесконечно малым, но далеко удалённым от двух грузов m. Начальная массы системы в этом случае приблизительно равна $2m$, а конечная масса равна m, то есть массовая эффективность приближается к значению 50%. Анализ полученной зависимости показателя массовой эффективности манёвра Гомана показывает, что первый груз массой m_E надо удалять как можно дальше, то есть вытягивать треугольную систему малых КА, делая равнобедренный треугольник как можно более вытянутым. В реальных условиях даже при отношении $x=2$ показатель качества равен $f(x)=0,333$, то есть 1/3 начальной массы перейдёт с низкой круговой орбиты на высокую. Таким же способом можно перейти к анализу высоты L равнобедренного треугольника. Так как $L=L_1+L_E$, то $L_E=L-L_1$, поэтому получаем соотношение $\frac{m}{2m+m_E}=\frac{L_E}{2\left(L_E+L_1\right)}=\frac{L-L_1}{2L}=\frac{1}{2}\left(1-\frac{L_1}{L}\right)$. Обозначим отношение указанных длин символом $\frac{L_1}{L}=y$. Тогда прежняя целевая функция массовой эффективности принимает линейный вид $f\left(y\right)=\frac{m}{2m+m_E}=\frac{1}{2}\left(1-\frac{L_1}{L}\right)=\frac{1}{2}\left(1-y\right)$. Получен тот же самый результат, то есть наибольшая массовая эффективность достигается при малых, стремящихся к нулю значениях y, то есть при вытянутом равнобедренном треугольнике. Нулевое значение исключатся из рассмотрения, при нём система перестаёт быть треугольной, нельзя будет выполнить первый импульс в манёвре Гомана.

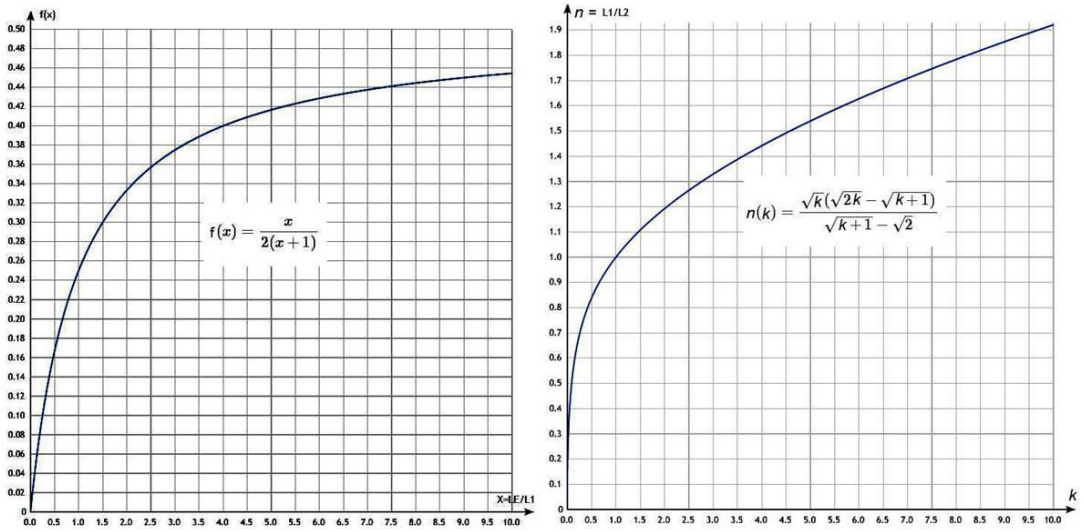


Рис. 3. Отношение масс (слева) и разгонных импульсов (справа) в треугольной системе

Второй геометрический размер L_2 никак не зависит от первого отрезка L_1, поэтому конструктор выбирает его из баллистических требований, потому что отношение $\frac{L_1}{L_2}=\frac{\sqrt{k}\left(\sqrt{2k}-\sqrt{k+1}\right)}{\sqrt{k+1}-\sqrt{2}}$ определяется только отношением радиусов конечной и начальной круговых орбит $k=\frac{r_2}{r_1}$ в манёвре Гомана. На рис.3 справа показан график функции $n=\frac{\Delta V_1}{\Delta V_2}=\frac{L_1}{L_2}=\frac{\sqrt{k}\left(\sqrt{2k}-\sqrt{k+1}\right)}{\sqrt{k+1}-\sqrt{2}}$. По вертикальной оси отложено отношение расстояний $\frac{L_1}{L_2}$, которое равно отношению разгонных скоростей в манёвре Гомана $\frac{\Delta V_1}{\Delta V_2}$, как функция отношения радиусов круговых орбит $k=\frac{r_2}{r_1}$.

Пример. Раскрутка большой тросовой системы на орбите.

Большая система может быть только тросовой. Характерным размером вполне может быть радиус вращения 100 м, то есть в 50 раз больше, чем в предыдущем примере. Значит линейная частота вращения системы уменьшится в 50 раз и будет равна $\nu_{TP}=\frac{9,26}{50}=0,185\,\text{Гц}$ (оборотов/с), то есть 67 градусов/с. Такая скорость вращения вполне реализуема для тросовой системы. Этот пример обосновывает техническую реализуемость предлагаемого способа орбитального маневрирования за счёт запаса кинетической энергии вращения.

Таким образом, для относительно небольших орбитальных манёвров, типа перехода Гомана с изменением высоты орбиты до 200 км, может быть использована кинетическая энергия вращения орбитальной системы, которая высвобождается после разрыва связи между модулями для придания им дополнительных скоростей. С помощью запаса кинетической энергии вращения система малых КА способна совершить манёвр Гомана для перехода с низкой околоземной орбиты на более высокую. Для выполнения манёвра Гомана предложена треугольная конфигурация вращающейся космической системы с тремя связанными в единую конструкцию модулями малых космических аппаратов. Приведена методика расчёта геометрических характеристик конструкции в зависимости от баллистических требований технического задания. Предложены другие формы вращающихся систем, защищённые авторскими патентами [4,5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Авдеев Ю.Ф., Беляков А.И., Брыков А.В. и др.* Полёт космических аппаратов: Примеры и задачи: Справочник / Под общ. ред. Г.С. Титова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.

2. *Иванов В.Л., Меньшиков В.А., Пчелинцев Л.А., Лебедев В.В.* Космический мусор. В 3-х т. Том.1. - М.: Патриот, 1996. - 360 с.

3. *Меньшиков В.А., Перминов А.Н., Урлич Ю.М.* Глобальные проблемы человечества и космос. – М.: МАКД, 2010. – 570 с.

4. *Екимовская А.А.* Герметичная ёмкость из сферических слоёв с перегородками / Патент на полезную модель RU 226143 U1, 22.05.2024. Заявка № 2024106140 от 11.03.2024. - Электронный ресурс (ссылка на eLibrary): https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67289651.

5. *Екимовская А.А.* Герметичная ёмкость из сферических слоёв / Патент на полезную модель RU 226295 U1, 30.05.2024. Заявка № 2024106143 от 11.03.2024. - Электронный ресурс (ссылка на eLibrary): https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67988800.

TRIANGULAR ROTATING SYSTEM OF SMALL SPACE VEHICLES FOR ORBITAL MANEUVERS WITHOUT CHEMICAL FUEL

Ekimovskaya A.A.

Supervisors: Lebedev V.V., Doctor of Engineering Sciences

(Charity Foundation "Education+", National Research University «Moscow Aviation Institute»)

Abstract. To expand the range of tasks solved in orbit, spacecraft must perform maneuvers. But in small spacecraft there is no room for placing engines and a reserve of chemical fuel. To eliminate this contradiction, it is proposed to use the kinetic energy of the rotation of the system. A rotating triangular configuration of small spacecraft is proposed, which is capable of performing the Hohmann maneuver.

УДК 614.8.013

АНАЛИЗ МЕТОДА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ МАССОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Иматдинова Д.Ф., Ахметзянова Д.И.

Научный руководитель: Муравьёва Е.В., профессор, д. п. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Сделан анализ методики оценки эффективности использования различных средств массовой информации для популяризации культуры безопасности жизнедеятельности. Приведены доказательства недостоверности получаемых результатов.

В 2015 году, при поддержке Бюро по сокращению риска бедствий ООН и по поручению Генеральной Ассамблеи ООН, была принята Сендайская рамочная программа (СРП) по снижению риска бедствий на 2015–2030 годы [1]. Основной целью СРП является поддержка органов управления ООН в создании повестки для существенного снижения риска бедствий и уменьшения потерь, вызванных бедствиями. Это включает в себя человеческие жертвы, утрату средств к существованию, ухудшение здоровья и негативные последствия для экономических, социальных и экологических активов.

Формирование культуры безопасности требует обоснования вложенных средств для снижения риска бедствий. Однако методик оценки роли средств массовой информации (СМИ) в этом процессе недостаточно. Одной из таких методик является «Методика оценки эффективности применения различных СМИ для популяризации культуры безопасности жизнедеятельности» (КБЖ), разработанная всероссийским научно-исследовательским

институтом по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций министерства чрезвычайных ситуаций России.

Методика рассматривает общую эффективность, основанную на соотношении коммуникативной эффективности и затрат, а также экономическую эффективность, определяемую ответным эффектом от вложений и уровнем психологического воздействия на аудиторию.

Рассмотрим формулу расчёта общей эффективности:

$$Э = \frac{Э_к}{Д^*} 100\%,$$

где $Д^*$ - коэффициент затрат, обеспечивающих получение результата (коммуникативного эффекта);

$Э_К$ – коммуникативная эффективность применения того или иного вида СМИ при популяризации КБЖ.

Коммуникативная эффективность ($Э_к$) определяется по формуле:

$$Э_к = С_{ВОВ} * И_{кл} * П_в * n_1 * З_0 * И,$$

где $С_{вов}$- степень вовлечения аудитории в проблему формирования и популяризации КБЖ с помощью разработанных информационных материалов;

$И_{кл}$ - показатель обращения аудитории СМИ к информационным материалам по тематике КБЖ;

$П_в$ - показатель восприятия информационных материалов по тематике формирования КБЖ;

n_1 - коэффициент периодичности выхода СМИ;

$З_0$ - степень относительной запоминаемости информационных материалов по тематике КБЖ;

И - степень влияния информационных материалов на сознание аудитории (ее мнение и поведение).

Данная формула не является эффективной, так как большинство показателей не подаются фиксации и/или точному анализу. Критические факторы, снижающие ее эффективность: отсутствие надежных метрик для количественной оценки, зависимость от человеческого фактора. Большинство переменных не поддаются точной фиксации, что делает ее практическую ценность проблематичной.

Степень вовлечения аудитории в проблему формирования и популяризации КБЖ с помощью разработанных информационных материалов рассчитывается по формуле:

$$C_{ВОВ} = \frac{(З - П) - (НЗ - П)}{Р},$$

где З – количество людей, которые оценили положительно или нейтрально информационные материалы по тематике КБЖ;

НЗ – количество людей, которые оценили отрицательно информационные материалы по тематике КБЖ;

П – количество людей, которые полностью ознакомились с информационными материалами;

Р – количество человек, принявших участие в опросе.

Проведенный анализ выявил сильное влияние человеческого фактора на работоспособность формулы – субъективность восприятия, разная степень вовлеченности и невозможность стандартизации реакций аудитории делают модель принципиально неточной.

Показатель обращения аудитории СМИ к информационным материалам по тематике КБЖ рассчитывается по формуле:

$$И_{кл} = \frac{П_1}{Р},$$

где $П_1$ – количество людей, которые полностью и частично ознакомились с информационными материалами;

Р - количество человек, принявших участие в опросе.

Расчеты по этой формуле работают, только если все ознакомившиеся прошли опрос (тогда результат = 1). В реальности же часть аудитории не участвует в оценке, делая показатель бесполезным.

Количественный показатель участия в опросе действительно поддается точной фиксации, однако его достоверность зависит от формата опроса. Если офлайн, то охват меньше, но реальные ответы. Если онлайн, то возникает риск накруток, что может создать иллюзию вовлеченности аудитории в тематику КБЖ.

Показатель восприятия информационных материалов по тематике формирования КБЖ, определяется по формуле:

$$П_в = \frac{В_1}{Р},$$

где $В_1$ - количество людей, которые считают необходимым проведение пропаганды и популяризации КБЖ в данном виде СМИ;

Р - количество человек, принявших участие в опросе.

Ситуация схожа с показателем $П_1$ из прошлой формулы. Этот фактор завязан на том, что после ознакомления с материалом, человеку проходит опрос. Это методологическая ловушка – оценка эффективности подменяется учетом опросных данных, что делает результат искусственным (результат всегда 100%).

Степенью относительной запоминаемости информационных материалов по тематике КБЖ ($З_0$) определяется по формуле:

$$З_0 = \frac{О}{Р},$$

где О – количество человек из числа опрошенных, запомнивших часть информации или всю информацию целиком из представленных материалов;

Р – количество человек, принявших участие в опросе.

Формула строится на том, что люди сами оценивают, что запомнили — а это ненадежно. Память субъективна, многие ошибаются или приукрашивают. Без объективных проверок такие расчёты больше похожи на гадание, чем на точные данные.

Степень влияния информационных материалов на сознание аудитории определяется по формуле:

$$И = \frac{И_1}{Р},$$

где $И_1$ – количество людей, уже изменивших свое мнение относительно вопросов безопасности жизнедеятельности или готовых это сделать после ознакомления с представленными информационными материалами;

Р – количество человек, принявших участие в опросе.

Данная формула не понятна, ведь она строится на длительном процессе переосмысления, на том, где и как жил человек, какие его понятия безопасности.

Затраты, обеспечивающие получение результата, вычисляются следующим образом:

$$Д = Д_1 + Д_2,$$

где $Д_1$ – количество денежных средств, потраченных на разработку информационного материала (одной статьи, одного ролика);

$Д_2$ - – количество денежных средств, потраченных на размещение информационного материала (одной статьи, одного ролика) в СМИ.

Уровень эффективности применения СМИ определяется, исходя из значения индекса эффективности (Э). При этом принимаются следующие допущения:

Э < 30% - низкий уровень эффективности применения данного вида СМИ.

30% ≤ Э ≤ 70% - средний уровень эффективности применения данного вида СМИ.

Э ≥ 70% - высокий уровень эффективности применения данного вида СМИ.

Главная проблема рассмотренной методики заключается в том, что они зависят от честности и заинтересованности людей. Многие уверены, что ЧС их не коснутся, или считают, что базовых знаний достаточно. Это приводит к пассивности: люди не хотят углубляться в тему, а в опросах отвечают формально. В итоге цифры есть, но они не отражают реального уровня подготовки или вовлеченности, формулы не показывают истинное отношение к КБЖ, а лишь поверхностные суждения.

Однако, рассматриваемые в Методике виды СМИ уже не отвечают современным реалиям, так как там, в первую очередь, рассматриваются традиционные печатные СМИ, а из электронных только передачи по радио и телевидению. И Методика совершенно не учитывает использование в процессе формирования культуры безопасности жизнедеятельности СМИ, функционирующие в интернете, так называемые сетевые издания, которые в законе о СМИ обозначаются, как «сайт в информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", зарегистрированный в качестве средства массовой информации в соответствии с настоящим Законом» [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://www.unisdr.org/files/43291_russiansendaiframeworkfordisasterri.pdf (дата обращения 03.06.2025).

2. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://mchs.gov.ru/dokumenty/2104 (дата обращения 03.06.2025).

3. О средствах массовой информации. – Текст: электронный. – 2025. - URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102013812 (дата обращения 08.04.2025).

ANALYSIS OF THE METHOD OF EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF MASS MEDIA IN THE FIELD OF SECURITY

Imatdinova D.F., Ahmetzyanova D.I.

Supervisor: Muravyova E.V., professor, Doctor of Pedagogical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. An analysis of the methodology for evaluating the effectiveness of using various media to promote a culture of life safety is made. The evidence of unreliability of the obtained results is presented.

УДК 004.925.3:629.78

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ МЕТОДОМ ТРАССИРОВКИ ЛУЧЕЙ

Кададова А.В.

(Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург)

Аннотация. В работе рассматривается моделирование теплового режима космических аппаратов с учётом солнечного излучения и взаимного затенения элементов конструкции. Для анализа применены методы прямой и обратной трассировки лучей, реализованные на STL-модели аппарата с использованием вокселизации и иерархий ограничивающих объёмов. Обратная трассировка позволила снизить вычислительные затраты, а результаты моделирования оказались сопоставимы с расчётами солнечного излучения в пакете SolidWorks Flow Simulation.

Тепловой режим космических аппаратов является одним из определяющих факторов надёжности и долговечности их эксплуатации. Перегрев или переохлаждение систем аппарата может привести к снижению эффективности работы, возникновению критических ситуаций или выходу из строя спутника.

Поверхность спутника подвергается тепловому воздействию из нескольких источников: прямому солнечному излучению, отражённому от планеты свету (альбедо),

собственному излучению планеты, а также теплу, передаваемому от соседних или смежных конструктивных элементов. Для отдельного участка поверхности тепловой баланс описывается уравнением (1) [1]:

$$Q = \Phi_{\text{солн}_i} A_{s_i} + \Phi_{\text{отр}_i} A_{s_i} + \Phi_{\text{собст}_i} A_{s_i} + \Phi_{\text{вн}_i} A_{s_i} - \varepsilon_i \sigma T_i^4, \quad (1)$$

где $\Phi_{\text{солн}}$ — солнечный тепловой поток; $\Phi_{\text{отр}}$ — тепловой поток, отраженный от планеты; $\Phi_{\text{собст}}$ — собственное излучение планеты, падающие на эту поверхность; A_{si} — коэффициент поглощения i-ого элемента; $\Phi_{\text{вн}}$ — тепло от смежных элементов; ε_i — коэффициент излучательной способности; σ — постоянная Стефана – Больцмана; T_i – температура элемента поверхности.

Из уравнения (1) можно сделать вывод, что при воздействии солнечного излучения, при прочих одинаковых условиях, температура поверхности определяется её радиационными свойствами, а если отсутствуют теплопотоки от соседних элементов и планеты, она зависит исключительно от соотношения AS/ε.

Солнце является главным источником внешнего теплового воздействия на космический аппарат в ближнеземном космосе. Солнечное излучение в первом приближении рассматривается как квазипостоянное и направленное, с лучами, практически параллельными друг другу. Полный поток солнечного излучения на расстоянии одной астрономической единицы называется солнечной постоянной S_0 и определяется как мощность солнечного излучения, падающая на единицу площади поверхности, перпендикулярной солнечным лучам, на внешней границе атмосферы. Вследствие эллиптичности орбиты Земли величина этого потока изменяется в пределах от ~1322 до ~1414 Вт/м² [2].

Для инженерных расчётов солнечные лучи можно аппроксимировать параллельными, это приводит к введению понятия солнечного вектора — единичного вектора, направленного от Солнца, умноженного на величину S. Тогда поток прямого солнечного излучения, падающий на поверхность элемента i и ориентированную под углом к солнечному вектору, определяется выражением (2) [3]:

$$q = S \cdot \cos\gamma, \quad (2)$$

где γ – угол между нормалью к элементу поверхности и направлением на Солнце S; S – плотность потока солнечного излучения, падающего по нормали на единичную поверхность на внешней границе атмосферы на среднем расстоянии планеты от Солнца рассчитывающая по формуле (2):

$$S = \frac{S_0}{L^2}, \quad (3)$$

где S_0 — солнечная постоянная для Земли; L – среднее расстояние от планеты до Солнца в а.е.

В зависимости от ориентации по отношению к Солнцу и Земле, отдельные элементы конструкции подвергаются неравномерному солнечному облучению и излучают тепло в разные стороны. Например, при солнечной стабилизации одна сторона аппарата постоянно обращена к Солнцу и испытывает перегрев, в то время как противоположная охлаждается.

Существенное влияние также оказывают затенённые участки орбиты, когда спутник попадает в тень Земли, что приводит к резким температурным скачкам.

При рассмотрении современных спутников, обладающих, как правило, топологически сложной конструкцией, необходимо учитывать пространственное взаимное затенение. Затенение приводит к неравномерному распределению плотности падающего излучения по обшивке спутника, что влечёт за собой локальные отклонения температурных полей от расчётных значений, полученных в рамках упрощённых моделей.

Исходной модель будет являться модель в формате STL (от англ. stereolithography), который описывает поверхности объектов через набор треугольников. Файл STL состоит из заголовка длиной 80 символов; количество треугольников в виде 32-разрядного целого числа с прямым порядком байтов; и 50 байт для каждого треугольника. Треугольник определяется

двенадцатью числами: три для единичного вектора нормали и три для координат каждой вершины [4].

Для последующего теплового анализа, STL-модель подвергается вокселизации — процедуре дискретизации объёма на регулярную трёхмерную сетку, состоящую из кубических ячеек (вокселей).

Интенсивность падающего теплового потока определяется при условии разбиения поверхности аппарата на элементы с пространственно однородными радиационными свойствами [5]. Решение задачи радиационного теплообмена проводится с учетом следующих допущений. Все поверхности, участвующие в теплообмене, рассматриваются как диффузные, то есть их излучательная и поглощательная способности не зависят от направления. На каждом изотермическом элементе плотность падающего радиационного потока считается одинаковой по всей площади участка.

Для расчёта теплового потока необходимо определить траектории падающих на космический аппарат лучей и смоделировать их взаимодействие с поверхностью. Есть несколько основных методов моделирования траектории лучей света. С учётом принципа обратимости геометрической оптики луч может рассматриваться как распространяющийся от источника к объекту либо, наоборот, от поверхности к источнику. Исходя их этого различают два подхода к трассировке лучей: метод прямой трассировки и обратной трассировки, соответственно. В нашем задачи исследуемый объект – спутник, а источником света является Солнце.

Прямая трассировка концептуально проста, однако обладает существенными вычислительными ограничениями. Для получения физически корректного распределения плотности потока требуется обеспечить достаточную статистическую выборку лучей на минимальный треугольный элемент разбиения поверхности. Поскольку геометрическое представление космического аппарата в формате STL содержит большое количество мелких элементов, прямое моделирование приводит к росту числа операций пересечения. Дополнительно возникает ограничение, связанное с численной стабильностью: при работе с треугольниками малого размера точности представления данных в формате IEEE-754 может оказаться недостаточно для корректной реализации алгоритма пересечения. Это влечёт появление артефактов и ошибок усреднения.

Обратная трассировка позволяет существенно снизить вычислительную нагрузку за счёт того, что лучи испускаются непосредственно от элементов поверхности в направлении источника излучения (Солнца). Выбор начальных точек для поверки пересечения производился из центра пересечения частей исходной модели вокселем. Такой подход минимизирует избыточные вычисления, исключая необходимость моделировать огромное количество лучей.

Одним из возможных методов моделирования света является трассировкой путей (англ. Path Tracing). Она работает на основе анализа траекторий лучей света: как он отражается, преломляется, рассеивается и освещает объекты. Например, трассировка лучей может быть использоваться для моделирования солнечного излучения и его отражений от поверхности спутника. Трассировка путей является продвинутым частным случаем обратной трассировки лучей [6].

При трассировке путей лучи отправляются не от источников света, а из объекта. Затем определяется, с какими объектами сталкиваются лучи, и вычисляется, как эти объекты освещаются источниками света.

Трассировка лучей (англ. Ray Tracing) проще, чем метод трассировки путей. В данном подходе при первом пересечении луча с поверхностью проверяется, достигает ли он источника излучения. Метод не учитывает множественные случайные переотражения исходного луча, однако позволяет моделировать зеркальные и частично отражающие поверхности, формируя соответствующие отражённые лучи. В этом подходе можно учитывать ограниченное число отражений (обычно 2–3), что снижает вычислительную нагрузку. Далее каждый луч анализируется на пересечение с источником излучения —

Солнцем, и в случае такого пересечения формируется вклад в энергетический баланс участка поверхности, на который падает луч. Тем не менее даже этот упрощённый подход требует применения высокопроизводительных графических процессоров (Graphics Processing Unit, GPU).

При отсутствии моделирования отражения используется рейкастинг (англ. Ray casting — «бросание лучей». Этот метод, учитывает только ближайшее пересечение луча с поверхностью. Это делает его менее реалистичным по сравнению с ray tracing, но более производительным.

В рамках работы были реализованы два подхода к моделированию освещённости космического аппарата методом рейкастинг — прямая и обратная трассировка лучей.

Чтобы определить, с чем сталкивается луч, используется следующий математический расчёт:

1) Пересечение с плоскостью треугольника — сначала вычисляется точка, где луч может пересечь плоскость, на которой лежит треугольник.

2) Проверка принадлежности точки треугольнику — если точка пересечения найдена, необходимо определить, находится ли она внутри границ треугольника (например, через барицентрические координаты).

Для решения задачи пересечения треугольника лучом, а в случае пересечения дополнительно проверки, принадлежит ли полученная точка самому треугольнику, используется метод Мёллера–Трумбора [7]. Эти два шага повторяются для каждого треугольника, с которым может столкнуться луч. При пересечении луча с несколькими треугольниками засечённым считается ближайший. Однако при работе с реальными моделями, содержащими миллионы треугольников, перебор всех объектов становится чрезвычайно затратным по времени.

Для ускорения вычислений применяются специальные структуры данных, такие как иерархия ограничивающих объемов (англ. Bounding Volume Hierarchy, BVH). Она позволяет эффективно находить возможные кандидаты на пересечение без необходимости проверять каждый треугольник вручную [8]. Подобный подход в трассировке лучей позволяет значительно уменьшить вычислительную сложность алгоритма с O(n*m) до O(k*m), где n – число полигонов модели тела, m число лучей, а $k \ll n$ — среднее количество треугольников в одном узле дерева.

Для ускорения вычислений используется структура – дерево, в котором сцена разбивается на блоки, ограничивающие группы треугольников. При проверке пересечения луча со сценой сначала анализируются крупные блоки, и только потом — конкретные треугольники.

Алгоритм строится рекурсивно, начиная с всех треугольников сцены.

1. Каждому треугольнику сопоставляется ограничивающий параллелепипед, выровненный по осям (англ. Axis-Aligned Bounding Box - AABB);
2. Разбиение на два поддерева;
3. Все треугольники сцены объединяются в один общий AABB;
4. Выбирается ось (X, Y или Z), вдоль которой разброс треугольников наибольший;
5. Треугольники делятся на две группы: левая и правая;
6. Для каждой группы рассчитывается свой AABB. Деление продолжается, пока в каждом узле не останется небольшое число треугольников (обычно 4–8 штук).

Получается дерево, где: верхние уровни содержат большие AABB, охватывающие значительную часть сцены, а нижние уровни содержат маленькие AABB, окружающие всего несколько треугольников.

Луч проверяется на пересечение с AABB корня дерева. Если нет пересечения, дальнейшая проверка не требуется — луч не попадает в объект. Если луч пересекает AABB корня, он проверяется на пересечение с AABB двух дочерних узлов. Определяется, в какой из узлов луч входит первым (по расстоянию точки входа). Этот узел обрабатывается первым, чтобы найти ближайшее пересечение. Процесс повторяется: луч проверяется на пересечение

с AABB текущего узла. Если пересечение есть, алгоритм переходит к дочерним узлам. Когда достигается лист дерева (узел с несколькими треугольниками), луч проверяется на пересечение с каждым из этих треугольников. После проверки всех пересечений ближайшим объектом считается тот, чья точка находится на минимальном расстоянии до луча.

Это значительно уменьшает количество операций: вместо проверки всех миллионов треугольников достаточно обойти около десяток уровней дерева и проверить всего несколько треугольников. Благодаря этой структуре даже сложные расчеты могут обрабатываться быстро, особенно с учётом параллелизма графических процессорах.

Обратная трассировка лучей позволила снизить вычислительные затраты, поскольку излучение моделировалось от поверхности аппарата в направлении источника (Солнца). Такой метод исключает избыточные лучи, не взаимодействующие с телом аппарата, и демонстрирует высокую эффективность для задач теплового моделирования. Результаты моделирования обратной трассировки были сопоставлены с расчётами солнечного излучения в пакете SolidWorks Flow Simulation.

В дальнейшем планируется внедрение ускоряющих алгоритмов, в частности построения и использование иерархий ограничивающих объёмов, а также перенос вычислений на графические процессоры с возможностью учёта переотражений. Это позволит существенно повысить производительность расчётов и приблизить модель к физически более корректному описанию теплового режима.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Цаплин, С.В.* Теплообмен в космосе: учебное пособие / С.В. Цаплин, С.А. Болычев, А.Е. Романов. – Самара: Издательство Самарского университета, 2018. – 92 с

2. *Крайнова И.В.* Разработка и идентификация математических моделей теплопереноса в экрано-вакуумной теплоизоляции космических аппаратов: специальность 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Крайнова Ирина Валерьевна, 2015. – 148 с.

3. *Boushon K.E.* Thermal analysis and control of small satellites in low Earth orbit [Электрон. ресурс] / Katelyn Elizabeth Boushon. – Rolla, MO: Missouri University of Science and Technology, 2018. – 134 с. – Режим доступа: https://scholarsmine.mst.edu/masters_theses/7755 (дата обращения: 20.08.2025).

4. Library of Congress. STL (STereoLithography). – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://www.loc.gov/preservation/digital/ formats/fdd/fdd000505.shtml (дата обращения: 20.08.2025).

5. *Алифанов О.М., Палешкин А.В., Терентьев В.В., Фирсюк* С.О. Математическое моделирование теплового состояния изотермического элемента с учетом лучистого теплообмена между частями космического аппарата // ИФЖ. 2016. Т. 89. №1. С. 170-176.

6. Компьютерная графика: введение в трассировку лучей: учебное пособие / *А.Г. Задорожный.* – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. – 64 с.

7. *Möller T.*, Trumbore B. Fast, Minimum Storage Ray-Triangle Intersection // Journal of Graphics Tools. — 1997. — Vol. 2, № 1. — Pp. 21–28.

8. *Зверев А.В.* Моделирование взаимодействия излучения со средой в программном комплексе симуляции трехмерных динамических сцен / А.В. Зверев, Д.Е. Ипатов // Успехи прикладной физики. – 2023. – Т. 11, № 5. – С. 433-445. – DOI 10.51368/2307-4469-2023-11-5-433-445.

MATHEMATICAL MODELING OF THE THERMAL EFFECT OF SOLAR RADIATION ON A SPACECRAFT USING RAY CASTING

Kadadova A.V.

(Baltic State Technical University "VOENMEH", Saint Petersburg)

Abstract. The paper considers the thermal modeling of spacecraft, taking into account solar

radiation and mutual shading of structural elements. The analysis employs direct and reverse ray tracing methods implemented on an STL model of the spacecraft with voxelization and bounding volume hierarchies. Backward ray tracing reduced computational costs, and the simulation results were found to be comparable with solar radiation calculations performed in SolidWorks Flow Simulation.

УДК 51-7

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРА КАЛМАНА ПРИ УВД НА ПРИМЕРЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Киселев П.Н.
Научный руководитель: Бутузова Е.А., доцент, к. п. н.,
(Ульяновский Институт Гражданской Авиации
имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, г. Ульяновск)

Аннотация. Управление воздушным движением (УВД) основано на обработке данных в реальном времени, прогнозировании траекторий и адаптивном принятии решений. Интеграция методов оптимизации, и инструментов оценки состояния, повышает не только производительность системы, но и обучаемость авиадиспетчеров. В данном исследовании рассматривается взаимодействие алгоритмов в системах УВД и их роль в обучающей среде.

Объект исследования: Фильтр Калмана и его применение в авиации

1.1. Что такое фильтр Калмана?

Фильтр Калмана - это математическая модель, которая используется для повышения точности и надежности систем управления воздушным движением. Он обрабатывает зашумленные радиолокационные измерения для получения более точных оценок положения и скорости самолета. Алгоритм, разработанный Рудольфом Э. Калманом[1], использует серию измерений, наблюдаемых во времени, для оценки неизвестных переменных, включая статистический шум и неточности. Способность фильтра обрабатывать коррелированный шум от таких источников, как погрешности радара и факторы окружающей среды, а также его способность интегрировать множество входных сигналов датчиков, делает его очень эффективным в управлении неопределенностями и шумами в радиолокационных измерениях.

1. Прогноз (предсказание): На основе текущего состояния системы и модели движения предсказывается следующее состояние.

2. Коррекция (обновление): Полученные измерения (например, данные радара) используются для уточнения предсказания.

Фильтр Калмана минимизирует среднеквадратичную ошибку оценки, что делает его оптимальным[1,2] в условиях неопределенности.

1.2. Динамическая система в авиации

В авиации динамической системой является самолет, состояние которого можно описать вектором:

x_k — вектор состояния на момент времени k. Динамическая модель движения самолета основана на принципах оптимального управления [2].

местоположение — координаты самолета (например, в двухмерном пространстве).

скорость — скорость самолета по осям координат.

Пример: если самолет движется по прямой, его состояние можно описать как: где x_k - местоположение, а v_k - скорость.

1.3. Источник данных

Для более точной оценки местоположения самолета следует использовать данные от нескольких источников. Ими являются:

1. Радиомаяки: Рассчитывают удаление самолета от маяка, но с погрешностями (шумами).

2. GPS: Предоставляет данные о местоположении и скорости, но подвержен шумам.

3. Бортовые датчики: Измеряют скорость, ускорение и другие параметры, но с задержками.

Эти данные не всегда точны, поэтому требуется алгоритм, который может объединить данные и минимизировать ошибки при измерениях приборов. Погрешности радиомаяков и GPS детально изучены в работах по радиолокационным системам УВД [3]. Современные методы интеграции данных описаны в документах Eurocontrol [5].

1.4. Математическая модель системы

Фильтр Калмана использует модель системы, которая описывается изменением состояния со временем. Движение самолета может быть представлена, как равномерное или движения с ускорением.

Пример модели равномерного движения, где присутствуют следующие элементы:

F_k — матрица перехода, которая описывает, как состояние изменяется за время Δt.

w_k — шум процесса, который моделирует неточности в модели движения.

Матричные модели перехода соответствуют стандартному подходу в теории фильтрации
[2, 4]

1.5. Как же фильтр Калмана, используемый в системах управления воздушным движением, влияет на работу и принятие решений диспетчерами, особенно в обычных условиях и в условиях высокой интенсивности движения?

Исследования подтверждают снижение когнитивной нагрузки при использовании фильтра Калмана [6]. Было показано, что применение фильтра Калмана оказывает значительное влияние на рабочую нагрузку и процесс принятия решений авиадиспетчерами, повышая точность оценок положения воздушного судна за счет эффективного объединения данных и снижения шума. Это, в свою очередь, приводит к снижению когнитивной нагрузки и способствует принятию более обоснованных решений в типичных дорожных ситуациях. В сценариях с высокой интенсивностью движения быстрая адаптация фильтра и обновление данных практически в режиме реального времени способствуют поддержанию ситуационной осведомленности и эффективному управлению повышенной плотностью движения, тем самым предотвращая конфликты и обеспечивая бесперебойное движение. В целом фильтр Калмана обеспечивает поддержку как обычных, так и высоконапряженных сценариев, повышая безопасность и эффективность управления воздушным пространством. Адаптация алгоритма в условиях высокой интенсивности соответствует требованиям современных систем УВД [5].

2. Проблема: Неточности данных и их последствия

2.1. Источники неточностей

В работе авиадиспетчеров основной проблемой являются данные о местоположении и скорости ВС, так как они поступают с погрешностями. Они возникают из-за:

1. Шумов радиостанций. Радары способны отследить позицию самолетов, но их точность ограничена. Шумы могут быть вызваны метеорологическим условиями, такими как дождь или туман. Сигнал может быть зашумлен из-за отражения от других материальных объектов, находящихся в воздушном пространстве или технических ограничений оборудования.

2. Задержек при передачи данных. Данные от радаров и GPS передаются с задержкой, что приводит к тому, что информация о положении самолета может быть устаревшей.

3. Ограниченной частоты обновления датчиков. Радары и другое бортовое оборудование обновляют данные с определенной частотой (например, каждые 5 секунд). Между обновлениями положение самолета может измениться, что приводит к неточностям.

4. Ошибки в данных GPS. GPS-сигналы могут быть искажены из-за атмосферных условий, многолучевого распространения или технических сбоев.

Природа задержек и шумов экспериментально исследована в классических работах по РЛС [3].

2.2. Пример проблемы. Рассмотрим ситуацию в котором воздушное судно движется со скоростью 800 км/ч. Радар измеряет его позицию с погрешностью ±100 метров. Из-за задержки передачи данных информация о позиции самолета поступает с опозданием на 2 секунды. За 2 секунды самолет пролетит примерно 440 метров. Если диспетчеры не учитывают эту задержку, они могут ошибочно считать, что самолет находится на 440 метров ближе, чем он есть на самом деле. Это приводит к неправильному расчету траектории и нарушению безопасного эшелона с другим самолетом. Ошибки прогнозирования траекторий из-за задержек – ключевой риск в авиабезопасности [7].

2.3. А важно ли это? Безопасность полетов является самым приоритетных направлением в авиации. Ошибочные данные приводят к катастрофам, таким как столкновение ВС или потеря управления. Поэтому необходимо разработать методы, позволяющие свести эти ошибки к минимуму и достичь максимальной точности при отслеживании самолетов.
Минимизация ошибок отслеживания соответствует стандартам ИКАО по управлению рисками [7].

3. Цель: Разработка модели фильтра Калмана для повышения точности отслеживания самолетов

3.1. Основная цель

Цель исследования — разработать и применить фильтр Калмана для повышения точности оценки местоположения ВС (их позиции и скорости) в системе авиадиспетчера. Это достигается за счет:

1. Предсказания состояния самолета на основе предыдущих данных.
2. Коррекции предсказания с учетом новых зашумленных измерений.
3. Минимизации среднеквадратичной ошибки оценки состояния.

Алгоритм реализует принцип оптимальной оценки по Калману [1, 4].

3.2. Задачи фильтра Калмана

Фильтр Калмана решает три основные задачи: **Прогнозирование (предсказание):** На основе текущего состояния самолета и модели движения предсказывается его следующее состояние. Математически это выражается следующим образом:

- $\hat{X}_{k|k-1}$ — предсказанное состояние на шаге kk.
- F_k — матрица перехода, описывающая, как состояние изменяется со временем.
- $\hat{X}_{k-1|k-1}$ — предыдущая оценка состояния.

Коррекция или же обновление: Когда поступают новые измерения (например, данные радара), предсказание уточняется с их учетом. Формула коррекции состоит из:

- z_k — новые измерения, полученные от оборудования.
- H_k — матрица измерений, которая связывает состояние системы с измерениями.
- K_k — коэффициент Калмана, который определяет, насколько сильно нужно скорректировать предсказание.

Минимизация ошибок: Фильтр Калмана минимизирует среднеквадратичную ошибку оценки состояния, где F_k — ковариационная матрица ошибки, которая показывает, насколько точна оценка, а математический аппарат соответствует канонической реализации фильтра [4].

4. Предмет исследования: Математический аппарат фильтра Калмана

Пример: Отслеживание положения самолета. Пример основан на стандартной модели постоянной скорости [4]**.** Предположим, что авиадиспетчер хочет отслеживать положение самолета в двумерном пространстве (например, по координатам xx и yy). Самолет движется с некоторой скоростью, и его положение измеряется с помощью радара, но измерения зашумлены. Модель системы выглядит следующим образом:

1. Состояние системы: Вектор состояния x_k в момент времени k и включает в себя координаты и скорости самолета:

$x_k = \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ \dot{x_k} \\ \dot{y_k} \end{bmatrix}$, где x_k и y_k - координаты самолета, а $\dot{x_k}$ и $\dot{y_k}$ — скорости по соответствующим осям.

2. Динамическая модель: Предположим, что самолет движется с постоянной скоростью:

$$x_{k+1} = Fx_k + w_k,$$

где F — матрица перехода, а w_k— процессный шум (обычно гауссовский с нулевым средним и ковариационной матрицей Q).

Матрица перехода F для модели постоянной скорости:

$F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$, где Δt — временной шаг между измерениями.

3. Модель измерений: Радар измеряет положение самолета, но с некоторым шумом: $z_k = Hx_k + v_k$, где H — матрица измерений, а v_k — шум измерений (обычно гауссовский с нулевым средним и ковариационной матрицей R).

Матрица измерений H для измерения только положения:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Матрица измерений H в фильтре Калмана связывает вектор состояния системы v_k с вектором измерений z_k. Ее вид зависит от того, какие компоненты состояния системы непосредственно измеряются.

В нашем случае: Вектор состояния системы x_k включает координаты и скорости самолета:

$$x_k = \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ \dot{x_k} \\ \dot{y_k} \end{bmatrix}$$

Вектор измерений z_k содержит только координаты самолета, измеренные радаром:

$z_k = \begin{bmatrix} z_{x,k} \\ z_{y,k} \end{bmatrix}$, где $z_{x,k}$ и $z_{y,k}$ — измеренные координаты по осям x и y.

Почему матрица H имеет такой вид?

Матрица измерений "выбирает" из вектора состояния x_k только те компоненты, которые подвергаются изменениям. В нашем случае измеряются только координаты x_k и y_k, но не скорости $\dot{x_k}$ и $\dot{y_k}$. Поэтому матрица H должна «проецировать» вектор состояния на вектор измерений, игнорируя скорости.

Матрица H имеет размерность 2×4, так как:

- Число строк равно числу измерений (2 измерения: x и y),
- Число столбцов равно размерности вектора состояния (4 компонента: x, y, $\dot{x}$, $\dot{y}$).

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ \dot{x_k} \\ \dot{y_k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix},$$

Как это работает: если умножить вектор состояния x_k на матрицу H, получим:

$$Hx_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Почему не учитываются скорости? В данном примере радар измеряет только положение самолета (координаты x и y), но не измеряет его скорости. Если бы радар мог измерять и скорости, то матрица HH имела бы другой вид, например

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

В этом случае H учитывала бы все компоненты состояния: и координаты, и скорости. Процессный шум w_k и его ковариационная матрица Q — это ключевые элементы модели динамической системы в фильтре Калмана.

Процессный шум w_k - это случайная величина, которая моделирует неопределенности или ошибки в динамической модели системы. Эти неопределенности могут возникать из-за:

1. Неточности модели: Динамическая модель системы (например, модель постоянной скорости) является упрощением реальности. В реальности на систему могут действовать внешние силы (например, ветер, турбулентность), которые не учтены в модели.

2. Неизвестных внешних воздействий: Например, в случае самолета это могут быть порывы ветра, изменения тяги двигателя и т.д.

3. Дискретизации: Если модель непрерывной системы дискретизируется для использования в фильтре Калмана, это также может внести ошибки.

В заключение хотелось бы отметить, что Фильтр Калмана играет важнейшую роль в управлении воздушным движением, повышая точность отслеживания положения самолетов. Он помогает предсказывать и корректировать положение самолетов, обеспечивая эффективное и безопасное УВД. Для авиадиспетчеров знакомство с фильтром Калмана является частью их повышения квалификации. Одной из главных задач является управление прогнозируемым 30-процентным ростом воздушного движения к концу десятилетия. Фильтры Калмана помогают повысить точность траектории полета, снизить риск столкновений и задержек, однако прогнозируемый рост воздушного движения требует внедрения алгоритмов, соответствующих рекомендациям Eurocontrol [5]. Еще одной серьезной проблемой является плохая погода, которая является причиной подавляющего количества задержек в Российской Федерации. Усовершенствованные алгоритмы, использующие фильтр Калмана, способны оптимизировать маршруты в условиях плохой погоды, минимизируя задержки, не оказывая влияния на безопасность полетов. Одним словом, фильтр Калмана необходим для современного управления воздушным движением. К тому же, правильное обучение работе с этим алгоритмом позволит курсантам эффективно справляться со сложными ситуациями при тренажерной подготовке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Калман Р.Э.* Новая подход к линейной фильтрации и теории предсказания // Труды ASME. Серия D. Журнал базовой инженерии. – 1960. – Т. 82. – № 1. – С. 35–45. – (Kalman R.E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems // Journal of Basic Engineering. – 1960. – Vol. 82. – № 1. – P. 35–45). Tayfun Cimen. State-dependent riccati equation (SDRE) control: A survey // Proc. of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control, July 6–11, 2008. Seoul, Korea, 2008.

2. *Брайсон А.Э., Хо Ю.-Ш.* Прикладная теория оптимального управления. – М.: Мир, 1972. – 544 с. – (Bryson A.E., Ho Y.-C. Applied Optimal Control. – Blaisdell Publishing Company, 1969)

3. *Барабаш Ю.Л., Ходаковский В.Н.* Радиолокационные системы управления воздушным движением - М.: Транспорт, 1987. - 280 с. (Источники погрешностей данных УВД)

4. *Grewal M.S., Andrews A.P.* Kalman Filtering: Theory and Practice with MATLAB®. – 4th ed. – Wiley, 2014. – 592 p. (Современное практическое руководство с примерами, включая трекинг)

5. Eurocontrol. From Surveillance Data to Trajectories: Processing Mode S and ADS-B Data. – EUROCONTROL, 2017. – 93 p. – (Доступно: https://www.eurocontrol.int/publication/ surveillance-data-trajectories (дата обращения: 20.06.2025))

6. *Воронов М.В., Емельянов С.В.* Анализ влияния алгоритмов фильтрации данных на эффективность работы авиадиспетчера // Научный вестник МГТУ ГА. – 2019. – Т. 22. – № 3. – С. 40–52.

7. ICAO Doc 9924. Air Traffic Management (ATM) Operational Contingency Plan. – ICAO, 2011. – (Доступно: https://store.icao.int/en/doc-9924-air-traffic-management-atm-operational-contingency-plan (дата обращения: 20.06.2025)).

APPLICATION OF THE KALMAN FILTER IN AIR TRAFFIC CONTROL: ACCURACY ENHANCEMENT AND DISPATCHER WORKLOAD ANALYSIS

Kiselev P.N.
Supervisor: Butuzova E.A., Associate Professor, Candidate of Pedagogical Sciences,
(*Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation B.P. Bugaev, Ulyanovsk*)

Abstract. This study investigates the application of the Kalman Filter for enhancing aircraft tracking accuracy in Air Traffic Control (ATC) systems. The filter's ability to reduce measurement noise and predict aircraft states is analyzed, demonstrating its significant impact on improving positional accuracy and reducing cognitive load on air traffic controllers, especially during high-density traffic scenarios.

УДК 004.942

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТОДОМ ФАЗОВОГО ПОЛЯ С УЧЕТОМ АНИЗОТРОПИИ ГРАДИЕНТА ЭНЕРГИИ

Орлова М.С.
Научный руководитель: Горунов А.И., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлена математическая модель процесса кристаллизации расплава с учетом анизотропии градиента энергии межфазной границы, основанная на методе фазового поля. Представлены результаты сформированной микроструктуры для различных степеней анизотропии.

Моделирование процессов кристаллизации сплавов позволяет исследовать механизмы зародышеобразования, роста кристаллов и эволюции микроструктуры, а также помогает понять, какие физические факторы оказывают наибольшее влияние на эти процессы. Математическая модель кристаллизации может использоваться для оптимизации технологических процессов, при которых происходит термическое воздействие на материал, например, литья, сварки, наплавки и т.д.

Для моделирования процессов кристаллизации и эволюции микроструктуры в основном применяются три метода: метод фазового поля, метод клеточных автоматов и метод Монте-Карло. Метод клеточных автоматов и метод Монте-Карло описывают преимущественно стохастическую природу процессов, в то время как метод фазового поля основан на неравновесной термодинамике и имеет широкую возможность для учета различных физических факторов, влияющих на формирование микроструктуры[1]. Основополагающим уравнением метода фазового поля является уравнение Аллена-Кана:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = - M_{\varphi} \frac{\delta F}{\delta \varphi}, \quad (1)$$

где φ– параметр порядка или переменная фазового поля, равная 0 для жидкого состояния и 1 для твердого, M_{φ} – коэффициент мобильности границы раздела фаз, F – функционал свободной энергии Гиббса, который обычно представляется в виде комбинации химический энергии, энергии градиента и энергии двойного потенциала, учитывающей энергетический

барьер на границе раздела твердой фазы и жидкости. Таким образом, функционал свободной энергии Гиббса может быть описан следующим выражением:

$$\frac{\delta F}{\delta \varphi} = 4W\varphi(\varphi-1)\left(\varphi - \frac{1}{2} + \frac{15}{2W}\varphi(1-\varphi)(f_L - f_S)\right) - a^2\nabla^2\varphi, \quad (2)$$

где W – высота энергетического барьера на границе раздела фаз, a – коэффициент градиента энергии,$(f_L - f_S)$ – разница свободных энергий жидкой и твердой фаз, которая может быть расписана как термодинамическая движущая сила [2]в следующем виде:

$$f_L - f_S = \frac{L_m(T_m - T)}{T_m}, \quad (3)$$

где L_m – скрытая теплота плавления материала, T_m – температура плавления материала, T – текущая температура.

Таким образом уравнение Аллена-Кана (1) с использованием выражения (2) может быть расписано как:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = M_\varphi\left(4W\varphi(1-\varphi)\left(\varphi - \frac{1}{2} + \frac{15}{2W}\varphi(1-\varphi)(f_L - f_S)\right) + a^2\nabla^2\varphi\right). \quad (4)$$

Для учета анизотропии энергии границы раздела фаз в уравнение (4) добавляются дополнительные слагаемые, и в двумерном случае уравнение Аллена-Кана приобретает следующий вид:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = M_\varphi\left(\begin{array}{c}\nabla(a^2\nabla\varphi) + \frac{\partial}{\partial x}\left(a\frac{\partial a}{\partial \frac{\partial \varphi}{\partial x}}(\nabla\varphi)^2\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(a\frac{\partial a}{\partial \frac{\partial \varphi}{\partial y}}(\nabla\varphi)^2\right) + \\ 4W\varphi(1-\varphi)\left(\varphi - \frac{1}{2} + \frac{15}{2W}\varphi(1-\varphi)(f_L - f_S)\right)\end{array}\right). \quad (5)$$

При этом параметр a описывается как[3]:

$$a = 1 + \delta cos(j(\theta - \theta_0)),$$

где δ – параметр силы анизотропии, j – число мод анизотропии,θ_0– начальный угол наклона оси кристалла, θ – угол между остью x и нормалью границы раздела фаз, определяемый из выражения[4]:

$$\theta = tan^{-1}\left(\frac{\partial\varphi/\partial y}{\partial\varphi/\partial x}\right).$$

Для учета температурного градиента, необходимого для начала процесса кристаллизации, дополнительно решается уравнение теплопроводности:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k\nabla^2 T + \frac{L_m}{C_p}\frac{\partial\varphi}{\partial t} + \frac{q}{\rho C_p}, \quad (6)$$

где ρ– плотность материала, C_p– теплоемкость материала,k– коэффициент теплопроводности материала, q –объемный источник тепла[5]. Второе слагаемое уравнения (6) и выражение (3) создают самосопряженную модель, состоящую из уравнения Аллена-Кана (5) и уравнения теплопроводности (6).

Для численного решения уравнений использовался метод конечных разностей по неявной схеме дискретизации. Моделирование проводилось в двумерном случае. Размер расчетной области составил $5\cdot10^{-5}$м, шаг по времени $5\cdot10^{-8}$с. Количество исходных центров кристаллизации выбрано равным 12, исходная форма зародышей – сферическая. В качестве материала была выбрана нержавеющая сталь 03Х18Н11 (аналог AISI 304L) с температурой плавления около 1700 К.

Источник нагрева мощностью 500 Вт действовал в течении 0,5 мкс в центральной части расчетной области. Начальное значение температуры во всей расчетной области составило 300 К. Максимальное значение температурного поля составило 2000 К, после чего происходило постепенное охлаждение и последующая кристаллизация расплава (рисунок 1).

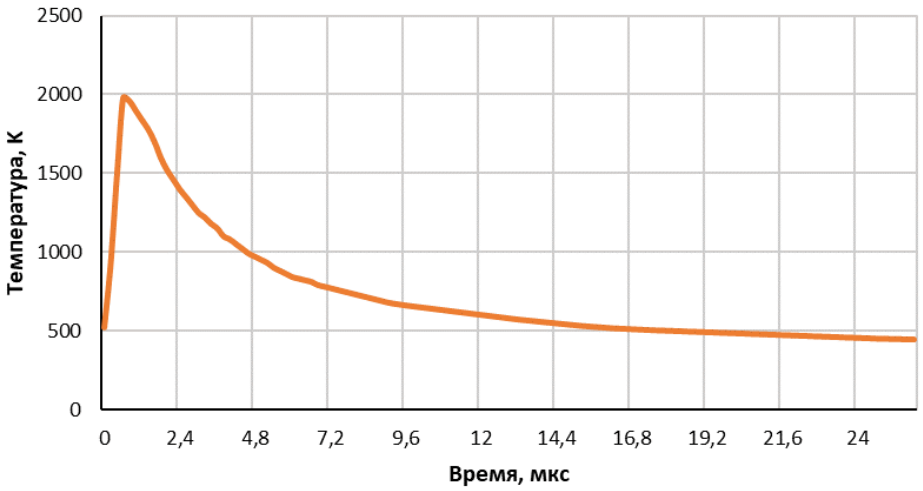


Рис. 1. График изменения максимального значения температурного поля по времени

Были произведены три расчетных эксперимента с различным параметром анизотропного числа: при $j = 0$, $j = 4$ и $j = 6$. При отсутствии анизотропии форма зародышей не меняется и остается сферической (рисунок 2(а)). Границы зерен сформированной микроструктуры имеют плавные переходы от зерна к зерну, что продемонстрировано на рисунке2(б). В центре расчетной области наблюдается формирование зерен более мелкого размера, в то время как зерна по краям расчетной области вытянуты по направлению действия градиента температур.

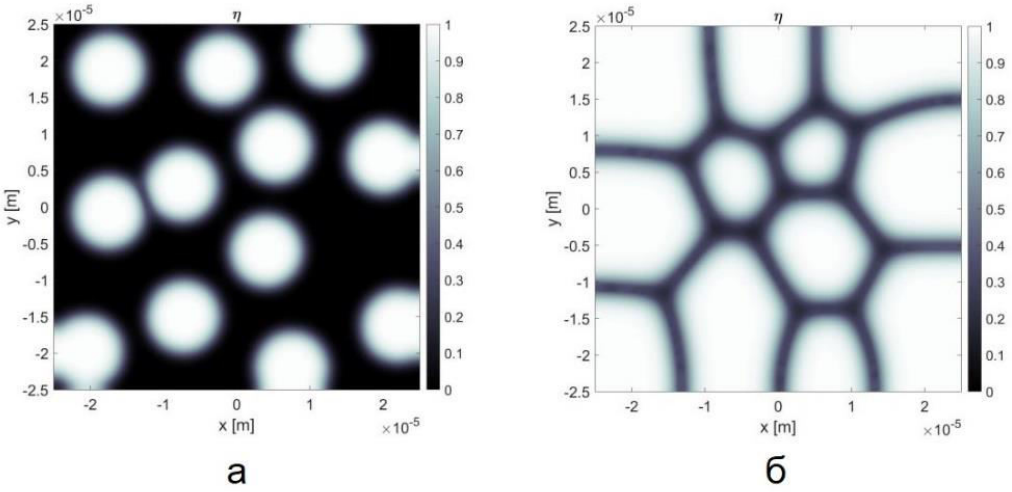


Рис. 2. Моделирование микроструктуры при $j = 0$ в начальный момент времени (а) и при полной кристаллизации (б)

При математическом моделировании процесса кристаллизации с числом мод анизотропии, равным4, форма зародышей сразу приобретает кубическую форму, что видно на рисунке 3(а). В действительности при кристаллизации большинства металлов и сплавов кристаллы зародышей имеют кубическую форму из-за специфики строения решетки, которая может быть объемно-центрированной кубической (ОЦК) или гранецентрированной кубической (ГЦК). Форма зерен в сформированной в процессе кристаллизации микроструктуре при $j = 4$ более угловатая чем при $j = 0$, что делает результаты моделирования более реалистичными (рисунок 3(б)).

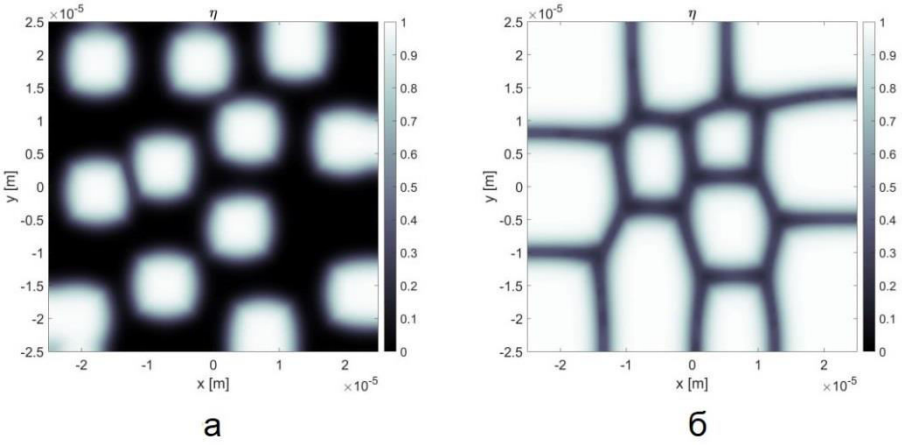


Рис. 3. Моделирование микроструктуры при j = 4 в начальный момент времени (а) и при полной кристаллизации (б)

При моделировании процесса с числом мод анизотропии, равным 6, форма зародышей приобретает гексагональную форму, что видно на рисунке4(а). Такая форма кристаллов может встречаться в металлах и сплавах с гексагональной плотноупакованной (ГПУ) решеткой. Межзеренные границы конечной микроструктуры имеют угловатую форму (рисунок 4(б)).

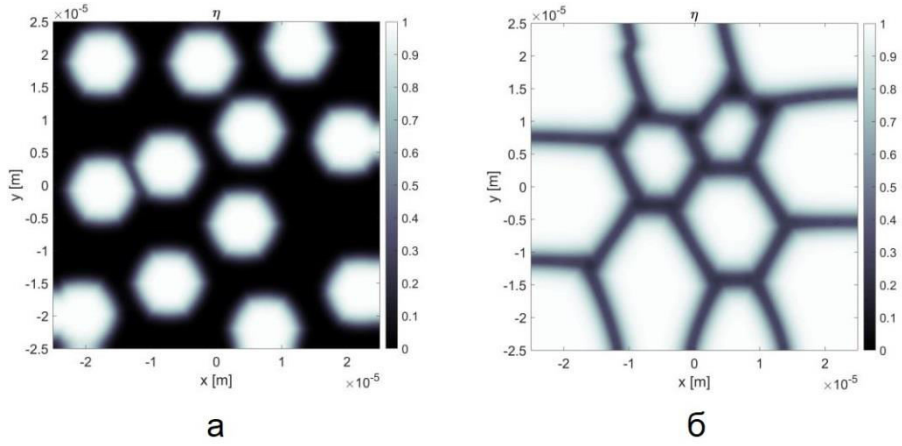


Рис. 4. Моделирование микроструктуры при j = 6 в начальный момент времени (а) и при полной кристаллизации (б)

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод о необходимости учета анизотропии градиента энергии межфазной границы для формирования моделей процесса кристаллизации металлов и сплавов. Введение в уравнение Аллен-Кана анизотропии позволяет учесть реальную форму кристаллов, формируемых в ходе зародышеобразования и тем самым приблизить моделирование к физике реального процесса.

СПИСОКЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Chadwick A.F., Voorhees P.W.* The development of grain structure during additive manufacturing // ActaMaterialia. 2021. Vol. 211.116862.

2. *Takaki T*. Phase-field Modeling and Simulations of Dendrite Growth // ISIJ International. 2014. Vol. 54.No. 2. pp. 437-444.

3. *Sanal R*. Numerical Simulation of Dendritic crystalgrowth using phase field method andinvestigating the effects of different physicalparameter on the growth of the dendrite. 2014. pp. 1-5.

4. *Bulent S.B*. Programming Phase-Field Modeling: Cham, Switzerland. 2017. 400 p.

5. Roberts C., Marian J. Thermo-physical phase field model of laser powder melting additive manufacturing of 2D layered stainless steel structures // Journal of Materials Research and Technology. 2024. Vol. 28.pp. 3641-3654.

MATHEMATICAL MODELING OF CRYSTALLIZATION PROCESS BY PHASE FIELD METHOD WITH CONSIDERATION OF ANISOTROPY OF ENERGY GRADIENT

Orlova M.S.
Supervisor: Gorunov A.I., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The paper presents a mathematical model of the melt crystallization process, taking into account the anisotropy of the energy gradient of the solid-liquid interface, based on the phase field method. The results of the formed microstructure for various mode number of anisotropy are presented.

УДК 51.7:80

МАТЕМАТИКА, МАТЕМАТИКИ И ДРУГИЕ НАУКИ

Петров Д.А.
Научный руководитель: Дорофеева С.И., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Математика – наука увлекающая не только профессиональных математиков, но и поэтов, писателей: математика – медицина (Д. Бернулли, Д. Кардано), математика – литература (А. Белый, В. Хлебников, Е.С. Вентцель, А.Н. Колмогоров, А.М. Волков)

Учёные, занимающиеся математикой, часто проявляют свои способности в различных, часто далёких от математики областях.

Самым известным в своём поколении был Джироламо Кардано (1501–1576) - энциклопедист, особенно талантливый в области медицины и математики. Им написан и издан один из лучших, по версии Иэна Стюарта, учебник «Великое искусство» (Ars Magna) с подзаголовком «Правила алгебры». В 1564 году пристрастие к азартным играм побудило его, учитывая математическое понимание шансов на выигрыш, написать одну из первых книг по теории вероятностей — «Книгу об азартных играх» [1]. Кардано блестяще окончил медицинский факультет университета в Павии. В коллегию врачей был принят только в 1539 году из-за резкости и невыдержанности своего характера.

В 1725 году по распоряжению Петра I Указом правительствующего Сената от 28 января (8 февраля) 1724 года учреждена Российская Академия наук. В 1725 году в Россию отправились братья Бернулли: Даниил (1700–1782) — швейцарский математик, механик, физик, физиолог; Николай (1695–1726) — юрист, механик, математик. Даниил получил кафедру физиологии, затем математики, Николай – механики (к сожалению, деятельность Николая в Петербурге оборвалась через восемь месяцев в связи со смертью). Даниил пригласил в Петербург Леонарда Эйлера (1707 - 1783). Эйлера пригласили на место адъюнкта по физиологии, то есть ему предстояло заниматься медициной. Для нас удивительно, но в те времена, медицина не воспринималась как наука, далёкая от математики. Эйлер начал изучать анатомию, физиологию, медицину ещё в Базеле, готовясь к отъезду в Петербург. Учитель Эйлера Иоганн Бернулли чередовал занятия математикой с медицинской практикой, преподаванием греческого языка [2].

Исследование потоков жидкости, которые проводил Д. Бернулли для своей книги «Гидродинамика», и наличие медицинских знаний привели его к методу измерения

артериального давления: стеклянную трубку вводили в артерию пациента и потому, как высоко жидкость поднималась в трубке, оценивали давление. Эта не самая приятная процедура практиковалась более 170 лет, пока на смену ей не стали применять неинвазивный метод измерения давления [3].

Александр Грибоедов(1795-1829) был дипломатом (и погиб, выполняя свои служебные обязанности в Персии), историком, лингвистом (владея латынью, греческими, английскими, немецким, французским, итальянским), играл на рояле и арфе, сочинял музыку (написанный в 1823 году знаменитый вальс ми минор часто звучит на концертах и в наши дни), разбирался в математике. В 11 лет он поступил в Московский университет (может быть не в 11 лет, а немного старше, так как дата рождения неточная) и за два года окончил отделение словесности, а затем нравственно-политическое и физико – математическое [4], что делает его причастным к математике. О нём говорили, что он один из самых умных людей в России.

Один из крупнейших русских математиков 19 века Виктор Яковлевич Буняковский (1804-1899), автор первого учебника по теории вероятностей в России «Основание математической теории вероятностей», изданный в 1846 году, был ещё и поэтом, переводчиком Байрона.

Математика, математические образы присутствуют и в стихах «нематематиков».

Я дух механики. Я вещества
Во тьме блюду слепые равновесья.
Я полюс сфер – небес и поднебесья,
Я гений числ. Я счётчик. Я глава.
Мне важны формулы, а не слова.

М. Волошин

Смысл интегрального исчисления хорошо передал Валерий Брюсов (1873 - 1924), математикой увлекавшийся в старших классах гимназии.

Здесь что? Мысль роль мечты играла,
Металл ей дал пустой рельеф;
Смысл – там, где змеи интеграла
Меж цифр и букв, меж d и f!

Андрей Белый – литературный псевдоним Бориса Николаевича Бугаева (1880–1934). Он окончил естественное отделение физико-математического факультета Московского университета, а позднее и историко-филологический факультет. В 1903 году Б.Н. Бугаев организовал кружок символистов[5]. Символистом был и Велимир (Виктор) Хлебников (1885–1922), поступивший в 1903 году на математическое отделение Казанского университета, правда, проучился там недолго…

О дробных степенях пространства
Кто думал по ночам -
Его, как своё убранство,
Я подаю очам.

В математике пространства дробных размерностей(фракталы) начали исследоваться примерно через полстолетия. Фракталы используются в методах обработки изображений и распознавании объектов. Теория обработки искажённых, размытых изображений с помощью компьютерной графики использует фрактальный подход.

Интересно, что среди символистов много математиков.

Профессор, доктор физико–математических наук Елена Сергеевна Вентцель (1907-2002) – автор, пользующегося огромным спросом учебников по теории вероятностей и её инженерным приложениям, исследовании операции, теории игр. Е.С. Вентцель работала в Военно – воздушной инженерной академии имени Н.Е. Жуковского, на кафедре прикладной математики в Московском институте инженеров транспорта (МИИТ), и одновременно писала повести, романы, рассказы о том, что её окружало, о людях, с которыми сталкивала её судьба. Повесть «На испытаниях» – о работе военных и учёных при испытании новой

техники на полигонах, «Кафедра» – о преподавателях, взаимоотношениях внутри коллектива.

О себе Е.С. Вентцель говорила: «Писать я начала очень рано, печататься – поздно...» Как совместились два больших таланта: талант математики и талант писателя? Всему начало – семья. Отец, Сергей Фёдерович Долгинцев, преподавал математику, мать – словесность. Сергей Фёдорович начал заниматься с дочерью математикой лет с семи, причём не только элементарной. В 1923 году, в 16 лет, Елена поступила в Петроградский университет (в настоящее время Санкт – Петербургский государственный университет) на физико-математический факультет и окончила его в 1929 году.

Первая большая публикация Елены Сергеевны (по мужу Вентцель) – монография «Элементарный курс теории вероятностей в применении к задачам стрельбы и бомбометания» вышла из печати в 1945 году.

Литературный псевдоним Е.С. Вентцель - И. Грекова взят от математической переменной «у» – «игрекова» [6]. Ею написаны романы «Свежо предание» (последнее издание вышло в 2025 году), «Пороги», повести «На испытаниях», «Кафедра» (последнее издание в 2025 году), «Перелом», «Вдовий пароход» и другие. Некоторые произведения И. Грековой экранизированы: «Кафедра» (в 1982, режиссёр Иван Киасашвили), «Благословите женщину2 (по повести «Хозяйка гостиницы2, реж. Станислав Говорухин, 2003 год), «Вдовий пароход» (реж. С. Митин, 2010 г.). Пьеса «Вдовий пароход» шла в Казани, в Татарском государственном театре драмы и комедии им. К. Тинчурина.

Андрей Николаевич Колмогоров (1903–1987) – советский математик, один из крупнейших математиков XX века. Один из основоположников современной теории вероятностей, им получены фундаментальные результаты в классических науках: механике, теории дифференциальных уравнений, и современных: теории алгоритмов, теории множеств и многих других. В 1920-е годы А. Н. Колмогоров одним из первых в СССР обратился к проблемам лингвистики. Он написал более десяти работ в области стиховедения, о ритмике поэзии В. Маяковского. Читал лекции по стиховедению. В годы Великой Отечественной войны во главе группы учёных вёл исследования по заданиям главного артиллерийского управления РККА.

Кто из современных детей, да и их родителей, не знает произведений Александра Мелентьевича Волкова: «Волшебник Изумрудного города» (1939, 1959); «Урфин Джюс и его деревянные солдаты» (1963); «Семь подземных королей» (1964); «Огненный бог Марранов» (1968); «Жёлтый туман» (1970); «Тайна заброшенного замка» (1976). Причём тут математика? Александр Мелентьевич Волков (1891 - 1977) после окончания Томского учительского института работал учителем математики сначала в своём родном городе Усть-Каменогорске, затем в Колывани (1910 – 1913 г.г.), в 1926 году был директором школы в Ярославле и заочно окончил математический факультет Ярославского педагогического института, а в 40 лет подал документы на математический факультет Московского университета и прошёл пятилетний курс за семь месяцев. (По рассказам биографа писателя С. Черных). Занимаясь английским языком, сорокапятилетний математик, доцент Московского института цветных металлов и золота А. М. Волков прочёл в оригинале книгу Ф. Баума «The Wonderful Wizard of Oz» и переделав её по-своему, вдруг стал автором одной из самых популярных сказок советских детей. Надо отметить, что его всегда тянуло и литературное творчество, и математика. Свой первый роман Волков начал писать в двенадцать лет. С 1941 года Волков – член Союза писателей.

А.М. Волков являлся автором не только серии книг о приключении Элли и Энни, многие его произведения посвящены выдающимся личностям прошлого – учёным, строителям, первооткрывателям, философам. В своих романах и повестях писатель чаще всего обращался к истории. Перед работой над такой книгой Волков очень подробно, тщательно и всесторонне изучал эпоху, знакомился с документами, специальными учёными трудами, поэтому увлекательный сюжет и эмоциональность изложения сочетаются у него с научностью и достоверностью.

Одна из первых детских книг на историческую тему, «Чудесный шар» (1940), раскрывает картину жизни России в XVIII веке. Главный герой повести – сын купца Дмитрий Ракитин был заключён навечно в крепости, где изобрёл первый в России воздушный шар. В книге «След за кормой» рассказывается об истории мореплавания от первобытных времён до легендарных походов викинга Лейфа Эрикссона.

Волков любил разрабатывать темы, связанные с российской историей.

Натан Моисеевич Солодухо (1952-2024) окончил Казанскую среднюю физико-математическую школу в 1969 году, затем физический факультет Казанского государственного университета в 1974 году. Параллельно учился и окончил факультет общественных профессий при КГУ в 1973 году по специальности «Лектор-искусствовед».

Работал инженером инфракрасной техники в Казанском научно-исследовательском технологическом институте вычислительной техники (1974-1979 гг.). Преподавал на кафедре философии Казанского государственного педагогического университета в должности ассистента, доцента, профессора (1979-1996 гг.). Защитил кандидатскую диссертацию в КГУ (1983) по теме «Диалектика однородности и неоднородности в развитии природных и социоприродных систем». Защитил докторскую диссертацию в Московском педагогическом государственном университете (1993) по теме «Теоретико-методологические основы общенаучного гомогетерогенного подхода». С 1996 по 2024 год заведовал кафедрой философии КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева и возглавлял «Центр культурологических исследований» при КНИТУ-КАИ.

Натан Моисеевич является автором более 60 литературно-художественных публикаций, включая 5 авторских и 6 коллективных книг, всего им опубликовано более 300 научных, философских и литературных работ, из них 10 монографий и 10 учебных пособий (в качестве автора и соавтора), которые используются в учебном процессе КНИТУ-КАИ им, А.Н. Туполева. Кроме того, Н.М. Солодухо – лауреат премии Международного журнала «Зарубежные записки» (Германия, 2013) в номинации «Эссе. Литературная критика», Лауреат премии газеты «Поэтоград» (Москва, 2013 и 2014) и в номинации «Поэзия» – «Литературного клуба» (Москва, 2012 и 2016 гг.), Лауреат Международного литературно-художественного фестиваля в Черногории «Русские мифы» (2018) в номинации «Творческий вклад в современную культуру» и др.

Натан Моисеевич являлся членом Союза российских писателей, Международного Союза писателей XXI века, Профессионального Союза художников СНГ, действительным членом Российской экологической академии, Российской академии космонавтики им К.Э. Циолковского, Российской академии естествознания. Имел почётные звания «Заслуженный деятель науки Республики Татарстан» (2007), «Почётный работник высшего профессионального образования РФ» (2010), медаль РТ «За доблестный труд» (Татарстан, 2014).

Мы гордимся тем, что такой неординарный, талантливый человек работал в КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева.

Цель привлечения гуманитарной составляющей математики, формирования общекультурных компетенций – привить устойчивый интерес к изучению математики и, впоследствии, к научно-исследовательской работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Стюарт И.* Значимые фигуры: жизнь и открытия великих математиков / Иэн Стюарт; Пер. с англ. – М.: Альпина нон – фикшн, 2019 – 446 с.

2. *Писаревский, Б.М.* Они придумали математику / Б.М. Писаревский - М.: ИД «КФУ», «Университетская книга», 2016 – 238 с.

3. *Малышев В.К.* Вклад Даниила Бернулли в медицину. // Физико – математические. естественно – научные и социальные аспекты современного развития науки, техники и общества. Материалы III Региональной со всероссийским участие молодёжной научной конференции. С. 59 – 61 Казань; Изд – во ИП Сагиева А.Р., 2023.

4. https://www.culture.ru/persons/8210/aleksandr-griboedov.
5. *Дорофеева С.И*. Математика и её окрестности: монография/ Дорофеева С.И. – Казань: редакционно – издательский центр «Школа», 2022. 82 с.
6. *Дорофеева С.И., Лазарева И.А*. Формирование общекультурных компетенций при изучении высшей математики. // Инновационные процессы в современном образовании: от идеи до практики. Материалы V международной научно-практической конференции с использованием дистанционных технологий. Ярославль, 2025. с. 153-156.

MATHEMATICS, MATHEMATICIANS AND OTHER SCIENCES

Petrov D.A.
Supervisors: Dorofeeva S.I., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Mathematics is a science that fascinates not only professional mathematicians but also poets and writers: Mathematics – Medicine (Bernoulli, Cardano) Mathematics – Literature (A. Bely, V. Khlebnikov, E.S. Venttsel, A.N. Kolmogorov, A.M. Volkov).

УДК 533,51-72

НЕЛИНЕЙНЫЕ ОБЫКНОВЕННЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОДНОМЕРНОГО СТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ СРЕДЫ С НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ

Тукмаков Д.А.
(ИММ Казанского научного центра Российской академии наук, г. Казань)

Аннотация. В работе представлен обзор монографий и статей в периодических научных изданиях, посвященных проблемам математического моделирования течений неоднородных сред, в частности газодисперсных потоков насыпной плотности. В обзоре литературы анализируется различные приложения теоретического исследования динамики неоднородных сред, а также методики математического моделирования течений неоднородных сред. Также в работе приведена система нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений описывающая стационарное течений газодисперсной среды с насыпной плотностью дисперсной фазы.

Одним из разделов прикладной математики является разработка математических моделей в механике жидкости и газа, в частности в динамике неоднородных сред. Практическое применение теории динамики неоднородных сред затрагивает широких перечень различных областей. В публикации [1] разрабатываются трехмерные численные модели течений изотермальной вязкой ньютоновской многофазной жидкости на различных поверхностях под действием силы тяжести, с целью исследовать динамику и взаимодействие потоков лавы. В работе [2] в связи с проблемами подводной нефтедобычи разработана математическая модель многофазной затопленной струи, математическая модель не предполагала интегрировании систем уравнений динамики сплошной среды. В монографии [3] описаны различные подходы динамики неоднородных сред, представлены уравнения одномерной динамики порошковой среды. В монографии [4] разработана система уравнений в частных производных, описывающая одномерную нестационарную динамику порошковой среды, в монографии исследования. В монографии [5] с помощью численных решений исследованы динамические процессы в газодисперсных смесях твердых частиц. В статье [6] рассматривается неравновесное критическое изотермическое истечение порошково-газовой среды из конического канала. Сформулирована одномерная математическая модель. Математическая модель, описанная в статье, не предполагает решения полной гидродинамической системы уравнений движения сплошной среды. В публикации [7]

делается обзор работ, посвященных численному моделированию различных технологических процессов, связанных с псевдоожиженным слоем, рассматриваться различные подходы математического моделирования течений порошковых сред. В работе [8] делается обзор промышленных технологий, имеющих в основе гидродинамические процессы псевдоожиженного слоя, высказывается предположение о важности математического моделирования такого рода течений.

Приведенные периодические публикации демонстрируют актуальность тематики исследования динамики порошковых сред в связи с практическими предложениями. Часто для моделирования течений неоднородных сред применяются методики моделирования, более простые, чем общая система уравнений движения сплошной среды, включающей в себя уравнения неразрывности, сохранения импульса и энергии.

Для моделирования течений неоднородных сред может быть применен траекторный подход, актуальный как для газовзвесей [9], так и для суспензий [10]. Важным развитием динамики недородных сред является континуальных подход [11], в первые описанный в монографии [3]. Также континуальный подход, который возможно применить для самых различных задач динамики газовзвесей – взаимодействие ударной волны с запыленной средой[12] или же истечение запыленной среды в вакуум [13].

Новизна данного исследования заключается в том, что стационарная модель одномерного течения разработана на основе континуальной методики динамики многофазных сред, учитывающей межфазное взаимодействие, для каждой из компонент порошковой смеси решалась полная гидродинамическая система уравнений. Одним из широко применяемых в гидродинамике методов упрощения математической модели описания течения является предположение о стационарном характере потока [14].

Рассмотрим общею методику описания математического описания стационарного потока сжимаемой среды. Динамика сплошной среды моделируется из предположения одномерности и стационарности моделируемого течения. Уравнения движения однородного невязкого сжимаемого газа будут иметь вид [15] (1-3):

$$\frac{d\left(\rho u\right)}{dx}=0 \quad (1)$$

$$\frac{d\left(\rho u^2\right)}{dx}+\frac{dp}{dx}=0 \quad (2)$$

$$\frac{d\left(eu\right)}{dx}+\frac{d\left(pu\right)}{dx}=0 \quad (3)$$

Из уравнения (1) следует, что стационарные одномерные течения имеют постоянный расход – ρu=const, в таком случае уравнение (2) может быть преобразовано к виду (4), где $\beta_0= \rho u$:

$$\beta_0 \frac{du}{dx}=-\frac{dp}{dx} \quad (4)$$

из уравнения (4) следует, что уравнение (3) имеет вид (5):

$$\frac{de}{dx}=-\frac{e}{u}\frac{du}{dx}-\frac{p}{u}\frac{du}{dx}+\beta_0\frac{du}{dx} \quad (5)$$

Несмотря на важное упрощение уравнения неразрывности потока – (4) уравнение (5), выведенное из стационарного уравнения сохранения энергии (3), является нелинейным и поэтому уравнение (5) необходимо интегрировать с помощью численных методов [15,16].

Континуальная математическая модель динамики порошковой среды [4], для сжимаемого стационарного течения имеет следующий вид (6) - (12):

$$\frac{d\rho}{dx}=0 \quad (6)$$

$$\frac{d\rho_1}{dx}=0 \quad (7)$$

$$\frac{d\left(\rho u^2\right)}{dx}+\alpha\frac{dp}{dx}=-\alpha F \quad (8)$$

$$\frac{d\left(\rho_1 u_1^{\,2}\right)}{dx}+\alpha_1\frac{dp}{dx}-\alpha_1\frac{d\sigma}{dx}=\alpha F \quad (9)$$

$$\frac{d\,\rho_1 u_1 e_{11}}{dx}-\xi\sigma\frac{du_1}{dx}=Q \quad (10)$$

$$\frac{d\,\rho_1 u_1 e_{12}}{dx}+(1-\xi)\sigma\frac{du_1}{dx}=0 \quad (11)$$

$$\left(\rho u\frac{dE}{dx}+\rho_1 u_1\frac{dE_1}{dx}+p\left(\alpha u+\alpha_1 u_1\right)-\sigma u_1\right)=0 \quad (12)$$

$$\rho=\rho_0\alpha\left(x\right),\rho_1=\rho_{10}\alpha_1\left(x\right),\alpha+\alpha_1=1$$

$$E=e+u^2,E_i=e_i+u_i^2\;\;e_1=e_{11}+e_{12},\;T=e/c_g,T_1=e_{11}\left(\alpha_1\rho_{10}c_p\right)^{-1},p=\left(\gamma-1\right)\rho_{10}e$$

$$F=\frac{3}{4}\frac{\alpha_1}{d}C_d\,\rho\left(u-u_1\right)\left|u-u_1\right|,Q=6\alpha_1\lambda Nu_1(T-T_1)/d^2,\;\sigma=\rho_{20}\alpha c^2\left(\frac{\alpha_0-\alpha}{\alpha}\right).$$

Уравнения (6), (7) −уравнения неразрывности фаз смеси, уравнения (8), (9) – уравнения сохранения импульса несущей и дисперсной фаз смеси, уравнение (10) – уравнение сохранения тепловой энергии дисперсной фазы, уравнение (11) – уравнение сохранения кинетической энергии дисперсной фазы, уравнение (12) – уравнения сохранения полной энергии несущей среды.

Q (T, T_1) – поток тепла между несущей средой и дисперсной фазы, $F(u,u_1)$−функция обмена импульсом между фазами смеси. Здесь Nu_1 – относительное число Нуссельта [4], d – диаметр частицы, ξ−коэффициент межгранулярного напряжения, σ− функция энергии деформации дисперсной фазы. Число Нуссельта определяется с помощью известной аппроксимации в зависимости от относительного числа Маха M_1, относительного числа Рейнольдса Re_1 и числа Прандтля Pr [4]:

$$M_1=\left|u-u_1\right|/c\;,\;\;Re_1=M_1\rho_1 d\mu^{-1},\;\;Pr=c_g\mu\lambda^{-1}\;\;,$$

$$Nu_1=2exp\left(-M_1\right)+0.459\,Re_1^{0.55}\,Pr^{0.33}$$

Исходя из условий сжимаемости стационарного потока, возможно предположить, что $\alpha u\equiv const,\alpha_1 u_1\equiv const$, тогда система уравнений (6)-(12) будет иметь вид (13)-(19):

$$\alpha=\beta/u \quad (13)$$

$$\alpha_1=\beta_1/u_1 \quad (14)$$

$$\beta\rho_0\frac{du}{dx}+\frac{\beta}{u}\frac{dp}{dx}=-\frac{\beta}{u}F \quad (15)$$

$$\beta_1\rho_0\frac{du_1}{dx}+\frac{\beta_1}{u_1}\frac{dp}{dx}-\frac{\beta_1}{u_1}\frac{d\sigma}{dx}=\frac{\beta}{u}F \quad (16)$$

$$\rho_{10}\beta_1\frac{de_{11}}{dx}-\xi\sigma\frac{du_1}{dx}=Q \quad (17)$$

$$\beta_1\rho_{10}\frac{de_{12}}{dx}+(1-\xi)\sigma\frac{du_1}{dx}=0 \quad (18)$$

$$\left(\rho_0\beta\frac{dE}{dx}+\rho_{10}\beta_1\frac{dE_1}{dx}+p\left(\beta+\beta_1\right)-\sigma u_1\right)=0 \quad (19)$$

$$F=\frac{3\beta\beta_1 C_d\,\rho_0}{4duu_1}\left(u-u_1\right)\left|u-u_1\right|,Q=\frac{6\beta_1}{u_1}\lambda Nu_1(T-T_1)/d^2,$$

$$T_1 = u_1 e_{11} \left(\beta_1 \rho_{10} c_p\right)^{-1}, \sigma = \rho_{20} \alpha_0 c^2 \left(\frac{\alpha_0 u - \beta}{\beta}\right)$$

Для получения численного решения использовалась конечно-разностная аппроксимация с шагом вперед [15,16] (20) - (24):

$$u_{i+1} = u_i + \left(-\frac{\Delta x}{u} F_i \frac{1}{u} \rho_0 (\gamma - 1)\left(e_{i+1} - e_i\right)\right) / \rho_0 \quad (20)$$

$$u_{1i+1} = u_{1i} + \left(-\Delta x \frac{\beta}{u_i} F_i - \frac{\beta_1}{u_{1i}} \rho_0 (\gamma - 1)\left(e_{i+1} - e_i\right) - \frac{\beta_1}{\beta u_{1i}} \rho_{20} \alpha_0{}^2 c^2 \left(u_{i+1} - u_i\right)\right) / \beta_1 \rho_{10} \quad (21)$$

$$e_{11i+1} = e_{11i} + \left(\Delta x Q_i - \xi \sigma_i \left(u_{1i+1} - u_{1i}\right)\right) / \rho_{10} \beta_1 \quad (22)$$

$$e_{12i+1} = e_{12i} + \left((1 - \xi) \sigma_i \left(u_{1i+1} - u_{1i}\right)\right) / \rho_{10} \beta_1 \quad (23)$$

$$\begin{aligned} e_{i+1} = {} & \left(e_i - \left(e_{11i+1} - e_{11i+1}\right) - \left(e_{12i+1} - e_{12i+1}\right) - u_i \left(u_{i+1} - u_i\right) - u_{1i} \left(u_{1i+1} - u_{1i}\right)\right) / \beta \rho_0 \\ & + \Delta x \left((\gamma - 1) \rho_{10} e_i \left(\beta + \beta_1\right) - \sigma_i u_1\right) / \beta \rho_0 \end{aligned} \quad (24)$$

$$F_i = \frac{3 \beta \beta_1 C_d \rho_0}{4 d u_i u_{1i}} \left(u_i - u_{1i}\right) \left|u_i - u_{1i}\right|, Q_i = \frac{6 \beta_1}{u_1} \lambda N u_1 (T_i - T_{1i}) / d^2,$$

$$T_i = e_i / c_g, \; T_{1i} = u_{1i} e_{11i} \left(\beta_1 \rho_{10} c_p\right)^{-1}, \sigma_i = \rho_{20} \alpha_0 c^2 \left(\frac{\alpha_0 u_i - \beta}{\beta}\right).$$

Здесь $\Delta x = L/(N-1)$, шаг конечно-разностного разбиения равный отношению длины отрезка, моделируемого течения− L к количеству узлов конечно-разностного разбиения −N. Так как система уравнений (20) - (24) имеет нелинейный характер, то для решения конечно-разностных уравнений применялся метод Ньютона [16]. Численный алгоритм решения системы нелинейных дифференциальных уравнений (20) - (24) реализован в виде компьютерной программы написанной на языке программирования Fortran.

Работа выполнялась в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра Казанского научного центра Российской академии наук.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Короткий А.И.* Численное моделирование лавовых потоков в моделях изотермальной вязкой многофазной несжимаемой жидкости //Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 12-1. С. 12-18.

2. *Кильдибаева С.Р.* Математическая модель многофазной затопленной струи. //Международный научно-исследовательский журнал. 2014, № 11-1. −С. 28-29.

3. *Нигматулин Р.И.* Основы механики гетерогенных сред / Р.И. Нигматулин. Москва: Наука, 1978. –336 с.

4. *Кутушев А.Г.* Математическое моделирование волновых процессов в аэродисперсных и порошкообразных средах. Санкт- Петербург: Недра, 2003. −284 с.

5. *Федоров А.В., Фомин В.М., Хмель Т.А.* Волновые процессы в газовзвесях частиц металлов. / Новосибирск: Параллель, 2015. 301 с.

6. *Елькин А.В., Малинин В.И.* Критическое истечение порошково-газовой смеси из форсунки системы подачи порошкообразного топлива // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 6. С.1-7.

7. *Di Renzo A., Napolitano E. S., Di Maio F. P.* Coarse-grain DEM modelling in fluidized bed simulation: A review //Processes. 2021. V. 9. No. 2. P. 279-309.

8. *Hanchate N., Ramani S., Mathpati C., Dalvi H.* Biomass gasification using dual fluidized bed gasification systems: A review//Journal of Cleaner Production. 2021. V. 280.

9. *Тукмаков А.Л.* Зависимость механизма дрейфа твердой частицы в нелинейном волновом поле от ее постоянной времени и длительности прохождения волновых фронтов //Прикладная механика и техническая физика. 2011. Т. 52. № 4. С. 106-115.

10. *Тукмаков Д.А.* Исследование влияния параметров математической модели двухмерной стационарной конвективной диффузии на расчеты концентрации осаждающихся твердых частиц в канале // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2022. № 2. С. 31-41.

11. *Тукмаков Д.А.* Сопоставление компьютерных реализаций равновесной и континуальной методик моделирования многофазных сред на примере одномерного нестационарного течения газовзвеси // Вестник ЮУрГУ. Серия Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2023. Т. 23. № 3. С. 59–75.

12. *Тукмаков Д.А.* Численное исследование влияния неравномерного распределения концентрации одной из фракций дисперсной компоненты на процесс распространения ударной волны из чистого газа в двухфракционную газовзвесь // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 5. С. 8-15.

13. *Тукмаков Д.А., Уразов А.Н.* Численное исследование влияния начального объёмного содержания дисперсной компоненты смеси на истечение запылённой среды в вакуум //Международный научно-исследовательский журнал. 2020. №6. С. 23-28.

14. *Тукмаков Д.А.* Численное исследование влияния учёта изменения сечения канала на параметры динамики среды при математическом моделировании одномерных стационарных течений // Вестник Таганрогского государственного педагогического института. 2019. №1. С. 363-368.

15. *Fletcher C.* Computation Techniques for Fluid Dynamics. / C. Fletcher Berlin: Springer-Verlang, 1988. 898 p.

16. *Вержбицкий В.М.* Численные методы. Линейная алгебра и нелинейные уравнения. / В.М. Вержбицкий. Москва: Высшая школа, 2000. 266 с.

APPLICATION OF A SYSTEM OF ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS FOR MODELING A ONE-DIMENSIONAL STEADY FLOW OF A MEDIUM WITH BULK DENSITY

Tukmakov D.A.

*(IMM Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan***)**

Abstract. The paper presents a review of monographs and articles in scientific periodicals devoted to the problems of mathematical modeling of flows of inhomogeneous media, in particular, gas-dispersed flows of bulk density. The literature review analyzes various applications of theoretical research into the dynamics of inhomogeneous media, as well as methods of mathematical modeling of flows of inhomogeneous media. The paper also presents a system of nonlinear ordinary differential equations describing the steady-state flows of a gas-dispersed medium with bulk density of the dispersed phase.

УДК 004.94

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНИРОВАННОГО ФИЛЬТРА В ЗАДАЧЕ WLTC

Чернов М. Б.

Научный руководитель: Голубков А. В. доцент, к. ф.-м. н.

(Ульяновский государственный педагогический университет имени И.Н. Ульянова», г. Ульяновск)

Аннотация. В данной статье рассматривается оценка степени заряда аккумулятора (SoC) на основе модели Тевенена методами калмановской фильтрации. Производится сравнение линейного, расширенного и комбинированного фильтров Калмана для оценки SoC при моделировании динамики автомобиля на основе параметров цикла WLTP. Описываются преимущества применения комбинированного фильтра.

Активное использование аккумуляторов в современном оборудовании и технике приводит к актуальности улучшения существующих моделей или же созданию новых. В связи с этим важную роль в науке занимает оценка степени заряда (State of Charge, SoC) аккумуляторов, обусловленная ее практическим значением. Стоит отметить, что степень заряда аккумулятора недоступна для прямых измерений, ее оценку можно осуществлять разными способами, в том числе с применением различных типов фильтров Калмана. В данной статье представлен интегрирующий линейный, расширенный и комбинированный фильтры Калмана.

Моделировать аккумуляторы можно разными методами. Наиболее распространённым является использование модели Тевенена второго порядка [1]. На основе нее составлена дискретная стохастическая модель в пространстве состояний, описываемая уравнениями (1) и (2).

$$\begin{bmatrix} SOC_k \\ U_{1k} \\ U_{2k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-\frac{\Delta t}{R_1 C1}} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-\frac{\Delta t}{R_2 C2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} SOC_{k-1} \\ U_{1k-1} \\ U_{2k-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{\Delta t}{Q_{cap} \cdot 3600} \\ R_1(1-e^{-\frac{\Delta t}{R_1 C1}}) \\ R_2(1-e^{-\frac{\Delta t}{R_2 C2}}) \end{bmatrix} I_t + \begin{bmatrix} w_{soc,k} \\ w_{u1,k} \\ w_{u2,k} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$U_{tk} = U_0 - R_0 I_{tk} - U_1 - U_2 + v_{tk}, \quad (2)$$

где x_k – вектор состояния на шаге k, включающий SoC и напряжения на RC-цепях, A – матрица перехода, которая описывает динамику системы, B – матрица управления, связывающая ток нагрузки с изменением состояния, u_{k-1} – ток нагрузки на шаге $k-1$, Q_{cap} – номинальная емкость аккумулятора, числовой коэффициент при ней необходим для перевода единиц измерения из Ач в СИ, Δt – шаг дискретного времени.

$U_0 = OCV(SOC)$ – функция, описывающая нелинейную зависимость напряжения холостого хода (Open Circuit Voltage, OCV) от степени заряда, I_{tk} – ток нагрузки, который имеет положительное значение во время разряда аккумулятора и отрицательное во время его заряда.

Случайные возмущения в модели аккумулятора представим дискретным шумом $w_k \sim \mathrm{N}(0, Q)$, а $v_{tk} \sim \mathrm{N}(0, R)$ – ошибки измерений в уравнении наблюдений.

Данные зависимости $SOC(OCV)$ и параметры модели R_0, R_1, R_2, C_1, C_2 получены экспериментально и описаны вместе с разрядом аккумулятора постоянным током в [2].

Для получения экспериментальных данных проводился SOC-OCV тест с использованием аккумулятора INR19/66 ЛИЦ-3.0 ПАО «Энергия», а также электронной нагрузки RIGOL DL3021. На рисунке 1 представлен график зависимости OCV(SOC).

Следующим шагом является выделение участков данных, где линейная модель может адекватно описать зависимость между напряжением и состоянием заряда (SoC). Для этого используется метод линейной регрессии, который позволяет оценить параметры модели и определить ее качество.

В начале процесса задается шаг для расчета открытого напряжения (OCV) в зависимости от SoC, а также устанавливается максимальная длина линейного участка. Далее, с помощью функции ocv генерируются данные, представляющие собой зависимость напряжения от SoC. Затем осуществляется итерация по всем возможным участкам данных, где для каждого сегмента выполняется линейная регрессия с использованием библиотеки

statsmodels. В данной работе оценка качества модели представлена на рисунке 2 осуществляется с использованием коэффициента детерминации (R^2) [3].

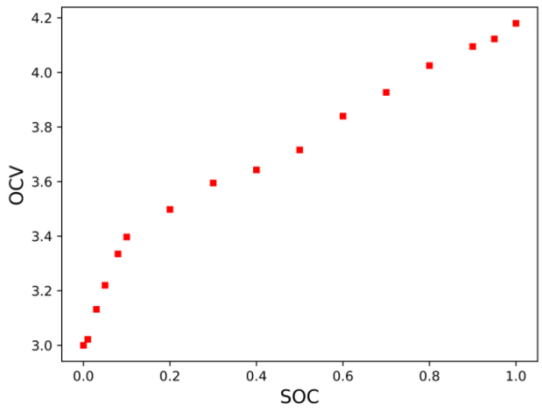


Рисунок 1. Экспериментальные данные SoC-OCV теста

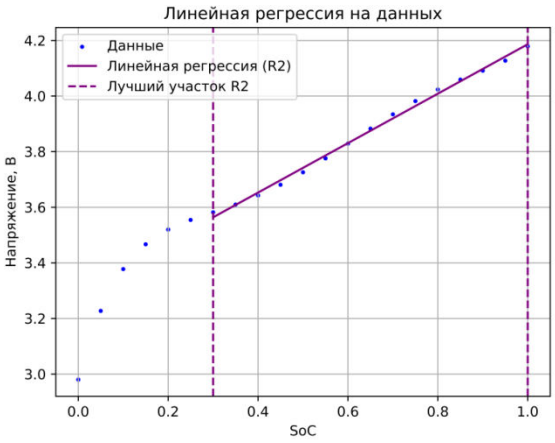


Рисунок 2. Линейная регрессия на данных

Процесс идентификации состояния аккумулятора (State of Charge, SoC) основан на использовании фильтров Калмана, которые позволяют оценить скрытые состояния системы на основе зашумленных измерений. Для оценки SoC применяются три подхода: линейный фильтр Калмана (KF), расширенный фильтр Калмана (EKF) и комбинированный фильтр Калмана.

Линейный фильтр Калмана применяется в диапазонах SoC, где нелинейность модели, основанной на схеме замещения Тевеннена второго порядка, не является значительной. В этих условиях линейный подход обеспечивает высокую точность оценки состояния системы, позволяя эффективно отслеживать изменения в степени заряда аккумулятора. Использование линейного фильтра в таких диапазонах позволяет значительно упростить вычисления и повысить скорость обработки данных.

В то же время, в участках, где наблюдается преобладание нелинейной динамики зависимости напряжения от SoC, применяется расширенный фильтр Калмана. Этот подход позволяет учитывать нелинейные характеристики системы и обеспечивает более точную оценку состояния аккумулятора в условиях, когда линейные модели оказываются недостаточно эффективными [4].

Расширенный фильтр Калмана, основанный на линейзации нелинейных уравнений, позволяет адаптироваться к изменяющимся условиям работы аккумулятора и улучшает качество прогнозирования.

Данный подход оценки SoC имеет различные приложения. Одним из них является применение калмановской фильтрации с оценкой SoC при моделировании динамики

автомобиля на основе параметров цикла WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure), используя библиотеки NumPy, Matplotlib и SciPy [5]. Он определяет временные точки и соответствующие скорости, интерполирует их для получения более гладкого профиля, а затем создает расширенный профиль скорости. На основе этого профиля рассчитываются ускорение, силы (сопротивление качению и аэродинамическое сопротивление) и мощность, необходимая для движения или рекуперации энергии при торможении. Также вычисляется ток, потребляемый автомобилем, и в итоге строятся графики, отображающие изменения скорости, ускорения и тока во времени. Примером служит рисунок 3.

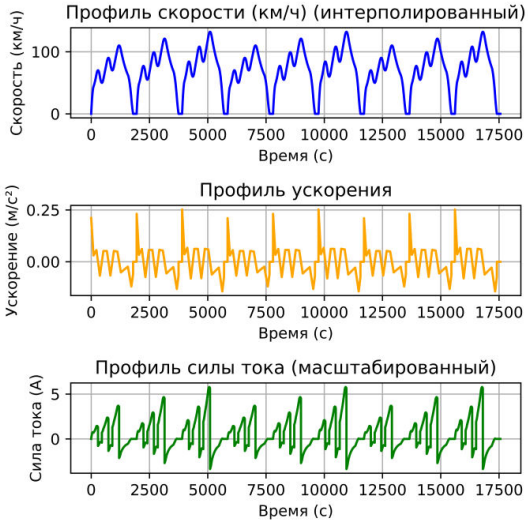


Рисунок 3. Графики профилей скорости, ускорения и силы тока

Для сравнения работы фильтров была проведена идентификация SoC при моделировании динамики автомобиля на основе параметров цикла WLTP. На рисунке 4 представлены графики измерений и истинных значений напряжения, а также истинных и зашумленных значений SoC.

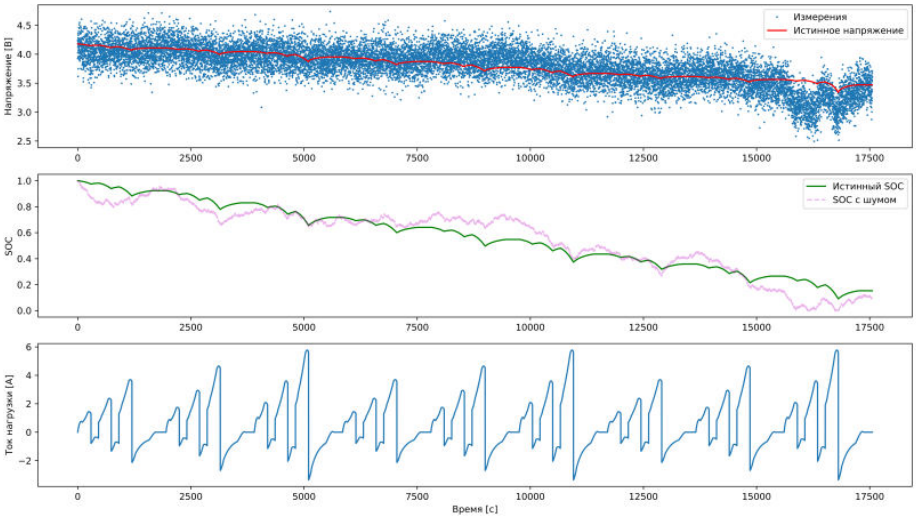


Рисунок 4. Графики истинных и зашумленных значений

Шумы в уравнении модели представлены ковариационной матрицей $Q = 0,002 I_3$, шум в измерениях $R = 0,04$ В, начальная ковариационная матрица $P = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$. На рисунке

5 представлена оценка SoC различными фильтрами. Так же представлена сравнительная таблица результатов.

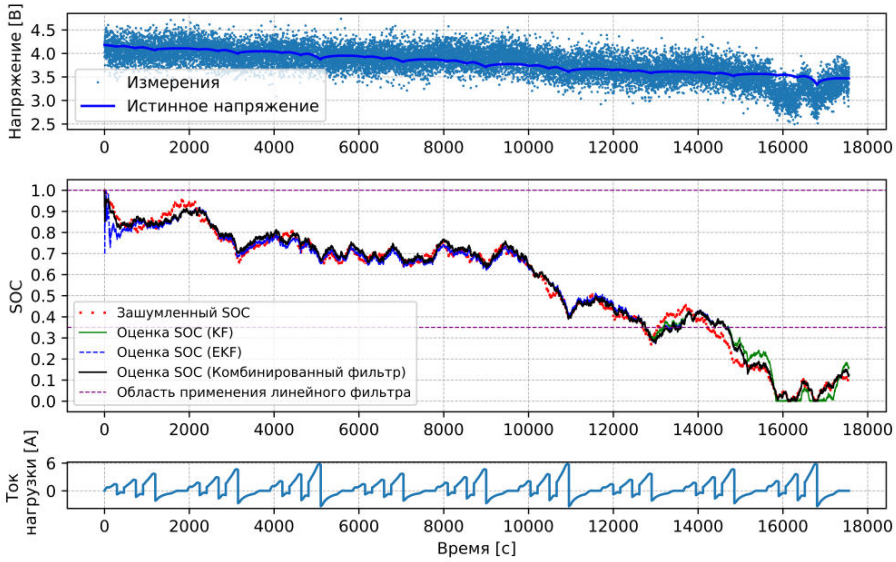


Рисунок 5. Оценка SoC с помощью комбинированного фильтра Калмана, KF и EKF

Таблица 1

Сравнительные данные ошибок линейного и комбинированного фильтров

	Фильтр	Максимальная ошибка (ME)	Средняя абсолютная ошибка (MAE)	RMSE	Стандартное отклонение ошибки (SDE)
0	Комбинированный	0.148083	0.023221	0.029862	0.029247
1	Линейный	0.148083	0.027086	0.034359	0.033634
2	Расширенный	0.305275	0.024304	0.032861	0.032814

Исходя из проведенного анализа, можно сказать, что комбинированный фильтр Калмана показывает наилучшие результаты по всем метрикам, что делает его предпочтительным выбором для оценки состояния заряда аккумуляторных батарей при моделировании динамики автомобиля на основе параметров цикла WLTP. Расширенный фильтр Калмана имеет высокую стабильность и точность в оценках. Линейный фильтр также демонстрирует хорошую производительность, но его точность несколько ниже. Расширенный фильтр, несмотря на свою способность учитывать нелинейные эффекты, показывает наименьшую точность и стабильность, что может ограничивать его применение в задачах, требующих высокой точности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Melentjev S., Lebedev D.* Overview of Simplified Mathematical Models of Batteries // Doctoral School of Energy and Geotechnology: Parnu, Estoni, 2013. P.231–235.

2. *Чернов М.Б., Голубков А.В.* Идентификация параметров модели литий-ионного аккумулятора // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сборник трудов Международной научной конференции, Воронеж, 04–06 декабря 2023г.– Воронеж: «Научно-исследовательские публикации», 2024 – С.758–763

3. *Ершов Э.Б.* Выбор регрессии, максимизирующий несмещенную оценку коэффициента детерминации // Прикладная эконометрика. 2008. №4.

4. *Wu X., Li X., Shurov N.I., Shtang A.A.* State-of-Charge Estimation of Lithium-Ion Battery Based on Extended Kalman Filter Algorithm // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2020. Vol. 13, № 3. P. 256–265.

5. *Щуров Н.И., Штанг А.А., Дедов С.И., Сяоган У.* Анализ влияния режимов движения электромобилей на старение тяговых аккумуляторов на основе испытательного цикла WLTC // Журнал СФУ. Техника и технологии. 2020. №8.

IDENTIFICATION STATE OF CHARGE OF THE BATTERY USING A COMBINED FILTER IN THE WLTC TASK

Chernov M.B.

Supervisor: Golubkov A.V. Associate Professor, Candidate of Physico - Mathematical Sciences

(Ulyanovsk State Pedagogical University, Ulyanovsk)

Abstract. This article discusses the estimation of battery state of charge (SoC) based on the Tevenen model using Kalman filtering methods. A comparison is made between linear, extended, and combined Kalman filters for SoC estimation when simulating vehicle dynamics based on WLTP cycle parameters. The advantages of using a combined filter are described.

УДК 004.4

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРЕШЕНИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ ФАЙЛОВ ИСХОДНОГО КОДА

Шаблий А.Д.

Научный руководитель: Судаков В.А., профессор, д. т. н.

(ПАО «ОАК» ОКБ Сухого, г. Москва)

Аннотация. В работе приведено описание способа разрешения функциональных зависимостей между файлами исходного кода программного обеспечения, что актуально для разрабатываемых решений более чем с одной точкой входа в программу. Для предлагаемого варианта характерно, что его результатом является математический объект, что упрощает его интеграцию в математические модели.

Важным этапом при анализе структуры программного обеспечения (ПО) является разрешение функциональных зависимостей между файлами исходного кода. Результаты такого анализа востребованы, например, при построении математических моделей и проектировании программных систем [1]. Так, современное ПО допускает наличие нескольких точек входа (функций main), задействованная точка входа зависит от конфигурации сборки ПО [2]. При этом в зависимости от точки входа задействуются разные объемы кодовой базы [3].

Текущие методы построения математических моделей предполагают использование готовых результатов анализа. Например, их можно получить при помощи инструментов статического анализа, таких как SonarQube или Clang Static Analyzer [4, 5]. При этом исходными данными становятся не файлы исходного кода и данные о их функциональных зависимостях, а результаты работы стороннего программного средства, что может приводить к ошибкам и трудным для отладки неточностям.

Целью настоящей работы является сформированный механизм разрешения функциональных зависимостей файлов исходного кода, что позволит автоматизировать процесс формирования математических моделей и нивелировать обозначенные недостатки.

Для формирования такого механизма необходимо, чтобы все файлы исходного кода были проиндексированы, а также ввести следующие обозначения:

1. m - количество файлов исходного кода;

2. $F_{1\times m}$ - вектор бинарных отношений, определяющий файл с задействованной точкой входа;

3. $D_{m\times m}$ - матрица бинарных отношений, описывающая наличие функциональные зависимости между файлами исходного кода.

Элемент вектора f_i принимает значение 1 если в -ом файле описана задействованная точка входа и 0 если не описана. Элемент матрицы $d_{i,j}$ принимает значение 1 если -й файл зависит от j-го и 0 если не зависит.

Для задачи разрешения зависимостей характерно, что итеративное разрешение зависимостей каждого из уровней вложенности функциональных зависимостей приводит к необходимости увеличения числа поставляемых файлов исходного кода, зависимости которых должны быть разрешены.

Разрешение зависимостей файла исходного кода с задействованной точкой входа:

$$F' \leftarrow F \cdot D.$$

Разрешение их зависимостей:

$$F'' \leftarrow F' \cdot D.$$

Тогда произвольный уровень вложенности зависимостей может быть рассчитан:

$$F^{(s)} = \begin{cases} F \cdot D, & \text{если } s = 1 \\ F^{(s-1)} \cdot D, & \text{если } s > 1 \end{cases}$$

Так, например, при $s = 2$ выражение, соответствующее рекуррентной формуле, будет записано так:

$$F'' \leftarrow F' \cdot D = F \cdot D \cdot D$$

Тогда очевидно, что:

$$F^{(s)} \leftarrow F \cdot D^s.$$

Заметим, что в силу действующего ограничения на фиксированное число файлов исходного кода, глубина разрешения зависимостей не может превышать m. Тогда файлы исходного кода, необходимые для разрешения зависимостей исходного набора F обозначим за вектор $\hat{F}_{1\times m}$, значения элементов которого вычисляются как:

$$\hat{F} \leftarrow F + \sum_{i=1}^{m} F^{(i)}.$$

Здесь $F^{(i)}$ можно представить как $F \cdot D^i$, тогда:

$$\hat{F} \leftarrow F + \sum_{i=1}^{m} \left(F \cdot D^i\right).$$

Заметим, что F можно вынести как общий множитель из-под знака суммы:

$$\hat{F} \leftarrow F + F \cdot \sum_{i=1}^{m} D^i.$$

Здесь F еще раз можно вынести как общий множитель и выражение будет записано так:

$$\hat{F} \leftarrow F \cdot \left(E + \sum_{i=1}^{m} D^i\right),$$

где $E_{m\times m}$ – единичная матрица.

Матрицу E можно представить как D^0, тогда:

$$\hat{F} \leftarrow F \cdot \left(D^0 + \sum_{i=1}^{m} D^i\right).$$

Упростить данное выражение можно внеся D^0 под знак суммирования:

$$\hat{F} \leftarrow F \cdot \sum_{i=0}^{m} D^i.$$

Достоинства предложенного способа разрешения функциональных зависимостей:

1. Реализация выполнена исключительно с задействованием математического аппарата, что исключает ошибки при разрешении зависимостей;

2. Простота интеграции результата рассчетов в математические модели ПО;

3. Простота программной реализации и автоматизация проводимых операций.

Недостатками являются:

1. Трудность при подготовке исходных данных;

2. Усложнение идентификации файлов исходного кода за счет использования в качестве идентификаторов индексов, а не имен или путей в файловой системе.

Рассмотрим пример, описывающий 3 файла исходного кода. Точка входа описана в файле № 1. Зависимости между файлами исходного кода приведены в таблице 1.

Таблица 1

Функциональные зависимости файлов исходного кода

Файл №	Наличие зависимости		
	1	2	3
1	✗	✓	✗
2	✗	✗	✓
3	✗	✗	✗

Тогда математически условие можно описать следующим образом:

$$m = 3,$$
$$F = (1 \quad 0 \quad 0),$$
$$D = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Разрешение зависимостей F:

$$F' \leftarrow F \cdot D = (0 \quad 1 \quad 0).$$

Разрешение зависимостей F':

$$F'' \leftarrow F' \cdot D = (0 \quad 0 \quad 1).$$

Разрешение зависимостей F'':

$$F''' \leftarrow F'' \cdot D = (0 \quad 0 \quad 0).$$

Состав файлов с учетом разрешения зависимостей F:

$$\hat{F} \leftarrow F + F' + F'' + F''' = (1 \quad 1 \quad 1).$$

Вывод: при разрешении зависимостей файла №1 задействуются все файлы исходного кода.

Описанный математический аппарат устойчив и к наличию циклических зависимостей между файлами исходного кода. При наличии таковых результатом вычислений является вектор, значения элементов которого превышают 1. В этом случае в силу того обстоятельства, что $\hat{f}_i \geq 0$ для приведения результирующего вектора к виду бинарных отношений для $\hat{F}$ поэлементно применяется следующая формула:

$$g(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x > 0 \\ 0, & \text{если } x = 1 \end{cases}$$

Однако даже без ее применения значения элементов вектора $\hat{F}$ имеют аналитически значимую интерпретацию. Они показывают частоту использования файла и, как следствие, критичность вносимых в него изменений для работоспособности ПО. Наличие среди файлов исходного кода ПО таких, индексам которых соответствует большое значение в векторе $\hat{F}$, сигнализирует о необходимости проведения рефакторинга и перераспределении зависимостей у файлов исходного кода.

Таким образом предлагаемая интерпретация значений элементов вектора $\hat{F}$ является аналогом алгоритма PageRank, используемого для оценки важности узлов в графе [6]. Подобно тому, как PageRank учитывает количество и качество входящих ссылок для определения значимости страницы, значение $\hat{f}_i$ является объективной оценкой критичности

файла в ПО и может быть использовано для определения, какое влияние на ПО в целом оказывают изменения в нем.

Особенную актуальность эта информация приобретает в условиях наличия сведений о трассируемости файлов исходного кода на функциональные требования ПО. Потому что тогда появляется объективная оценка, служащая основанием о целесообразности проведения и объеме тестировочных мероприятий и верификации ПО. Это позволяет прогнозировать соответствующие временные и финансовые издержки от вносимых корректировок как в код, так и в функциональные требования к нему.

В настоящей работе описан механизм разрешения функциональных зависимостей между файлами исходного кода и приведено описание результата в виде математического объекта, что позволяет его использовать при математическом моделировании проектируемой программной системы.

В дальнейших исследованиях предполагается описание механизма формирования исходного перечня файлов исходя не из логики, что какой-то из них содержит главную функцию программы, а исходя из реализуемых этими файлами заданного объема функциональных требований. Это позволит нивелировать ограничение, что только один элемент вектора F может принимать значение 1 и расширит спроектированный механизм задействованием таких понятий как функциональные требования и трассировка требований на файлы исходного кода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Минаева Н.В., Беспалов М.Е.* Средства автоматизированного проектирования информационных систем // Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума и III Международного Косыгинского Форума. Москва, 2021. С. 75-77.

2. *Мустаев Р.Р*. Автоматизация процессов сборки и развертывания программного продукта // Студенческий. 2021. № 7-1 (135). С. 10-14.

3. *Сорин Н.В., Котлярова Л.П., Ковалев А.Д.* Визуализация графа этапов сборки программных продуктов с использованием библиотеки D3.js // Современные технологии в теории и практике программирования. Сборник материалов научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Санкт-Петербург, 2023. С. 251-253.

4. *Ефимов А.А.* Непрерывный контроль качества кода с помощью SonarQube // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 11. С. 286-297.

5. *Бучатский Р.А., Чуркин Я.А., Чибисорв К.А., Пантилимонов М.В., Долгодворов Е.В., Вязовцев А.В., Волохов А.Г., Трунов В.В., Миракян Г.О., Китаев К.Н., Белеванцев А.А*. Проверка программ на соответствие стандарту MISRA C с использованием инфраструктуры Clang // Труды Института системного программирования РАН. 2023. Т. 35. № 5. С. 169-192.

6. *Алгазинов Э.К., Музыченко В.А*. Применение алгоритма PageRank для задачи ранжирования в BFT системах // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: системный анализ и информационные технологии. 2019. № 4. С. 55-63.

FORMALIZING THE PROCESS OF RESOLVING DEPENDENCIES OF SOURCE CODE FILES

Shably A.D.

Supervisors: Sudakov V.A., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(PJSC «UAC » Sukhoi Design Bureau, Moscow)

Abstract. The paper describes a method for resolving functional dependencies between software source code files, which is relevant for solutions being developed with more than one entry point into the program. The proposed option is characterized by the fact that its result is a mathematical object, which simplifies its integration into mathematical models.

УДК 517.9+514.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЛИПСА, ЗАДАННОГО В ПОЛЯРНЫХ КООРДИНАТАХ

Шуйский Р.А.

Научный руководитель: Михайлов И.П., старший преподаватель

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ (Лениногорский филиал), г. Лениногорск)*

Аннотация. Статья посвящена исследованию поведения функции эллипса, её анализу с помощью методов дифференциальной геометрии и выводу дифференциального уравнения эллипса на основе физической задачи. Кривая рассматривается преимущественно в полярной системе координат.

Э́ллипс (греч. ἔλλειψις — «недостаток, выпадение, опущение») – кривая второго порядка, впервые описанная в Древней Греции Аполлонием Пергским в III веке до н. э. Эллипсом называется одно из сечений конуса, являющее собой замкнутую двумерную кривую. В наши дни эллипс имеет следующее определение: «Эллипсом называется геометрическое место точек плоскости, для которых сумма расстояний до двух фиксированных точек плоскости, называемых фокусами эллипса, равна постоянной величине, большей, чем расстояние между фокусами» [1] (Рис. 1).

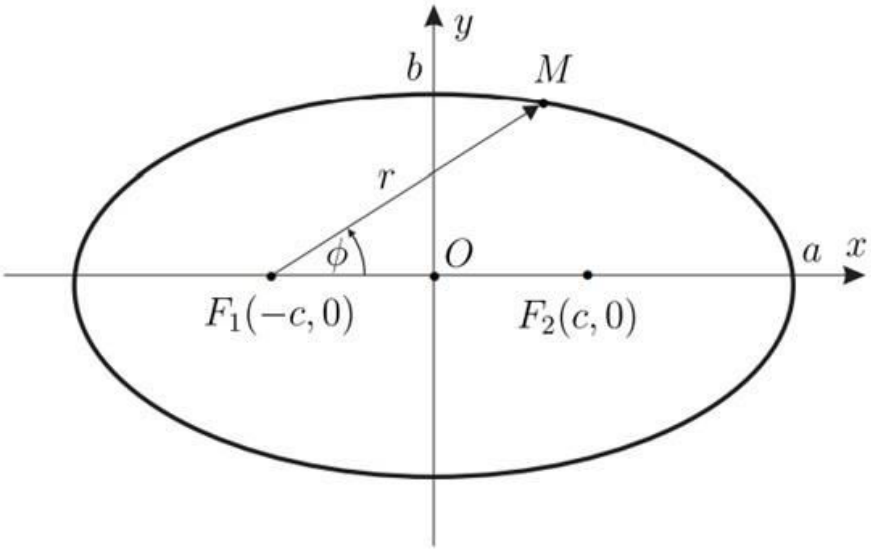


Рисунок 1 Эллипс в полярной системе координат

$$|F_1M|+|F_2M|=2a, |F_1F_2|<2a$$

Для начала опишем данную фигуру в классической декартовой системе координат. Каноническое уравнение эллипса имеет вид $\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1$ и описывает эллипс с центром в начале координат, полуосями *a* и *b* и фокальным расстоянием $\frac{|F_1F_2|}{2}=c$. Его можно вывести из определения эллипса: «Эллипс – геометрическое место точек плоскости, сумма расстояний от каждой из которых до двух точек, называемых фокусами, есть величина постоянная», или $|F_1M|+|F_2M|=2a$, отсюда:

$$|F_1M|+|F_2M|=2a,$$

$$\sqrt{(x+c)^2+y^2}+\sqrt{(x-c)^2+y^2}=2a,$$

$$x^2+2xc+c^2+y^2=4a^2-4a\sqrt{(x-c)^2+y^2}+x^2-2xc+c^2+y^2,$$
$$a^2x^2-2a^2xc+a^2c^2+a^2y^2=a^4-2a^2cx+c^2x^2,$$
$$\left(a^2-c^2\right)x^2+a^2y^2=a^2\left(a^2-c^2\right),$$

Так как $a>c$, то и $a^2>c^2$. Положим, что $a^2-c^2=b^2$, тогда:

$$b^2x^2+a^2y^2=a^2b^2\Rightarrow\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1.$$

Наблюдается взаимосвязь с уравнением окружности $x^2+y^2=1$, известным ещё из школьной программы. «Как обсуждалось выше, форма эллипса зависит от отношения b/a. При $b=a$ эллипс превращается в окружность радиуса $R=a$. Форму эллипса легко представить, сопоставляя его уравнение с уравнением окружности, имеющим своим диаметром большую ось эллипса» [1]. Очевидно, что оно является частным случаем канонического уравнения эллипса, равно как и окружность является частным случаем эллипса (эллипс с одинаковыми длинами полуосей), отсюда: $\frac{x^2}{1^2}+\frac{y^2}{1^2}=x^2+y^2=1$.

Переходим к представлению эллипса в полярных координатах. Для начала необходимо выбрать «полюс» – центральную точку, от которой будет вестись отсчёт. Удобнее всего для этой цели подходит один из фокусов фигуры.

В полярных координатах уравнение эллипса с полуосями a и b $\left(a>b\right)$ с центром в фокусе можно задать уравнением $r=\frac{p}{1-\varepsilon\cos\varphi}\left(\varphi\in\left[0,2\pi\right]\right)$, где

$p=\frac{b^2}{a}$ – фокальный параметр эллипса, $\varepsilon=\frac{c}{a}=\frac{\sqrt{a^2-b^2}}{a}$ – эксцентриситет эллипса.

«Из полученного уравнения эллипса в полярных координатах выясняется геометрический смысл фокального параметра – это половина длины хорды эллипса, проходящий через ее фокус перпендикулярно фокальной оси» [1].

«Отношение фокусного расстояния к длине большой оси эллипса называется эксцентриситетом эллипса» [1].

Докажем это, выведя формулу самостоятельно. Для начала выберем полярную систему координат с расположенным в левом фокусе полюсом F_1 $\left\{F_1,i\right\}$, где $i=\frac{\overrightarrow{F_1F_2}}{\left|\overrightarrow{F_1F_2}\right|}$, а в качестве полярной оси выберем ось абсцисс соответствующей канонической декартовой системы координат $\left\{O,i,j\right\}$.

Справедливы следующие формулы, связывающие декартовы $\left(x,y\right)$ и полярные координаты $\left(r,\varphi\right)$ точек плоскости в канонической декартовой системе координат $\left\{O,i,j\right\}$ и в выбранной полярной системе координат $\left\{F_1,i\right\}$.

$$\begin{cases}x+c=r\cos\varphi,\\ y=r\sin\varphi.\end{cases}$$

Кроме того, справедливо следующее равенство для эллипса: $r=\varepsilon x+a.$

Из этих уравнений вытекает следующая цепочка равенств:

$$r=\varepsilon\left(-c+r\cos\varphi\right)+a\Rightarrow r=\frac{p}{1-\varepsilon\cos\varphi},$$

Где $\varepsilon=\frac{c}{a}<1, p:=-\varepsilon c+a=\frac{a^2-c^2}{a}=\frac{b^2}{a}.$

Получаем уравнение эллипса в полярной системе координат:

$$r=\frac{p}{1-\varepsilon\cos\varphi}, p=\frac{b^2}{a}, \varepsilon=\frac{c}{a}<1, \varphi\in[0,2\pi].$$

Использование одного из фокусов в качестве полюса даёт в результате более простое уравнение, нежели эллипс с полюсом в центре $\left(r=\frac{b}{\sqrt{1-e^2\cos^2\varphi}}=\frac{ab}{\sqrt{a^2\sin^2\varphi+b^2\cos^2\varphi}}\right)$. Напомним, что одной из главных задач математики является максимальное упрощение моделей и законов, их описывающих.

Проведём полное исследование получившейся функции.

Очевидно, что уравнение $r=\frac{p}{1-\varepsilon\cos\varphi}$ определено при всех значениях $\varphi\left(D\in[-\infty;+\infty]\right)$, потому что единственная переменная находится в знаменателе, который никогда не равен нулю, т.к. косинус не принимает значений выше единицы, а эксцентриситет всегда меньше единицы (являясь отношением длины части полуоси к длине всей полуоси). Получаем произведение двух значений, которое никогда не будет равно единице и никогда не обратит знаменатель в ноль.

Эллипс с центром в начале координат пересекает оси *x* и *y* де-факто. Пересечение с осью *x* происходит в тот момент, когда угловой коэффициент φ равен нулю.

При $\varphi=0$ уравнение приобретает следующий вид:

$$r=\frac{p}{1-\varepsilon\cos 0}=\frac{p}{1-\varepsilon}=\frac{\frac{b^2}{a}}{\frac{c}{a}}=\frac{b^2}{a}\times\frac{a}{c}=\frac{b^2}{c}=\frac{b^2}{\sqrt{a^2-b^2}}.$$

Пересечение с осью *y* происходит в тот момент, когда угловой коэффициент равен $arctg\frac{b}{\sqrt{a^2-b^2}}$, что становится понятно, если ещё раз посмотреть на схему эллипса (Рис. 1). Когда точка M лежит на оси *y*, образуется треугольник с вершинами в точках F_1, *M* и в начале координат. Из этого следует, что угол φ можно найти, вычислив арктангенс отношения противолежащего катета этого треугольника к прилежащему, которые равны *b* и *c* соответственно.

Уравнение в этой точке приобретает вид:

$$r=\frac{p}{1-\varepsilon\cos\left(arctg\frac{b}{\sqrt{a^2-b^2}}\right)}=\frac{p}{1-\left(\frac{\sqrt{a^2-b^2}}{a}\times\cos\left(arctg\frac{b}{\sqrt{a^2-b^2}}\right)\right)}.$$

Учитывая то, что $\cos\left(arctga\right)=\frac{1}{\sqrt{1+a^2}}$, получаем:

$$r=\frac{p}{1-\varepsilon\cos\left(arctg\frac{b}{\sqrt{a^2-b^2}}\right)}=\frac{p}{1-\varepsilon\times\left(\frac{1}{\sqrt{1+\frac{b^2}{a^2-b^2}}}\right)}=\frac{p}{1-\frac{\frac{\sqrt{a^2-b^2}}{a}}{\sqrt{\frac{a^2}{a^2-b^2}}}}=\frac{b^2}{a-\frac{\sqrt{a^2-b^2}}{\sqrt{\frac{a^2}{a^2-b^2}}}},$$

$$r=\sqrt{b^2+c^2}=\sqrt{b^2+a^2-b^2}=a.$$

В конечном счёте, мы пришли к тому, что расстояние от любого фокуса до точки пересечения эллипса с осью y равно a, что является прямым следствием выражения $|F_1M|+|F_2M|=2a$, ведь если $|F_1M|=a$, то по формуле $|F_2M|=2a-|F_1M|=2a-a=a.$

Найдём производную функции $\frac{p}{1-\varepsilon\cos x}$,

$\frac{d}{dx}\left(\frac{p}{1-\varepsilon\cos x}\right)=p\times\frac{d}{dx}\times\left(\frac{1}{1-\varepsilon\cos x}\right)$. Становится ясно, что мы имеем дело со сложной функцией $\frac{1}{f(x)}$, где $f(x)=1-\varepsilon\cos x$, поэтому, следующим нашим действием будет применение формулы дифференцирования сложной функции.

$$p\times\frac{d}{dx}\times\left(\frac{1}{1-\varepsilon\cos x}\right)=-\frac{p}{(1-\varepsilon\cos x)^2}\times\frac{d}{dx}(1-\varepsilon\cos x),$$

Находим оставшееся отношение дифференциалов: $-\frac{p}{(1-\varepsilon\cos x)^2}\times\varepsilon\times\sin(x)=-\frac{p\times\varepsilon\times\sin(x)}{(1-\varepsilon\cos x)^2}$.

Первая производная равна $-\frac{p\times\varepsilon\times\sin(x)}{(1-\varepsilon\cos x)^2}$ или $-\frac{\frac{b^2\times\sqrt{a^2-b^2}}{a}\times\sin(x)}{\left(\frac{a-\sqrt{a^2-b^2}}{a}\cos(x)\right)^2}$.

Поскольку знаменатель в нуль не обращается, а числитель являет собой синус с константными множителями, то можно с уверенностью сказать, что производная обращается в нуль при $x=\pi\times n, n\in Z,$ что хорошо видно на графике (Рис. 2). Использование декартовых координат для полярной функции позволило представить её более наглядно.

Используя те же правила дифференцирования, находим вторую производную, формула которой: $-\frac{p\times\varepsilon\times\left(\cos(x)\left(-\varepsilon\times\cos(x)+1\right)-2\varepsilon\times\sin^2(\mathrm{x})\right)}{\left(1-\varepsilon\times\cos(x)\right)^3}$.

Находим значения второй производной в точках обращения первой производной в нуль, не забывая о периодичности функций.

В точке 0 вторая производная равна:

$$-\frac{p\varepsilon\left(\cos(0)\left(-\varepsilon\times\cos(0)+1\right)-2\varepsilon\times\sin^2(0)\right)}{\left(1-\varepsilon\times\cos(0)\right)^3}=\frac{-p\varepsilon(1\times\left(-\varepsilon+1\right)}{\left(1-\varepsilon\right)^3}.$$

При любом возможном значении параметров, результат получается отрицательным, что свидетельствует о наличии максимума графика эллипса в точках $2\pi n, n\in Z$, а, следовательно, и выпуклости вверх в их окрестностях.

Теперь сдвинем наше множество аргументов на π и проведём те же действия:

$$-\frac{p\varepsilon\left(\cos(\pi)\left(-\varepsilon\times\cos(\pi)+1\right)-2\varepsilon\times\sin^2(\pi)\right)}{\left(1-\varepsilon\times\cos(\pi)\right)^3}=\frac{-p\varepsilon\left(-1\times\left(-\varepsilon\times(-1)+1\right)\right.}{\left(1+\varepsilon\right)^3}.$$

Теперь при любых возможных параметрах результат всегда будет положительным, что говорит о наличии минимума функции в точках $2\pi n+, n\in Z$ и выпуклости вниз (вогнутости) в её окрестности.

Теперь же найдём точки перегиба путём приравнивания полученной формулы к нулю.

$$-\frac{p\varepsilon\left(\cos(x)\left(-\varepsilon\times\cos(x)+1\right)-2\varepsilon\times\sin^2(x)\right)}{\left(1-\varepsilon\times\cos(x)\right)^3}=0,$$

$$x_1 = -0,31701; x_2 = 0,31701.$$

В этих точках, периодически повторяющихся через 2π, происходит смена выпуклости графика эллипса на вогнутость и наоборот (Рис. 2).

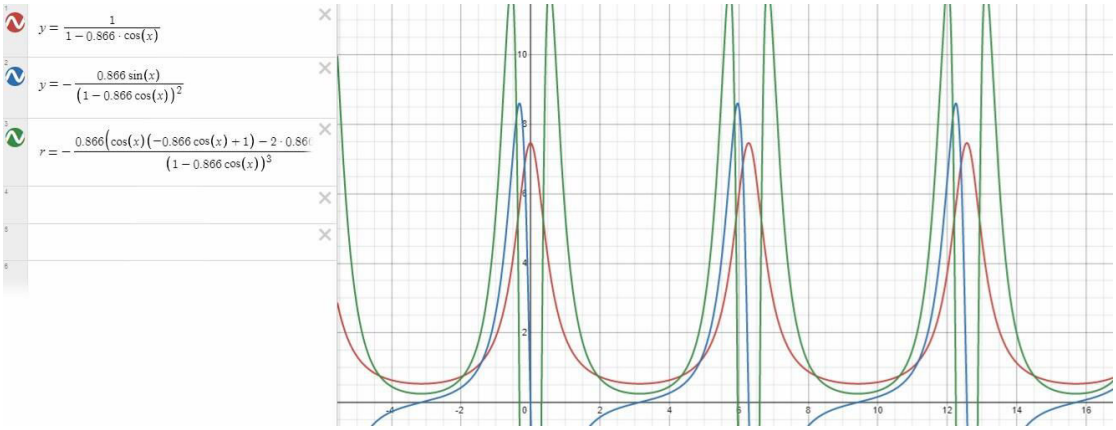


Рисунок 2 Эллипс в полярных координатах и график его производных в декартовых координатах

На данном графике полярное уравнение эллипса представлено в декартовых координатах вместе с графиками двух его производных: красным цветом выделен график самого эллипса, синим – первая производная, а зелёным – вторая.

Касательные эллипса. Для нахождения касательных к эллипсу вернёмся к декартовым координатам, в которых уравнение эллипса имеет вид: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ в точке (x_0, y_0).

Найдём производную. Эллипс задан неявным образом: $F(x,y) = \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - 1 = 0,$ поэтому потребуется вычислить частные производные: $\frac{\partial F}{\partial x} = \frac{2x}{a^2}, \ \frac{\partial F}{\partial y} = \frac{2y}{b^2}.$

Уравнение касательной в точке (x_0, y_0) задаётся формулой: $\frac{\partial F}{\partial x}(x - x_0) + \frac{\partial F}{\partial y}(y - y_0) = 0.$

Подставляем найденные значения частных производных: $\frac{2x_0}{a^2}(x - x_0) + \frac{2y_0}{b^2}(y - y_0) = 0,$

$\frac{x_0}{a^2}(x - x_0) + \frac{y_0}{b^2}(y - y_0) = 0, \ \frac{x_0 x}{a^2} - \frac{x_0^2}{a^2} + \frac{y_0 y}{b^2} - \frac{y_0^2}{b^2} = 0.$

Так как точка (x_0, y_0) принадлежит эллипсу, выполняется равенство: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1,$ следовательно, можем упростить: $\frac{x_0 x}{a^2} + \frac{y_0 y}{b^2} = 1.$ Это и есть уравнение касательной к эллипсу.

Представим эллипс с параметрами $a = 4, b = 2$ в полярных координатах (Рис. 3) и его проекцию в декартовых координатах (Рис. 4):

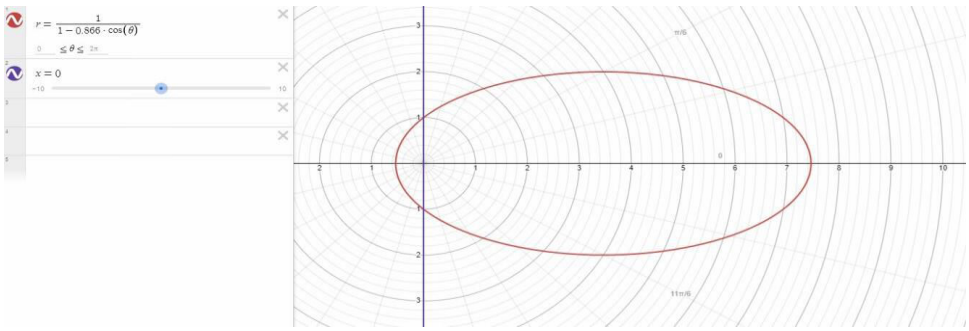


Рисунок 3 График функции эллипса в полярных координатах

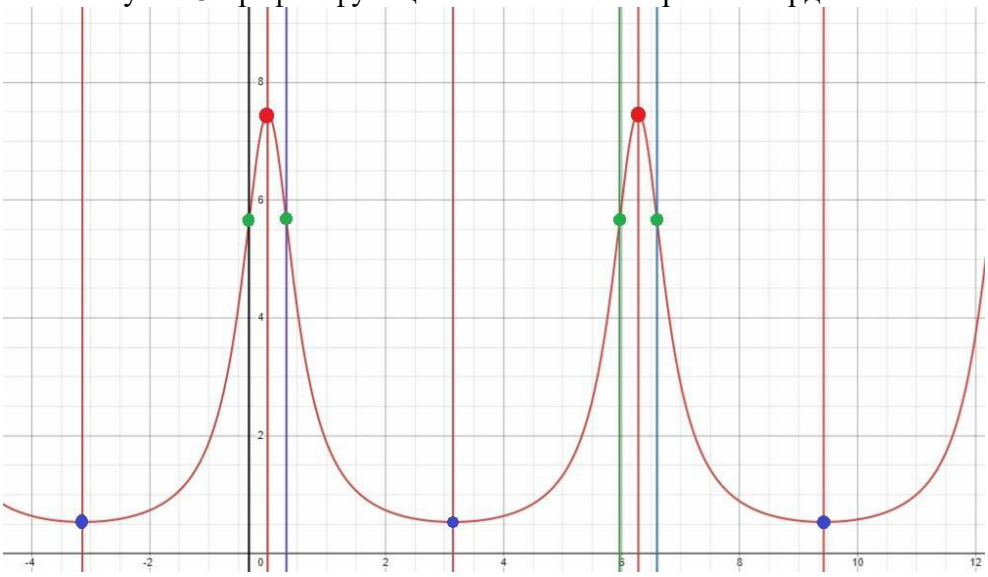


Рисунок 4 Развёртка полярного уравнения эллипса в декартовых координатах

На данном графике полярное уравнение эллипса представлено в декартовых координатах с указанием важнейших точек: красным цветом выделены максимумы функции, синим – минимумы, а зелёным – точки перегиба.

Вывод дифференциального уравнения эллипса.

Вывод дифференциального уравнения будем производить, основываясь на физической задаче двух тел, а именно – модели Солнечной системы.

«Любые два тела, находящиеся на расстоянии r друг от друга и имеющие массы m и M соответственно, притягиваются с силой $F = \gamma \frac{mM}{r^2}$, где γ – универсальная постоянная притяжения» [2]. Основываясь на этом утверждении, составим математическую модель нашей системы, считая, что m – масса планеты, движущейся вокруг Солнца, M – масса Солнца.

«Пусть Солнце находится в начале координатной системы Oxy, а планета в момент времени t находится в точке A с текущими координатами x, y. Сила притяжения F, действующая на планету, раскладывается на две составляющие:

$$m\ddot{x} = -F\cos\varphi = -\gamma\frac{mM}{r^2}\cos\varphi,$$

$$m\ddot{y} = -F\sin\varphi = -\gamma\frac{mM}{r^2}\sin\varphi\text{»}\ [2].$$

Учитывая, что: $\sin\varphi = \frac{y}{r}$, а $\cos\varphi = \frac{x}{r}$, уравнения можно привести к виду: $\ddot{x} = -\frac{kx}{r^3}$, $\ddot{y} = -\frac{ky}{r^3}$, где постоянная $k = \gamma M$.

Учитывая, что $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, приходим к дифференциальным уравнениям:

$$\ddot{x} = -\frac{kx}{(x^2 + y^2)^{3/2}}, \quad \ddot{y} = -\frac{ky}{(x^2 + y^2)^{3/2}}.$$

Далее, без ущерба для общности рассуждений, можно считать, что:

$$x = a, \quad y = 0, \quad \dot{x} = 0, \quad \dot{y} = \upsilon_0 \text{ при } t = 0.$$

Теперь можно перевести уравнение в полярные координаты $x = r\cos\varphi, \quad y = r\sin\varphi.$

$$\dot{y} = \dot{r}\sin\varphi + (r\cos\varphi)\dot{\varphi}, \quad \dot{x} = \dot{r}\cos\varphi - (r\sin\varphi)\dot{\varphi},$$

$$\ddot{x} = \ddot{r}\cos\varphi - 2(\dot{r}\sin\varphi)\dot{\varphi} - (r\sin\varphi)\ddot{\varphi} - (r\cos\varphi)\dot{\varphi}^2,$$

$$\ddot{y} = \ddot{r}\sin\varphi - 2(\dot{r}\cos\varphi)\dot{\varphi} + (r\cos\varphi)\ddot{\varphi} - (r\sin\varphi)\dot{\varphi}^2,$$

Отсюда:

$$\ddot{x} = (\ddot{r} - r\dot{\varphi}^2)\cos\varphi - (2\dot{r}\dot{\varphi} + r\ddot{\varphi})\sin\varphi,$$

$$\ddot{y} = (\ddot{r} - r\dot{\varphi}^2)\sin\varphi + (2\dot{r}\dot{\varphi} + r\ddot{\varphi})\cos\varphi.$$

Используя последние два равенства, дифференциальные уравнения можно записать в виде:

$$(\ddot{r} - r\dot{\varphi}^2)\cos\varphi - (2\dot{r}\dot{\varphi} + r\ddot{\varphi})\sin\varphi = -\frac{k\cos\varphi}{r^2},$$

$$(\ddot{r} - r\dot{\varphi}^2)\sin\varphi + (2\dot{r}\dot{\varphi} + r\ddot{\varphi})\cos\varphi = -\frac{k\sin\varphi}{r^2}.$$

Умножая обе части первого уравнения на $\cos\varphi$, второго уравнения на $\sin\varphi$ и складывая результаты, получаем, что:

$$\ddot{r} - r\dot{\varphi}^2 = -k / r^2.$$

Если же обе части первого уравнения умножить на $\sin\varphi$, второго уравнения на $\cos\varphi$ и из первого полученного уравнения вычесть второе, получаем, что:

$$2\dot{r}\dot{\varphi} + r\ddot{\varphi} = 0.$$

Начальные условия для полярных координат:

$$r = a, \quad \varphi = 0, \quad \dot{r} = 0, \quad \dot{\varphi} = \upsilon_0 / a \text{ при } t = 0.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Баланкина Е.С.* Кривые второго порядка: учебное пособие — Москва : РТУ МИРЭА, 2023. — 82 с.

2. *Амелькин В.В.* Дифференциальные уравнения в приложениях. – М.: Наука, 1987. – 160 с.

RESEARCH OF AN ELLIPSE DEFINED IN POLAR COORDINATES

Shuyskiy R.A.

Supervisor: Mikhailov I.P., Senior Lecturer

(*Leninogorsk Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI", Leninogorsk*)

Abstract. The article is devoted to the research of the behavior of the ellipse function, it`s analysis using methods of differential geometry, and the derivation of the differential equation of the ellipse based on a physical problem. The curve is considered primarily in the polar coordinate system.

СЕКЦИЯ 12
АДДИТИВНЫЕ И ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 691.175

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОШКА PA12 ДЛЯ SLS-ПЕЧАТИ

Дмитриева А.Д., Орлова М.С.
Научный руководитель: Горунов А.И., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлено исследование основных характеристик полимерного порошка PA12, используемого для SLS-печати. Измерен и проанализирован фракционный состав порошка, измерена его влажность и насыпная плотность.

Селективное лазерное спекание (Selective Laser Sintering, SLS) – распространенный метод 3D-печати, позволяющий изготавливать детали со сложной геометрией из полимерных порошковых материалов. Печать происходит за счет послойного выборочного спекания лазерным излучением полимерного порошка. Конструкция SLS-принтера состоит из лазера, системы фокусирующих линз и подвижных зеркал, разравнивающего ролика (рекоутера) и двух бункеров, на дне каждого из которых находится подвижная платформа. Один из бункеров выступает в роли хранилища порошка, из которого происходит его подача в зону построения. Второй бункер является зоной построения, в которой происходит выращивание детали. Платформа на дне первого бункера поднимается вверх, выталкивая из него порошок. Порошок наносится разравнивающим роликом на платформу построения, и луч лазера, управляемый системой линз и подвижных зеркал, формирует новое сечение изделия в соответствии с 3D-моделью детали. Излишек порошка при этом собирается в специальном контейнере. После прохода лазерным лучом платформа на дне второго бункера опускается на высоту одного слоя. Цикл повторяется до тех пор, пока деталь не будет построена полностью [1]. На рисунке 1 изображена принципиальная схема SLS-принтера.

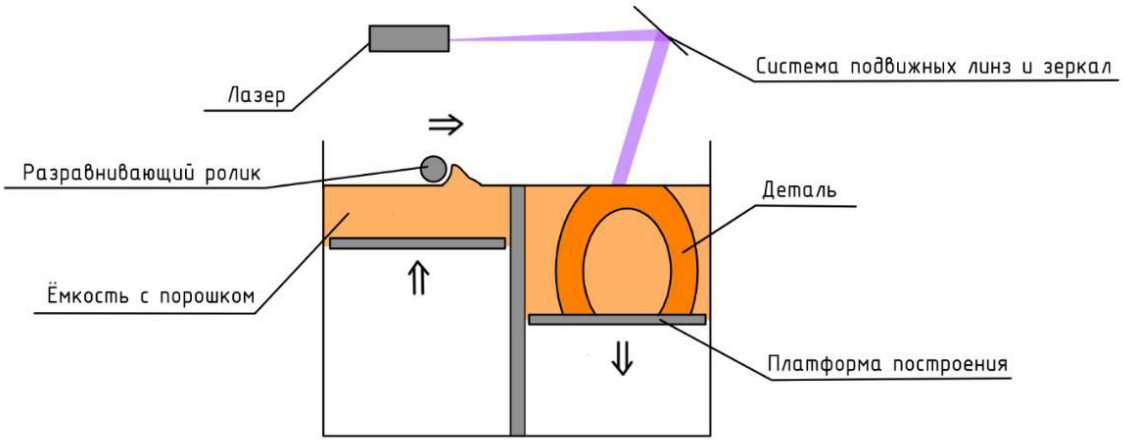


Рис. 1. Принципиальная схема SLS-принтера

Метод SLS-печати удобен тем, что при его использовании не требуется формирование дополнительных поддерживающих структур: их функцию выполняют нижележащие слои порошка. После окончания печати весь неспеченный порошок из зоны печати можно загрузить в принтер повторно. Также стоит отметить, что неметаллические детали, полученные по данной технологии, обладают наибольшей прочностью в сравнении с другими методами аддитивного производства полимерных изделий [1]. Недостатками SLS-печати являются необходимость в долгой предварительной подготовке оборудования и материалов к процессу печати, а также необходимость в обязательной термической постобработке напечатанных деталей.

Полиамидный материал PA12 (Polyamide 12) – полимерный материал, обладающий высокой ударопрочностью даже при низких температурах, имеющий низкое влагопоглощение, стабильность фракции, высокую химическую стойкость и хорошие диэлектрические свойства. Его получают при полимеризации ω-додекалактама или лауролактама [2]. Порошок PA12 является наиболее распространенным материалом для SLS-печати, так как при относительно небольшой стоимости обладает хорошими механическими характеристиками и устойчивостью к различным химическим воздействиям.

Характеристики порошка для 3D-печати, такие как насыпная плотность, гранулометрический состав и влажность оказывают значительное влияние на конечное качество и механические свойства выращиваемой детали [3], поэтому они были выбраны в качестве объекта исследования.

Измерение насыпной плотности порошка проводилось согласно ГОСТ 19440-94. Суть метода состоит во взвешивании свободно насыпанного в известный объем порошка. Сначала порошок с использованием воронки пересыпается в определенную емкость, которая затем ставится на весы. Из получившейся массы вычитают массу емкости и делят эту разность на ее объем, получая таким образом значение насыпной плотности. Для исследуемого порошка PA12 значение насыпной плотности составило 0,32 г/см^3 при значении объемной плотности Полиамида 12 около 1 г/см^3. Таким образом можно сделать вывод о наличии большого количества пустот в навеске порошка, что при печати может привести к образованию крупных пор и искажению геометрии детали.

Гранулометрический состав полимерного порошка определялся при помощи лазерного дифракционного анализатора размера частиц Mastersizer 3000. Метод определения гранулометрического состава частиц данного прибора основывается на измерении интенсивности углового рассеяния плоской монохроматической электромагнитной волны на частицах взвеси. По теории светорассеяния определяют размеры частиц, формирующих индикатрису рассеяния, которая должна совпасть с измеренными параметрами угловой зависимости интенсивности рассеянного света.

В таблице 1 представлены значения эффективных диаметров частиц. Значение Dv(10) показывает, что 10% всех частиц меньше 30,1 мкм, значение Dv(90) – что 90% частиц меньше 51,3 мкм. Средний размер частиц Dv(50) составляет 39,4 мкм.

Таблица 1

Значения эффективных диаметров частиц порошка PA12

Dv(10)	30,1 мкм
Dv(50)	39,4 мкм
Dv(90)	51,3 мкм

На рисунке 2 представлена гистограмма распределения частиц порошка PA12 по размерам. Разброс размеров частиц исследуемого порошка находится в диапазоне от 15 до 70 мкм.

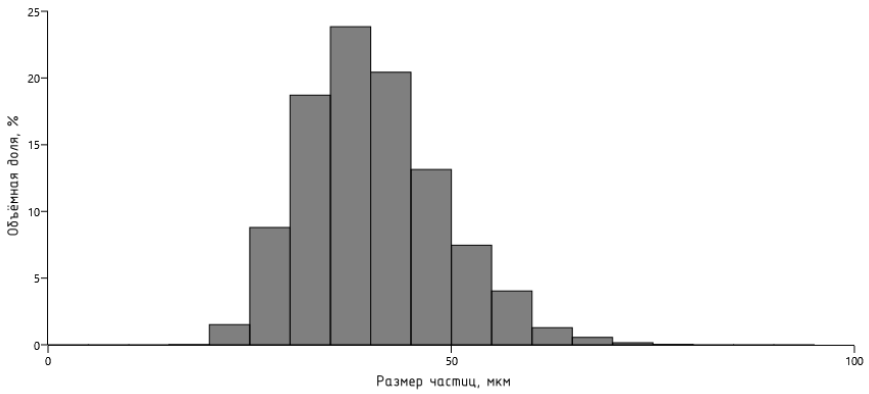


Рис. 2. Гистограмма распределения фракции порошка

Для подтверждения полученных результатов определения гранулометрического состава порошка и визуальной оценки формы частиц полимерный порошок PA12 был исследован под оптическим микроскопом. На рисунке 3 приведен снимок порошка PA12 в прямом оптическом микроскопе Zeiss Stemi 2000 на максимальном увеличении. Частицы порошка имеют агломерированную форму с низкой сферичностью и высокой неравноосностью, а также матовую поверхность.

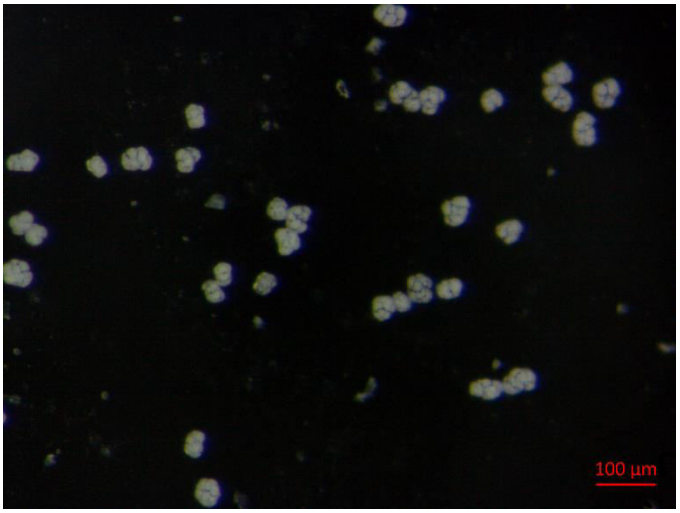


Рис. 3. Снимок полимерного порошка PA12

На рисунке 4 приведен снимок порошка PA12 с измеренными размерами частиц порошка. Основная масса частиц имеет размеры в диапазоне от 30 до 50 мкм. Таким образом, результаты съемки на оптический микроскоп количественно согласуются с результатами определения гранулометрического состава на Mastersizer 3000.

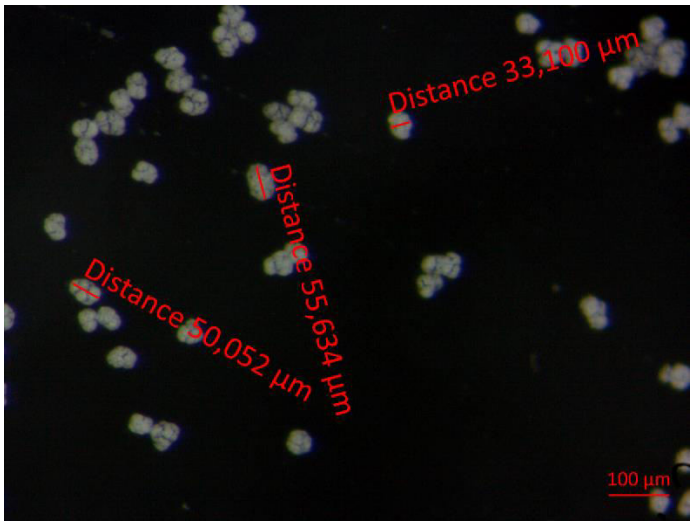


Рис. 4. Снимок полимерного порошка PA12 с размерами частиц

Определение влажности порошка проводилось следующим образом: сначала взвешивалась навеска влажного порошка, которая затем на 6 часов помещалась в сушильный шкаф при постоянной температуре 80ºС с включенной системой вентиляции, после чего высушенная навеска порошка снова взвешивалась. Разница в массе порошка до просушивания и после демонстрирует количество влаги, содержавшейся в порошке изначально. Результаты измерений представлены в таблице 2, влажность порошка PA12 составила 0,4%, что является достаточно высоким значением для полимерных порошков и может негативно повлиять на качество печати.

Таблица 2

Результаты исследования влажности порошка PA12

Масса навески порошка до сушки, г	60
Масса навески порошка после сушки, г	59,76
Влажность порошка, %	0,4

В результате проведенных исследований был определен фракционный состав порошка, который составил 30-50 мкм. Полученные характеристики насыпной плотности (0,32 г/см^3) и влажности (0,4%) порошка PA12 демонстрируют необходимость в проведении предварительной подготовки порошкового материала для обеспечения высокого качества SLS-печати.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Преображенская Е.В.* Технологии, материалы и оборудование аддитивных производств: учебное пособие / Е.В. Преображенская, Т.Н. Боровик, Н.С. Баранова. – Москва: РТУ МИРЭА, 2021 – Часть 1 – 2021. – 173 с.

2. *Ляпков А.А.* Полимерные аддитивные технологии: учебное пособие для вузов / А.А. Ляпков, А.А. Троян. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 120 с.

3. *Преображенская Е.В.* Технологии, материалы и оборудование аддитивных производств: учебное пособие / Е.В. Преображенская, В.В. Зуев, А.А. Мышечкин. — Москва: РТУ МИРЭА, 2021 – Часть 2 – 2021. – 164 с.

INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF PA12 POWDER FOR SLS PRINTING

Dmitrieva A.D., Orlova M.S.

Supervisor: Gorunov A.I., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents a study of the main characteristics of PA12 polymer powder used for SLS printing. The fractional composition of the powder was measured and analyzed, its moisture content and bulk density were measured.

УДК 669-1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА НАПЛАВЛЕНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ СТАЛИ 12Х18Н10Т ПОСЛЕ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ

Еремицкая К.Е.

Научный руководитель: Кузина А.А., доцент, к. т. н.

(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара)

Аннотация. В работе проведено исследование влияния мощности лазерного излучения и направления выращивания на микроструктуру нержавеющей стали 12Х18Н10Т после прямого лазерного выращивания. Изучены параметры режима наплавления, такие как мощность лазера (1100–1500 Вт), горизонтальное и вертикальное направление выращивания, при постоянных значениях диаметра пятна лазера (2 мм) и скорости сплавления (20 мм/с). Установлено, что изменение мощности в рассматриваемом диапазоне и направления выращивания не оказывает существенного влияния на размер зерна и ширину валика, однако позволяет минимизировать пористость и другие дефекты структуры. Оптимальными параметрами для стали 12Х18Н10Т являются мощность лазера 1200 Вт, скорость 20 мм/с и диаметр пятна 2 мм.

Прямое лазерное выращивание (ПЛВ) представляет собой перспективную технологию аддитивного производства, позволяющую создавать сложные металлические изделия непосредственно из порошковых материалов. Однако качество получаемых изделий зависит от множества технологических параметров, включая мощность лазера, направление выращивания, скорость перемещения луча, диаметр пятна и расход порошка. [1, 2]

Для получения изделий методом ПЛВ используется широкий спектр материалов, в том числе наиболее распространённые в машиностроении нержавеющие стали аустенитного класса, такие как 08Х18Н9, 12Х18Н10Т или 316L. Возможность получения стабильных свойств стали 12Х18Н10Т зависит от выбранного режима наплавления, который отличается оптимально подобранными технологическими параметрами выращивания. Поскольку существует как качественная, так и количественная зависимость механических свойств материала и микроструктуры, то исследование касалось именно внутреннего строения наплавленного металла. Таким образом, целью исследования стало изучение влияния мощности лазерного излучения и направления выращивания на микроструктуру стали 12Х18Н10Т, полученной методом ПЛВ.

Задачами работы являлось определение характерной структуры материала для данной технологии, величины и расположения зерен металла, фактической ширины валика, а также осуществление контроля состояния структуры поверхностного слоя изделия, т.е. выявление дефектов (трещины) и микродефектов, таких как поры, непроплавы, непроваренные частицы порошка.

Исследуемые образцы были получены из металлопорошковой композиции стали 12Х18Н10Т, химический состав которой в соответствии с ГОСТ 14086-68 представлен в таблице 1.

Таблица 1

Массовая доля элементов в стали 12Х18Н10Т

Массовая доля элементов, %, по ГОСТ 14086-68							
Cr	Ni	C	Si	Mn	S	P	Fe
16-20	8-11	0,12	≤ 0,8	≤ 1	≤ 0,02	≤ 0,035	ост.

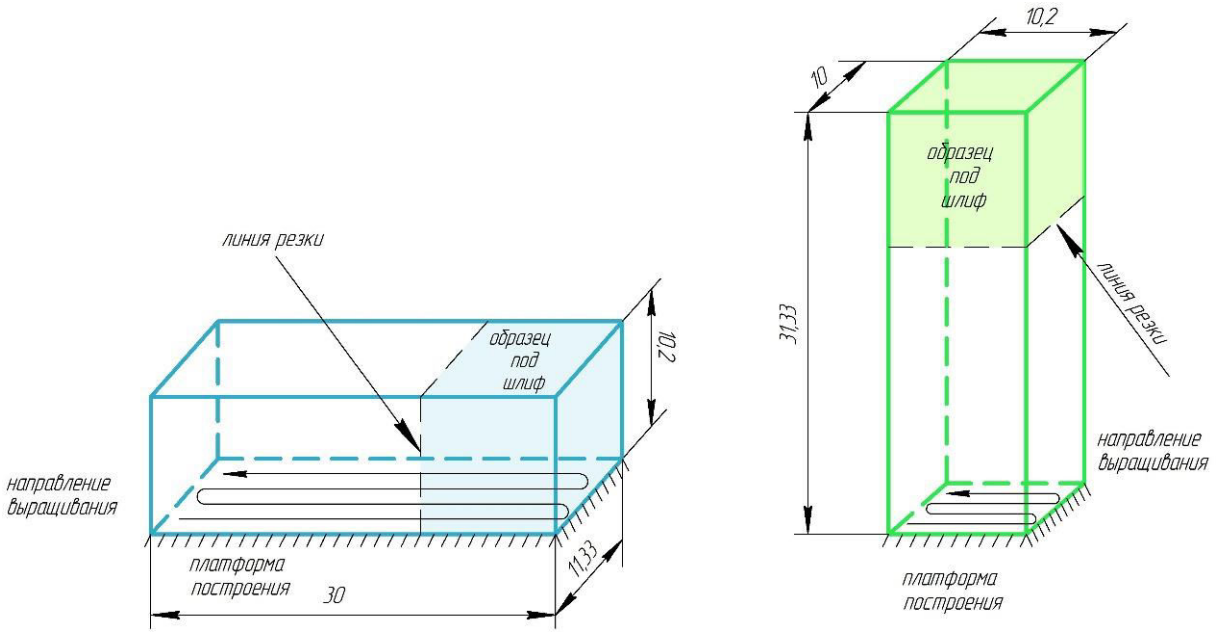
Образцы были выращены методом ПЛВ на установке «ИЛИСТ-L» при мощности лазерного излучения 1100, 1200, 1300, 1400, 1500 Вт, с толщиной стенки 10 мм для случая горизонтального и вертикального направления выращивания образцов относительно большей стороны. Постоянными параметрами выращивания являлись диаметр пятна лазера 2 мм и скорость движения луча 20 мм/с (табл.2).

Таблица 2

Режимы выращивания образцов из стали 12Х18Н10Т

№ режима/ образца	Мощность лазерного излучения, Вт	Направление выращивания	Диаметр пучка лазера, мм	Скорость сплавления, мм/с
1	1500	горизонтальное	2	20
2		вертикальное		
3	1400	горизонтальное		
4		вертикальное		
5	1300	горизонтальное		
6		вертикальное		
7	1200	горизонтальное		
8		вертикальное		
9	1100	горизонтальное		
10		вертикальное		

Стратегия выращивания была выбрана с повторяющимися слоями-дорожками. Из полученных заготовок отрезались образцы с размерами 10х10х10 мм, как показано на рис. 1. Отрезку образцов производили с использованием смазывающе-охлаждающей жидкости.



а) б)

Рис. 1. Схемы изготовления образцов методом ПЛВ (размеры указаны после отделения от платформы построения, мм): а – горизонтальное выращивание, б – вертикальное выращивание

Перед проведением испытаний была подготовлена поверхность шлифов с помощью операций шлифования и полировки, а затем травления части их поверхности с целью проявления структурных элементов. Для визуального наблюдения и фотографирования микроструктуры использовался оптический микроскоп LOMO METAM-ЛВ.

При исследовании травленной поверхности каждого образца, выявлена чешуйчатая структура (рис.2.), характерная для аддитивного производства и демонстрирующая границы наплавочных валиков.

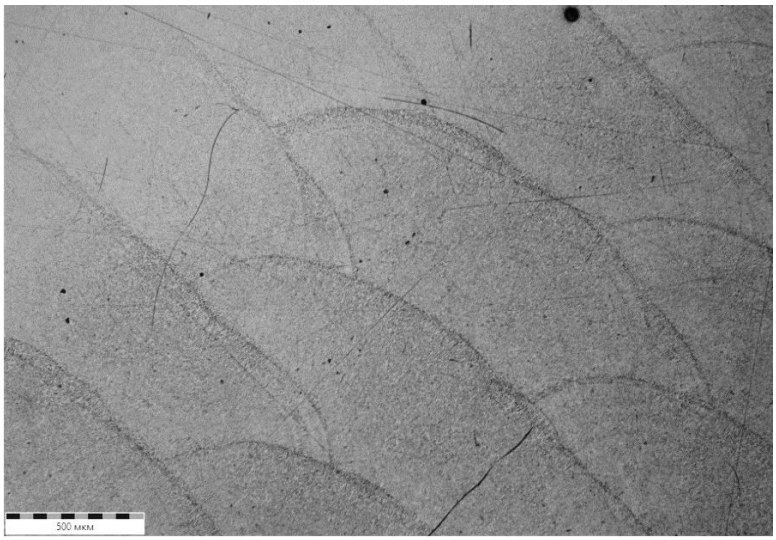


Рис. 2. Структура одного из образцов, полученных методом ПЛВ, при увеличении х50

На основании анализа полученных данных в ходе исследования, удалось определить фактическое значение ширины валика при различных мощности и направлении

выращивания, находившееся в пределах 1,85 мм. Обнаружить зависимость размера валика от рассматриваемого диапазона мощностей и направления выращивания не удалось.

Исследование образцов также касалось темы определения размера зерна, поскольку это одна из наиболее важных структурных характеристик, влияющих на механические свойства изделия. Таким образом, структура наплавленного металла схожа со структурой после литья. Вблизи границы сплавления расположены столбчатые кристаллы, растущие перпендикулярно ей, т.е. параллельно направлению отвода теплоты; в глубине же наплавленного металла (во внутренней зоне) имеют место беспорядочно ориентированные мелкие кристаллы, размер которых для каждого образца не превышал 10 мкм. При варьировании рассматриваемых технологических параметров не было обнаружено зависимости, влияющей на размер зерна.

Механические свойства образцов могут отличаться главным образом из-за образования дефектов структуры, способных влиять на качество изделий. Так, одним из дефектов являлась пористость материала, возникающая в процессе ПЛВ в связи с некорректно подобранными технологическими параметрами наплавления, в качестве которых выступала варьируемая мощность лазерного излучения. Определение степени пористости каждого образца проводилось согласно ГОСТ 9391-80 и основывалось на размере и расположении пор. Средняя величина пор в выращенных образцах варьировалась от 14 до 36 мкм. Однако, следует отметить наличие локально расположенных крупных пор в большинстве образцов, что является нежелательным. Так, пористость может быть обусловлена наличием нерасплавленных частиц порошка. В результате, были отобраны образцы с минимальным количеством и размером пор. В их числе оказались образцы №7 и №8, выращенные при мощности лазерного излучения в 1200 Вт, но различном направлении.

Следует отметить и такие дефекты поверхностного слоя, как непроплавы и трещины, характерные для образцов №1, №2, №3, №4, №5, возможно связанные с высокой мощностью лазерного излучения или некорректно подобранной скоростью сплавления.

Вывод: Оптимальный режим наплавления для стали 12Х18Н10Т, благодаря которому удалось минимизировать пористость и другие дефекты, имеет следующие технологические параметры:

– мощность лазерного излучения – 1200 Вт;

– диаметр пятна лазера – 2 мм;

– скорость наплавления – 20 мм/с.

Анализ микроструктуры образцов позволил выявить ее зависимость от режима выращивания. Проведенное исследование предоставило основу для выбора мощности лазера и понимания его воздействия на микроструктуру нержавеющей стали при разных направлениях выращивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Логинова И.С.* Исследование влияния параметров процесса лазерной наплавки порошка стали 316L на структуру и механические свойства образцов / И.С. Логинова, Д.П. Быковский, А.Н. Солонин, В.В. Чеверикин // Технология легких сплавов. 2016. №4. С. 5–11.

2. *Кабалдин Ю.Г.* Структура и ее дефекты при аддитивном выращивании нержавеющих сталей методами лазерного спекания и электродуговой наплавки / Ю.Г. Кабалдин, М.А. Чернигин // Известия вузов. Черная металлургия. 2024. 67(1). С. 65–72. https://doi.org/10.17073/0368-0797-2024-1-65-72 .

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DEPOSITION MODE PARAMETERS ON THE MICROSTRUCTURE OF 12X18H10T STEEL AFTER DIRECT LASER CULTIVATION

Eremitskaya K.E.

Supervisor: Kuzina A.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Science

(Samara National Research University named after academician S.P. Korolev, Samara)

Abstract. The study examines the effect of laser radiation power and the direction of growth on the microstructure of 12X18H10T stainless steel after direct laser cultivation. The parameters of the deposition mode, such as the laser power (1100-1500 W), the horizontal and vertical direction of growth, were studied at constant values of the laser spot diameter (2 mm) and the fusion rate (20 mm/s). It was found that changing the power in the considered range and the direction of cultivation does not significantly affect the grain size and the width of the roller, however, it minimizes porosity and other structural defects. The optimal parameters for 12X18H10T steel are a laser power of 1200 W, a speed of 20 mm/s and a spot diameter of 2 mm.

УДК 621.791

ВЛИЯНИЕ УГЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ТОЧНОСТЬ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ И РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИПУСКОВ

Злобин Е.П.

Научный руководитель: Хаймович А.И., заведующий кафедрой, д. т. н.

(Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара)

Аннотация. В работе исследуется влияние угла отклонения инструмента и угла выращивания на точность изготовления деталей методом прямого лазерного выращивания. Экспериментально установлены зависимости геометрических отклонений и шероховатости поверхности от угловых параметров процесса. На основе полученных данных разработана методика расчета технологических припусков, учитывающая выявленные закономерности. Результаты исследования позволяют минимизировать величину назначаемого припуска и обеспечить требуемую точность изделий.

Прямое лазерное выращивание (ПЛВ) как одна из аддитивных технологий позволяет изготавливать сложнопрофильные металлические изделия в кратчайшие сроки, минимизируя потребность в дополнительной оснастке [1,2]. Однако технологические особенности процесса, включая формирование слоёв расплавленного материала, обуславливают существенные отклонения геометрических параметров. Особое значение приобретает исследование влияния угловых параметров процесса – угла отклонения инструмента ($\theta_и$) и угла выращивания ($\theta_д$) – на точность изготовления, что непосредственно связано с проблемой обоснования технологических припусков. [3]

Анализ литературных данных свидетельствует о недостаточной изученности закономерностей формирования геометрических отклонений при различных пространственных конфигурациях процесса ПЛВ. В частности, отсутствуют комплексные исследования, учитывающие взаимное влияние термических деформаций, кинематики процесса и угловых параметров на конечную точность изделий [4]. Разрешение данной проблемы имеет важное значение для совершенствования технологий аддитивного производства.

Целью данной работы является разработка методики расчета технологического припуска для ПЛВ с учетом угловых параметров процесса, основанной на экспериментальных данных и математическом моделировании.

Методика исследования. Экспериментальная часть работы выполнена на установке прямого лазерного выращивания ИЛИСТ-L. В качестве объекта исследования выбраны цилиндрические образцы из нержавеющей стали 12Х18Н10Т [5], изготовленные при варьировании двух ключевых параметров процесса: угла отклонения инструмента (0°, 7,5°, 15°) и угла выращивания (0°, 20°, 40°) (рис.1).

Рис. 1. Выращенные образцы для проведения исследования

Для каждого сочетания параметров проведен комплекс измерений, включающий определение геометрических отклонений контактными и бесконтактными методами, а также оценку параметров шероховатости поверхности.

Для контроля геометрических параметров применялось трехмерное сканирование образцов ручным 3D-сканером Scanform L5 с последующей обработкой данных в специализированном ПО Geomagic Control X. Традиционные контактные измерения проводились штангенциркулем ЩЦ-150-0,01. Характеристики микрорельефа поверхности определялись профилографом-профилометром ИШП-210 по методике пяти замеров на каждом образце с исключением крайних значений.

Далее экспериментальные данные были подвергнуты математической обработке с использованием методов регрессионного анализа. Для построения моделей применялся метод наименьших квадратов, реализованный в среде Python. Достоверность моделей подтверждена расчетом коэффициентов детерминации и проверкой по критерию Фишера.

Результаты исследования. Анализ показал, что угловые параметры оказывают значительное влияние на геометрические отклонения и шероховатость поверхности. Установлено, что при отклонении оси инструмента и увеличении угла выращивания наружный диаметр образцов уменьшается, а внутренний — увеличивается. Это связано с изменением распределения теплового потока и количеством порошка, попадающего в зону сплавления.

Для описания отклонений наружного диаметра на основе экспериментальных данных была выведена регрессионная модель:

$$\rho_p = -0,3133 + 0,0180 \cdot \theta_u - 0,0013 \cdot \theta_д - 0,0004 \cdot \theta_u^{\,2} - 0,0001 \cdot \theta_u \cdot \theta_д \quad (1)$$

Модель демонстрирует высокую точность ($R^2 = 0.982$) и указывает на то, что угол отклонения инструмента оказывает большее влияние на конечные размеры, чем угол выращивания.

Шероховатость поверхности также зависит от углов $\theta_и$ и $\theta_д$ и описывается линейной зависимостью:

$$Rz = 59,8867 + 0,2447 \cdot \theta_u - 0,1919 \cdot \theta_д \quad (2)$$

Анализ экспериментальных данных показал отсутствие четкой зависимости отклонений формы как наружного, так и внутреннего диаметра от угловых параметров процесса выращивания, хаотичный разброс значений отклонений в диапазоне от 0,19 до 0,32 мм, что свидетельствует о преобладании случайных факторов в процессе формирования геометрии образцов.

После вывода необходимых зависимостей можно получить общую формулу для расчета минимального припуска на цилиндрическую заготовку прямого лазерного выращивания.

Традиционная формула для расчета минимального припуска имеет следующий вид [6]:

$$Z_{min} = \rho + Rz + T + \varepsilon, \quad (3)$$

где ρ – это суммарное значение пространственных отклонений, включающее в себя отклонения размеров и формы;
Rz – высота микронеровностей профиля;
T – величина дефектного поверхностного слоя;
ε – погрешность установки заготовки на станке.

При прямом лазерном выращивании величина дефектного слоя слишком мала или совсем отсутствует, так как данный процесс происходит в инертной защитной атмосфере, что исключает образование таких дефектов поверхности как нагар, облой и другие. Учитывая данную особенность, при расчете минимального припуска для процесса ПЛВ можно пренебречь параметром Т.

Традиционно при механической обработке погрешность установки заготовки ε является существенным параметром. Однако в случае прямого лазерного выращивания (ПЛВ) ряд особенностей процесса позволяет также им пренебречь, поскольку отсутствует оснастка как таковая. Выращивание происходит на подложке, которая, конечно, имеет свои погрешности, но они компенсируются за счет применения жертвенного слоя.

На основании вышеизложенного исходная формула примет следующий вид:

$$Z_{min} = \rho + Rz, \tag{4}$$

Формула для суммарных значений пространственных отклонений ρ будет включать в себя геометрические отклонения, полученные из регрессии, а также отклонения формы, для которых по данным эксперимента было принято максимальное значение 0,33 мм и для расчета отклонений на сторону внешнего диаметра будет выглядеть таким образом:

$$\rho = \rho_{пр.откл.} + \rho_{откл.формы} \tag{5}$$

$$\rho = \left| \frac{\left(-0,3133 + 0,0180 \cdot X_и - 0,0013 \cdot X_д - 0,0004 \cdot X_и^2 - 0,0001 \cdot X_и \cdot X_д + 0,0000 \cdot X_д^2\right) + 0,33}{2} \right| \tag{6}$$

По итогу минимальный припуск в миллиметрах на наружный диаметр цилиндрических поверхностей при прямом лазерном выращивании в зависимости от отклонения инструмента и угла выращивания можно рассчитать следующим образом:

$$Z_{\min} = \left| \frac{\left(-0,3133 + 0,0180 \cdot X_и - 0,0013 \cdot X_д - 0,0004 \cdot X_и^2 - 0,0001 \cdot X_и \cdot X_д + 0,0000 \cdot X_д^2\right) + 0,33}{2} \right| + \tag{7}$$
$$+ \left| \frac{59,8867 + 0,2447 \cdot X_и - 0,1919 \cdot X_д}{1000} \right|$$

Аналогичный подход может быть применен для расчета минимального припуска для внутреннего диаметра. И внешний, и внутренний диаметры подчиняются одним и тем же закономерностям, что позволяет использовать схожие выражения для определения требуемых припусков.

Проведенное исследование позволило установить закономерности влияния угловых параметров на точность прямого лазерного выращивания цилиндрических деталей. Экспериментально подтверждено, что угол наклона инструмента является доминирующим фактором, определяющим диаметральные отклонения и шероховатость поверхности.

Разработана математическая модель, количественно описывающая влияние угловых параметров на геометрические отклонения, и на ее основе предложена методика расчета минимального технологического припуска, учитывающая пространственные отклонения и шероховатость поверхности. Упрощенная формула исключает параметры дефектного слоя и погрешности установки, характерные для традиционных процессов, но нерелевантные для ПЛВ.

Полученные результаты создают основу для оптимизации процессов выращивания и механической обработки. Перспективы дальнейших исследований связаны с верификацией модели для деталей различных геометрических параметров, а также с расширением методики для других материалов и режимов выращивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Сомонов В.В.* Прямое лазерное выращивание изделий из порошковых материалов: принцип, оборудование и материалы //Технические науки в России и за рубежом. – 2016. – С. 34-38.

2. *Piscopo G., Iuliano L.* Current research and industrial application of laser powder directed energy deposition //The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2022. – Т. 119. – №. 11. – С. 6893-6917.

3. *Gradl P., Cervone A., Colonna P.* Influence of build angles on thin-wall geometry and surface texture in laser powder directed energy deposition //Materials & Design. – 2023. – Т. 234. – С. 112352.

4. *Khaimovich A.I. et al.* Study of Variability Phenomena in Direct Energy Deposition of Nickel-Based Superalloy on Geometric Accuracy and Residual Stress Formation //Materials Science Forum. – Trans Tech Publications Ltd, 2024. – Т. 1139. – С. 21-30.

5. *Еремицкая К.Е., Носова Е.А., Балякин А.В.* Исследование влияния параметров режима наплавления на твердость стали 12Х18Н10Т после прямого лазерного выращивания //Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2025. – №. 2. – С. 44-51.

6. *Иващенко И.А.* Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации. – Машиностроение, 1975.

INFLUENCE OF ANGULAR PARAMETERS ON THE ACCURACY OF DIRECT ENERGY DEPOSITION AND CALCULATION OF TECHNOLOGICAL ALLOWANCES

Zlobin E.P.

Supervisor: Khaimovich A.I., Head of Department, Doctor of Engineering Sciences

(*Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara*)

Abstract. The paper examines the effect of the tool deflection angle and the growth angle on the accuracy of manufacturing parts by direct energy deposition. The dependences of geometric deviations and surface roughness on the angular parameters of the process have been experimentally established. Based on the data obtained, a method for calculating technological allowances has been developed, taking into account the identified patterns. The results of the study make it possible to minimize the amount of the assigned allowance and ensure the required accuracy of the parts.

УДК 621.77.04: 620.17: 620.172.242

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ФОТОПОЛИМЕРНОЙ 3D-ПЕЧАТИ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ В АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

Зотов В.А.[1,2], Зулаева Г.В.[1]

Научный руководитель: Евдокимов Д.В.[1,2], доцент, к. т. н.

([1]Самарский научный центр Российской академии наук, [2]Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С.П. Королева, г. Самара)

Аннотация. В рамках исследования проведена серия пилотных испытаний, направленных на определение влияния параметров фотополимерной 3D-печати — времени экспозиции и дополнительной дозасветки – на механическую прочность стандартных и инженерных смол. Для этого на установке Anycubic Photon Mono 4K были изготовлены образцы, впоследствии прошедшие разрывные испытания на машине ТТ28300 Е22, что позволило зафиксировать чувствительность характеристик материалов к режимным параметрам печати. Полученные результаты создают основу для дальнейших работ по разработке регрессионных моделей, которые обеспечат выбор оптимальных условий печати при решении задач авиадвигателестроения и смежных направлений.

Современные аддитивные технологии занимают всё более значимое место в авиационной промышленности, включая прототипирование и производство компонентов авиадвигателестроения. Среди них особую нишу занимает стереолитография (SLA), обеспечивающая высокую точность и детализацию [1]. Применение SLA-изделий охватывает продувочные модели, элементы оснастки и сборочные шаблоны, для которых критичны не только геометрические, но и прочностные характеристики.

Уже в 1998 году специалисты NASA продемонстрировали возможность применения SLA-технологии для продувочных моделей в аэродинамических трубах [2]. Этот опыт стал отправной точкой, а к 2024 году SLA закрепилась в ЦАГИ как рабочий инструмент для изготовления аэродинамических моделей, оснастки и имитаторов обледенения [3]. На рисунке 1 представлены примеры таких применений – продувочные модели NASA и модели для оперативной отработки лопаток и лопаточных колес в ЦАГИ.

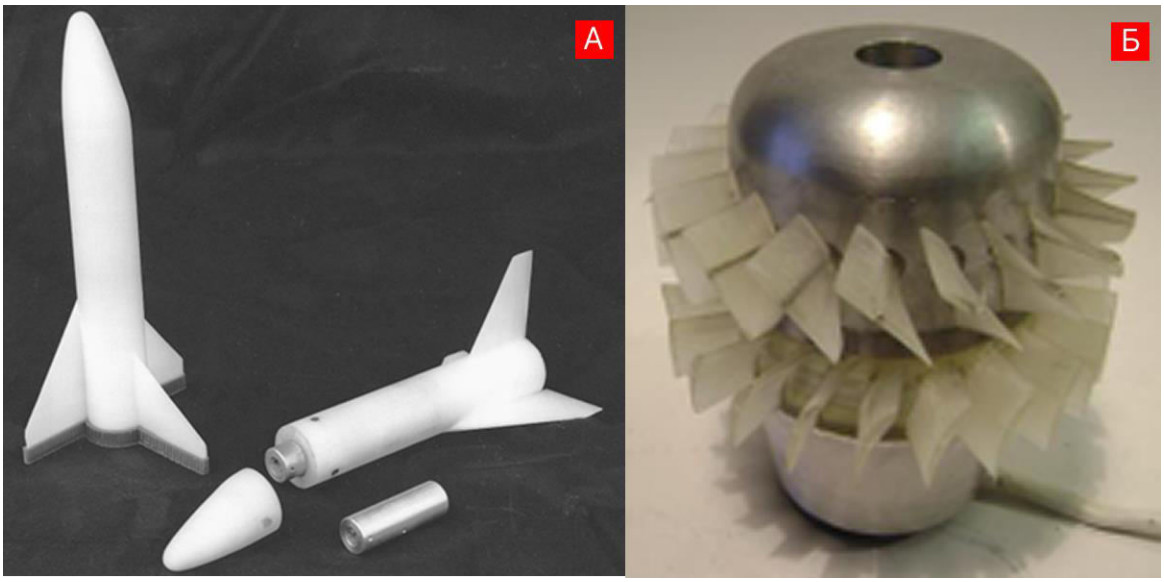


Рис. 1. Применение SLA-технологии для продувочных моделей (NASA, 1998) и модели оперативной отработки лопаток и лопаточных колес (ЦАГИ, 2024) [1, 2]

Если на ранних этапах речь шла о разовых демонстрационных примерах, то при переходе к регулярному и масштабному применению возникает потребность в математических моделях, которые позволяют прогнозировать механические свойства изделий и одновременно оценивать время печати, что делает процесс более экономичным и научно обоснованным.

Для построения регрессионной математической модели, способной прогнозировать прочностные характеристики изделий, необходима база экспериментальных данных. В связи с этим была проведена серия пилотных испытаний с целью изучения влияния параметров SLA-печати на прочностные характеристики фотополимерных изделий. Материалы: Standart Resin и ABS-Like Pro 2. Печать осуществлялась на установке Anycubic Photon Mono 4K. Использовались стандартные образцы по DIN EN ISO 6892-1, испытания проводились на разрывной машине TIRAtest 28300 E22.

С учётом того, что прочностные характеристики фотополимеров существенно ниже, чем у металлов, применялись меры по обеспечению точности: калиброванный датчик низкой мощности, экстензометр и малые нагрузки. Несмотря на использование методики ISO 6892-1, характерной для металлов, геометрия образцов и параметры нагружения позволили получить достоверные данные. В дальнейшем планируется переход на стандарт ISO 527 для полимеров. На рисунке 2 представлена установка TT28300 E22 и образцы после проведения испытания.

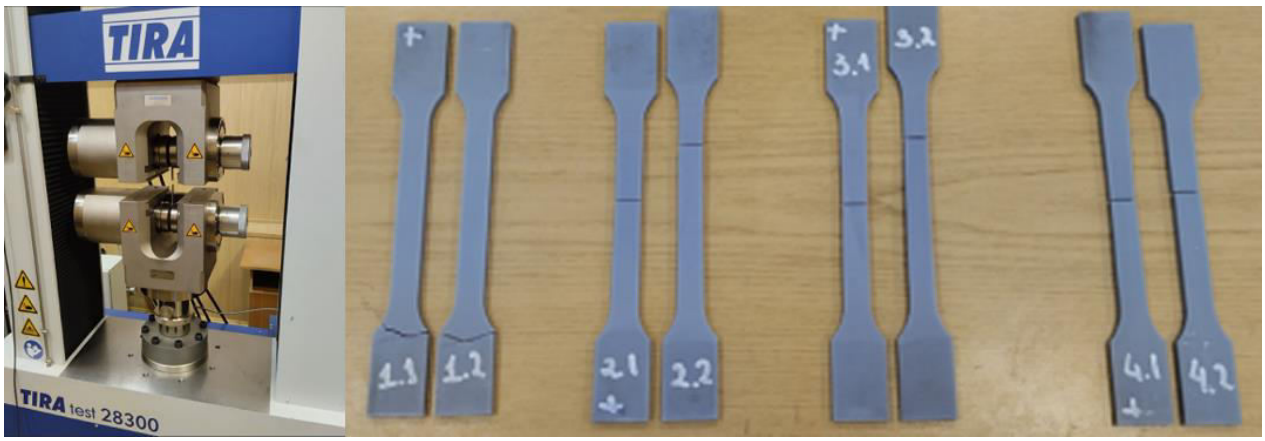


Рис. 2. Испытательная установка ТТ28300 E22 и образцы после проведения испытания

Параметры эксперимента представлены в таблице 1. Выбор диапазона толщин обоснован исследованиями [4, 5], где показано, что уменьшение толщины слоя улучшает прочностные характеристики за счёт повышения межслоевой адгезии и структурной целостности. Соответственно, увеличение толщины слоя выше 0,05 мм нецелесообразно, поскольку приводит к ухудшению прочностных свойств из-за снижения качества межслоевого соединения. В исследовании [4] это объясняется, в том числе, ростом шероховатости поверхности и снижением межслоевой адгезии при увеличении толщины слоя. Эти эффекты согласуются с выводами, изложенными ещё в классических исследованиях Митряева К.Ф. [6], где подчёркивается влияние микрогеометрии поверхности на прочность и долговечность деталей.

Таблица 1

Параметры испытаний

№ образца	Время засветки, с	Толщина слоя, мм	Материал	Время дозасветки, мин
1.1	2,5	0,025	Standart	2
1.2	2,5	0,025	Standart	-
2.1	2,5	0,025	ABS-Like	2
2.2	2,5	0,025	ABS-Like	-
3.1	4	0,025	ABS-Like	2
3.2	4	0,025	ABS-Like	-
4.1	4	0,05	ABS-Like	2
4.2	4	0,05	ABS-Like	-

Результаты испытаний сведены в таблицу 2. На рисунке 3 представлен график напряжения и растяжения образцов. Для стандартной смолы выявлено снижение прочности при дозасветке. Для инженерной смолы характер влияния оказался сложным, нелинейным. Это исключает возможность построения модели без статистически обоснованного плана. Полученные данные подтверждают необходимость углублённого подхода к выбору параметров печати.

Таблица 2

Результаты испытаний

№ образца	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %
1.1	10	6	0,46
1.2	27	8	7,88
2.1	39	15	4,10
2.2	36	13	4,43
3.1	42	16	4,08

3.2	42	16	3,90
4.1	41	17	3,96
4.2	38	16	3,70

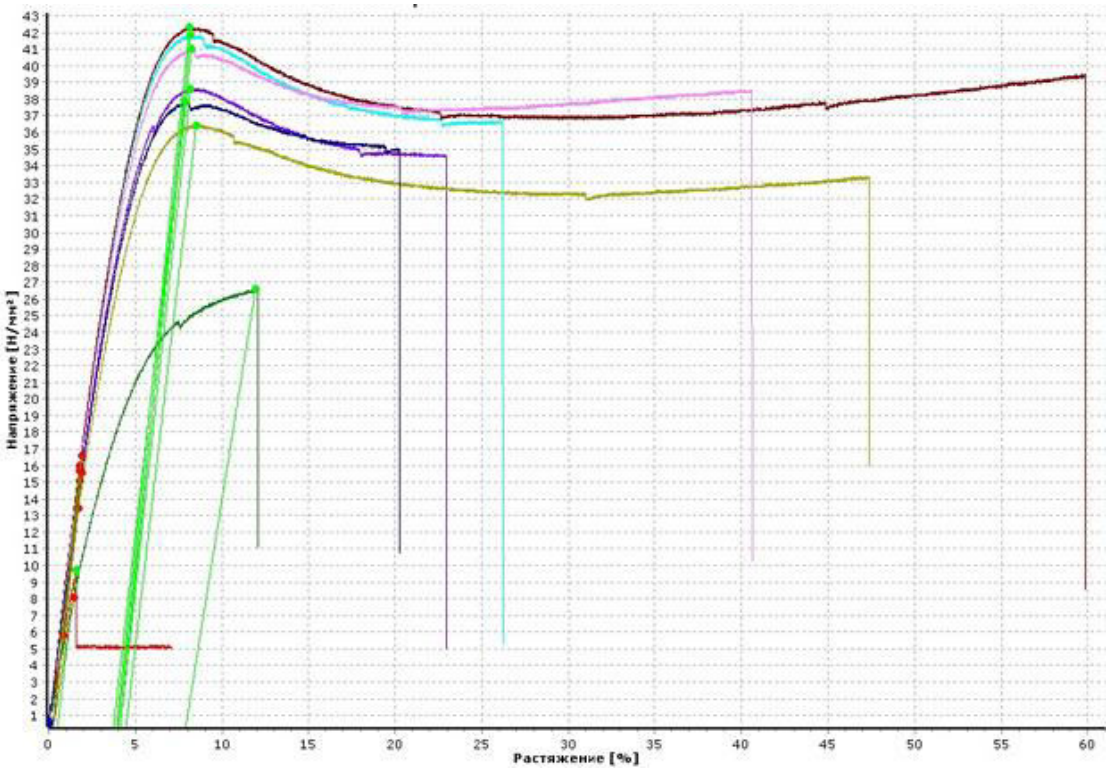


Рис. 3. График напряжения и растяжения образцов

Результаты данной работы могут послужить основой для получения, математических зависимостей, которые позволят подбирать режимы SLA-печати под конкретные требования прочности, а также прогнозировать время производства, что критически важно при изготовлении опытных партий в сжатые сроки.

Полученные результаты подтверждают чувствительность прочностных характеристик к параметрам экспозиции. Выявленные эффекты дозасветки и изменения слоя подчеркивают важность перехода к системной математической настройке процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Maryam Abbasi, Paulo Váz, José Silva and Pedro Martins* Head-to-Head Evaluation of FDM and SLA in Additive Manufacturing: Performance, Cost, and Environmental Perspectives / Maryam Abbasi, Paulo Váz, José Silva and Pedro Martins // Applied Sciences. — 2025 — P. 1-16.

2. *Springer A.M.* Application of Rapid Prototyping Methods to High-Speed Wing Tunnel Testing. NASA CDF Report, Project № 96-21. May 1998.

3. *Балашов С.М., Вермель В.Д., Дюг А.Ю. и др.* Обобщающий отчет: «Внедрение аддитивных технологий в производство аэродинамических моделей и экспериментальных конструкций». – Жуковский: ФАУ «ЦАГИ», 2024. – . С. 42.

4. *Taranath T.P., Varun K.S., Thimmegowda M.B.* Effect of Layer Thickness on the Tensile and Impact Behaviour of SLA-Printed Parts // International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET) – 2024. – Volume 12 – Issue XI – P. 1848-1851.

5. *Головченко И.В., Финогеев Д.Ю., Решетникова О.П.* Анализ механических свойств, наполненных фотополимеров в области аддитивных технологий / И.В. Головченко, Д.Ю. Финогеев, О.П. Решетникова // Вестник Саратовского Государственного Технического университета. – 2023 – № 1 (96). – С. 31-41.

6. Повышение эксплуатационных свойств деталей путём регулирования состояния поверхностного слоя при механической обработке: [Текст]: Учебное пособие / КуАИ; Сост. Митряев К.Ф. 1986. – С. 91.

OPTIMIZATION OF PHOTOPOLYMER 3D PRINTING MODES FOR PROTOTYPING TASKS IN THE AIRCRAFT ENGINE INDUSTRY

Zotov V.A.[1,2], Zulaeva G.V.[1]
Supervisor: Evdokimov D.V.[1,2], Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
([1]*Samara Scientific Center of the Russian Academy of Science,* [2]*Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara*)

Abstract. As part of the study, a series of pilot tests were conducted aimed at determining the effect of photopolymer 3D printing parameters - exposure time and additional illumination – on the mechanical strength of standard and engineering resins. For this purpose, samples were produced on the Anycubic Photon Mono 4K installation, which subsequently passed breaking tests on the TT28300 E22 machine, which made it possible to fix the sensitivity of the material characteristics to the printing mode parameters. The results obtained form the basis for further work on the development of regression models that will ensure the selection of optimal printing conditions for solving problems in the aircraft engine industry and related areas.

УДК 621.791

АНАЛИЗ И ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ ФОРМИРОВАНИЯ НАКЛОННЫХ СТЕНОК ПРИ ПРЯМОМ ЛАЗЕРНОМ ВЫРАЩИВАНИИ РАКЕТНОГО СОПЛА

Кретов К.С., Злобин Е.П.
Научный руководитель: Хаймович А.И., заведующий кафедрой, д.т.н
(Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, г. Самара)

Аннотация. В работе исследовано влияние стратегии прямого лазерного выращивания на формирование наклонных стенок ракетного сопла. Экспериментально изучены ключевые аспекты процесса: критический угол наклона стенки, обеспечивающий стабильность выращивания, и зависимость коэффициента захвата порошка от угла отклонения инструмента от вертикали. Полученные результаты позволяют оптимизировать параметры аддитивного производства сложнопрофильных элементов ракетных двигателей.

Прямое лазерное выращивание (ПЛВ) является перспективным методом аддитивного производства, позволяющим создавать металлические изделия или заготовки, включая компоненты аэрокосмической техники, такие как ракетные соплах [1]. Однако при изготовлении деталей с наклонными стенками возникает ряд технологических сложностей, связанных с нестабильностью процесса при увеличении угла наклона. Это может приводить к срыву наплавки, ухудшению качества поверхности и внутренней структуры изделия. Другой проблемой является риск столкновения между рабочим инструментом и уже сформированными элементами конструкции или подложкой, что требует тщательного выбора стратегии выращивания.

Кроме того, эффективность процесса во многом зависит от коэффициента захвата порошка (КЗП) – параметра, определяющего долю порошкового материала, участвующего в формировании валика [2]. Выращивания наклонных поверхностей данным методом зачастую бывает затруднительно, так как во время выращивания порошок может не в полном объеме попадать в ванну расплава из-за чего нарушается процесс формирование наклонной поверхности.

Несмотря на значительные достижения в области аддитивных технологий, формирование наклонных стенок остается малоизученным. В частности, требует уточнения влияние угла наклона на КЗП, геометрическую точность и возникновение дефектов. Оптимизация данных параметров позволит повысить качество процесса, что особенно важно при изготовлении ответственных заготовок, таких как ракетные сопла.

В данном эксперименте проведено исследование влияния угла наклона стенки, с помощью выращивания контрольных образцов. Так же проводилось исследование влияние угла наклона инструмента и получаемой стенки на коэффициент захвата порошка. Для этого использованы два метода: измерение КЗП с помощью емкости с отверстием (имитация лазерного пятна) и наплавка стенок под различными углами с последующим анализом геометрии и микроструктуры.

Для исследования влияния угла наплавки на геометрическую точность были изготовлены десять эталонных образцов в форме замкнутого контура, имитирующего сечения типовых аэрокосмических компонентов – таких как ракетные сопла и насадки. Внешний вид образцов представлен на рисунке 1, а в таблице 1 представлены их геометрические параметры.

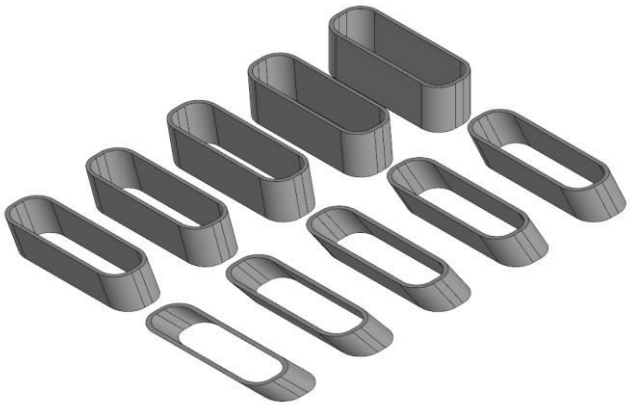


Рис. 1. 3D модель образцов

Таблица 1

Геометрические параметры образцов

Высота, мм	25
Толщина стенки, мм	2
Радиус скругления на участках изгиба, мм	11
Расстояние между внутренними стенками, мм	23
Длина контура, мм	77
Варьирование угла наклона, град	0 – 45

Угол наклона стенки варьировался от 0° (вертикальный образец) до 45° с шагом 5°. Данная геометрия позволяет смоделировать реальные условия выращивания. Шаг в 5° выбран для выявления пороговых значений, при которых возникают значимые отклонения. Ось инструмента всегда находилась вертикально.

Экспериментальные образцы изготавливались на установке прямого лазерного выращивания ИЛИСТ-L с использованием порошка из нержавеющей стали 316L. Диаметр лазерного пятна составлял 2 мм, режимы выращивания подбирались в соответствии с оптимальными параметрами для данного материала. Процесс выращивания представлен на рисунке 2.

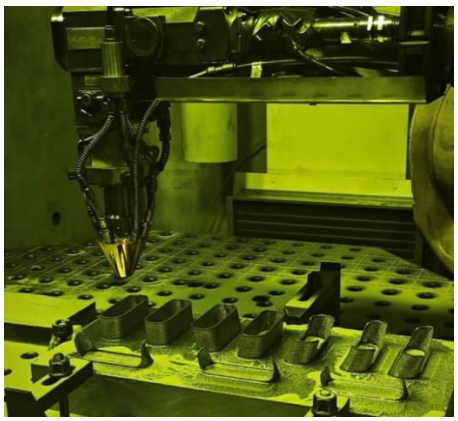


Рис. 2. Образцы после выращивания

По результатам выращивания были сделаны следующие выводы:

1. Успешно выращены четыре образца с углами наклона 0°, 5°, 10° и 15°.

2. При попытке выращивания образца с углом 20° процесс прервался после формирования половины высоты стенки - наблюдался срыв наплавления.

3. Дальнейшие попытки выращивания образцов с углами менее 20° не увенчались успехом – происходил полный срыв процесса формирования стенки.

4. Четко прослеживается тенденция: с уменьшением угла наклона снижается максимально достижимая высота образца.

5. Значение критического угла находится в диапазоне 15-20°, при котором происходит срыв процесса формообразования для выбранных технологических параметров.

6. С увеличением угла наклона стенки происходит ее утоньшение. При 75° фиксируется уменьшение толщины стенки с 2 мм до 1,95 мм.

По данным полученных в ходе эксперимента можно прийти к выводу, чтобы получить стенку с наклоном более 20° заданной толщиной необходимо заклонять ось инструмента. Но в таком случае будет изменяется количество порошка попадающего в зону расплава, что сказывается на качестве и геометрии формируемой стенки. Поэтому было необходимо провести другой эксперимент на нахождение зависимости коэффициента захвата порошка (КЗП) от угла наклона оси инструмента.

Для определения КЗП использовалось 2 метода (рис. 3):

1. Метод с емкостью и отверстию в нем, соответствующим диаметру пятна. В данном методе порошок подавался в банку в течение 5 минут. Коэффициент захвата порошка рассчитывался путем взвешивания масс пустой емкости до эксперимента и наполненной после эксперимента.

2. Метод с выращиванием контрольного изделия толщиной в одну стенку, с участками разного наклона стенки от 0° до 90° с шагом 15°. После выращивания каждого сектора измерялась его масса, и на основе расхода порошка требуемого на выращивание сектора определялось его КЗП.

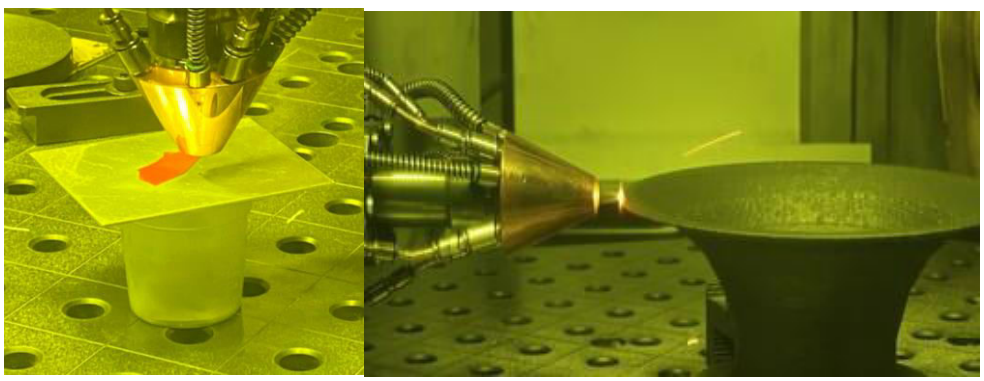


Рис. 3. Способы измерение КЗП

Результаты эксперимента представлены в виде графика на рисунке 4.

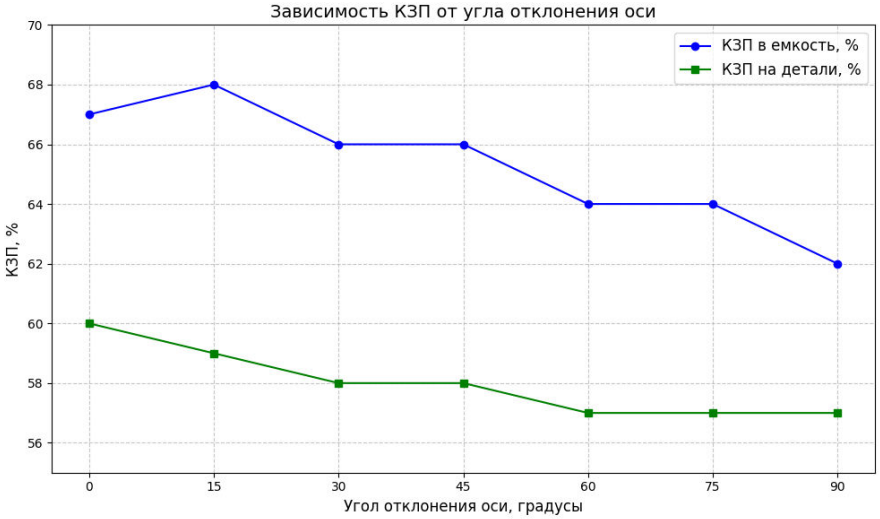


Рис. 4. График зависимости КЗП от угла отклонения оси инструмента

Как видно из данных, результаты двух методик демонстрируют заметные расхождения. Эти различия объясняются спецификой экспериментальных условий: в то время как методика с емкостью воспроизводит идеализированный случай стационарного улавливания порошка, в условиях реальной наплавки неизбежно возникают динамические потери материала. Существенное воздействие на процесс также оказывают параметры формирующейся каплевидной ванны расплава при подаче сырья. Принципиально отметить, что, несмотря на количественные несовпадения, оба подхода выявляют качественно схожую зависимость коэффициента захвата порошка (КЗП) от угла наклона.

Проведенное исследование позволило установить, что при прямом лазерном выращивании наклонных стенок критический угол наклона при вертикальном положении инструмента составляет 15-20°, при больших углах происходит срыв наплавки. Установлено, что для получения стенок с углом наклона более 20° необходимо отклонять ось инструмента, однако это приводит к снижению коэффициента захвата порошка из-за динамических потерь материала и изменения характера формирования расплава, что стоит учитывать для сохранения стабильности процесса. Полученные результаты имеют важное значение для оптимизации процесса выращивания сложнопрофильных элементов аэрокосмической техники, где критичны геометрическая точность и качество изделий. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку стратегий выращивания для углов более 20° с учетом динамики порошкового потока и параметров формирования ванны расплава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Gradl P., Hope D.* Future Rocket Engines May Include Large-Scale 3D Printing // NASA Technical Reports. – 2023.

2. *Санников М.И.* Разработка методов повышения коэффициента использования материала при прямом лазерном выращивании: выпускная квалификационная работа магистра: направление 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»; образовательная программа 22.04.01_10 «Лазерные и аддитивные производственные технологии». – 2020.

3. *Балякин А.В.* Модель взаимодействия лазерного излучения и металлопорошковой композиции в процессе прямого лазерного выращивания заготовок для деталей газотурбинных двигателей //VESTNIK of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering. – 2024. – Т. 23. – №. 4. – С. 99-111.

ANALYSIS AND SELECTION OF AN OPTIMAL STRATEGY FOR THE FORMATION OF INCLINED WALLS DURING DIRECT ENERGY DEPOSITION OF A ROCKET NOZZLE

Kretov. K.S., Zlobin E.P.
Supervisor: Khaimovich A.I., Head of Department, Doctor of Engineering Sciences
(*Samara National Research University, Samara*)

Abstract. The effect of the direct energy deposition strategy on the formation of inclined walls of a rocket nozzle is investigated in the state. Key aspects of the process have been experimentally studied: the critical angle of inclination of the wall, which ensures the stability of deposition, and the dependence of the powder capture coefficient on the angle of deviation of the tool from the vertical. The results obtained make it possible to optimize the parameters of additive manufacturing of complex rocket engine components.

УДК 621.43

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РЕМОНТЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Марданов З.А.
Научный руководитель: Яковлев Р.А., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье объясняются принципы технологий аддитивного ремонта, таких как лазерная наплавка и холодная сварка. Описывается применение данных технологий при восстановлении коленчатых валов и блоков цилиндров. Рассматриваются способы совершенствования организации ремонтных работ с применением аддитивных технологий.

Современные технологии ремонта и восстановления деталей двигателей внутреннего сгорания (ДВС) постоянно развиваются, предлагая новые методы повышения эффективности, долговечности и экономичности процессов. Ремонтные предприятия в своей практике регулярно сталкиваются с необходимостью восстановления деталей с критическим износом, где классические технологии оказываются неэффективными. Для реализации ремонта и восстановления блоков цилиндров, головок блока цилиндров, коленчатого вала, шатунов, топливных насосов, форсунок и т. д., были разработаны технологии ремонта и восстановления, основанные главным образом на аддитивных методах. Аддитивные технологии восстановления используют методы аддитивного производства, чтобы восстановить форму, размеры и характеристики изношенных деталей путем послойного или поточечного наращивания материала, а также, при необходимости, улучшить их характеристики [1]. Эти методы можно разделить на поверхностное покрытие и объемное заполнение. К поверхностному покрытию относится термическое напыление, наплавка, гальваническое покрытие, холодное напыление и т.д. Формовочное заполнение включает методы наплавки и спекания. Аддитивные технологии восстановления характеризуются высокой скоростью формообразования, экономией материалов, экологичностью, автоматизацией процессов ремонта, уменьшением трудозатрат на последующую механическую обработку и все больше привлекают внимание ученых и предприятий. Для различных видов повреждений и компонентов были разработаны различные технологии аддитивного ремонта, такие как лазерная наплавка для коленчатых валов и холодная импульсная сварка для блоков цилиндров. [2]

Технология лазерной наплавки.

Технология лазерной наплавки заключается в том, что наплавляемый материал под воздействием лазерного луча высокой плотности энергии быстро нагревается и плавится на

поверхности подложки, а после отвода лазерного луча самопроизвольно охлаждается, формируя ремонтный слой. В зависимости от способа подачи порошка, различают коаксиальную подачу и предварительное нанесение. Лазерная наплавка применяется для восстановления и ремонта крупногабаритных, испытывающих большие нагрузки, поврежденных деталей благодаря таким преимуществам, как быстрая скорость охлаждения, прочное соединение между наплавочным слоем и подложкой, широкий выбор наплавочных порошков (на основе железа, кобальта, металлокерамических материалов и т. д.) и большого диапазона толщины наплавочного слоя.

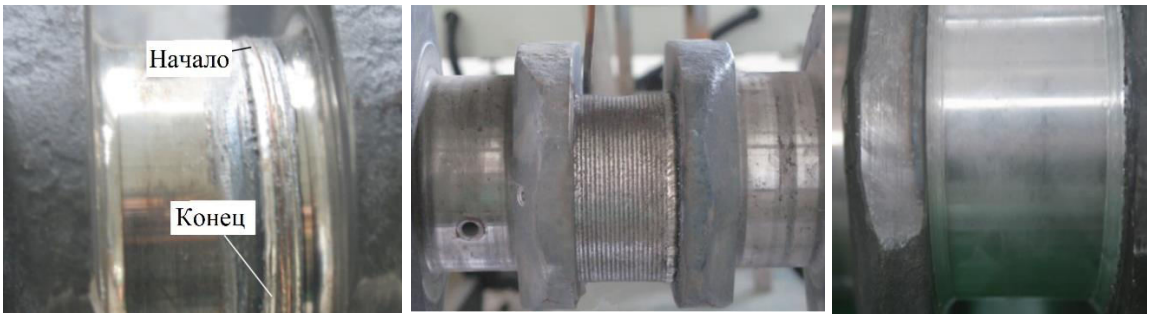
Оптимизация траектории лазерной наплавки и параметров процесса позволяют эффективно уменьшить пористость, трещины и другие дефекты внутри ремонтного слоя, а также повысить гладкость поверхности. Скорость движения лазерного луча и вращения шатунной шейки коленчатого вала должна быть постоянной, чтобы не образовывались дефекты (рис. 1, а).

Структура наплавленного слоя получается плотной и однородной (рис.1, б, в), а её твердость значительно выше, чем у материала коленчатого вала. Для получения хорошего наплавочного слоя необходимо выполнение трех условий [3]:

1. расстояние между лазерной головкой и поверхностью заготовки должно быть постоянным;

2. должна быть постоянная относительная скорость между лазером и шейкой;

3. лазерный луч должен находится на самой верхней точке шатунной шейки коленчатого вала.



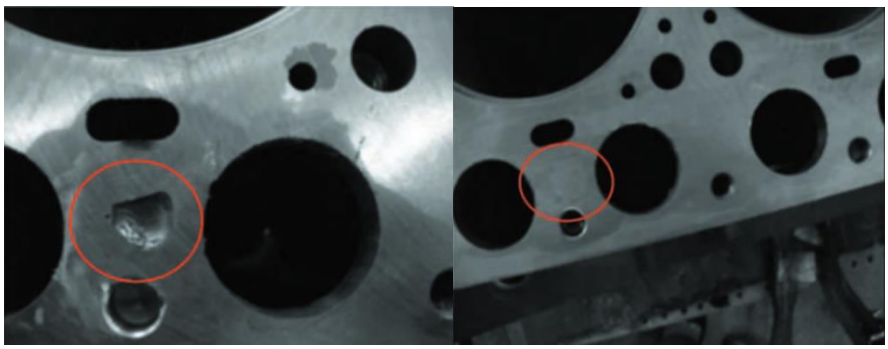
а) б) в)

Рис. 1. Наплавочный слой на поверхности шатунной шейки коленчатого вала:
а) с дефектами б) без дефектов в) после шлифования

Технология холодной импульсной сварки.

При холодной сварке применяются прерывистые высоковольтные электрические импульсы. В процессе работы между электродом и деталью образуется мгновенная электрическая дуга, что позволяет ремонтным материалам (листовые материалы, порошки, сварочные проволоки или электроды) моментально сплавляться с поверхностью детали, обеспечивая её восстановление. В отличие от традиционных методов сварки, технология холодной сварки характеризуется очень коротким временем разряда по сравнению с интервалом между импульсами. В результате деталь практически не нагревается, что предотвращает термическую деформацию. [4]

Блоки цилиндров являются дорогостоящими компонентами двигателей внутреннего сгорания и для их восстановления и устранения таких повреждений, как выбоины и царапины, обычно используется традиционная сварка. Однако, повышение температуры может легко привести к изменению соответствующих размеров, что затруднит последующую обработку. Поэтому применение холодной сварки для восстановления поврежденных участков становится важным направлением аддитивных технологий. На рис. 2 показан блок цилиндров, восстановленный с помощью холодной сварки. [5]



а) б)

Рис. 2. Восстановление блока цилиндров: а) поврежденная поверхность; б) восстановленная поверхность

Опытные данные показали, что прочность соединения восстановленного слоя, полученного при помощи холодной сварки, относительно низкая, например, прочность соединения при термической сварке составляет 350 МПа, а при холодной сварке всего 223 МПа [5]. Это ограничивает применение холодной сварки для деталей, подверженным высоким нагрузкам. В настоящее время технология холодной сварки в основном выполняется вручную, уровень автоматизации низок, а качество восстановления сильно зависит от человеческого фактора и параметров технологического процесса, что снижает эффективность восстановления. В связи с этим, для повышения эффективности и качества восстановления необходимо оптимизировать технологические параметры и разработать новые методы холодной сварки.

Совершенствование ремонтной деятельности с помощью аддитивных технологий.

Использование аддитивного производства дает ремонтным предприятиям принципиально новые возможности по оперативному изготовлению сложных деталей, что кардинально улучшает систему обеспечения запасными частями.

В классической системе снабжения запасные части производятся и реализуются партиями различного объема, зачастую требуя продолжительного хранения. Такая система вынуждает компании замораживать значительные средства в товарных запасах, при этом спрогнозировать реальную потребность в тех или иных деталях практически невозможно. В итоге часть деталей может так и не дождаться своего покупателя. Широкое распространение персонализированной продукции значительно увеличивает ассортимент необходимых запчастей, создавая дополнительные сложности в управлении складскими запасами. Одновременно стремительное развитие технологий создает предпосылки для того, что складируемые детали могут не соответствовать современным техническим стандартам в момент их реального применения Современные компании часто вынуждены обслуживать двигатели, для которого давно прекращено серийное производство комплектующих. Изготовление таких деталей на заказ требует значительных затрат денег и времени, особенно при необходимости создания специальной оснастки. Инновационным выходом из этой ситуации становится концепция цифровых запчастей, предусматривающая хранение всей технической документации в цифровом формате для оперативного производства необходимых компонентов. В рамках этого подхода необходимые детали производятся аддитивными методами строго по мере возникновения потребности. Современные оценки показывают, что около 5-10% всех запасных частей уже сегодня могут эффективно изготавливаться таким способом с точки зрения, как технологической реализуемости, так и экономической эффективности [6]. Применение цифровых запчастей значительно оптимизирует процессы ремонта и технического обслуживания: повышается доступность комплектующих, сокращается время их получения, а производство единичных деталей или малых партий становится экономически оправданным. Наряду с прямыми производственными затратами, необходимо учитывать и убытки от простоев, которые часто

настолько существенны, что стоимость самой детали оказывается незначительной в сравнении с ними.

Главное достоинство цифровых запчастей - скорость производства, обусловленная отсутствием необходимости в специальном инструменте и наличием полной цифровой документации.

Основным препятствием для массового внедрения 3D-печати в производство запчастей выступает дефицит цифровых 3D-моделей, разработка которых требует значительных ресурсов. Цифровизация запчастей позволяет преодолеть это ограничение, обеспечивая:

– ускорение процесса печати;

– расширение ассортимента материалов;

– снижение себестоимости производства.

Создание единой цифровой сети запчастей способно решить проблему доступности материалов. Однако, нужно отметить то, что современные 3D-принтеры обладают рядом функциональных ограничений, существенно сдерживающих их применение в производстве запчастей. К ключевым проблемам относятся:

– узкий спектр доступных материалов;

– недостаточная точность изготовления;

– несовершенство качества поверхности изделий.

Таким образом, использование 3D-печати в ремонтных предприятиях дает возможность существенно уменьшить финансовые затраты на запасные части и помогает предотвратить длительные простои автомобилей в ремонте. Кроме того, аддитивное производство способствует оптимизации логистических процессов. В конечном счете, аддитивные технологии могут фундаментально изменить всю систему организации деятельности ремонтных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Зленко М.А.* Аддитивные технологии в машиностроении /*М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш* // пособие для инженеров. — М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.

2. *Скобелев С.Б.* Технология восстановления и ремонта машин: учеб. пособие / *С.Б. Скобелев, В.В. Деркач, В.Г. Чуранкин*; Минобрнауки России, Ом. гос. техн. ун-т. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2022.

3. *FENG Hui, LI Jianfeng, SUN Jie*. Study on Remanufacturing Repair of Damaged Crank Shaft Journal Surface by Laser Cladding [J]. Chinese Journal of Lasers, 2014, 41(8): 0803003.

4. *D. Dudko, V. Chudakov, L. Kistersky. T. Barber*. Magnetic Pulse Welding of Tubing: Exploring the Cold-Welding Process. Fabricator, Vol. 26, No. 8, 1996, pp. 62-66.

5. *Li F, Li Z, Wang L, et al*. Review on ICE remanufacture with additive repair technology. China Mech Eng. 2019; 30: 1119–2733.

6. *Толочко Н.К., Нукешев С.О., Романюк Н.Н., Мендалиева С.И.* Аддитивные технологии в производстве и ремонте машин: учебное пособие. – Нур-Султан: КАТУ им. С. Сейфуллина, 2022. – 184 с.

USE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN REPAIR OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Mardanov Z.A.

Supervisor: Yakovlev R.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article explains the principles of additive repair technologies, such as laser cladding and cold welding. It describes the application of these technologies in the restoration of crankshafts and cylinder blocks. It considers ways to improve the organization of repair work using additive technologies.

УДК 621.762

ОБРАБОТКА ПОРОШКА ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ В ИНДУКТИВНО-СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМЕ

Мозжерин В.В., Васильев И.С., Терентьев А.А.
Научный руководитель: Нагулин К.Ю., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлены результаты исследования влияния процесса сфероидизации в индуктивно-связанной плазме на качество порошка диоксида циркония. Полученные данные о сферичности, гранулометрическом составе и морфологии изначального порошка и сфероидизированного свидетельствует об эффективности выбранного процесса доработки в низкотемпературной плазме, что дополнительно подтверждается построенной газодинамической схемой движения частиц порошка.

В современной промышленности ведущую роль играют субтрактивные методы, то есть технологии удаления излишков с поверхности и объёма материала. Фрезерование, точение, шлифовка и полировка поверхностей, резание и другие процессы находят широкое применение в крупносерийном отлаженном производстве. Однако для создания уникальных и «единичных» изделий больше подходит комплекс аддитивных технологий.

Суть этого метода заключается в послойном выращивании материала по модели уже готового объекта. Таким образом, помимо явной экономии материалов, аддитивные технологии предоставляют возможность для создания изделий почти неограниченной геометрической сложности (что применимо для топологически оптимизированных деталей), а также рабочих прототипов в сжатые сроки. Благодаря этим преимуществам аддитивные технологии могут дополнять субтрактивные методы производства в современной промышленности [1].

В качестве исходного материала для трёхмерной печати чаще всего применяются полимерные катушки или гранулы и порошки металлов, сплавов и керамик. Для достижения высокого качества изделий эти материалы должны отвечать строгим требованиям, основные из которых: заданный фракционный состав частиц, высокие показатели сферичности, насыпной плотности и текучести, химическая однородность и гомогенность состава. Качество порошковых композиций напрямую зависит от метода их синтеза (механический размол, различные методы диспергирования, химическое осаждение и так далее) [2].

Однако существует возможность доработки параметров порошковых материалов, не отвечающих требованиям аддитивных технологий. Для этого частицы материала подвергаются плавлению и сфероидизации в среде низкотемпературной плазмы [3]. Подобная обработка ведёт к улучшению сферичности частиц, устраняет многие дефекты морфологии, такие как поры, сателлиты, агломераты и трещины. Среди различных методов плазменной сфероидизации наиболее выделяется индуктивно-связанная плазма. В отличие от ёмкостно-связанной и дуговой она обладает высокой чистотой готового продукта, большим сроком службы электрода, а также высокой энтальпией и большей эффективностью температурного воздействия.

Установка, применяемая в данной работе, представлена на рисунке 1. Подача порошка в зону обработки осуществляется через специальный зонд в зону наиболее высоких температур. Высокочастотный генератор передаёт электромагнитные колебания частотой 5,28 МГц на водоохлаждаемый медный индуктор. Эти колебания возбуждают внутри кварцевой колбы переменные магнитные поля, а те, в свою очередь, возбуждают переменные электрические поля, ионизирующие плазмообразующий газ. Инициирование плазмы происходит с помощью высоковольтного электрода Теслы. Сфероидизированный порошок проходит сквозь конденсационную камеру, где охлаждается, после чего собирается в бункере для сбора порошка. За охлаждение зонда, катушки индуктивности и

конденсационной камеры отвечает двухконтурная система водяного охлаждения, а за внешние стенки кварцевой колбы – поток воздуха высокого давления.

Рис. 1. Установка для плазменной сфероидизации

Для изучения особенностей обрабатываемого порошкового материала были проведены входные исследования методами оптической и электронной микроскопии (рисунок 2). Исходя из полученных снимков, можно сделать выводы о фракции порошка (порядка 0,1 – 15 мкм), склонностью мелких частиц к сателлированию вокруг более крупных центров, а также агломерацией частиц в скопления размером порядка сотен микрометров. Частицы порошка несферичны, угловатой формой с выраженными гранями.

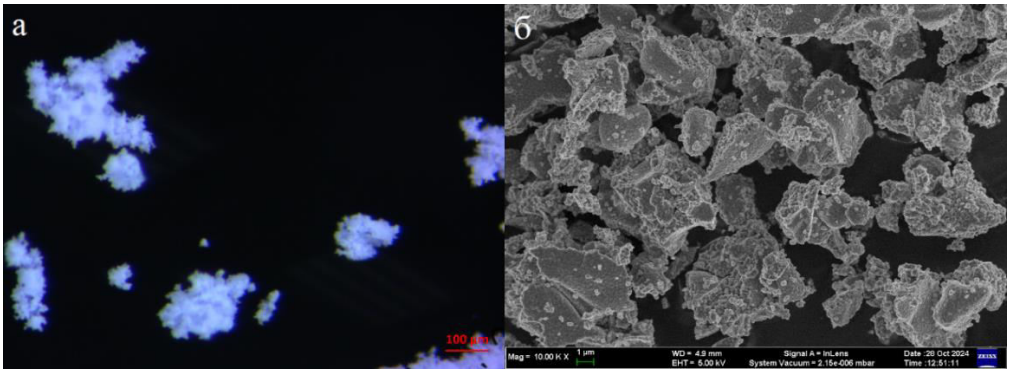


Рис. 2. Результаты оптической (а) и сканирующей электронной (б) микроскопии исходного порошка диоксида циркония

Для сфероидизации тугоплавкой керамики необходим высокомощный режим сфероидизации, обеспечивающий долгое время пребывания частиц в зоне обработки. Эти требования привели к выбору следующих параметров режима (таблица 1).

Таблица 1

Параметры работы установки для сфероидизации диоксида циркония

Мощность, кВт	Точка ввода порошка	Расход транспортного газа, л/мин	Расход плазмообразующего газа, л/мин	Расход защитного газа, л/мин	Расход водорода, л/мин	Расход порошка, г/мин
30,2	На 1,5 витке индуктора	2	24	90	17,5	9

Также необходимо, чтобы при обработке частицы не попадали в возвратные течения, что чрезмерно увеличит время нахождения частиц в плазме. Для этого была проведена высокоскоростная съёмка процесса подачи порошка с последующим исследованием поведения частиц (рисунок 3а).

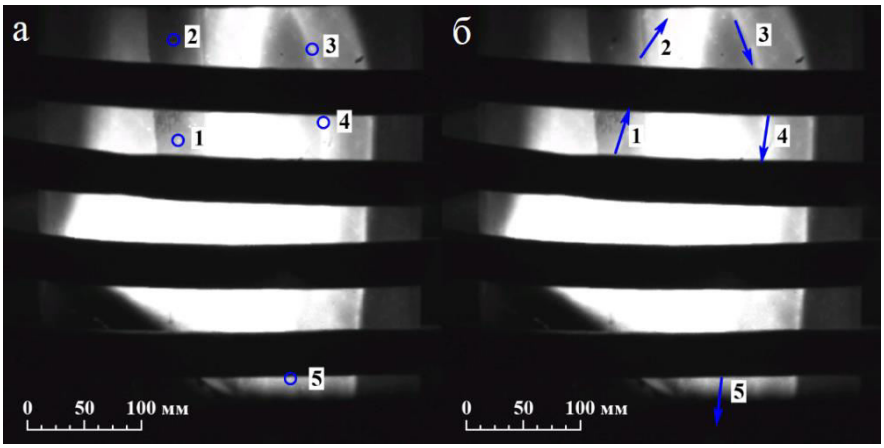


Рис. 3. Визуализация процесса подачи порошка в плазму (а)
и движения частиц в плазме (б) при частоте съёмки 5000 кадр/сек

На 9 последовательных кадрах (1,8 мс) было изучено поведение 5 наиболее примечательных частиц. На основе этого были получены данные о скорости движения частиц (таблица 2) и примерном времени их нахождения в зоне обработки.

Таблица 2

Характеристики движения частиц в плазме

№ частицы	Время наблюдения, мс	Преодолённое расстояние, мм	Скорость частицы, м/с
1	1,2	7,39	6,16
2	1,2	9,34	7,78
3	1,8	4,38	2,43
4	1,4	5,01	3,58
5	0,8	3,52	4,40

Помимо этого, на основе изучения движения частиц можно построить карту траекторий порошковых потоков (рисунок 3б). Сравнение полученных в этой работе данных с результатами исследования статьи [4] позволяет сделать вывод о том, что траектория движения частиц проходит в зоне наиболее высоких температур (рисунок 4), благодаря чему частицы подвергаются достаточному температурному воздействию за обозначенное время.

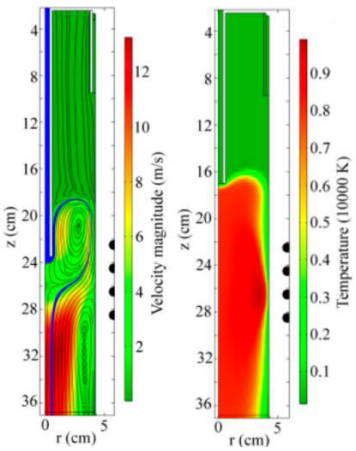


Рис. 4. Пространственное распределение скорости частиц (слева) и температур (справа) [4]

Таким образом, после обработки на заданном режиме работы порошок диоксида циркония приобретает высокую степень сферичности и увеличивается в размерах из-за плавления агломераций в одну частицу (рисунок 5).

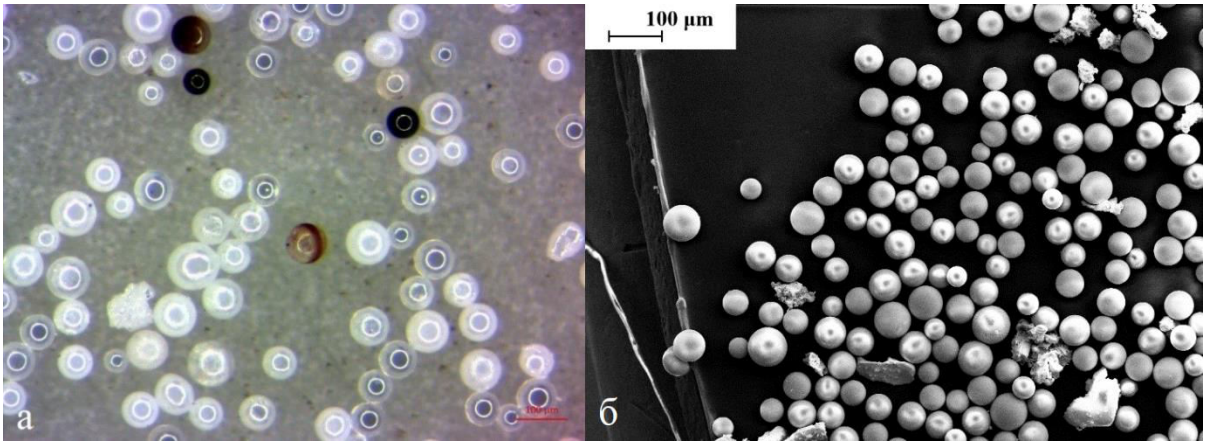


Рис. 5. Результаты оптической (а) и сканирующей электронной (б) микроскопии сфероидизированного порошка диоксида циркония

В результате проведения сфероидизации в индуктивно-связанной плазме частицы порошка диоксида циркония приобрели необходимые для аддитивного производства параметры. Проведение высокоскоростной съёмки позволило визуализировать процессы, протекающие в плазме, и подтвердить эффективность выбранного режима сфероидизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Kenneth V.* Accelerating Industrial Adoption of Metal Additive Manufacturing Technology / Kenneth Vartanian, Tom Mcdonald // The Minerals, Metals & Materials Society, 2016, – С. 806-810

2. *Поздняков Е.П.* Материалы аддитивного синтеза: пособие по одноим. Дисциплине для студентов специальности 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трёхмерных технологий» днев. формы обучения / Е.П. Поздняков. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – С. 283

3. *Tsvetkov Yu.V.* Spheroidizing of metal powders in thermal DC plasma / Yu.V. Tsvetkov, A.V. Samokhin, A.A. Fadeev, N.V. Alexseev, V.I. Koltyarov // Additive technologies, 2016, – С. 19

4. Optimization of radio-frequency plasma parameters for spheroidization of zirconium oxide powders / K. Yu. Nagulin, K. Nazarov, A. Glimitornov, I. Ethnorkin // Surface and Coatings Technology, №382, 2020, – С. 125196

PROCESSING OF ZIRCONIUM DIOXIDE POWDER IN INDUCTIVELY COUPLED PLASMA

Mozzherin V.V., Vasiliev I.S., Terentyev A.A.

Supervisor: Nagulin K.Yu., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents the results of a study of the effect of the spheroidization process in inductively coupled plasma on the quality of zirconium dioxide powder. The obtained data on the sphericity, granulometric composition and morphology of the initial powder and the spheroidized powder indicate the effectiveness of the selected refinement process in a low-temperature plasma, which is additionally confirmed by the constructed gas-dynamic scheme of movement of powder particles.

УДК 004.942

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОТОК ПОРОШКА В КОАКСИАЛЬНОМ СОПЛЕ ПРОЦЕССА ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ

Морозов В.В., Никифоров С.А., Шварц И.В.

Научный руководитель: Нагулин К.Ю., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлены результаты комплексного экспериментального и численного исследования гибридной газо-ультразвуковой системы подачи металлического порошка для коаксиального сопла процесса прямого лазерного выращивания (ПЛВ). Разработана вычислительно эффективная математическая модель на основе метода дискретных частиц, которая позволяет учитывать влияние ультразвуковых колебаний на поток порошка без необходимости дорогостоящего моделирования структурной динамики сопла. Эффект ультразвука был учтен через калибровку тангенциального коэффициента реституции при соударении частиц со стенкой.

В последние годы аддитивное производство (АП) стало революционной технологией как в научно-исследовательской, так и в промышленной сфере. Его возможности по гибкому производству непосредственно по цифровым моделям позволили добиться значительных успехов в прототипировании, кастомизации и мелкосерийном производстве. Среди различных методов АП особое внимание уделяется методам осаждения металла благодаря возможности изготовления функциональных металлических компонентов со сложной геометрией.

Процесс ПЛВ включает в себя инжекцию металлического порошка в локальную ванну расплава, сформированную мощным лазером. ПЛВ обладает рядом преимуществ: поддерживает осаждение нескольких материалов, обеспечивает восстановление поверхности и позволяет точно контролировать термическую историю и микроструктуру готовой детали. Однако этот процесс также сопряжен с существенными трудностями, включая нестабильность потока порошка, нестабильную скорость подачи порошка, низкую насыпную плотность и потенциальное засорение сопла при работе с мелкодисперсными порошками или при длительной печати.

В данном исследовании экспериментально и численно исследуется комбинированный (газо-ультразвуковой) метод подачи порошковых смесей в ванну расплава коаксиального сопла. В исследовании сравниваются характеристики массового расхода порошка и структура газопорошкового потока при использовании как традиционных, так и комбинированных методов подачи. Представлен подход к численному моделированию подачи порошка в коаксиальной системе ПЛВ, фокусирующийся на влиянии ультразвуковых колебаний, воздействующих на сопло. Модель основана на подходе метода дискретных частиц (МДЧ) для отслеживания частиц в сочетании с уравнениями Навье – Стокса для газовой фазы. Использование подхода (МДЧ) является стандартной практикой для моделирования газопорошковых струйных течений из различных типов сопел [1-4]. Она включает эмпирически калиброванные коэффициенты восстановления для учета потери импульса при столкновениях частиц со стенкой. Чтобы избежать явного решения структурной динамики вибрирующего сопла, вводится эмпирическая корреляция между частотой вибрации, тангенциальным коэффициентом восстановления и результирующим массовым расходом. Этот подход значительно снижает вычислительные затраты без ущерба для точности прогнозирования.

Моделирование колебаний конструкции коаксиального сопла и их влияния на поток порошка является вычислительно сложной задачей, поскольку требует решения систем уравнений различных физических классов:

– Колебания конструкции описываются трёхмерным дифференциальным уравнением движения механической системы с высоким временным разрешением (от 1e-5 до 1e-9 с), поскольку необходимо учитывать каждую флуктуацию;

– Газовая динамика моделируется с использованием классических уравнений Навье–Стокса с моделью турбулентности k–ϵ для учёта вихревых структур в газовой струе, выходящей из сопла;

– Динамика порошка решается с использованием безсеточного лагранжева подхода.

Предыдущие исследования [5, 6] показали прямую корреляцию между частотой вибрации конструкции и расходом порошка. Расход порошка резко возрастает при достижении пороговой частоты при достаточной амплитуде колебаний. Дальнейшее увеличение частоты за пределами оптимального диапазона частот либо не оказывает существенного влияния, либо снижает эффективность из-за снижения стабильности подачи. Среднеквадратические отклонения показывают, что поток становится наиболее стабильным и равномерным при оптимальной частоте.

Исходя из этой зависимости, связанную систему уравнений можно упростить, исключив структурный решатель и заменив его эмпирическим соотношением, выражающим массовый расход порошка как функцию частоты вибрации, как показано в уравнении (1):

$$U = \frac{G(\nu)}{S \cdot \rho}, \tag{1}$$

где $G(\nu)$ – массовый расход как функция частоты вибрации, S – площадь поперечного сечения, ρ – плотность порошка.

Массовый расход $G(\nu)$ можно регулировать, варьируя коэффициент восстановления, который количественно характеризует потерю скорости частицы (как тангенциальной, так и нормальной составляющей) после столкновения со стенкой. Коэффициент рассчитывается по следующему выражению:

$$e_n = \frac{V_{n,2}}{V_{n,1}}, e_\tau = \frac{V_{\tau,2}}{V_{\tau,1}}, \tag{2}$$

где $V_{n,1}$ – нормальная составляющая скорости частицы до столкновения, $V_{n,2}$ – нормальная составляющая после столкновения, $V_{\tau,1}$– тангенциальная составляющая до столкновения, $V_{\tau,2}$ – тангенциальная составляющая после столкновения.

Коэффициенты восстановления e_n и e_τ являются эмпирическими параметрами. Для данной модели значения $e_n = 0.97$ и $e_\tau = 0.33$ используются в условиях отсутствия вибраций, как указано в. [5]

Численная модель была тщательно проверена на четырёх экспериментальных конфигурациях для оценки её точности прогнозирования в различных условиях эксплуатации. Сравнительный анализ включал эксперимент 4 с ультразвуковой активацией и без неё (рис. 1 а, б) и эксперимент 8 с ультразвуковой активацией и без неё (рис. 1 в, г).

Критические метрики валидации были сосредоточены на положении фокальной плоскости и соответствующем диаметре струи порошка, поскольку эти параметры фундаментально определяют качество взаимодействия лазера с материалом во время осаждения. Фокальная плоскость была определена как аксиальное положение сопла с максимальной концентрацией порошка. Детальное исследование динамики частиц выявило значительное увеличение средней скорости частиц (на 17-22%), обусловленное снижением эффекта статической адгезии к стенке. Это физическое явление было численно реализовано с помощью калиброванных коэффициентов восстановления, которые эффективно модифицировали кинетику столкновений частиц со стенкой.

Модифицированная конструкция коаксиального сопла стабильно демонстрировала улучшенные характеристики во всех случаях моделирования, показывая в среднем на 8% более высокую пиковую концентрацию в фокальной зоне при активации ультразвука.

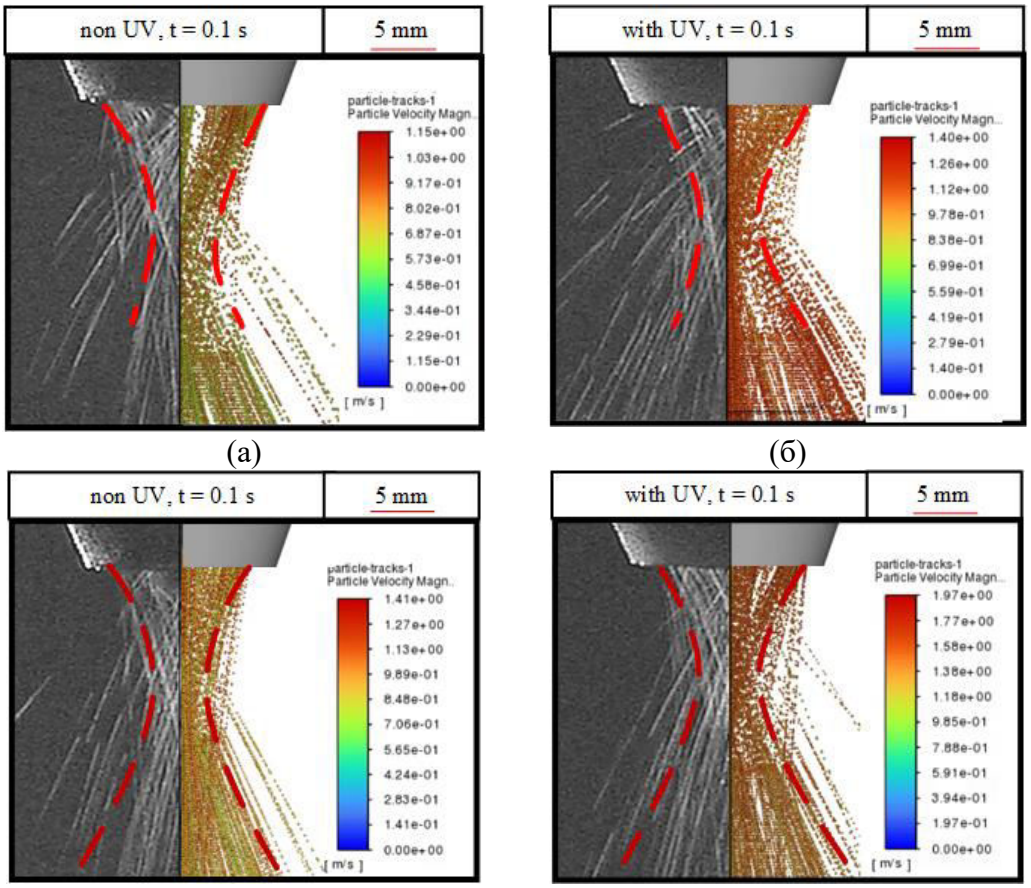


Рис. 1. Сравнение структур потока между экспериментом (слева) и численным решением (справа): а – без ультразвука эксперимент 4; б – с ультразвуком эксперимент 4; в – без ультразвука эксперимент 8; г – с ультразвуком эксперимент 8.

В ходе данного исследования была успешно разработана и валидирована мультифизическая модель течения порошка с помощью ультразвука в коаксиальных соплах, сочетающая вычислительную эффективность с экспериментальной точностью. Основные результаты включают в себя:

1. Модифицированная конструкция сопла с частотой возбуждения 40 кГц значительно улучшила динамику течения порошка, уменьшив адгезию к стенкам и увеличив скорость частиц.

2. Комбинированное использование ультразвука и центрального потока газа обеспечило наиболее стабильную струю порошка с уменьшением диаметра фокального пятна на 15% и повышением концентрации на 8% по сравнению с традиционными системами.

3. Подход, основанный на DPM, точно предсказал положение фокальной плоскости и ширину струи, продемонстрировав свою эффективность для оптимизации конструкции сопла.

Эти достижения решают критические проблемы ПЛВ, такие как неравномерная подача порошка и засорение, обеспечивая при этом более точный контроль геометрии ванны расплава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Yu H., Yang S., Hu J., & Wang H.* Numerical investigation of wide continuous particle size distribution on the supersonic powder loading oxygen jet. Powder Technology, 2023, 428, 118885. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.118885.

2. *Zhang L., Sun M., Guan H., Wu S., Jia H., & Jin H.* Modeling and simulation of supersonic nozzle gas jet laden with polydisperse fire suppressant particles injected from a bypass injector. Chemical Engineering Science, 2023, 280, 118983. https://doi.org/10.1016/j.ces.2023.118983.

3. *Ludwig W., Ligus G., Korman P., Sędłak A., & Zając D.* CFD modelling of a powder spraying nozzle used for dry coating. Chemical Engineering Research and Design, 2022, 178, 550–566. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2022.01.001.

4. *Shuvo Md.S., Sakib M.N., Rahman R., & Saha S.* Particle deposition and characteristics of turbulent flow in converging and diverging nozzles using Eulerian-Lagrangian approach. Results in Engineering, 2022, 16, 100669. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100669.

5. *Yuan W., et al.* Non-resonant acoustic powder delivery systems. Journal of Manufacturing Processes, 2022, 82, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.08.002.

6. *Wu H., Pritchet D., Wolff S., Cao J., Ehmann K., & Zou P.*A VIBRATION-ASSISTED POWDER DELIVERY SYSTEM FOR ADDITIVE MANUFACTURING - An experimental investigation -. Additive Manufacturing, 2020, 34, 101170. https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101170.

NUMERICAL SIMULATION OF ULTRASONIC EFFECT ON POWDER FLOW IN A COAXIAL NOZZLE OF DIRECT LASER DEPOSITION PROCESS

Morozov V.V., Nikiforov S.A., Shvarts I.V.

Supervisor: Nagulin K.Yu., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents the results of a comprehensive experimental and numerical study of a hybrid gas-ultrasonic system for feeding metal powder for a coaxial nozzle of the direct laser deposition (DLD) process. A computationally efficient mathematical model based on the particle method has been developed, which allows taking into account the effect of ultrasonic vibrations on the powder flow without the need for a thorough study of the structural dynamics of the nozzle. The effect of ultrasound was taken into account by calibrating the tangential coefficient of restitution for particle impacts with the wall.

УДК 621.785; 621.914.1

ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВА ИНКОНЕЛЬ 625, ПОЛУЧЕННОГО ПО ТЕХНОЛОГИИ ПЭЛАП, НА СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Овчаренко В.А.

Научный руководитель: Бабаев А.С., старший научный сотрудник, к. т. н.

(*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск*)

Аннотация. В статье рассмотрено влияние микроструктуры Инконель 625, сформированной в процессе электронно-лучевого аддитивного производства, на максимальные силы резания, возникающие в процессе фрезерования. Установлено, что максимальные силы *Ph* и *Pv*, возникающие в процессе фрезерования в сечении вдоль направления печати выше на 10-15%, чем в сечении поперек. Морфология сформированной микроструктуры по технологии ПЭЛАП дает соотношение микроструктуры продольного сечения к поперечному, подобное прокату.

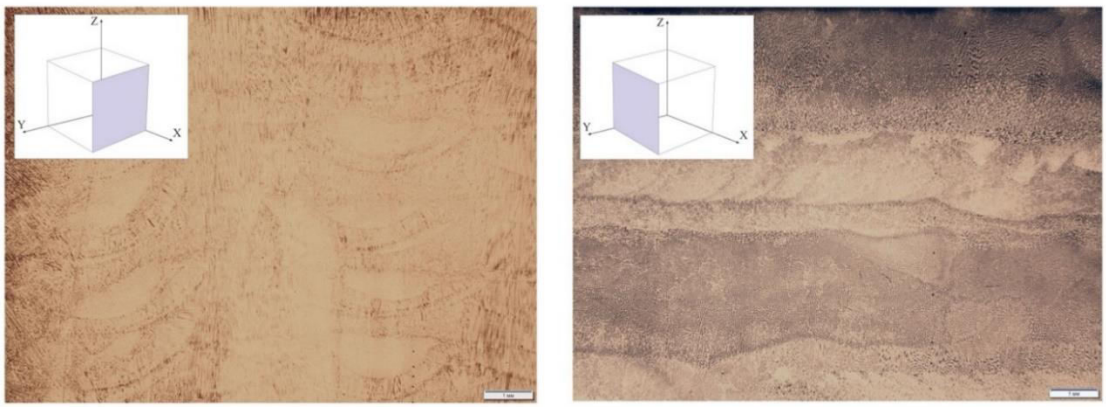
Стремление внедрения аддитивного производства в технологические цепочки производственных процессов год от года набирает обороты, однако все еще существуют проблемы, не позволяющие получать аддитивные изделия требуемого качества. Когда мы говорим о методе проволочного электронно-лучевого аддитивного производства, остро стоит вопрос качества поверхности, получаемой в процессе печати. В отличии от технологии SLM

(*selective laser melting*), дискретность, обусловленная послойным строением, намного выше из-за размеров используемого филамента (проволоки) [1]. Кроме того, наличие пор, структурно-фазовая анизотропия, вызванная слоистостью, так же отрицательно сказываются на качестве получаемого изделия. Эти особенности затрудняют непосредственное применение таких изделий без постобработки, включающей в себя термическую и механическую обработку. Особенно важно исследовать поведение таких материалов при фрезеровании, которое остаётся ключевым этапом обеспечения требуемой формы готового изделия.

Проведение исследования, связанного с пониманием влияния структурно-фазового строения и механических характеристик, в сечениях вдоль и перпендикулярно направлению печати, на обрабатываемость при фрезеровании жаропрочного никелевого сплава Инконель 625, является актуальной задачей.

Проволочное электронно-лучевое аддитивное производство (ПЭЛАП) является высокопроизводительным и экономически выгодным подходом к получению крупногабаритных изделий, относится к группе технологий прямого подвода энергии и материала (DED – *direct energy deposition*). В процессе печати происходит облучение металлического филамента высокоэнергетическим пучком электронов, приводя к плавлению подаваемого материала и, частично, ранее аддитивно нанесенного слоя, с последующей их кристаллизацией [2]. Объектом исследования выступает никелевый суперсплав Инконель 625, полученный технологией проволочного электронно-лучевого аддитивного производства по режиму: ускоряющее напряжение 30 кВ; ток луча 60 мА; скорость печати 300 мм/мин; развертка круговая диаметром 6 мм.

Микроструктуру Инконель 625 изучали на полированных шлифах после травления на металлографическом микроскопе мод. GX51 фирмы Olimpus (Япония). Сформированная в процессе печати в сечении поперек (ZOY) микроструктура образца представляет изогнутые, пересекающиеся ванны расплава, с эпитаксиальными столбчатыми зернами, растущими из этих полос и ламелями дендритных структур (рис. 1, а). В параллельном сечении (ZOX), формируется выраженная слоистость (рис. 1, б). Причиной возникновения столбчатых дендритов является частично переплавление зерен предыдущего осажденного слоя, которые послужили предзародышами для направленного роста кристаллов. Как только теплоотвод за счет нижележащего слоя ухудшается и преобладает за счет боковых поверхностей, происходит смена кристаллизационного фронта, с формированием ячеистой структуры. Таким образом, за фронтом кристаллизации формируются два типа структур: ячеистая — в новом слое, и столбчатая с направленным ростом — в предыдущем.



а) б)

Рис. 1. Микроструктура образца: а) вдоль направления печати (ZOX);
б) поперек направления печати (ZOY)

Расслоение по структуре приводит к неоднородности механических свойств в объеме образца, таблица 1. Испытания на одноосное растяжение проводили при комнатной

температуре на трех образцах для каждого сечения на универсальной испытательной машине мод. 50ST фирмы Tinius Olsen (США).

Таблица 1

Механические свойства инконель 625 в зависимости от направления наплавки

Сечение	σ_B, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	$HV_{0,3}$
ZOY	640 ± 20	355 ± 7	56 ± 3	218-273
ZOX	655± 70	280 ± 18	53 ± 3	200-246

Анализ фазового состава образца проводился на дифрактометре мод. ДРОН-8Н фирмы НПП «Буревестник» (г. Санкт-Петербург) с использованием излучения CuKα с шагом 0,05° и временем выдержки 20 с на шаг. Фазовый состав представлен основной фазой γ-Ni и δ-Ni_3(Nb, Mo), рис.2. Сплав обладает низкой теплопроводностью, в областях основного слоя происходит аккумуляция тепла, что приводит к формированию локальных скоплений орторомбической дельта фазы Ni_3(Nb, Mo). Дельта фаза в слоях формируется не равномерно, в зависимости от положения слоя в объеме образца количество выделившейся фазы разное, достигает максимума в центральной части образца и уменьшается при отдалении к краевым поверхностям.

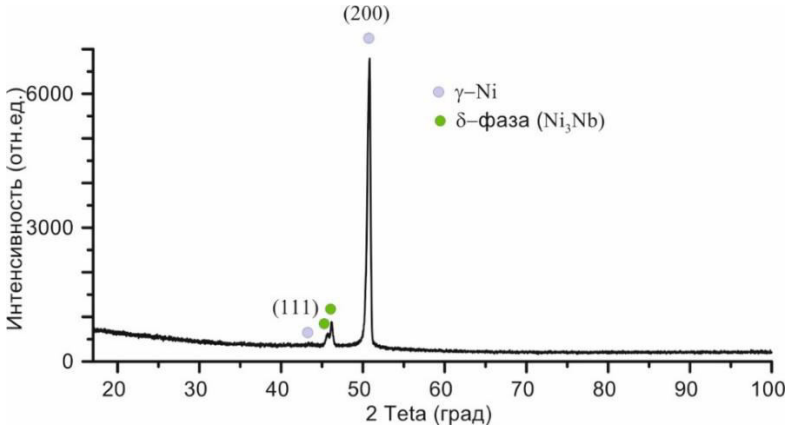


Рис. 2. рентгенограмма образца Инконель 625

При испытаниях применялось фрезерование, согласно схемам, рис 3. С помощью динамометра Kistler (мод. 9257BA) измерялись следующие составляющие силы резания:

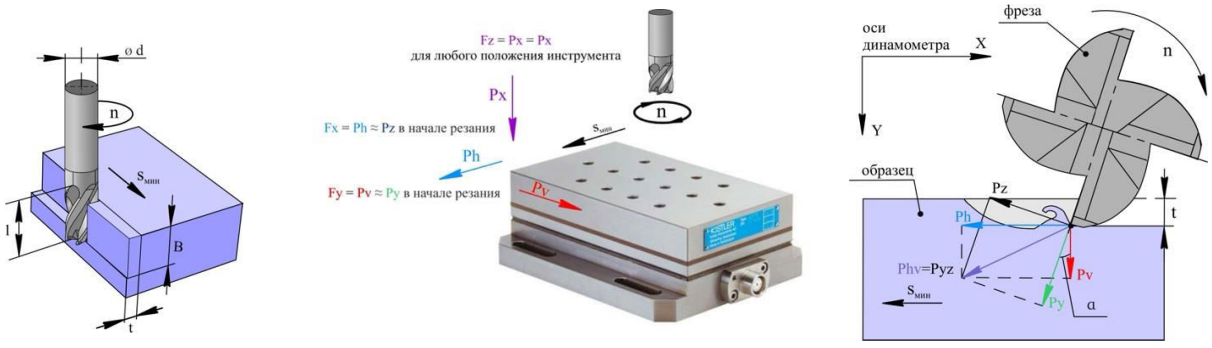
Ph – сила подачи (направленна вдоль направления подачи);

Pv – боковая сила (направленна перпендикулярно направлению подачи);

Px – осевая сила (направленна вдоль оси фрезы).

Эти силы непрерывно изменяются в процессе фрезерования, что обусловлено изменением толщины срезаемого слоя [3].

Отказ от применения СОЖ или другого смазочно-охлаждающего технологического средства (СОТС) был вызван задачей ограничить количество факторов, влияющих на силы резания.



а) б) в)

Рис. 3. Схематичное изображение параметров фрезерования (а) и схемы действия сил резания (б, в) на фрезу относительно системы координат динамометра

Основные параметры фрезерования, применяемые в исследовании приведены в таблице 2.

Таблица 2

Режимы фрезерования Инконель 625

n, об/мин	V, м/мин	$S_{мин}$, мм/мин	S_z, мм/зуб	t, мм	B, мм
315	11,9	25	0,019	1	7
		50	0,036		
		80	0,063		
		200	0,159		

При фрезеровании вдоль направления печати изменения структуры вдоль подачи минимальное, на изменение сил влияет только периодичность работы зуба фрезы и погрешности заточки режущих кромок инструмента, рис.4 а. При фрезеровании поперек направления печати, к этим изменениям накладывается неоднородность микроструктуры образца, приводя к более интенсивному возрастанию/убыванию сил резания, рис.4 б.

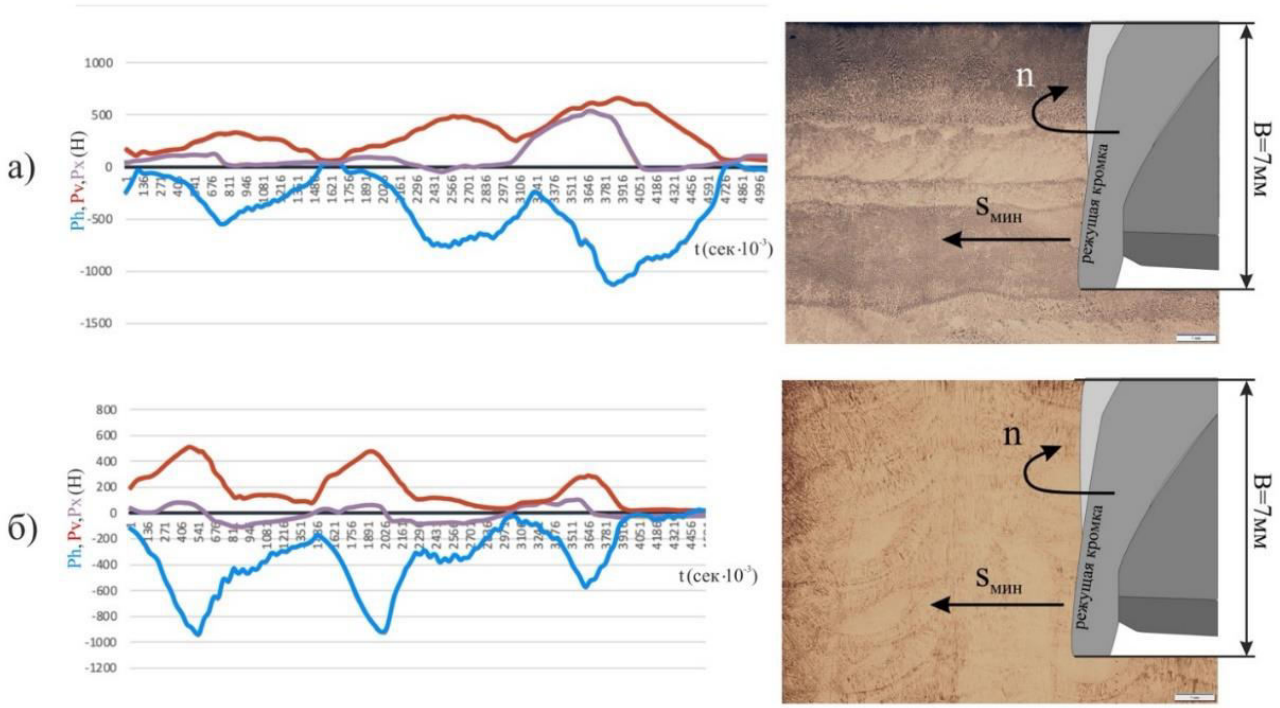


Рис. 4. Взаимодействие фрезы со структурой материала в процессе фрезерования по режиму n=315об/мин; $S_{мин}$=25 мм/мин: а) вдоль направления печати (ZOX); б) поперек направления печати (ZOY)

Из рисунка 5 видно, что максимальные силы резания возрастают монотонно с увеличением минутной подачи. Более высокие значения сил, полученные при фрезеровании вдоль направления печати относительно сил поперек направления печати сопоставимы соотношению сил, возникающих при фрезеровании проката. При фрезеровании вдоль волокон структуры, силы будут больше, т.к. прочность материала вдоль волокон, как правило больше, чем поперек. В аддитивных изделиях морфология печати проволоки дает соотношение сформированной микроструктуры продольного сечения к поперечному, подобное микроструктуре проката.

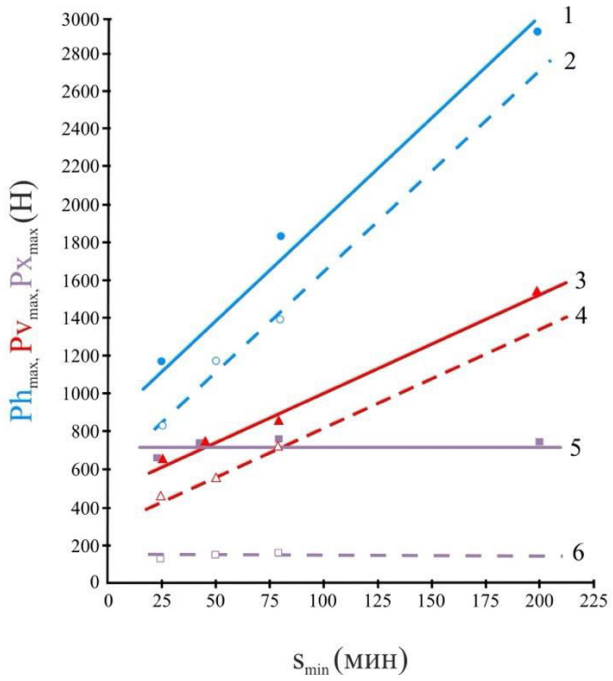


Рис. 5. Влияние минутной подачи $S_{мин}$ на наибольшие силы при фрезеровании

Инконель 625 в состоянии после синтеза (B=7, t=1 мм, z=4 зуба, n=315 об/мин):
- фрезерование вдоль направления синтеза: 1 – ●$Ph_{max;}$ 3 – ▲Pv_{max}; 5 – ■Px_{max};
- фрезерование поперёк направления синтеза: – ○$Ph_{max;}$ 4 – ΔPv_{max} ; 6 – □Px_{max}.

В образцах инконель 625 полученных по технологии проволочного электронно-лучевого аддитивного производства формируется слоистая дендритная структура с неравномерным распределением в объеме образца орторомбической дельта фазы Ni_3(Nb, Mo). Расслоение по структуре приводит к несущественному изменению механических свойств в продольном и поперечном сечении. При фрезеровании вдоль направления печати возникающие максимальные силы резания Ph_{max}; Pv_{max} выше на 10-15%, относительно сил при фрезеровании поперек направления печати. Соотношение сил резания сопоставимы соотношению сил, возникающих при фрезеровании проката.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Osipovich K., Kalashnikov K., Chumaevskii A., Gurianov D., Kalashnikova T., Vorontsov A., Zykova A., Utyaganova V., Panfilov A., Nikolaeva A., et al*. Wire-Feed Electron Beam Additive Manufacturing: A Review. *Metals*. 2023; 13(2):279. https://doi.org/10.3390/met13020279.

2. *Гурьянов Д.А.* Структурно-фазовое состояние и механические свойства никелевого жаропрочного сплава, полученного методом электронно-лучевого аддитивного производства: дисс. ... канд. тех. наук: 2.6.1. – Томск, 2023. – 143 с.

3. *Choi J.-G., Yang M.-Y.* In-process prediction of cutting depths in end milling // International Journal of Machine Tools & Manufacture 39 (1999) 705–721. https://doi.org/10.1016/S0890-6955(98)00067-4.

INFLUENCE OF MICROSTRUCTURE OF INCONEL 625 ALLOY PRODUCED BY WEBAM TECHNOLOGY ON CUTTING FORCES

Ovcharenko V.A.

Supervisor: Babaev A.S., Senior Researcher Officer, Candidate of Engineering Sciences

(*National research Tomsk state university, Tomsk*)

Abstract. The article examines the influence of the microstructure of Inconel 625, formed during wire electron beam additive manufacturing (W-EBAM), on the maximum cutting forces generated during milling. It was found that the maximum cutting forces *Ph* and *Pv* during milling in the longitudinal section are 10-15% higher than in the transverse section. The morphology of the microstructure formed by W-EBAM technology results in a microstructure ratio between longitudinal and transverse sections similar to that observed in rolled materials.

УДК 629.783.053.3.012

АДДИТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО СЛОЖНЫХ ФИТИНГОВ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Рожкова Е.А.
Научный руководитель: Кустов А.В., доцент, к. т. н.
(Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск)

Аннотация. В статье рассматривается применение аддитивных технологий для проектирования сложных фитингов солнечных батарей космических аппаратов. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности и надёжности систем энергообеспечения КА при одновременном снижении их веса и стоимости. Целью работы является разработка конструкции фитинга, обеспечивающего механическое крепление фотоэлектрических элементов и эффективный отвод тепла, с использованием САПР.

Космические аппараты (КА) играют ключевую роль в современном мире, обеспечивая связь, навигацию, дистанционное зондирование Земли и проведение научных исследований. Эффективность работы КА напрямую зависит от надежности и производительности его подсистем, в частности, систем энергообеспечения. Солнечные батареи (БС) являются основным источником энергии для большинства КА, преобразуя солнечный свет в электричество (рисунок 1). Качество работы БС во многом определяется конструкцией и качеством ее компонентов, включая сложные фитинги (рисунки 2, 3), служащие для механического крепления, электрического соединения и обеспечения теплового режима.

Традиционные методы производства этих фитингов, такие как литьё, механическая обработка и сварка, часто ограничивают возможности проектирования, усложняют технологический процесс и могут приводить к увеличению стоимости и сроков изготовления. В последние десятилетия стремительное развитие аддитивных технологий (АТ), также известных как 3D-печать, открыло новые горизонты в производстве сложных деталей с высокой геометрической точностью и оптимизированными характеристиками. АТ позволяют проектировать фитинги с учётом специфики космических условий, включая требования к прочности, устойчивости к перепадам температур и радиации, а также к малому весу. Представлен обзор различных аддитивных технологий, подходящих для изготовления фитингов БС, включая выбор материалов и оптимизацию технологий изготовления. Полученные результаты вносят вклад в развитие современных методов проектирования и производства космической техники, направленных на повышение эффективности и надежности космических аппаратов.

Солнечные батареи благодаря своим высоким удельным характеристикам, надежности, безопасности и, главное, прямому принципу преобразования фактически неисчерпаемой энергии Солнца служат основным первичным источником энергии для большинства космических аппаратов [1, 2]. Обширный опыт применения БС для КА привел к появлению значительного количества различных конструкторских решений исполнения каркасов и фотовосприимчивых электрогенерирующих частей (ФГЧ). [3]

Рис. 1. Солнечная батарея космического аппарата Психея

В большинстве своем крупные промышленные производства, предприятия машиностроительного, оборонного комплекса, работают с металлическими изделиями. Самые известные технологии – SLM, EBM, LENS, EBAM, Metal BJ, которые уже используются в промышленности, так и новые технологии – MCP, MHD (Material Jetting), MELD. [4,5]

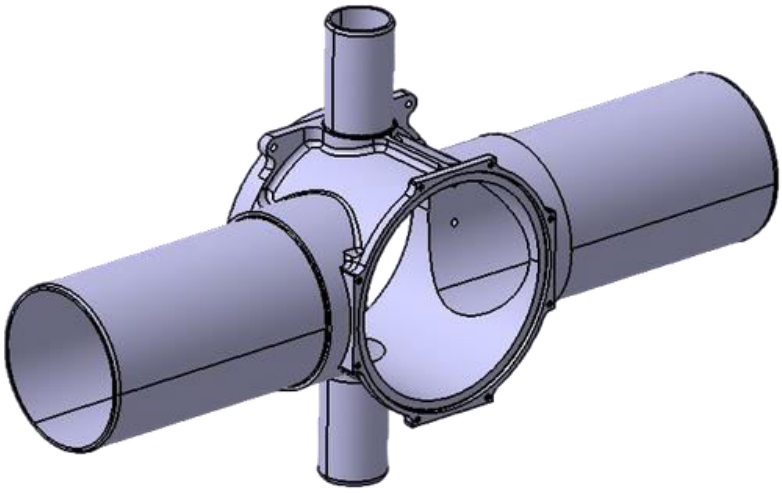


Рис. 2. Пример фитинга солнечной батареи

Аддитивное производство обладает преимуществами перед традиционными методами: свобода проектирования для создания сложных форм, оптимизация топологии для снижения веса, сокращение сроков производства, уменьшение отходов материала и возможность производства сложных конструкций с высокой точностью. Выбор материала для аддитивного производства фитингов СБ важен для обеспечения надежной работы в космосе. Используются алюминиевые и титановые сплавы (например, Ti-6Al-4V) из-за их легкости и прочности, а также композитные материалы.

Космическая индустрия активно внедряет АТ для производства различных компонентов, включая детали двигателей, корпуса, элементы конструкций и фитинги. Исследования и разработки направлены на улучшение материалов, оптимизацию процессов и создание новых конструктивных решений. Примеры успешного использования АТ включают применение 3D-печати компанией SpaceX для компонентов ракетных двигателей,

исследования ESA по производству лёгких конструкций и инвестиции NASA в новые материалы и технологии для космических аппаратов.

Несмотря на преимущества, существуют проблемы: необходимость сертификации и стандартизации, контроль качества, выбор материалов и стоимость. Потенциал АТ для улучшения фитингов солнечных батарей заключается в создании сложных форм, оптимизации веса, улучшении теплоотвода и повышении надёжности, что способствует повышению эффективности и срока службы солнечных батарей и КА в целом.

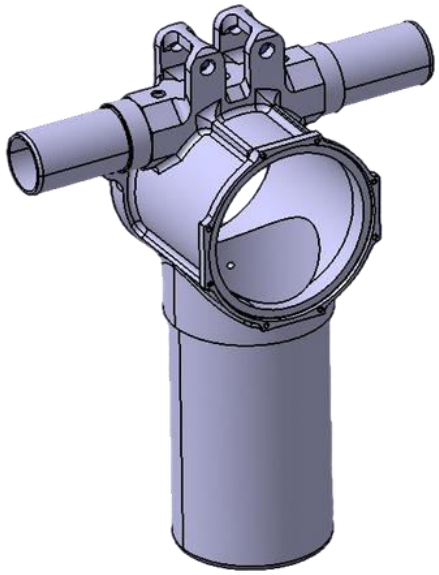


Рис. 3. Пример модели фитинга солнечной батареи

В качестве объекта исследования был выбран угловой крепежный элемент (рисунок 4), обеспечивающий механическое крепление фотоэлементов, ускорение процесса сборки и эффективный отвод тепла. Выбор конструкции обоснован функциональностью, спецификой применения в условиях космоса (минимизация веса, надежность при перепадах температур, устойчивость к вибрациям) и возможностями аддитивного производства для реализации сложных геометрических форм. Параметры проектирования включали габаритные размеры, форму с ребрами жесткости и отверстиями для крепления, материал (титановый сплав Ti-6Al-4V) и требуемую минимальную нагрузку на разрыв, максимальную рабочую температуру и минимальное время теплоотвода.

Проектирование осуществлялось в САПР Catia и включало создание 3D-модели, оптимизацию геометрии с помощью конечно-элементного анализа для анализа напряжений и деформаций, анализ прочности при статических и вибрационных нагрузках, анализ теплового режима с численным моделированием теплопередачи и, для дальнейшего снижения веса и повышения эффективности теплоотвода, оптимизацию топологии с помощью алгоритмов генеративного дизайна.

В САПР CATIA разработана 3D-модель углового крепежного элемента (рисунок 4), включающая ребра жесткости для оптимизации прочности при минимальном весе и отверстия для крепления. Конструкция предусматривает каналы для улучшения теплоотвода. Результаты анализа методом конечных элементов показывают, что фитинг выдерживает заданные нагрузки при запуске и эксплуатации КА с запасом прочности. Оптимизация топологии позволила снизить вес на 15%.

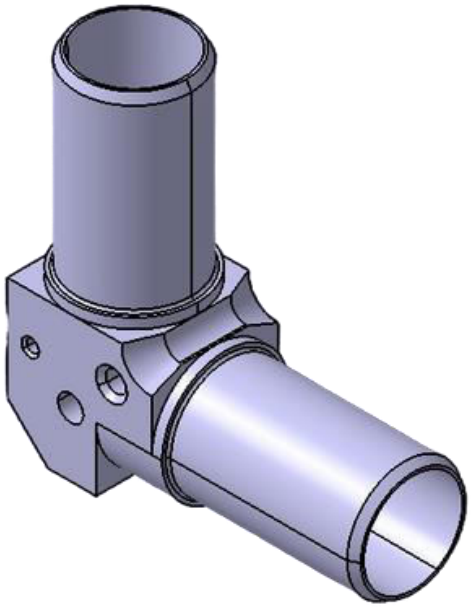


Рис. 4. Пример модели углового фитинга солнечной батареи

Результаты показывают, что АТ позволяют разрабатывать сложные фитинги для БС КА с оптимизированными характеристиками. Свобода проектирования АТ позволяет создавать геометрию, недоступную традиционным методам, для оптимизации прочности и веса. Оптимизация топологии с использованием алгоритмов генеративного проектирования позволяет создавать бионические структуры, обеспечивающие высокую прочность при минимальном расходе материала и снижающие вес фитинга.

Полученные результаты подтверждают перспективность АТ для фитингов БС. Ограничением является отсутствие этапа изготовления и испытаний, которые планируется провести в будущем. Также планируется исследование новых материалов и технологий АТ, например, применение графена для повышения теплопроводности. Сравнение с традиционными фитингами показывает снижение веса на 10-20% при повышении прочности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Слыщенко Е.В.* Обзор современных фотоэлектрических преобразователей космического назначения на основе соединений AIIIBV. / А.А. Наумова, А.А. Лебедев и др. // Сибирский журнал науки и технологий. 2018. Т. 19. № 2. С. 308-324.

2. *Наумова А.А.* Особенности создания и результаты испытаний экспериментальной солнечной батареи космического назначения с каркасом сотовой конструкции из углепластика. / А.А. Лебедев, Н.Т. Вагапова, М.Б. Каган, М.В Синева // Инженерный журнал: наука и инновации. 2020. Вып. 8.

3. *Рябцева М.В.* Анализ конструкций перспективных солнечных батарей космических аппаратов / А.А. Лебедев, А.А. Наумова, А.М. Болотин, Н.Т. Вагапова, П.Г. Черенков // Инженерный журнал: наука и инновации. 2022. №3 (123).

4. *Бордачев В.А.* Применения аддитивных технологий в ракетно-космической отрасли / В.А. Бордачев, Е.А. Рожкова // Машиностроение: новые концепции и технологии: Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Красноярск, 2022. С. 23-26.

5. *Рожкова Е.А.* Анализ аддитивных технологий в машиностроении и в разработке ракетно-космических комплексов / Е.А. Рожкова, А.В. Кустов // Механики XXI веку. 2023. № 22. С. 113-117.

ADDITIVE MANUFACTURING OF COMPLEX FITTINGS FOR SPACE VEHICLE SOLAR CELLS

Rozhkova E.A.
Supervisor: Kustov A.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk)

Abstract. The article discusses the use of additive technologies for designing complex fittings for solar panels of spacecraft. The relevance of the study is due to the need to improve the efficiency and reliability of spacecraft power supply systems while reducing their weight and cost. The aim of the work is to develop a fitting design that provides mechanical fastening of photovoltaic elements and efficient heat dissipation, using CAD.

УДК 621.9.048.7

ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРАДИЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

Сурин Л.Е.
Научный руководитель: Горунов А.И., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Рассмотрен метод создания функционального градиентного материала из сплава ВТ6/Та в соотношении 95%/5% на установке селективного лазерного плавления. Варьирование мощности лазера позволило получить сплавы с переменной пористостью. Небольшие значения мощности излучения позволяют получить мелкодисперсную структуру образца, при изготовлении образцов из тантала более мелкой фракции – образцы не имели необходимой пористости.

В течение последних лет в медицине сильно возрос спрос на создание сложных пористых материалов методом аддитивных технологий [1]. Наиболее высокий интерес проявляется к черепным, тазобедренным и спинальным имплантатам. Структура имплантата может быть полностью пористой или пористая структура может быть нанесена на его внешнюю поверхность [2]. Такая структура создается для того, чтобы обеспечить более легкое врастание кости в имплантат. Использование сплава ВТ6 обосновано тем, что он уже активно используется при производстве имплантатов с помощью аддитивных технологий. [3]

По своей структуре кости подразделяют на трабекулярные (губчатые) и кортикальные (компактные). Сложная структура костей обеспечивает их высокие прочностные характеристики, при этом сохраняя их низкий вес. Значения пористости трабекулярных костей варьируется в пределах от 50 до 90%. Кортикальные в свою очередь имеют пористость около 3-5% [4]. Механические свойства костной ткани могут меняться в зависимости от возраста, состояния ткани и ее анатомического расположения.

Метод селективного лазерного плавления отлично зарекомендовал себя в других исследованиях по производству имплантатов из титанового сплава ВТ6. Создание пористой структуры имплантатов обеспечивает уменьшение их веса, при этом не жертвуя прочностными характеристиками. Размер пор задается с помощью регулирования мощности излучения через программное обеспечение 3D-принтера.

Для имплантации металл должен обладать высокой биосовместимостью с человеческими тканями, способностью к остеоинтеграции, а также механическими свойствами, близкими к свойствам костной ткани. Для улучшения приживаемости имплантатов используется тантал. [5]

В работе использовались сферические порошки сплава ВТ6 (фракция 45-106 мкм) и тантала ТаПМ (фракция >63 мкм и <63 мкм). Перед использованием порошки прошли процесс подготовки, который включает в себя просеивание при помощи специальной просеивающей машины Haver & Boecker EML 200 digital plus, сушку при 60°С и смешивание в соотношении 95/5% во встряхивающем смесителе TURBULA T2F. После подготовки порошка следующим этапом является наплавка образцов при помощи 3D-принтера InssTek MX-Mini по технологии DMD. Мощность лазерного излучения варьировалась в диапазоне 30-150 Вт, скорость подачи составляла 0.85 мм/мин. Образцы изготовлены в виде стенок для проверки подобранных режимов и кубов (10×10×5 мм) для последующего анализа. Микроструктура исследовалась на инвертированном микроскопе ZEISS AXIO Observer.A1m. Измерение микротвердости проводилось на твердомере Instron Wilson Hardness Tukon 2500 по методу Виккерса при нагрузке 0.2 Н. Пористость определялась методом анализа изображений в программном обеспечении ZEN.

Для проверки подобранных режимов перед печатью основных образцов изготовлены стенки (рис. 1), которые после печати отправлены на пробоподготовку. Процесс включает в себя следующие этапы:

– распил образцов;

– изготовление цилиндрических образцов из углеродного компаунда с помощью автоматического пресса SimpliMet XPS1 для горячей прессовки от компании Buehler;

– шлифовка и полировка образцов на шлифовально-полировальном станке Buehler EcoMet 300 Pro;

– электрохимическое травление фтороводородной кислотой.

Рис. 1. Напечатанные стенки

Прошедшие пробоподготовку образцы (рис. 2) отправлены на исследование микроструктуры на инвертированном микроскопе AXIO Observer.A1m от компании ZEISS. Исследование показало, что при использовании порошковой смеси с мелкими частицами тантала у образцов не образуется пористой структуры. Помимо этого, такой мелкий порошок тантала неудобен в работе, так как частицы тантала слипались и образовывали комки, которые могли привести к засорению питателей принтера. В связи с этим сделан вывод, что использование данной порошковой смеси для получения функциональных градиентных материалов с пористой структурой является нецелесообразным.

Рис. 2. Обработанные образцы

Далее исследованы образцы, изготовленные из порошковой смеси с крупными частицами тантала (>63 мкм). Исследование микроструктуры данных образцов показало, что при значениях мощности лазерного излучения ниже 100 Вт пористость образцов начинает увеличиваться и при достижении мощности в 50 Вт снижается адгезия, образец перестает

закрепляться на подложке, что может приводить к браку при производственном процессе. В связи с этим сделан вывод, что для изготовления кубических образцов (рис. 3) наиболее подходящей порошковой смесью будет смесь титана ВТ6 и тантала ТаПМ с фракцией тантала более 63 мкм. Для изучения выбрано 3 образца, напечатанных при мощности лазерного излучения 70 и 50 Вт. Образец №2 изготовлен при мощности лазерного излучения 70 Вт на тонкой подложке из титанового сплава ВТ6, образец №4 – при мощности лазерного излучения 70 Вт на пластине из титанового сплава ПТ3В, образец №5 – при мощности лазерного излучения 50 Вт на пластине из ПТ3В. Причиной смены подложки послужила ее термическая деформация при воздействии излучения во время печати.

При исследовании микроструктуры (рис. 4) образцов обнаружены нерасплавленные частицы порошка тантала. При исследовании твердости сделано 6 уколов индентером, по 3 в частицы тантала и по 3 в титан. Для образца №2 средняя твердость титана составила 383 HV, для тантала – 262 HV. Для образца №4 средняя твердость титана – 408 HV, для тантала – 268 HV. Твердость образца №5 для титана составила – 421 HV, для тантала – 284 HV.

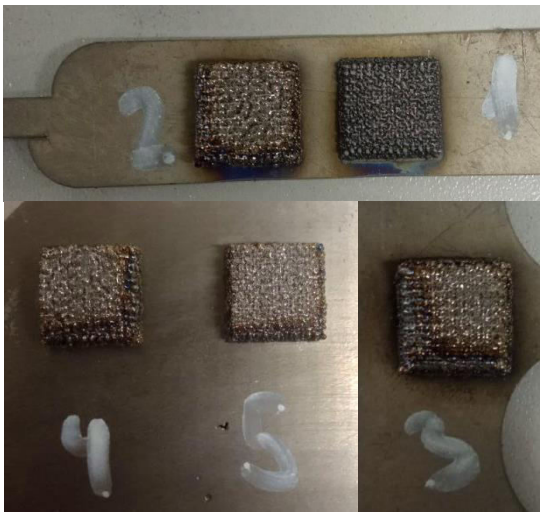
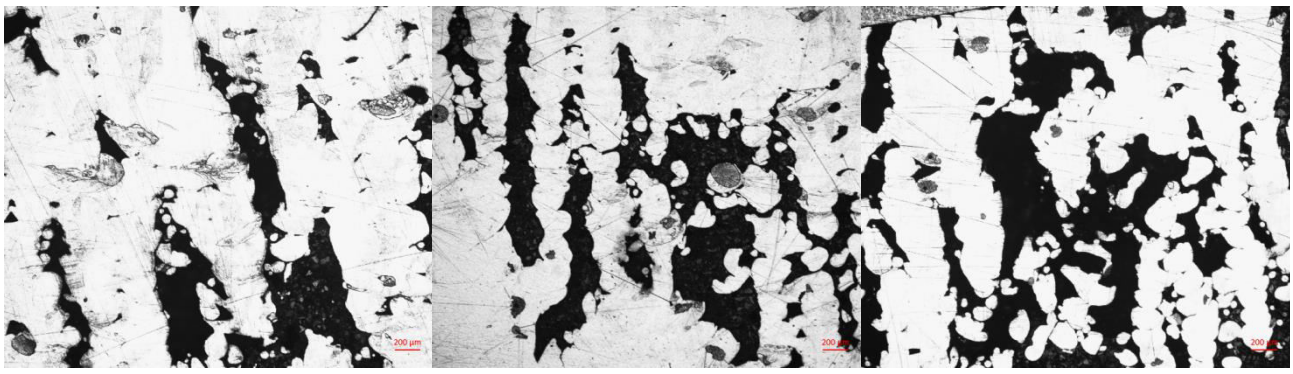


Рис. 3. Напечатанные кубические образцы



а) б) в)

Рис. 4. Микроструктура образцов: а) при мощности излучения 50 Вт на тонкой подложке;
б) при мощности излучения 70 Вт на толстой подложке;
в) при мощности излучения 50 Вт на толстой подложке

После исследования микроструктуры и микротвердости образцов они были отправлены на исследование пористости (рис. 5), которое проводилось с помощью ПО ZEN – модульного программного обеспечения для получения, обработки и анализа изображений для цифровой микроскопии. Само измерение производилось с помощью функции Analyze, которая заменяет темные участки изображения на красные, площадь которых потом подсчитывается и по формуле (1) вычисляется процент пористости.

$$P = \frac{S_p}{S_I} * 100, \quad (1)$$

где S_p – общая площадь пор, S_I – общая площадь изображения.

Для получения более объективного значения пористости было произведено по 4 измерения для каждого образца. После чего были получены следующие результаты:

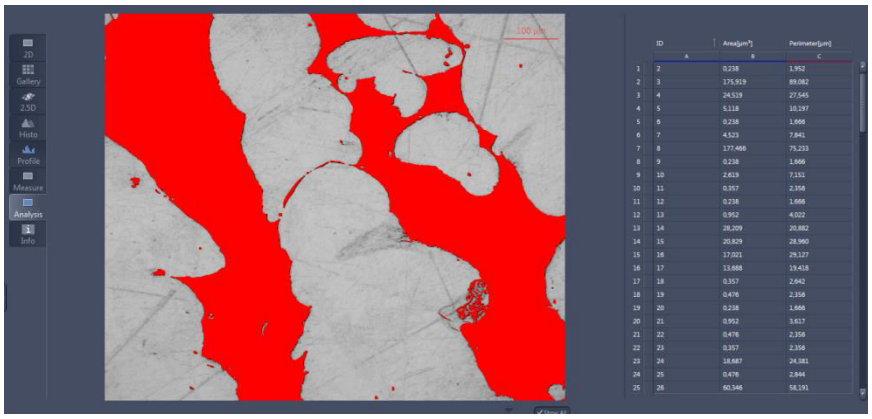


Рис. 5 Анализ пористости одной из зон образца №2

Для образца под номером 1 значение пористости составило 25,7%, для образца под номером 2 – 32,3%, для образца под номером 3 – 31,8%.

Таким образом, получен функциональный градиентный материал с пористой структурой из порошковой смеси титанового сплава ВТ6 (Ti-6Al-4V) с добавлением тантала в соотношении 95% титана и 5% тантала. Материал получен методом прямого лазерного нанесения. Подобраны режимы, при которых получался стабильный результат в получении образцов с пористой структурой, близкой к структуре костной ткани. При исследовании микроструктуры напечатанных образцов обнаружены нерасплавленные частицы порошка тантала, что уменьшало прочностные характеристики образца в этой области. Пористость полученных образцов при использовании лазерного излучения мощностью 70 Вт составила 32,3%, что сопоставимо со значениями пористости костной ткани.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Matsko A., França R.* Design, manufacturing and clinical outcomes for additively manufactured titanium dental implants: A systematic review // Dentistry Review. – 2022. – V. 2. – Art. 100041.

2. *Li Y., Jahr H., Zhou J., Zadpoor A.A.* Additively manufactured biodegradable porous metals // Acta Biomaterialia. – 2020. – V. 115. – P. 29–50.

3. *Yin C., Zhang T., Wei Q., et. al.* Surface treatment of 3D printed porous Ti6Al4V implants by ultraviolet photofunctionalization for improved osseointegration // Bioactive Materials. – 2022. – N 7. – P. 26–38.

4. *Rho J.-Y., Kuhn-Spearing L., Zioupos P.* Mechanical properties and the hierarchical structure of bone // Medical Engineering and Physics. – 1998. – V. 20. – P. 92–102;

5. *Balla V.K., Bose S., Davies N.M., Bandyopadhyay A.* Tantalum-A bioactive metal for implant, Jom-Us, 2010, V. 62, pp. 61–64;

OBTAINING FUNCTIONAL GRADIENT MATERIALS BY LASER SURFACE DEPOSITION

Surin L.E.

Supervisor: Gorunov A.I., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The method of creating a functional gradient material from the VT6/Ta alloy in the ratio of 95%/5% on a selective laser melting unit is considered. Varying the laser power allowed obtaining alloys with variable porosity. Small values of the radiation power allow obtaining a finely dispersed structure of the sample, when producing samples from tantalum of a finer fraction - the samples did not have the necessary porosity.

УДК 678-419:004.925.84

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПО ТЕХНОЛОГИИ SLA ПЕЧАТИ

Шафигуллин Л.Н., Романова Н.В., Габдрахманов А.Т.
(Набережночелнинский институт (филиал)
Казанского Федерального Университета, г. Набережные Челны)

Аннотация. Приводится обоснование выбора целевых изделий для изготовления фотополимерной печатью. Представлены данные по калькуляции затрат на изготовление 3D макетов для литейного производства по технологии SLA печати. Описаны результаты 3D сканирования, полученных 3D печатью деталей. Даны рекомендации по применению SLA печати в промышленном секторе.

Метод стереолитографии (SLA) является одним из методов 3D-печати, который использует светочувствительную смолу для создания объектов путем полимеризации слоя за слоем [1 - 11]. Целевыми изделиями в мире для которых используется метод SLA являются: модели с высокой детализацией; ювелирные изделия и протезы; прототипы функциональных деталей; микромоделирование. Общим обоснованием выбора SLA-печати для указанных целевых изделий является ее способность достичь высокого разрешения, точности и качества поверхности. SLA-печать предоставляет возможность создания сложных и подробных моделей, что делает ее предпочтительным методом для требовательных приложений, где важны детализация и точность. На основе анализа мирового опыта использования SLA-печати в качестве объектов для автомобильной промышленности выбраны модели с высокой детализацией и прототипы функциональных деталей [12 - 13].

В качестве моделей с высокой детализацией и точность выбрана 3D макета литейной оснастки под номенклатурными номерами 51-0214-6443-003 (0000-23), 51-0214-6443-004 (0000-23), 51-0214-6444-003 (0000-23), 51-0214-6444-004 (0000-23) применяемой на основном производстве Литейного завода ПАО КАМАЗ.

Основная цель литейного производства – изготовление отливок, максимально соответствующих по форме и размерам конечному изделию. Для получения качественных отливок на производстве используется специальная литейная оснастка - литейные формы, и от качества их исполнения и особенностей конструкции в большой степени зависит не только качество конечного изделия, но и трудозатраты на производство.

Основными производственными требованиями к материалу литейной оснастки являются: прочность на изгиб не менее 70 МПа; компрессионная прочность не менее 80 МПа; податливость; газопроницаемость; температурная деформация не менее 70 °С; коэффициент теплового расширения 50-55 10^{-6} $К^{-1}$.

В автомобилестроении модели отливок в пластмассовых формах в последнее время получили широкое развитие, в связи с применением 3D технологий, которая способствует получению отливок с высоким качеством и точностью.

Наиболее подходящим материалам для SLA-печати является фотополимерная смола CHR9600W-A. Согласно техническому заданию на изготовления оснастки точность изготовления SLA печати должна составить не более 0,05 мм. В этой связи в качестве оборудования для печати выбран стереолитографический 3D-принтер CHPro600HD производства ChanHonTech (КНР), находящийся в лаборатории прототипирования КФУ ПИШ КиберАвтоТех.

На рисунках 1 - 4 представлена литейная оснастка, изготовленной по технологии SLA.

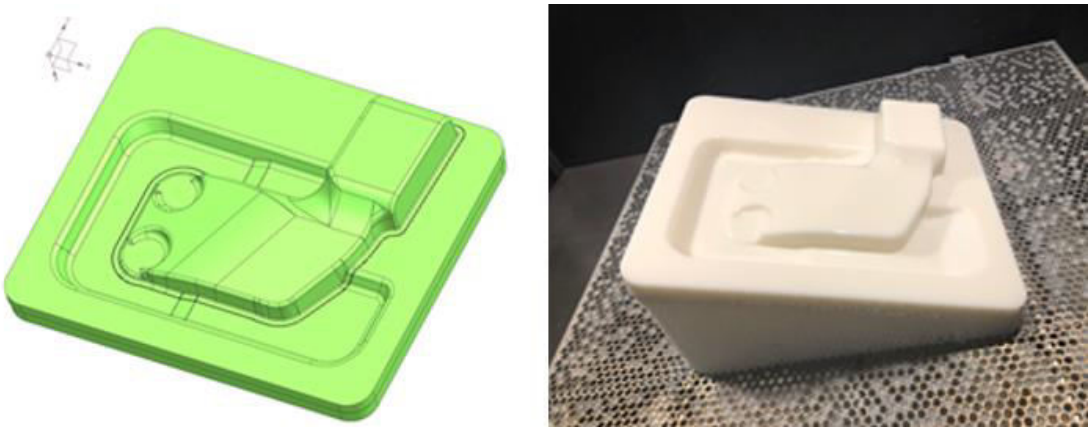


Рис. 1. 3D модель и внешний вид литейной оснастки 51-0214-6443-003 (0000-23)

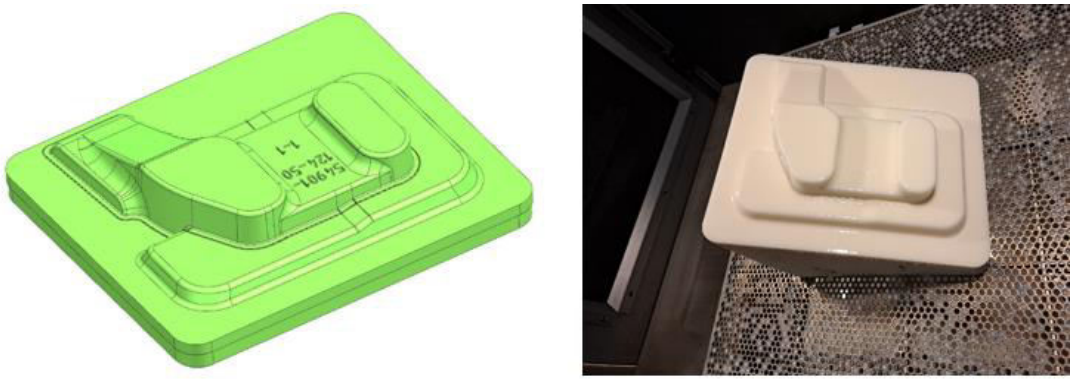


Рис. 2. 3D модель и внешний вид литейной оснастки 51-0214-6443-004 (0000-23)

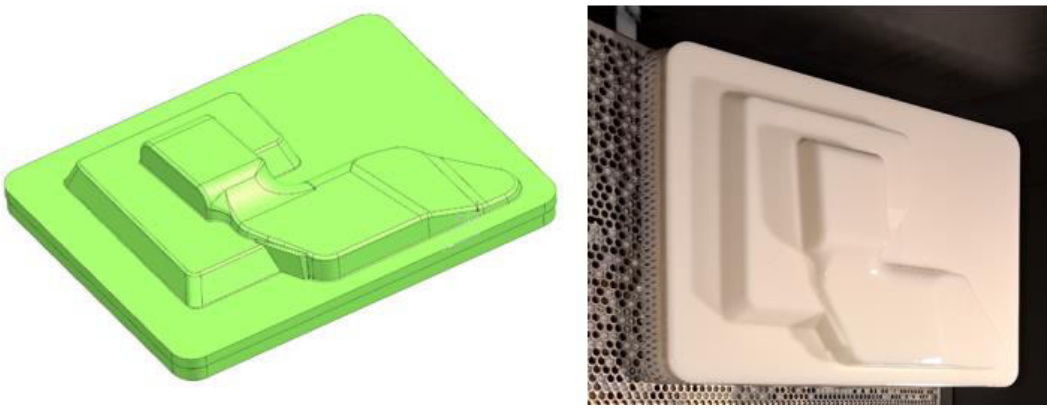


Рис. 3. 3D модель и внешний вид литейной оснастки 51-0214-6444-003 (0000-23)

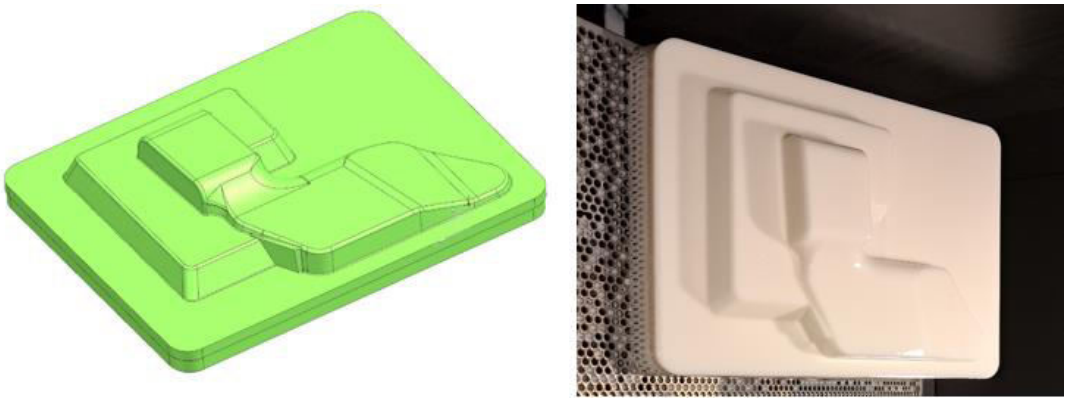


Рис. 4. 3D модель и внешний вид литейной оснастки 51-0214-6444-004 (0000-23)

Для оценки эффективности применения проведен расчет стоимостных характеристик применяемой технологии. В таблицах 1 – 4 представлена калькуляция затрат на изготовление 3D макетов по технологии SLA в лаборатории ПИШ КиберАвтоТех.

Сравнение стоимости 3D макетов оснастки с традиционными технологиями представлено в таблице 5. Как следует из данных представленных в таблице 5 изготовление 3D макетов литейной оснастки из традиционного модельного пластика дешевле на 25 %, но при этом срок изготовления дольше (минимум на 1,5 месяца). Если проводить сравнительный анализ с металлической оснасткой, то преимущество изготовление макетов аддитивными технологиями более очевидны.

Таблица 1

Калькуляция затрат на изготовление 3D макета - оснастка 51-0214-6443-003

№	Наименование затрат	Ед. изм.	Кол-во	Цена, руб.	Сумма, руб.
1	Материалы (ABS подобная фотополимерная смола)	кг	2,325	5 456,48	12 686,32
2	Основная заработная плата	час	0,54	250,61	135,33
3	Начисления на заработную плату	-	-	-	40,87
4	Электроэнергия	кВт·ч	24,69	6,91	170,61
5	Амортизация оборудования	час	12,50	104,48	1 306,00
6	Накладные расходы	-	-	-	2 688,58
7	Плановые накопления	-	-	-	896,19
8	Цена без НДС	-	-	-	17 923,90
9	НДС	-	-	-	3 584,78
10	Цена с учетом НДС	-	-	-	21 508,68

Таблица 2

Калькуляция затрат на изготовление 3D макета - оснастка 51-0214-6443-004

№	Наименование затрат	Ед. изм.	Кол-во	Цена, руб.	Сумма, руб.
1	Материалы (ABS подобная фотополимерная смола)	кг	3,567	5 456,48	19 463,26
2	Основная заработная плата	час	0,54	250,61	135,33
3	Начисления на заработную плату	-	-	-	40,87
4	Электроэнергия	кВт·ч	28,37	6,91	196,04
5	Амортизация оборудования	час	14,34	104,48	1 498,24
6	Накладные расходы	-	-	-	4 000,08
7	Плановые накопления	-	-	-	1 333,36
8	Цена без НДС	-	-	-	26 667,18
9	НДС	-	-	-	5 333,44
10	Цена с учетом НДС	-	-	-	32 000,62

Таблица 3

Калькуляция затрат на изготовление 3D макета - оснастка 51-0214-6444-003

№	Наименование затрат	Ед. изм.	Кол-во	Цена, руб.	Сумма, руб.
1	Материалы (ABS подобная фотополимерная смола)	кг	4,352	5 456,48	23 746,60
2	Основная заработная плата	час	0,54	250,61	135,33
3	Начисления на заработную плату	-	-	-	40,87
4	Электроэнергия	кВт·ч	35,83	6,91	247,59
5	Амортизация оборудования	час	18,07	104,48	1 887,95
6	Накладные расходы	-	-	-	4 885,94
7	Плановые накопления	-	-	-	1 628,65

8	Цена без НДС	-	-	-	32 572,93
9	НДС	-	-	-	6 514,59
10	Цена с учетом НДС	-	-	-	39 087,52

Таблица 4

Калькуляция затрат на изготовление 3D макета - оснастка 51-0214-6444-004

№	Наименование затрат	Ед. изм.	Кол-во	Цена, руб.	Сумма, руб.
1	Материалы (ABS подобная фотополимерная смола)	кг	4,189	5 456,48	22 857,19
2	Основная заработная плата	час	0,54	250,61	135,33
3	Начисления на заработную плату	-	-	-	40,87
4	Электроэнергия	кВт·ч	33,83	6,91	233,77
5	Амортизация оборудования	час	17,07	104,48	1 783,47
6	Накладные расходы	-	-	-	4 696,99
7	Плановые накопления	-	-	-	1 565,66
8	Цена без НДС	-	-	-	31 313,28
9	НДС	-	-	-	6 262,66
10	Цена с учетом НДС	-	-	-	37 575,94

Таблица 5

Сравнительная таблица изготовления 3D макетов литейной оснастки

Параметр	Аддитивная технология	Традиционная технология
Срок изготовления	7 дней	- 6-9 месяцев (из металла) 1-2 месяца (из пластика)
Срок доработки оснастки	7 дней	1-2 месяца
Затраты	108,5 тыс. руб	- 1,5 млн. руб (из металла) - 81,4 тыс. руб (из пластика)

На рисунках 5-8 представлены результаты 3D сканирования макетов литейной оснастки изготовленных аддитивными технологиями для проверки точности изготовления.

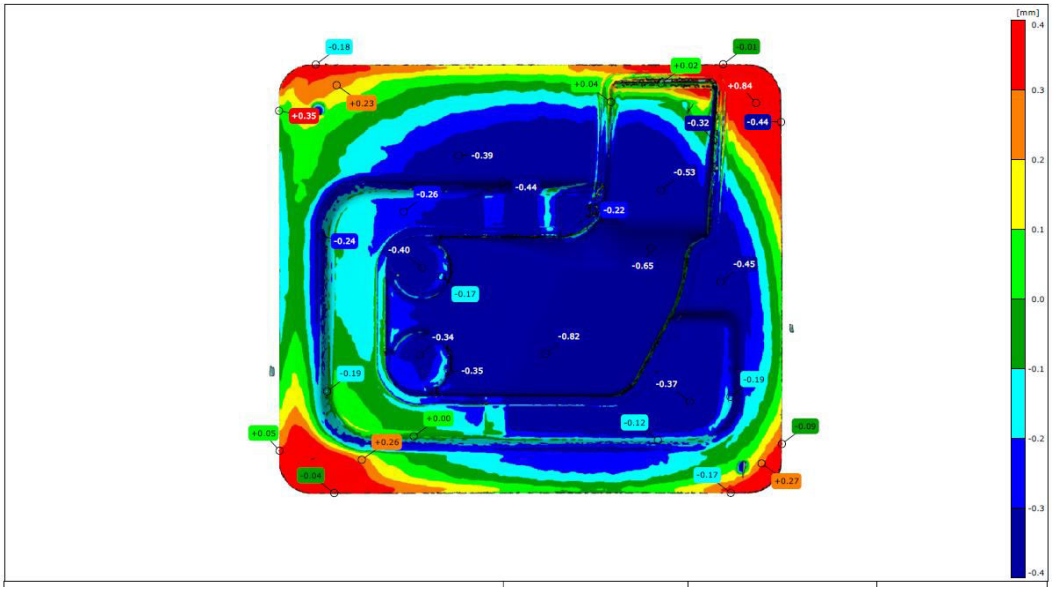


Рис. 5. Результаты 3D сканирования 3D макета – оснастка 51-0214-6443-004

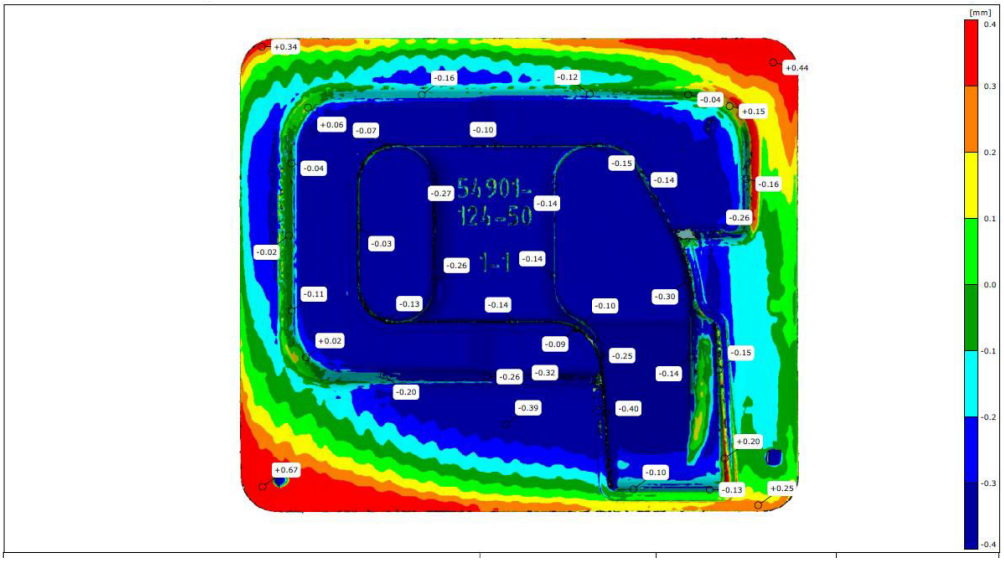


Рис. 6. Результаты 3D сканирования 3D макета – оснастка 51-0214-6443-003

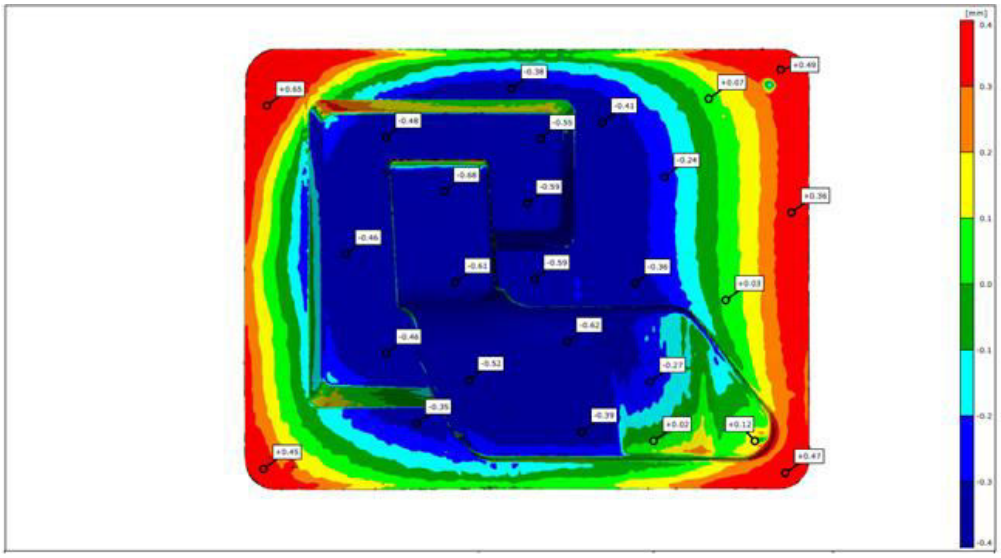


Рис. 7. Результаты 3D сканирования 3D макета – оснастка 51-0214-6444-00

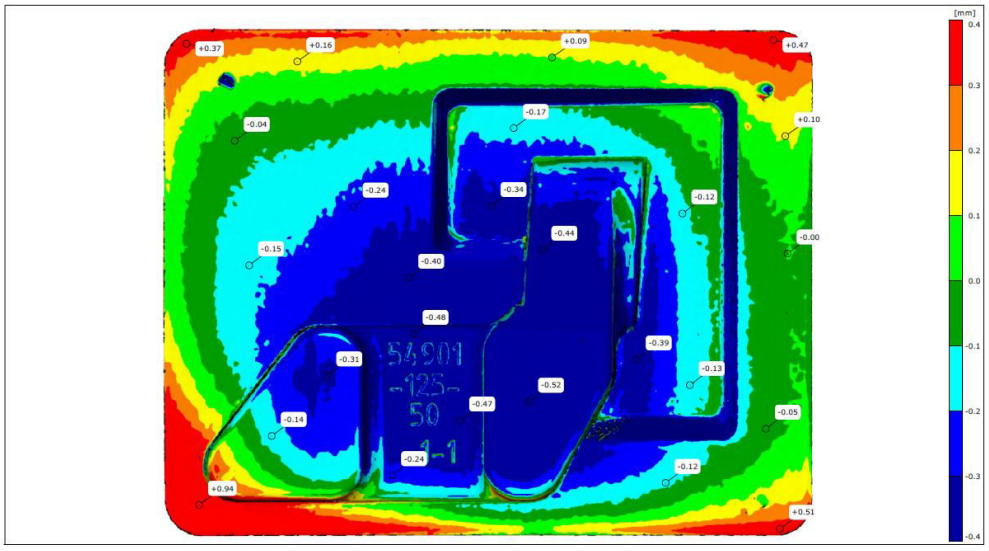


Рис. 8. Результаты 3D сканирования 3D макета – оснастка 51-0214-6444-004

Анализ результатов 3D сканирования выявил следующее:

1. Коробление выращенных моделей составляет около 0,8 мм;

2. Не выполнена высота врезки моделей, при требуемой высоте врезки во вкладыш 25,1 мм получен размер 24,6-24,7 мм;

3. Не выполнена геометрия («врезка-болван») и на модели верха и модели низа в «-» 0,4 мм. Суммарная потеря размера 0,8 мм. В результате не возможна сборка формы;

4. Формообразующая геометрия самой отливки и на модели верха и модели низа выполнена в «-» 0,2-0,4 мм при допуске ±0,05 мм;

5. Шероховатость полученных выращенных моделей до R_a 12,5 при требуемой R_a 0,4. Потребуется полировка модели, что повлечет за собой дополнительное уменьшения размеров.

Отклонения точности деталей, по-видимому, связаны с усадкой материала в процессе печати. При больших размерах выращиваемых моделей (более 100 мм), большой толщины стенке (более 10 мм) и массе (более 0,5 кг.), невозможно учесть температурные деформации материала (фотополимерной смолы), применяемой для SLA печати. В этой связи SLA печать имеет физические ограничения по изготовлению массивной модельной оснастки и может быть рекомендована для изготовления приспособлений сборной сложной геометрической формы.

В качестве целевых изделий для изготовления методом SLA эффективно применение для изготовления прототипов функциональных изделий.

Требования, предъявляемые к деталям прототипам: возможность единичного или мелкосерийного производства; быстрое прототипирование, в связи с частым изменением конструкторскую документацию, вносимыми потенциальными заказчиками продукции; малая масса; высокая точность изготовление (отклонение не более 0,1 мм); высокая коррозионная стойкость; удовлетворительные физико-механические свойства; более низкая стоимость по сравнению деталями, изготавливаемыми по технологиям производства единичных изделий (к примеру литье в силиконовые формы).

Данным критериям соответствует изготовление деталей аддитивными технологиями SLA из фотополимерной смолы.

Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан (соглашение № 49/2024-ПД от 16.12.2024 г.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Pham D., Gault R.* A comparison of rapid prototyping technologies// International Journal of Machine Tools and Manufacture. 1998. № 38. С. 1257-1287.

2. *Simchi A., Pohl H.* Direct laser sintering of iron-graphite powder mixture// Materials Science and Engineering. 2004. № A 2. С. 191- 200.

3. *Kruth J.P., van der Schueren B., Morren B.* Basic powder metallurgical aspects in selective metal powder// CIRP Annals - Manufacturing Technology. 1996. № 1. С. 183-186.

4. Bending fatigue life characterisation of direct metal laser sintering nickel alloy 718 / *Scott-Emuakpor O., Schwartz J., George T., Holycross C., Cross C., Slater J.* // FFEMS. 2015. № 9. С. 1105-1117.

5. *Schmidt M., Pohle D., Rechtenwald T.* Selective laser sintering of peek// CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2007. № 56. С. 205-208.

6. *Hon K.K.B., Gill T.J.* Selective laser sintering of sic/polyamide composites// CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2003. № 1. С. 173-176.

7. *Hopkinson N., Majewski C.E., Zarringhalam H*. Quantifying the degree of particle melt in selective laser sintering// CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2009. № 1. С. 197-200.

8. Preparation and selective laser sintering of nylon-12-coated aluminum powders/ *Yan C.Z., Shi Y.S., Yang J.S., Xu L.*// Journal of Composite Materials. 2009. № 17. С. 1835-1851.

9. *Gu D., Wang H., Zhang G.* Selective laser melting additive manufacturing of tibased nanocomposites: The role of nanopowder // Metallurgical and Materials Transactions. 2014. № A 1. С. 464-476.

10. Direct selective laser sintering of metals/ *Agarwala M., Bourell D., Beaman J., Marcus H., Barlow J.*// Rapid Prototyping Journal. 1995. № 1. С. 26-36.

11. *Paesano A.* Polymeric Additive Manufacturing: Present Status and Future Trends of Materials and Processes// Boeing Technical Journal. 2016. С. 1-12.

12. *Сацкая З.М.* О развитии аддитивных технологий в России// Аддитивные технологии. 2021. № 3. С. 16–20.

13. Проектирование звукопоглощающих сотовых материалов с геометрией трижды периодических поверхностей минимальной энергии (ТППМЭ)/ *Сысоев Е.И., Сычев М.М., Шафигуллин Л.Н., Дьяченко С.В.* //Акустический журнал. № 5. С. 765-777.

MANUFACTURING FOUNDRY PARTS USING SLA PRINTING TECHNOLOGY

Shafigullin L.N., Romanova N.V., Gabdrakhmanov A.T.

(Naberezhnye Chelny Institute (branch) of Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny)

Abstract. Provides a rationale for choosing target products for manufacturing by photopolymer printing. It presents data on the cost calculation for manufacturing 3D models for foundry production using SLA printing technology. It describes the results of 3D scanning obtained by 3D printing of parts. It provides recommendations for using SLA printing in the industrial sector.

УДК 621.791

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ 3D ПЕЧАТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

Шварц И.В.

Научный руководитель: Гильмутдинов А.Х., д. ф.-м. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе приводится пример использования технологии лазерного сканирования для определения оптимальных параметров 3D печати образцов из нержавеющей стали. Для изготовления металлических образцов используется наиболее распространённая технология 3D печати, а именно процесс прямого лазерного выращивания. На основе геометрических данных, полученных в результате лазерного сканирования образцов, выявлена зависимость высоты и ширины наплавочных слоев от мощности, скорости и массового расхода порошка. Дальнейший анализ выявленных зависимостей позволил установить оптимальные параметры лазерного выращивания образцов из нержавеющей стали, удовлетворяющие требованиям изначально заданной геометрии.

Одним из прогрессивных методов создания новых изделий и материалов является активно развивающиеся способы 3D печати. Технологии 3D печати или аддитивные технологии по сравнению с традиционными способами изготовления (литьё, обработка давление, сварка и т.д.) обладают рядом значительных преимуществ, расширяющих возможности проектирования, конструирования и создания новых изделий [1]. К основным достоинствам можно отнести проектирование изделий со сложной внутренней структурой, получение деталей с градиентным химический составов и переменными физико-механическими свойствами. В области машиностроения одним из распространённым методов 3D печати является процесс прямого лазерного выращивания. Данный способ уже

зарекомендовал себя как эффективны метод для формирования изделий, восстановления изношенных поверхностей, а также в непосредственном синтезе новых материалов и покрытий [2]. На рис. 1. представлена схема процесса прямого лазерного выращивания.

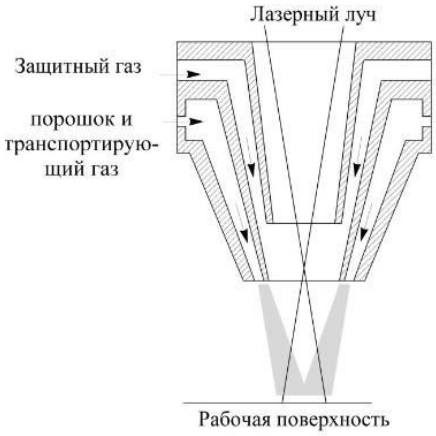
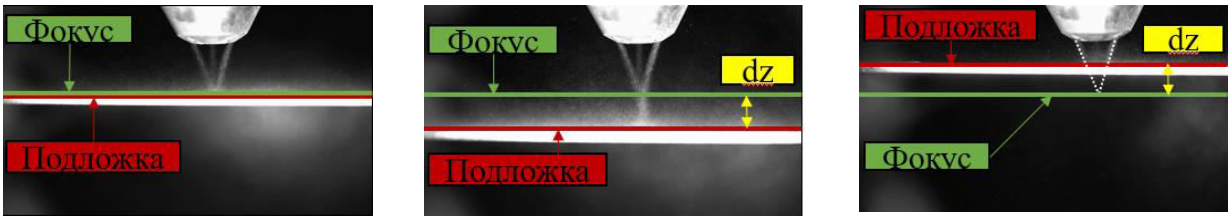


Рис. 1. Схема процесса прямого лазерного выращивания [3]

Процесс формирования или аддитивного выращивания новых изделий и материалов согласно представленному методу, заключается в послойном расплавлении металлической порошковой композиции с помощью лазерного излучения. При этом, зона выращивания защищена от воздействия окружающей атмосферы с помощью защитного инертного газа.

Одной из трудностей при эксплуатации установок для прямого лазерного выращивания является определений области допустимых параметров обработки различных материалов и сплавов, удовлетворяющих требованиями конструкторской документации. В основном, при разработке новой технологии и отработке параметров режимов работы установки проводят серию экспериментов, а после значительную часть времени занимает пробоподготовка и анализ полученных образцов. При этом, одним из показателей стабильности формирования покрытий и изделий при прямом лазерном выращивания является постоянство расстояния между соплом и изделием, т.е. фокусом – место, где газопорошковая смесь встречается с лазерным излучением, образую слой расплавленного металла. Это расстояние является регламентированным производителем, однако в процессе выращивании и при отсутствии обратной связи для некоторых типов установок, фокусное расстояние может смещаться относительно подложки – площадки выращивания, при этом будем происходить снижение массового расхода в ванну расплава. На рис. 2 показаны возможные положение фокуса относительно подложки.



а) б) в)

Рис. 2. Смещение фокуса относительно подложки:
а) фокус на подложке; б) фокус выше подложки; в) фокус ниже подложки

В данной работе предлагается применить технологию лазерного сканирования для определения геометрии образцов, а также для последующего анализа и сопоставления полученных данных с заданной геометрией для выявления области допустимых параметров выращивания.

В таблице 1 приведены варьируемые параметры установки для прямого лазерного выращивания образцов из нержавеющей стали.

Таблица 1

План экспериментов

№	Мощность лазера, W	Массовый расход порошка, rev/min	Скорость, mm/min
1	250	200	0,65
2	250	200	0,85
3	250	300	0,65
4	250	300	0,85
5	250	400	0,65
6	250	400	0,85
7	300	200	0,65
8	300	200	0,85
9	300	300	0,65
10	300	300	0,85
11	300	400	0,65
12	300	400	0,85
13	350	200	0,65
14	350	200	0,85
15	350	300	0,65
16	350	300	0,85
17	350	400	0,65
18	350	400	0,85
19	350	450	0,85
20	350	450	0,65

В качестве геометрии выращивания были выбраны стенки толщиной 2 мм, высотой 4 мм, длинной 20 мм. На основе сканированных данных были построены интерполяционные зависимости геометрии образцов от параметров их выращивания, которые приведены на рис.3.

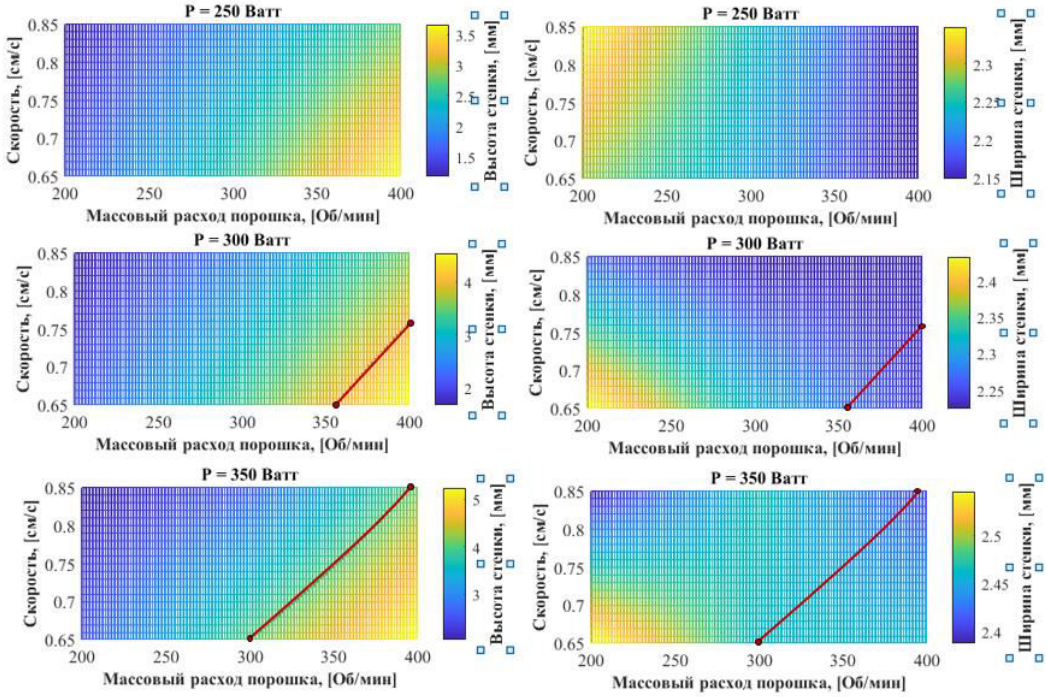


Рис. 3. Интерполяционные зависимости геометрии образцов
от параметров режима выращивания

Данные зависимости позволили выявить области параметров выращивания обеспечивающих заданную геометрию образцов равную 4 мм. На рис. 4 данные области отмечены красной линией. Для проверки правильности определения данной области были выполнены эксперименты согласно алгоритму, приведённому на рис.4.

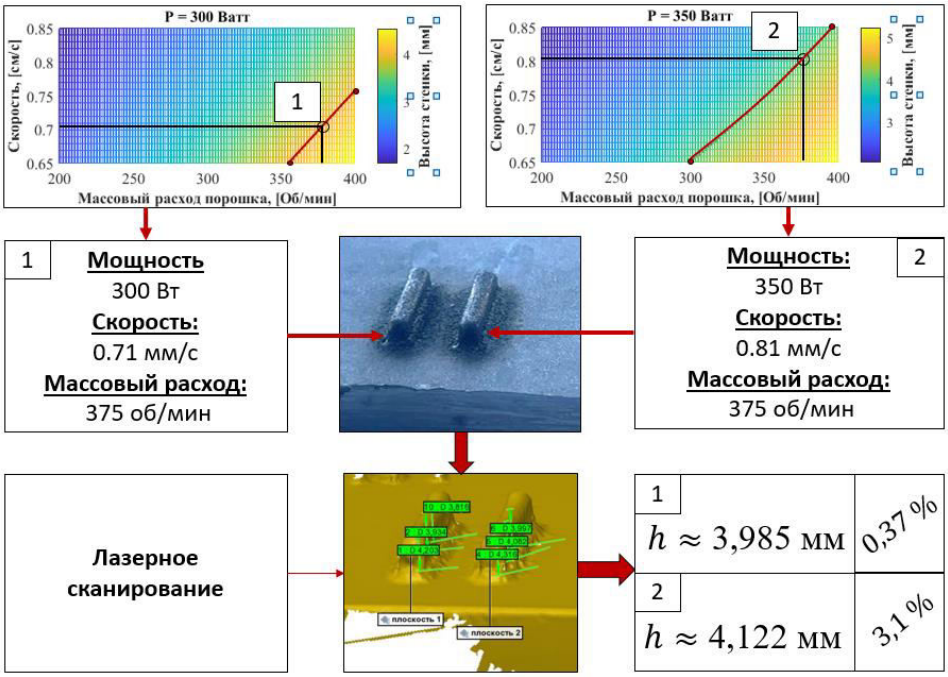


Рис.4. Схема процесса прямого лазерного выращивания

Согласно схеме, приведённой на рис. 4. были выбраны произвольные параметры режима из выявленной области допустимых параметров выращивания обеспечивающих высоты образцов в 4 мм. Эти образцы были выращены и сопоставлены с аналитическими данными. В результате относительная погрешность результатов составляет менее 5%.

Результаты показали, что технология лазерного сканирования может применяться для определения оптимальной области работы установок для прямого лазерного выращивания. Проведенные эксперименты показали точность в пределах 5%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кравченко Е.Г.* Аддитивные технологии в машиностроении: учебное пособие / Е.Г. Кравченко, А.С. Верещагина, В.Ю. Верещагин. – Комсомольск-на-Амуре: КНАГУ, 2018. – 140 с.

2. *Yuezhang Ju, Chengning Li, Xiaocong Yang, Lingzhi Ba, Ying Wang, Xinjie Di.* Recent progress on additive manufacturing of steel-based functionally graded materials, Materials Today Communications, Volume 40, 2024, 109953, https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.109953.

3. *Преображенская Е.В.* Технологии, материалы и оборудование аддитивных производств: учебное пособие / Е.В. Преображенская, Т.Н. Боровик, Н.С. Баранова. – Москва: РТУ МИРЭА, 2021 – Часть 1 – 2021. – 173 с.

DETERMINING THE AREA OF OPTIMAL PARAMETERS FOR 3D PRINTING OF STAINLESS STEEL SAMPLES

Shvarts I.V.

Supervisor: Gilmutdinov A.H., Doctor of Physico-Mathematical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper provides an example of using laser scanning technology to determine the optimal parameters for 3D printing of stainless steel samples. The most common 3D printing

technology, namely the direct laser deposition process, is used to manufacture metal samples. Based on the geometric data obtained as a result of laser scanning of the samples, the dependence of the height and width of the deposited layers on the power, speed, and mass flow rate of the powder was revealed. Further analysis of the identified dependencies made it possible to establish the optimal parameters for laser deposition of stainless steel samples that meet the requirements of the initially specified geometry.

СЕКЦИЯ 13
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

УДК 629.7

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ С ФУНКЦИЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВОЗВРАТА К ТОЧКЕ ВЗЛЁТА

Абдулазимов Э.Э.

Научный руководитель: Терентьев С.А., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Работа посвящена разработке системы управления для беспилотного летательного аппарата (БПЛА) самолетного типа с функцией автоматического возврата в точку взлета. В работе исследуются аппаратные и программные решения для построения надежной и точной системы управления БПЛА на базе микроконтроллера Arduino Nano. Выполнена организация беспроводного обмена данными между пультом управления и полетным контроллером, разработаны и программно реализованы алгоритмы стабилизации, ручного управления и автоматического возврата при отсутствии радиосвязи с БПЛА. Проведены тестовые испытания и анализ работоспособности разработанной системы.

1. Введение

Развитие современной электроники и технологий обработки данных открывает новые горизонты для создания сложных систем управления, которые интегрируют информацию из различных источников. В данной работе рассматривается задача разработки системы управления, использующей комбинацию данных от приемников спутниковой навигации и датчиков измерения угловых скоростей.

Особое значение в данной системе управления имеет возможность автоматического возврата БПЛА к точке взлета. Данные, полученные с приемников спутниковой навигации, обеспечивают информацию о местоположении, в то время как датчики угловых скоростей позволяют отслеживать текущую ориентацию устройства в пространстве. Эти два аспекта являются критически важными для функционирования режима автоматического возврата.

В случае, если беспилотный летательный аппарат теряет связь с пультом управления, система управляет БПЛА, используя интегрированные данные для расчета оптимального маршрута возврата к точке взлета, учитывая текущие параметры полета.

2. Цель работы

Целью данной работы является разработка системы управления БПЛА с функцией автоматического возврата к точке взлета, что позволяет расширить возможности тестирования новых экспериментальных функций БПЛА, обеспечивая при этом уверенность в сохранении управления над самолетом. Эта функция позволяет беспилотному летательному аппарату автоматически вернуться на исходную позицию в случае, если он выходит за пределы радиуса действия радиоканала или теряет связь с пультом управления (из-за помех, рельефа местности).

3. Состав системы управления.

3.1 Компоненты для пульта управления

- Микроконтроллерная плата. Основной элемент, который будет обрабатывать команды и взаимодействовать с пользовательским интерфейсом.
- Модуль беспроводной связи. Необходим для передачи данных между пультом управления и полетным контроллером.
- Выключатель для управления питанием. Позволяет включать и выключать питание пульта управления, что важно для экономии энергии и защиты компонентов.
- Элементы управления. Кнопки и потенциометры для ввода команд и настройки параметров.

3.2 Компоненты для полетного контроллера

- Микроконтроллерная плата. Основной вычислительный модуль, который будет обрабатывать данные с датчиков и управлять исполнительными механизмами.

- Модуль беспроводной связи. Аналогично пульту управления, нужен для получения команд и отправки данных о состоянии полета обратно на пульт.

- Датчик перемещения. Датчики, такие как гироскопы и акселерометры, используются для определения углов ориентации устройства и обеспечения стабилизации во время полета.

- GPS-модуль. Обеспечивает получение координат местоположения устройства, что критически важно для реализации функции возврата к точке взлета.

4. Блок схема работы программы полетного контроллера для 2 режимов системы управления БПЛА

На рис.1 приведена блок схема программы полётного контроллера для работы в режиме дистанционного управления и переходе в режим возврата к точке взлёта при отсутствии связи полётного контроллера с пультом управления.

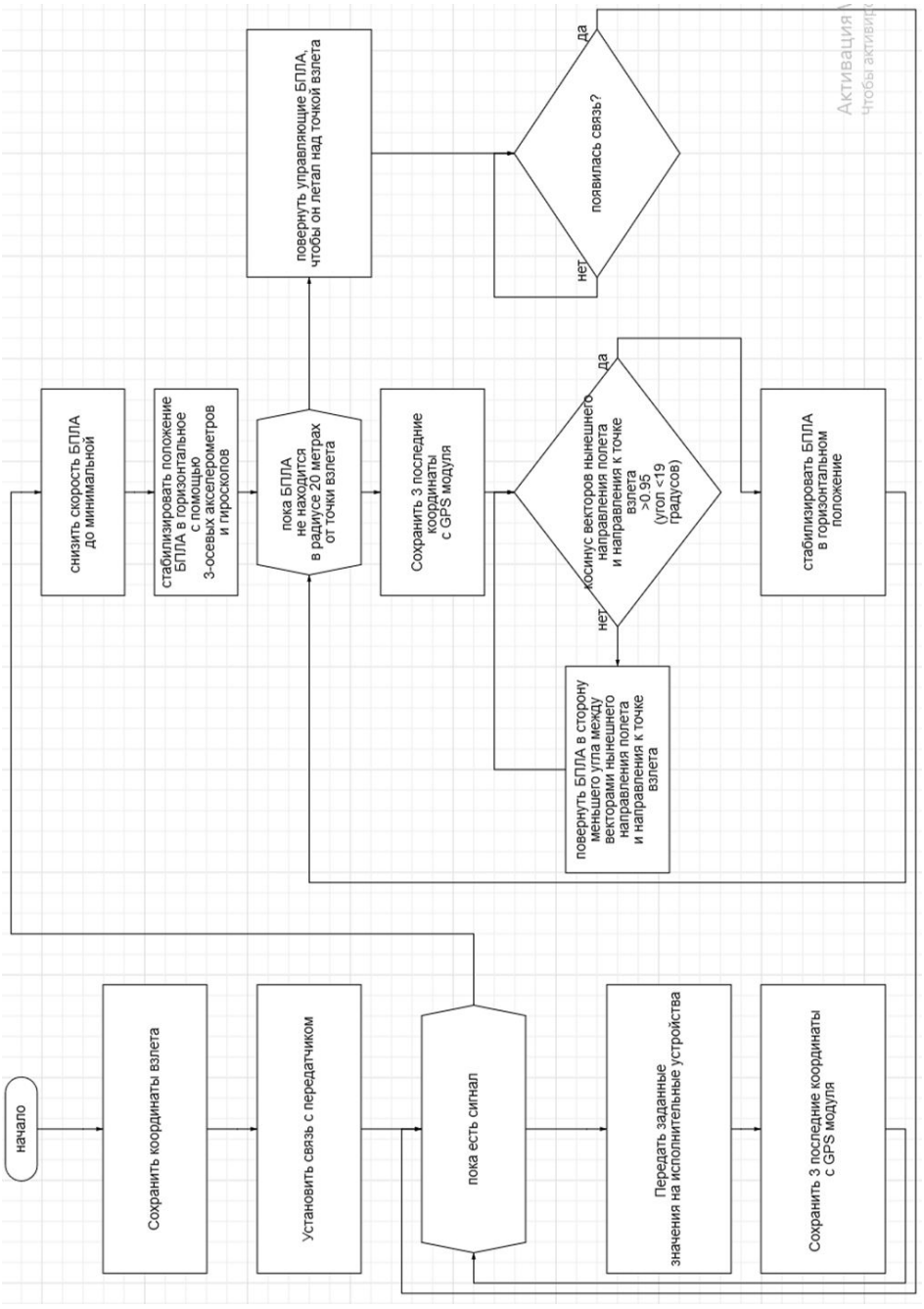


Рис. 1.Блок схема работы полётного контроллера.

5. Блок схема работы программы для пульта управления.

На рис.2 представлен алгоритм работы пульта управления БПЛА.

Рис.2. Блок схема программы контроллера пульта управления.

6. Тестирование алгоритмов и аппаратной реализации системы управления БПЛА.

Был изготовлен прототип для тестирования разработанной системы управления. Были изготовлены прототип пульта управления и прототип полётного контроллера. Тестирование системы на различных режимах подтвердило основные рабочие характеристики системы управления

7. Заключение

Разработанная система управления БПЛА отличается универсальностью, масштабируемостью, открытостью архитектуры и возможностью интеграции с дополнительными модулями и сервисами. Практическая реализация и успешные испытания подтвердили правильность выбранных технических решений и эффективность реализованных алгоритмов. Работа может быть использована в качестве основы для дальнейших научных исследований и инженерных разработок в данной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:
1. Программирование модулей Arduino. Режим доступа: https://wiki.amperka.ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%8B:arduino-nano.
2. Работа модулей Arduino с беспроводными системами связи. Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/574506/.
3. Работа с GPS-трекером на Arduino и GY-NEO6MV2. Режим доступа: https://amperkot.ru/blog/gds-gy/?srsltid=AfmBOooKrLZoy7OoFVMIT4HAkfNGlvoV52PktnIgpt8fSg2HU9SMatI.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE CONTROL SYSTEM WITH THE FUNCTION OF AUTOMATIC RETURN TO THE TAKE-OFF POINT

Abdulazimov E.E.
Supervisor: Terentyev S.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper is devoted to the development of a control system for an aircraft-type unmanned aerial vehicle (UAV) with the function of automatically returning to the take-off point. The paper explores hardware and software solutions for building a reliable and accurate UAV control system based on an Arduino Nano microcontroller. Wireless data exchange between the control panel and the flight controller has been organized, algorithms for stabilization, manual control and automatic return in the absence of radio communication with the UAV have been developed and programmatically implemented. Test tests and analysis of the operability of the developed system have been carried out.

УДК 681.51

РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КВАДРОКОПТЕРОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЗУАЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Акмалетдинов Х.Р.
Научный руководитель: Файзутдинов Р.Н., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлен робастный метод управления квадрокоптером с использованием визуальной обратной связи. Рассмотрен подход с использованием виртуальной камеры и геометрических моментов изображения. Разработан двухконтурный регулятор, обеспечивающий устойчивое и точное позиционирование цели в поле зрения при наличии калибровочных ошибок и шумов изображения.

Введение

Современные задачи управления беспилотными воздушными суднами требуют высокой точности позиционирования и устойчивости в условиях ограниченной или зашумленной информации об окружающей среде. Одним из перспективных способов является управление на основе визуальной обратной связи (Visual Servoing), в частности – метод, основанный на признаках изображения (Image-Based Visual Servoing, IBVS). Это позволяет повысить автономность полёта.

Математическая модель квадрокоптера

В инерциальной системе координат (СК) на квадрокоптер действуют сила тяги F_T и сила тяжести. Мы можем получить вектор тяги в инерциальной системе, используя матрицу вращения R для преобразования вектора тяги из связанной СК в инерциальную. Для

описания поступательного движения квадрокоптера используем второй закон Ньютона. В соответствии с ним, получим следующее уравнение [1]:

$$m\begin{bmatrix}\ddot{x}\\ \ddot{y}\\ \ddot{z}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0\\ 0\\ -mg\end{bmatrix}+RF_T, \tag{1}$$

где x, y, z – координаты центра масс квадрокоптера в инерциальной СК, m – масса системы, g – ускорение свободного падения, R – матрица перехода между инерциальной и подвижной системой координат.

Вращение твердого тела в системе координат, которая связана с телом объекта, описывается уравнением Эйлера:

$$I\dot{\omega}+\omega\times(I\omega)=M. \tag{2}$$

Здесь I – матрица инерции; $\omega=[p,q,r]^T$ – вектор угловой скорости; M – суммарный момент сил. Будем предполагать, что оси связанной СК совпадают с главными осями инерции квадрокоптера, тогда матрица инерции:

$$I=\begin{bmatrix}I_x & 0 & 0\\ 0 & I_y & 0\\ 0 & 0 & I_z\end{bmatrix}.$$

Связь угловых скоростей по крену, тангажу и рысканью с компонентами вектора угловой скорости выражается при помощи следующих кинематических уравнений [1]

$$\begin{bmatrix}\dot{\phi}\\ \dot{\theta}\\ \dot{\psi}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1 & \sin\phi\tan\theta & \cos\phi\sin\theta\\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi\\ 0 & \sin\phi/\cos\theta & \cos\phi\cos\theta\end{bmatrix}\begin{bmatrix}p\\ q\\ r\end{bmatrix},$$

где ϕ – угол крена, θ – угол тангажа, ψ – угол рыскания.

Уравнения динамики вращательного движения квадрокоптера в координатной записи можно получить из векторного уравнения (2):

$$\begin{aligned}\dot{\omega}_x&=\frac{M_x}{I_x}-\frac{\omega_y\omega_z(I_y-I_z)}{I_x},\\ \dot{\omega}_y&=\frac{M_y}{I_y}-\frac{\omega_z\omega_x(I_z-I_x)}{I_y},\\ \dot{\omega}_z&=\frac{M_z}{I_z}-\frac{\omega_x\omega_y(I_x-I_y)}{I_z}.\end{aligned} \tag{3}$$

Динамика центра масс в координатной форме в соответствии с уравнением (1) будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}\ddot{x}&=\frac{F_T}{m}\left(-\cos\phi\cos\psi\sin\theta+\sin\phi\sin\psi\right),\\ \ddot{y}&=\frac{F_T}{m}\left(-\cos\psi\sin\phi-\cos\phi\sin\psi\sin\theta\right),\\ \ddot{z}&=-g+\frac{F_T}{m}\cos\phi\cos\theta.\end{aligned} \tag{4}$$

Введём управляющие воздействия u_1, u_2, u_3, u_4:

$$\begin{bmatrix}u_1\\ u_2\\ u_3\\ u_4\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}F_T\\ M_x\\ M_y\\ M_z\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}k & k & k & k\\ 0 & -Lk & 0 & Lk\\ -Lk & 0 & Lk & 0\\ b & -b & b & -b\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\omega_1^2\\ \omega_2^2\\ \omega_3^2\\ \omega_4^2\end{bmatrix}, \tag{5}$$

где k и b – экспериментально полученные коэффициенты [1], L – расстояние от центра квадрокоптера до пропеллера. Модель движения квадрокоптера с учетом уравнений (3-5) и введенных управляющих воздействий приведена ниже:

$$\begin{cases} \ddot{x} = \dfrac{F_T}{m}\left(-\cos\phi\cos\psi\sin\theta + \sin\phi\sin\psi\right)u_1; \\ \ddot{y} = \dfrac{F_T}{m}\left(-\cos\psi\sin\phi - \cos\phi\sin\psi\sin\theta\right)u_1; \\ \ddot{z} = -g + \dfrac{F_T}{m}\cos\phi\cos\theta u_1; \\ \dot{\omega}_x = \dfrac{M_x}{I_x} - \dfrac{\omega_y\omega_z(I_y - I_z) + u_2}{I_x}; \\ \dot{\omega}_y = \dfrac{M_y}{I_y} - \dfrac{\omega_z\omega_x(I_z - I_x) + u_3}{I_y}; \\ \dot{\omega}_z = \dfrac{M_z}{I_z} - \dfrac{\omega_x\omega_y(I_x - I_y) + u_4}{I_z}. \end{cases}$$

Кинематика признаков в виртуальной плоскости изображения

Классический IBVS-регулятор применяется для объектов с шестью управляемыми степенями свободы и требует, как минимум, $K \geq 3$ признаков изображения [2]. Для вычисления управляющего воздействия необходимо обращение якобиана изображения размером $6 \times 2K$. Однако в случае квадрокоптера, у которого имеется дефицит управляющих воздействий [3], такой подход не позволяет независимо управлять поступательными и угловыми скоростями.

Чтобы обойти это ограничение и упростить кинематику признаков в плоскости изображения вводится концепция виртуальной камеры – модели, идентичной реальной камере по параметрам и положению оптического центра, но с изображающей плоскостью, всегда параллельной горизонту. Её система координат $V = \{O_V X_V Y_V Z_V\}$ совпадает с СК реальной камеры $C = \{O_C X_C Y_C Z_C\}$ и движется вместе с аппаратом. Плоскость изображения виртуальной камеры не зависит от крена и тангажа. Ось Z_V параллельна вертикальной оси инерциальной СК. Расстояние от оптического центра O_V до изображения виртуальной камеры равно фокусному расстоянию λ реальной камеры.

Координаты точки P в СК виртуальной камеры и реальной камеры связаны соотношением

$$P_v = R_{\theta\varphi} P_C,$$

где $R_{\theta\phi}$ – матрица вращения на углы тангажа θ и крена ϕ

Связь между координатами изображения (u, v) и виртуальными координатами (u_V, v_V) имеет вид:

$$\begin{bmatrix} u^V \\ v^V \\ \lambda \end{bmatrix} = \frac{\lambda}{\lambda_0} R_{\theta\varphi} \begin{bmatrix} u \\ v \\ \lambda \end{bmatrix},$$

где

$$\lambda_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} R_{\theta\varphi} \begin{bmatrix} u \\ v \\ \lambda \end{bmatrix}.$$

Связь между скоростью признаков в виртуальной плоскости и скоростью виртуальной камеры [4]:

$$\begin{bmatrix} \dot{u}^V \\ \dot{v}^V \end{bmatrix} = L^V \begin{bmatrix} v_x^V \\ v_y^V \\ v_z^V \\ \dot{\psi} \end{bmatrix},$$

где

$$L^V = \begin{bmatrix} -\frac{\lambda}{z^V} & 0 & \frac{u^V}{z^V} & v^V \\ 0 & -\frac{\lambda}{z^V} & \frac{v^V}{z^V} & -u^V \end{bmatrix},$$

$v^V = \begin{bmatrix} v_x^V & v_y^V & v_z^V \end{bmatrix}$ – линейная скорость квадрокоптера в системе координат V, L^V – якобиан изображения в случае, если координаты точек определены в виртуальной плоскости изображения.

В отличие от обычного якобиана, матрица L_V не зависит от углов крена и тангажа, поскольку виртуальная камера исключает такие вращения. Для дальнейшего упрощения используются геометрические моменты изображений [5]. Пусть на изображении видны $K \geq 1$ целевых точек P_k. Определим систему координат цели $T = \{t_1, t_2, t_3\}$, с началом в её геометрическом центре $\bar{P}_n$, оси которой параллельны осям инерциальной СК. Угол рысканья между СК цели и инерциальной обозначен ψ_t.

Поскольку виртуальная камера обеспечивает параллельность плоскости цели и плоскости изображения, все точки цели имеют одинаковую глубину z_V. Это позволяет ввести вектор признаков:

$$s = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \end{bmatrix}^T,$$

где

$$s_1 = s_3 u_g^V / \lambda, \;\; s_2 = s_3 v_g^V / \lambda,$$

$s_3 = \sqrt{\frac{\mu_{20}^* + \mu_{02}^*}{\mu_{20} + \mu_{02}}}$, $s_4 = \frac{1}{2}\arctan\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}}$,

$u_g^V = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K} u_k^V$, $v_g^V = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K} v_k^V$,

u_k^V, v_k^V – координаты k-ой точки в виртуальной плоскости изображения,

$\mu_{i,j} = \sum_{k=1}^{K}\left(u_k^V - u_g^V\right)\left(v_k^V - v_g^V\right)$ – центральные моменты изображения 2 порядка,

μ_{ij}^* - желаемое значение μ_{ij}, соответствующее желаемому положению квадрокоптера в пространстве.

Кинематика этих признаков описывается в виртуальной плоскости следующим образом:

$$\begin{bmatrix} \dot{s}_1 \\ \dot{s}_2 \\ \dot{s}_3 \\ \dot{s}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{z^{V*}} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{z^{V*}} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{z^{V*}} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x^V \\ v_y^V \\ v_z^V \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} s_2 \\ -s_1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} \dot{\psi}, \qquad (6)$$

где z^{V*} – желаемая глубина изображения (в точке цели), признаки s_1, s_2, s_3 отвечают за управление положением, а s_4 – за рысканье.

Регулятор

Как правило, при использовании визуальных данных в обратной связи в управлении квадрокоптером, регулятор состоит из двух контуров [6] (рис. 1).

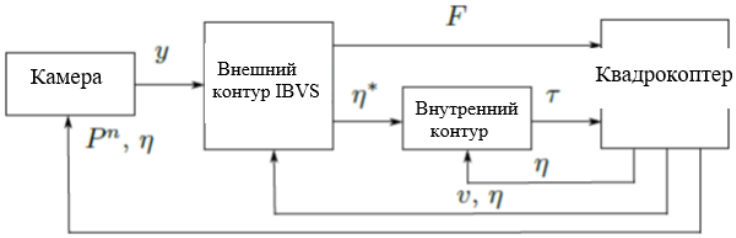


Рисунок 1. Структурная схема двухконтурного регулятора

Внутренний контур стабилизирует ориентацию (углы крена, тангажа, рысканья), а внешний контур (IBVS-регулятор) формирует команды на ориентацию на основе признаков изображения. Цель управления – обеспечить совпадение текущих признаков изображения *s* с заданными значениями *s**.

Внутренний контур ПИД-регулирования отвечает за стабилизацию углов ориентации:

$$\tau_\varphi = k_{p\varphi} e_\varphi + k_{i\varphi} \int_0^t e_\varphi(t) d\tau + k_{d\varphi} \dot{e}_\varphi,$$

$$\tau_\theta = k_{p\theta} e_\theta + k_{i\theta} \int_0^t e_\theta(t) d\tau + k_{d\theta} \dot{e}_\theta,$$

$$\tau_\psi = k_{p\psi} e_\psi + k_{i\psi} \int_0^t e_\psi(t) d\tau + k_{d\psi} \dot{e}_\psi,$$

где $e_\varphi = \varphi^* - \varphi$, $e_\theta = \theta^* - \theta$, $e_\psi = \psi^* - \psi$ – ошибки регулирования углов крена, тангажа и рысканья, соответственно, относительно желаемых значений φ*, θ* и ψ*, которые определяются во внешнем контуре управления.

Уравнение, описывающее динамику поступательного движения квадрокоптера в СК виртуальной камеры, имеет следующий вид:

$$\dot{V}^V = -\left(\dot{\psi} E_3\right) \times V^V - R_{\theta\varphi} E_3 U_1 / m + g E_3, \tag{7}$$

где $U_1 E_3$ – вектор полной тяги, генерируемой четырьмя пропеллерами квадрокоптера, в связанной СК, $E_3 = [0 \quad 0 \quad 1]^T$, $\dot{\psi} E_3$ – вектор угловой скорости вращения системы координат виртуальной камеры в инерциальной системе координат, V^V – вектор поступательной скорости системы координат виртуальной камер.

Введем векторную переменную

$$f = g E_3 - R_{\theta\varphi} E_3 U_1 / m.$$

Тогда уравнение (7) можно переписать в векторно-матричном виде

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_x^V \\ \dot{v}_y^V \\ \dot{v}_z^V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \dot{\psi} & 0 \\ -\dot{\psi} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x^V \\ v_y^V \\ v_z^V \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix}. \tag{8}$$

Запишем компоненты *f* в скалярном виде:

$$f_x = -\frac{1}{m} U_1 \sin\theta \cos\varphi,$$

$$f_y = \frac{1}{m} U_1 \sin\varphi,$$

$$f_z = -\frac{1}{m} U_1 \cos\theta \cos\varphi + g.$$

Разрешим эти уравнения относительно переменных U_1, θ и φ:

$$U_1 = m\sqrt{f_x^2 + f_y^2 + (f_z - g)^2},$$

$$\varphi = \arcsin \frac{f_y}{\sqrt{f_x^2 + f_y^2 + (f_z - g)^2}},$$

$$\theta = \arctan \frac{f_x}{f_z - g}.$$

Рассмотрим систему уравнений (6), (8). Введем вектор состояния

$$x = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 & x_7 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 & v_x^V & v_y^V & v_z^V \end{bmatrix}^T$$

и вектор управления

$$u = \begin{bmatrix} u_1 & u_2 & u_3 & u_4 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} \dot{\psi} & f_x & f_y & f_z \end{bmatrix}^T.$$

Перепишем уравнения (6), (8) в следующем виде:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -\frac{1}{z^{V*}} x_6 + x_2 u_1, \\ \dot{x}_2 &= -\frac{1}{z^{V*}} x_6 - x_1 u_1, \\ \dot{x}_3 &= -\frac{1}{z^{V*}} x_7, \\ \dot{x}_4 &= -u, \\ \dot{x}_5 &= x_6 u_1 + u_2, \\ \dot{x}_6 &= -x_5 u_1 + u_3, \\ \dot{x}_7 &= u_4. \end{aligned} \tag{9}$$

Возьмем управление следующего вида:

$$\begin{aligned} u_1 &= k_\psi x_4, \\ u_2 &= -k_{l2}\left(\frac{x_5}{k_{l1}} - x_1\right), \\ u_3 &= -k_{l2}\left(\frac{x_6}{k_{l1}} - x_2\right), \\ u_4 &= k_{hd} x_7 - k_{hp}\delta_z - k_{hi}\int_0^t \delta_z, \end{aligned} \tag{10}$$

где k_ψ, k_{l1}, k_{l2}, k_{hp}, k_{hd}, k_{hi} – положительные коэффициенты, δ_z – ошибка по глубине камеры.

В работе [7] показано, что если выполнены условия $k_{hi} < k_{hp} k_{hd}$, $z^V k_{l2} > k_{l1}^2$, то закон управления (10) обеспечивает асимптотическую устойчивость системы (9).

Заключение

В данной работе представлен подход к управлению квадрокоптером на основе визуальной обратной связи с использованием виртуальной плоскости изображения. Такой подход позволяет устранить влияние углов крена и тангажа на кинематику признаков и адаптировать IBVS-регулятор к системе с дефицитом управляющих воздействий. Предложенный метод обеспечивает устойчивое слежение за целью и улучшает робастность управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Bouabdallah S., Murrieri P., Siegwart R.*: Design and control of an indoor micro quadrotor // Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, New Orleans, USA, 2004, pp. 4393 – 4398.

2. *S. Hutchinson, G. D. Hager and P. I. Corke*. A tutorial on visual servo control, 12(5) (1996) 651-670.

3. *Фантони И. Лозано Р*. Нелинейное управление механическими системами с дефицитом управляющих воздействий. М. Ижевск: ООО “Компьютерная динамика”, 2012. 312 с.

4. *H. Jabbari, G. Oriolo, and H. Bolandi.* An adaptive scheme for image-based visual servoing of an underactuated UAV," International Journal of Robotics and Automation, vol. 29, no. 1, pp. 92-104, Jul. 2014

5. *F. Chaumette*, Image moments: a general and useful set of features for visual servoing, Robotics, IEEE Transactions on 20 (Aug 2004) 713-723.

6. P.I. Corke and S. A. Hutchinson, “A new partitioned approach to image-based visual servo control,” *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 17, no. 4, pp. 507–515, Aug 2001.

7. G. Fink, H. Xie, A. F. Lynch and M. Jagersand, Nonlinear dynamic visual servoing of a quadrotor, J. Unmanned Vehicle Systems 3(1) (2015) 1-21.

ROBUST QUADCOPTER CONTROL USING VISUAL FEEDBACK

Akmaletdinov H.R.

Supervisor: Fayzutdinov R.N., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents a robust quadcopter control method using visual feedback. An approach using a virtual camera and geometric image moments is considered. A two-circuit controller has been developed to ensure stable and accurate positioning of the target in the field of view in the presence of calibration errors and image noise.

УДК 621.3(075.8)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ

Алексеев С.В

Научный руководитель Николаев М.И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Чистопольский филиал «Восток», г. Чистополь.)

Аннотация. Рассматриваются программные продукты, реализующие численные методы в графическом отображении. Показана возможность применения методов в учебных и производственных процессах в области приборостроения.

В учебном процессе и в производственных задачах постепенно сформировался новый класс моделирования – графическое моделирование. Разумеется, возможности графического моделирования известны, но сейчас эти возможности перешли на новый качественный уровень. Речь идет о программах, реализующих численные методы в виде наглядных графических отображений. В работе [1] содержится пример использования таких методов в учебном процессе. Реализация осуществляется посредством общедоступного и безопасного сетевого ресурса [2]. По прошествии двух лет после той публикации, можно утверждать, что такой инструментарий продолжил стремительно развиваться и набирать популярность. Вероятно, такое стремительное развитие обусловлено сочетанием двух факторов – заданная точность вычислений и наглядность представления результата. Также разработчикам удалось создать удобные и быстродействующие программы, доступные как сетевые ресурсы. Эти программы не требуют установки на компьютер и могут быть доступны с любого устройства.

Одной из таких программ является представленная на рис.1 программа Falstad Circuit Simulator.

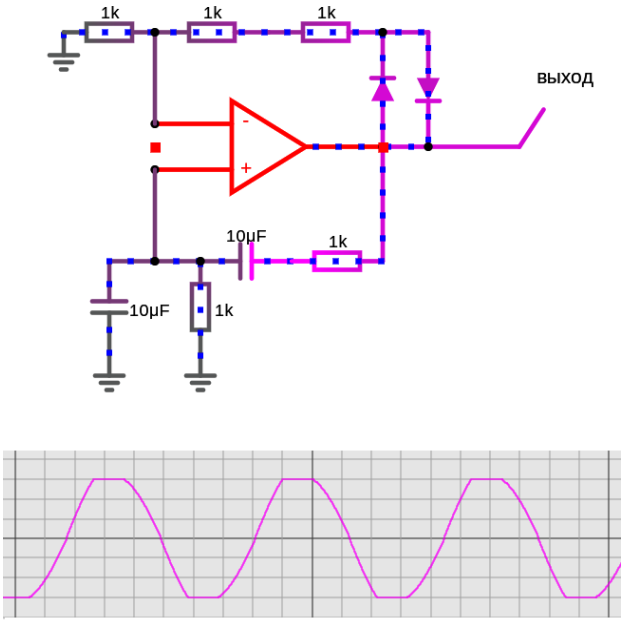


Рисунок 1.Пример работы программы Falstad Circuit Simulator

В процессе моделирования, отображённом на рисунке 1, удалось убедиться, что в типовой схеме генератора синусоидальных колебаний на основе «моста Вина» встречно-параллельные диоды не несут функциональной нагрузки и даже могут искажать форму генерируемого сигнала.

Сайт Falstad Circuit Simulator[3] был создан Полом Фалстадом (Paul Falstad) в 2001 году. Это интерактивный симулятор электрических цепей, который позволяет пользователям создавать и анализировать схемы в режиме реального времени. Он стал популярным благодаря своей простоте использования и возможности визуализировать электрические процессы. Сайт и симулятор продолжают обновляться, и они широко используются как в образовательных целях, так и для практических приложений в области электроники. Официального пользовательского соглашения нет. Сайт не требует установки или доступа к пользовательским данным. Ресурс безопасен и полезен для обучения. Каждый экземпляр виртуальной схемы сохраняется в личном кабинете пользователя, при желании. Ссылка на представленную на рисунке 1 схему также доступна.

Ещё одной программой, удобной для иллюстрации согласования математических моделей и физических процессов, является графический калькулятор [4]. Нередко при моделировании процессов управления заказчик закладывает требования «шесть сигма» к

параметрам процесса. С помощью ресурса [4] выполнено моделирование нормального распределения для сигмы равно единице и получены вероятностные данные для интервала рассеивания шесть сигма. Результаты показаны на рисунке 2.

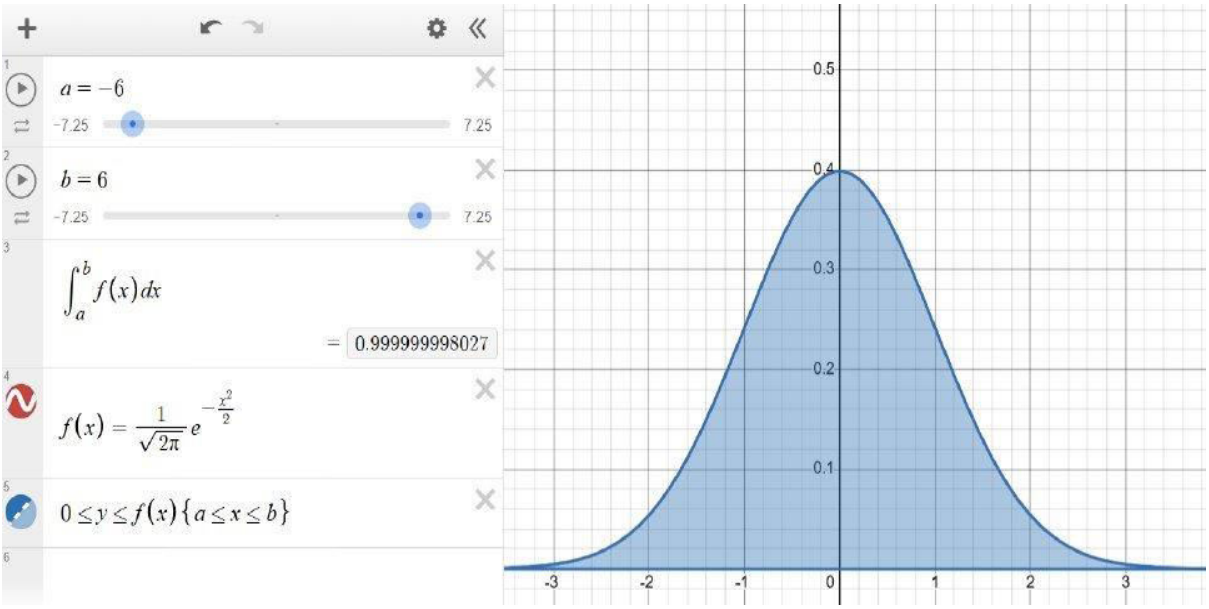


Рисунок 2.Вероятностный параметр для рассеяния плюс-минус шесть сигма

Анализируя результаты, отображённые на рисунке 2, приходим к выводу, что требование «шесть сигма», дающее вероятностный параметр почти «девять девяток после запятой», явно избыточное. Уже после трёх сигма отличие от нулевого уровня визуально неразличимо. Такие строгие требования могут быть оправданными для очень сложных изделий (современные процессоры), либо для очень сложных систем, либо для приборов и систем с повышенными требованиями к надёжности (космические приборы и системы).

В области приборостроения типовыми являются вероятностные параметры 0,95 или 0,99, что приблизительно соответствует рассеянию в интервале плюс-минус два или три сигма. Принятие избыточных требований привело бы к неоправданному усложнению и удорожанию разрабатываемых устройств.

Вместе с преимуществами рассмотренных средств графического моделирования, следует отметить их недостатки. Прежде всего, это ненормированная метрологически точность результатов. Также некоторые ресурсы сформированы вне российской юрисдикции, следовательно, не гарантируется свободный доступ к ним.

Выполнить метрологическое нормирование предлагается собственными силами, например, задавая известные стандартные процессы и наблюдая сформированную картину. Также возможно моделирование на различных ресурсах и сопоставление результатов. Пример таких действий показан на рисунке 3.

На рисунке показаны результаты, полученные на ресурсах [3] и [4]. Моделируется процесс формирования биений при сложении двух колебаний близкой частоты. Наблюдается сходимость результатов, полученными разными способами. Аналогичные результаты получены при моделировании на ресурсе [2]. Этот ресурс относится к российской юрисдикции. Дополнительным защитным механизмом являлся бы факт внесения используемых для моделирования программных продуктов в Госреестр программного обеспечения.

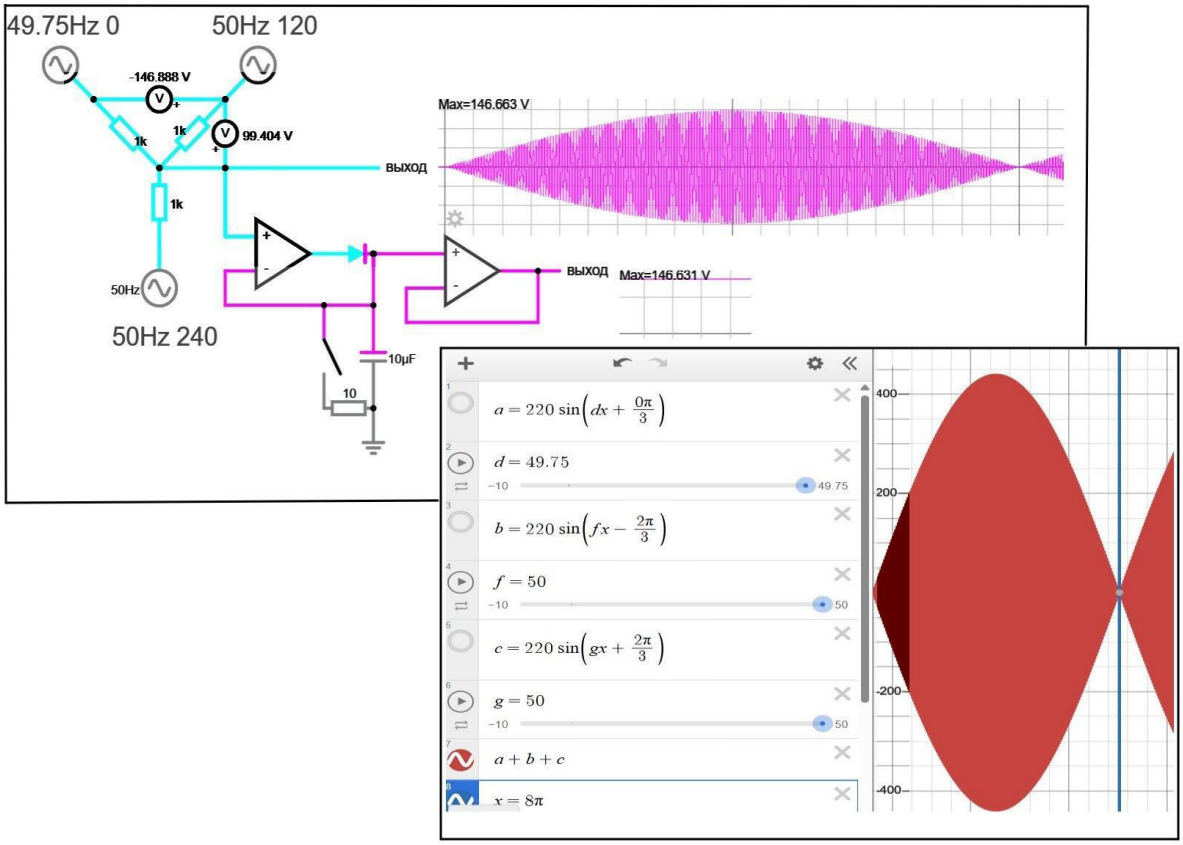


Рисунок 3.Результаты моделирования на разных сетевых ресурсах

Заключение. Инструменты графического моделирования полезны в учебном и производственном процессе. Возможные препятствия для их применения преодолимы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Графическое моделирование процессов в трёхфазных цепях [Текст] Я.И. Константинова / М.И. Николаев // Туполевские чтения. Междунар. молодежная науч. конф.: Материалы конф. Том 4. — Казань: Изд-во Казан. гос. тех. ун-та, 2023. — С. 49-50.

2. Сервис онлайн построения графиков // yotx.ru[сайт] — режим доступа: http://yotx.ru/ свободный (дата обращения: 09.04.2025) — Загл. с экрана.

3. Circuit Simulator Applet // falstad.com[сайт] — режим доступа: https://falstad.com/circuit/ свободный (дата обращения: 10.04.2025) — Загл. с экрана.

4. Графический калькулятор // [сайт] — режим доступа: https://www.desmos.com/ calculator?lang=ru/ свободный (дата обращения: 10.04.2025) — Загл. с экрана.

MODELING OF PROCESSES IN ELECTRICAL CIRCUITS

Alekseev S.V.

Supervisor: Nikolaev M.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.

(*Chistopol branch «Vostok» of «Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI», Chistopol*)

Abstract. The software products implementing numerical methods in graphical representation are considered. The possibility of using the methods in educational and production processes in the field of instrument engineering is shown.

УДК 681.512.2

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ДВУХКОЛЕСНОГО РОБОТА С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ ПРИВОДОМ

Арбузов А.Р.

Научный руководитель: Лазарева П.А., доцент, к. ф.-м. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье представлена программная реализация системы управления двухколесным самобалансирующимся роботом на базе фреймворка Robot Operating System 2 (ROS2). Рассмотрена модульная архитектура программного обеспечения, обеспечивающая децентрализованное взаимодействие между компонентами через механизм публикации-подписки. Описана реализация ключевых программных узлов: чтения данных с сенсоров, обработки одометрии, отрицательной обратной связи, линейно-квадратичного и пропорционально-интегрально-дифференциального регуляторов и управления исполнительными устройствами. Особое внимание уделено оптимизации программного кода для работы в режиме реального времени на аппаратной платформе с ограниченными вычислительными ресурсами. Разработанная система обеспечивает эффективное управление балансирующим роботом с частотой контура управления 400 Гц.

Введение

Задача построения систем управления для мобильных роботов с неустойчивым равновесием, таких как двухколесные самобалансирующиеся платформы, представляет значительный интерес как с научной, так и с практической точки зрения. Подобные системы характеризуются сложной нелинейной динамикой, требуют высокой частоты и точности работы контуров управления, а также предъявляют жесткие требования к вычислительной эффективности алгоритмов.

Современные фреймворки для робототехники, такие как Robot Operating System 2 (ROS2), предоставляют мощные инструменты для разработки распределенных систем управления, но требуют тщательной адаптации для применения в задачах с жесткими временными ограничениями. Особый интерес представляет оптимальное распределение вычислительной нагрузки между различными компонентами системы при работе на аппаратных платформах с ограниченными ресурсами, таких как одноплатные компьютеры Raspberry Pi.

В данной работе представлен опыт разработки программного обеспечения для системы управления двухколесным самобалансирующимся роботом с использованием фреймворка ROS2 Humble. Особое внимание уделяется архитектурным решениям, обеспечивающим эффективное функционирование робота в режиме реального времени, а также реализации различных алгоритмов управления, включая линейно-квадратичный регулятор (LQR) и пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД).

Постановка задачи

Основной целью исследования является разработка программной архитектуры системы управления двухколесным самобалансирующимся роботом, обеспечивающей устойчивое функционирование в режиме реального времени на аппаратной платформе с ограниченными вычислительными ресурсами.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

−разработать модульную программную архитектуру на базе фреймворка ROS2, обеспечивающую гибкость конфигурации и независимость компонентов системы;

−реализовать эффективные алгоритмы обработки сенсорных данных с инерциального измерительного модуля (IMU) и энкодеров для получения точной оценки состояния робота;

−разработать узел отрицательной обратной связи, формирующий вектор ошибки состояния на основе целевых и текущих параметров робота;

−реализовать и сравнить различные алгоритмы управления: линейно-квадратичный регулятор (LQR) и пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД) ;

−разработать механизмы обеспечения безопасности функционирования робота при критических отклонениях от равновесного состояния;

−оптимизировать программный код для обеспечения стабильной работы контура управления с частотой не менее 400 Гц на платформе Raspberry Pi 4B.

Архитектура программного обеспечения

Программная архитектура системы управления двухколесным самобалансирующимся роботом построена на основе фреймворка ROS2 Humble, работающего под управлением операционной системы Ubuntu 22.04 на одноплатном компьютере Raspberry Pi 4B. Для реализации всех программных компонентов был выбран язык программирования C++ как обеспечивающий оптимальное сочетание производительности, контроля над ресурсами и выразительности.

Архитектура разработана в соответствии с децентрализованным принципом, характерным для экосистемы ROS2, и состоит из нескольких независимых узлов, взаимодействующих посредством механизма публикации-подписки через топики. Данный подход обеспечивает модульность, масштабируемость и упрощает отладку отдельных компонентов системы.

Структурно программное обеспечение робота разделено на три функциональных уровня:

1. уровень сбора и первичной обработки сенсорных данных;
2. уровень формирования контура управления;
3. исполнительный уровень.

На первом уровне функционируют узлы, отвечающие за взаимодействие с сенсорами и предварительную обработку данных:

– mpu6050_node – осуществляет низкоуровневое взаимодействие с инерциальным измерительным модулем MPU6050 по интерфейсу I²C и публикует нормализованные данные в стандартном формате;

– imu_filter_node – реализует комплементарный фильтр для получения стабильной оценки ориентации робота;

– odom_publisher_node – обрабатывает данные с квадратурных энкодеров и формирует оценку одометрии робота.

Второй уровень включает узлы, формирующие контур управления:

– cmd_publisher_zeros – генерирует целевой вектор состояния робота;

– neg_feedback – формирует вектор ошибки на основе сравнения целевого и текущего состояний;

– lqr_controller и pid_controller – реализуют различные алгоритмы управления (линейно-квадратичный и пропорционально-интегрально-дифференциальный регуляторы соответственно).

На исполнительном уровне функционирует узел motor_controller, преобразующий управляющие сигналы в ШИМ-команды для драйвера двигателей, а также реализующий механизмы обеспечения безопасности.

Взаимодействие между узлами осуществляется через следующие ключевые топики:

– /imu/data_raw – сырые данные с инерциального модуля;
– /imu/data – отфильтрованные данные о пространственной ориентации;
– /odom – данные одометрии робота;
– /cmd – целевой вектор состояния;
– /feedback – вектор ошибки состояния;
– /motor_cmd/left и /motor_cmd/right – управляющие сигналы для двигателей.

Для наглядного представления взаимодействия между узлами системы можно воспользоваться встроенным в ROS2 плагином отображения rqt_graph. На рисунке 1 изображена структура потоков данных в созданной системе.

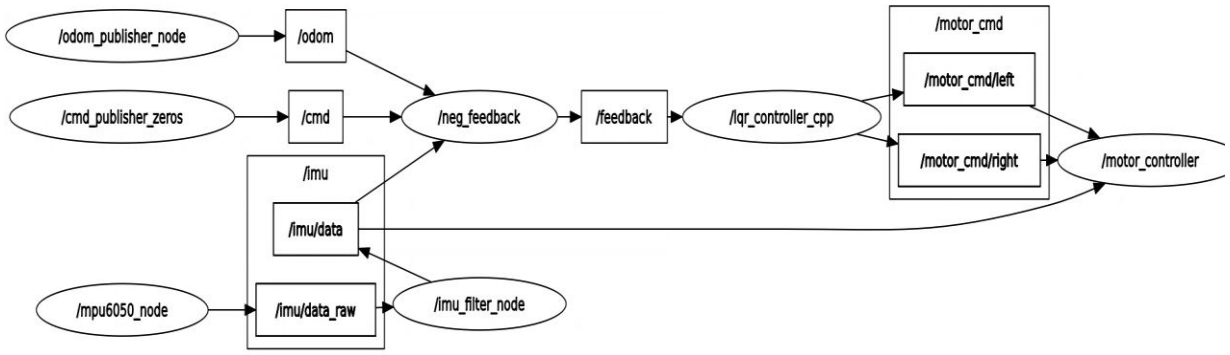


Рисунок 1. Структура взаимодействующих узлов (nodes) и тем (topics)

Данная архитектура обеспечивает четкое разделение ответственности между компонентами и возможность гибкой конфигурации системы, включая возможность замены отдельных алгоритмов управления без изменения остальной части системы.

Реализация ключевых компонентов системы

Для получения информации о пространственной ориентации робота используется инерциальный измерительный модуль MPU6050, объединяющий трехосевой акселерометр и трехосевой гироскоп. Обработка данных с этого сенсора реализована в два этапа.

На первом этапе узел mpu6050_node осуществляет низкоуровневое взаимодействие с сенсором по шине I²C. Программа настраивает регистры MPU6050, устанавливая диапазон измерений акселерометра ±2g и гироскопа ±250°/c, что оптимально для задачи балансирования. Считываемые с 16-битных АЦП сенсора значения нормализуются с использованием коэффициентов чувствительности:

$$\text{ACC_SENS} = \frac{65536}{4} = 16384 \text{ LSB/g},$$

$$\text{G_SENS_DPS} = \frac{65536}{500} = 131.072 \text{ LSB/(°/c)}.$$

После нормализации и перевода в единицы СИ данные публикуются в топик /imu/data_raw с частотой 400 Гц.

На втором этапе узел imu_filter_node реализует комплементарный фильтр, который объединяет данные акселерометра и гироскопа для получения стабильной оценки ориентации. Комплементарный фильтр представляет собой взвешенную комбинацию двух источников информации:

$$\theta_k = \alpha \cdot \left(\theta_{k-1} + \dot{\theta}_y \cdot \Delta t\right) + \left(1-\alpha\right) \cdot \theta_{acc},$$

где θ_k – отфильтрованная оценка угла наклона, α – коэффициент фильтра, $\dot{\theta}_y$ – угловая скорость по данным гироскопа, Δt – временной шаг, θ_{acc} – оценка угла по данным акселерометра. Коэффициент α определяется как:

$$\alpha = \frac{\tau}{\tau + \Delta t},$$

где τ – временная константа фильтра, определяющая скорость коррекции дрейфа гироскопа данными акселерометра.

Результаты фильтрации публикуются в топик /imu/data в формате стандартного сообщения sensor_msgs/msg/Imu, включающего кватернион ориентации, угловые скорости и линейные ускорения.

Система одометрии

Для оценки перемещения и скорости робота в системе реализован узел odom_publisher_node, обрабатывающий данные с квадратурных энкодеров. Особенностью реализации является использование драйвера ядра Linux gpio-rotary-encoder, который обеспечивает обработку сигналов энкодеров на уровне операционной системы и предоставляет доступ к данным через файловый интерфейс /dev/input/event*.

Архитектура узла одометрии основана на разделении частот обработки:

- низкочастотные вычисления (50 Гц) – расчет пройденного пути, скорости и угла поворота;
- высокочастотные публикации (400 Гц) – передача вычисленных данных другим узлам без дополнительных расчетов.

Для преобразования тиков энкодеров в метрические единицы используется кинематическая модель дифференциального привода:

$$\Delta s = \frac{\Delta s_{left} + \Delta s_{right}}{2},$$

$$\Delta \theta = \frac{\Delta s_{right} - \Delta s_{left}}{L}.$$

где L – расстояние между колесами, Δs_{left} и Δs_{right} – расстояния, пройденные левым и правым колесами, соответственно.

Интегрирование положения робота осуществляется по формулам:

$$x_{t+1} = x_t + \Delta s \cdot cos\left(\theta_t + \frac{\Delta \theta}{2}\right),$$

$$y_{t+1} = y_t + \Delta s \cdot sin\left(\theta_t + \frac{\Delta \theta}{2}\right),$$

$$\theta_{t+1} = \theta_t + \Delta \theta.$$

Результаты публикуются в виде стандартных сообщений nav_msgs/msg/Odometry и соответствующих трансформаций TF.

Контур управления

Формирование вектора ошибки

Узел neg_feedback является центральным элементом системы управления, объединяющим данные из различных источников и формирующим вектор ошибки состояния. Узел подписывается на три топика:

/cmd – целевой вектор состояния;

/imu/data – данные о пространственной ориентации;

/odom – данные одометрии.

Для повышения устойчивости к шумам в измерениях скорости реализован фильтр скользящего среднего с настраиваемым размером окна. Вектор текущего состояния робота формируется следующим образом:

- положение и линейная скорость – из данных одометрии;
- угол наклона и скорость наклона – из данных IMU;
- угол рыскания и скорость рыскания – из данных одометрии.

Вектор ошибки вычисляется как разность между целевым и текущим векторами состояния:

$$\delta = x_{cmd} - x_{state}.$$

Для обеспечения высокой производительности в узле реализованы следующие оптимизации:

- предварительное выделение памяти для буферов;
- использование специализированных QoS-политик для различных типов данных;

– асинхронная обработка данных с разных источников.

Реализация регуляторов

В системе реализованы два типа регуляторов – линейно-квадратичный (LQR) и пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД), что позволяет экспериментально сравнить их эффективность в задаче балансирования.

Линейно-квадратичный регулятор реализован в узле lqr_controller и основан на законе управления с обратной связью по состоянию:

$$u = -K \cdot \delta x,$$

где u – вектор управляющих воздействий (напряжения на двигатели), K – матрица коэффициентов усиления, δx – вектор ошибки состояния.

Матрица K задается как набор отдельных параметров узла, что обеспечивает удобство настройки через стандартный механизм параметров ROS2. Управляющие воздействия для двигателей формируются как:

$$V_{\text{right}} = -\sum_{j=0}^{5} K_{1,j} \cdot \delta x_j,$$

$$V_{\text{left}} = -\sum_{j=0}^{5} K_{2,j} \cdot \delta x_j,$$

где $u_{balance} = -\left(u_s + u_v + u_\theta + u_{\dot{\theta}}\right)$ – управление балансировкой, $u_{yaw} = -\left(u_\psi + u_{\dot{\psi}}\right)$ – управление поворотом.

ПИД-регулятор реализован в узле pid_controller и состоит из трех независимых контуров:

1. контур балансировки – для поддержания вертикального положения;
2. контур управления положением – для продольного перемещения;
3. контур управления рысканием – для поворотов.

Каждый контур реализует классический алгоритм ПИД-регулирования с учетом переменного шага по времени:

$$u(t) = Kp \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(\tau)\, d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}.$$

Особенностью реализации является механизм защиты от интегрального насыщения (Anti-Windup), который останавливает накопление интегральной составляющей при достижении управляющим сигналом предельных значений.

Исполнительный уровень

Узел motor_controller преобразует абстрактные команды напряжения в физические ШИМ-сигналы для управления драйвером двигателей. Взаимодействие с аппаратной частью осуществляется через библиотеку pigpiod_if2, обеспечивающую доступ к GPIO и аппаратному ШИМ-модулятору Raspberry Pi.

Алгоритм работы узла включает следующие этапы:

1. ограничение входного напряжения в соответствии с параметром max_voltage;
2. определение направления вращения на основе знака напряжения;
3. расчет скважности ШИМ-сигнала по формуле:

$$\text{duty_pct} = \frac{|V_{\text{limited}}|}{V_{\max}} \times 100\%;$$

4. генерация ШИМ-сигнала с частотой 10 кГц.

В узле также реализован механизм аварийной остановки, который активируется при превышении критического угла наклона (по умолчанию 60 градусов). При срабатывании защиты подача питания на двигатели прекращается, а на вывод STBY драйвера подается сигнал низкого уровня. Система автоматически возобновляет работу при возвращении угла наклона в допустимый диапазон.

Результаты и их обсуждение

Разработанная программная архитектура позволила создать эффективную и надежную систему управления двухколесным самобалансирующимся роботом. Экспериментальные исследования показали, что система способна поддерживать устойчивое вертикальное положение робота и обеспечивать его целенаправленное перемещение.

Использование фреймворка ROS2 Humble в сочетании с оптимизированной реализацией алгоритмов на C++ позволило достичь стабильной работы контура управления с частотой 400 Гц на аппаратной платформе Raspberry Pi 4B. Это обеспечивает своевременную реакцию системы на отклонения от равновесного положения, что критически важно для задачи динамической стабилизации.

Двухпоточная архитектура узла одометрии с разделением низкочастотных вычислений и высокочастотных публикаций позволила существенно снизить вычислительную нагрузку без потери качества управления. Использование драйвера ядра Linux для квадратурных энкодеров обеспечило более надежное считывание данных по сравнению с программным опросом GPIO.

Сравнительный анализ реализованных регуляторов показал, что LQR-регулятор обеспечивает более оптимальное управление с точки зрения заданного критерия качества, однако ПИД-регулятор проще в настройке и демонстрирует достаточную эффективность для большинства практических задач.

Реализованные механизмы безопасности, включая аварийную остановку при критических углах наклона и ограничение максимального напряжения на двигателях, обеспечивают защиту оборудования и безопасную эксплуатацию робота.

Заключение

В данной работе представлена программная реализация системы управления двухколесным самобалансирующимся роботом на базе фреймворка ROS2 Humble. Разработанная модульная архитектура обеспечивает гибкость, масштабируемость и простоту отладки отдельных компонентов системы.

Основные результаты работы включают:

– разработку модульной программной архитектуры с четким разделением ответственности между компонентами;

– реализацию эффективных алгоритмов обработки сенсорных данных, обеспечивающих точную оценку состояния робота;

– реализацию и сравнение различных алгоритмов управления (LQR и ПИД) ;

– оптимизацию программного кода для обеспечения стабильной работы контура управления с частотой 400 Гц на платформе Raspberry Pi 4B;

– реализацию механизмов обеспечения безопасности функционирования робота.

Предложенные в работе технические решения могут быть использованы при разработке систем управления для различных типов мобильных роботов с неустойчивым равновесием, а также в образовательных целях для демонстрации принципов современного программирования робототехнических систем.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку адаптивных алгоритмов управления, способных автоматически идентифицировать параметры системы во время работы, а также на интеграцию системы с алгоритмами навигации и планирования движения для обеспечения автономного функционирования робота в неизвестной среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Macedo J., Costa R., Marques L.* Robot Operating System: A Modular Software Framework for Robotics // Journal of Software Engineering for Robotics. – 2019. – Vol. 10, № 3. – P. 1-16.

2. *Quigley M. et al.* ROS: an open-source Robot Operating System // ICRA workshop on open source software. – 2009. – Vol. 3, № 3.2. – P. 5.

3. *O'Kane J.M.* A Gentle Introduction to ROS. – Independently published, 2018. – 166 p.

4. *Kato S. et al.* The Autoware Foundation: Opening Up Autonomous Driving Technology // AutonomousPlatform Technology. – 2020. – Vol. 1, № 1. – P. 20-34.

5. *Joseph L., Cacace J.* Mastering ROS for Robotics Programming: Design, build and simulate complex robots using Robot Operating System. – Packt Publishing, 2018. – 604 p.

6. *Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M.* Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions // Future Generation Computer Systems. – 2013. – Vol. 29, № 7. – P. 1645-1660.

7. *Kim J., Choi J.S., Kim M.* Balancing control of a two-wheel inverted pendulum robot // 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. – IEEE, 2011. – P. 308-313.

8. *Lewis F.L., Vrabie D., Syrmos V.L.* Optimal control. – John Wiley & Sons, 2012. – 553 p.

9. *Åström K.J., Hägglund T.* PID controllers: theory, design, and tuning. – Instrument society of America, 1995. – 343 p.

10. *Pan M.S., Xiong N., Zhang Y.* A Balancing Control Strategy for Two-Wheeled Self-Balancing Robot Based on Sensor Fusion Algorithm // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2020. – Vol. 16, № 4. – P. 2392-2399.

PROGRAM REALIZATION OF MOTION CONTROL SYSTEM FOR TWO-WHEELED ROBOT WITH DIFFERENTIAL DRIVE

Arbuzov A.R.

Supervisor: Lazareva P.A., Associate Professor, Candidate of Physico-Mathematical Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The article presents a software implementation of a control system for a two-wheeled self-balancing robot based on the Robot Operating System 2 (ROS2) framework. A modular software architecture is considered that provides decentralized interaction between components via a publish-subscribe mechanism. The implementation of key software nodes is described: reading data from sensors, odometry processing, negative feedback, linear-quadratic and proportional-integral-differential regulators, and actuator control. Particular attention is paid to optimizing the software code for real-time operation on a hardware platform with limited computing resources. The developed system provides efficient control of a balancing robot with a control loop frequency of 400 Hz.

УДК 621.865.8

СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ДВУНОГОГО РОБОТА ПРИ ХОДЬБЕ ПО НАКЛОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Аржанов Д.Н.

Научный руководитель: Маликов А.И, профессор, д. ф.-м.н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе решается задача синтеза управления для стабилизации двуногого робота при ходьбе по наклонной поверхности.

Постановка задач и краткие сведения о системе стабилизации двуного шагового робота

В докладе рассматриваются следующие задачи.

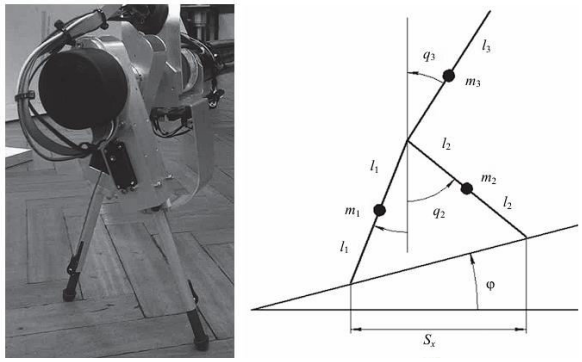
1. Моделирование системы двуного шагового робота.
2. Разработка блока генерации траектории для углов робота.
3. Разработка и настройка ПИД-регулятора.
4. Синтез прогнозирующего регулятора.

Двуногие шагающие роботы (ДШР) представляют собой одно из наиболее перспективных направлений современной робототехники благодаря их способности функционировать в условиях, созданных для человека.

Ключевой проблемой обеспечения эффективного функционирования ДШР является поддержание динамической устойчивости при движении по различным поверхностям, особенно по наклонным участкам. Наклонные поверхности значительно усложняют задачу управления, поскольку изменяют распределение сил и моментов в системе, требуя адаптивных стратегий стабилизации. Решение данной проблемы критически важно для расширения области применения антропоморфных роботов в реальных условиях эксплуатации.

Моделирование системы двуного шагового робота

Рассматривается трехзвенный шагающий робот циркульного типа, общий вид которого и кинематическая схема показаны на рисунке 1 из [1].



а) б)

Рисунок 1. Общий вид (а) и кинематическая схема (б) трехзвенного двуногого шагового робота циркульного типа

Следует отметить, что в [1] решалась задача стабилизации положения двуногого робота, находящегося на подвижной наклонной поверхности. Здесь решается задача стабилизации робота при ходьбе по наклонной поверхности.

Для упрощения математической модели робота были приняты следующие допущения: ноги робота не отходят от наклонной поверхности, не проскальзывают; угол φ наклона поверхности является постоянным.

При получении уравнений динамики, описывающих поведение робота, использовался тензорный способ [1]. Обобщенные координаты были выбраны в виде углов отклонения каждого звена от вертикали q_1, q_2 и q_3. Матричное представление динамических уравнений имеет вид:

$$M(q)\ddot{q}+C(q,\dot{q})=U.$$

Здесь $M(q)$ - матрица инерций;

$C(q,\dot{q})$ - матрица центростремительных, кориолисовых и потенциальных сил;

q - вектор обобщённых координат;

U - управляющие моменты, создаваемые двигателями постоянного тока.

Выражения для матриц $M(q)$ и $C(q,\dot{q})$ выписаны в [1].

Матричное уравнение (1) реализовано с помощью блок функции в Simulink.

Разработка блока генерации траекторий для углов робота

Желаемые траектории углов q_1 и q_2 обеспечивают выполнение шагов при различных наклонах плоскости. Желаемая траектория угла q_3 обеспечивает устойчивое движение [2]. На рисунке 2 проиллюстрировано выполнение роботом одного шага при движении по плоскости без наклона.

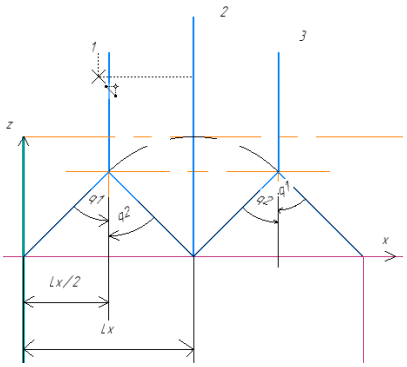


Рисунок 2. Иллюстрация выполнения одного шага на плоскости без наклона.

Из рисунка видно, как должны изменяться углы, т.е. $q_1 \to -q_2; q_2 \to -q_1; q_3 \to 0$.

Рассмотрев выполнение одного шага робота при наклоне плоскости 30 градусов (рисунок 3) и -30 градусов (рисунок 4), можно сделать вывод, что

1) при $\varphi \geq 0$: $q_1 \to -(q_2 + \varphi); q_2 \to -(q_1 - \varphi)$.

2) при $\varphi < 0$: $q_1 \to -(q_2 - \varphi); q_2 \to -(q_1 + \varphi)$.

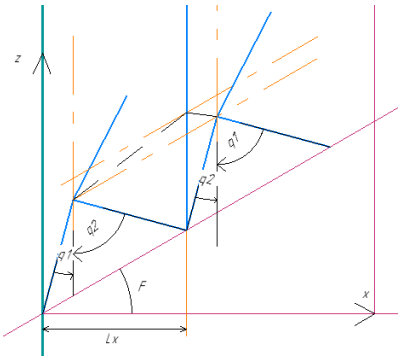


Рисунок 3. Иллюстрация выполнения одного шага на плоскости с наклоном 30 градусов

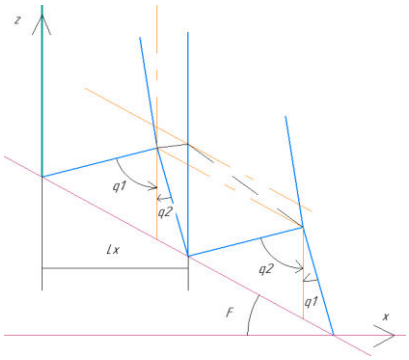


Рисунок 4. Иллюстрация выполнения одного шага на плоскости с наклоном - 30 градусов

Для устойчивого движения по наклонной плоскости желаемое положение центра масс должно находиться в центре опоры робота, т.е. $Sx \to \frac{1}{2} Lx$, где Lx – проекция опоры робота на ось x.

При выполнении шага проекции центров масс сочленений робота x_1, x_2 и x_3 изменяются следующим образом:

$$x_1 = l \sin(q_1);$$

1) при $q_1, q_2 \geq 0$: $x_2 = 2l \sin(q_1) + l \sin(q_2);$

$$x_3 = 2l \sin(q_1) + l \sin(q_3).$$

$$x_1 = 2l \sin(-q_2) + l \sin(-q_1);$$

2) при $q_1, q_2 < 0$: $x_2 = l \sin(-q_2);$

$$x_3 = 2l \sin(-q_2) + l \sin(-q_3).$$

Здесь l – половина длины сочленения робота. Длинны трех сочленений равны 1 м.

Положение центра масс Sx рассчитывается по формуле (2):

$$Sx = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3}{m_1 + m_2 + m_3} \to x_3;$$

$$x_3 = \frac{(m_1 + m_2 + m_3) Sxr - m_1 x_1 - m_2 x_2}{m_3}.$$

Зная желаемое положение ЦМ по формуле (2) и углы q_1, q_2 можно рассчитать желаемую траекторию угла q_3:

1) при q_1, $q_2 \geq 0$: $\sin(q_3) = \frac{x_3 - 2l\sin(q_1)}{l} \rightarrow q_3 = \arcsin(\frac{x_3 - 2l\sin(q_1)}{l})$;

2) при q_1, $q_2 < 0$: $\sin(q_3) = \frac{x_3 - 2l\sin(-q_2)}{l} \rightarrow q_3 = \arcsin(\frac{x_3 - 2l\sin(-q_2)}{l})$.

Разработка и настройка ПИД-регулятора

Для каждого из трех управляемых сочленений робота (два для ног и одно для тела) может быть синтезирован свой ПИД-регулятор. Однако в данной работе для трех сочленений будут использоваться одинаковые коэффициенты регулятора, поэтому при моделировании он будет представлен одним блоком [3].

Для данной работы использовался эмпирический метод подбора коэффициентов регулятора. Коэффициенты ПИД-регулятора равны: K_p=200, K_i=15, K_d=30. На рисунке 5 и 6 представлены: результат моделирования системы с ПИД-регулятором и ошибка между желаемым и действительным значениями угла q_3 при угле наклонна поверхности равном 30 градусов.

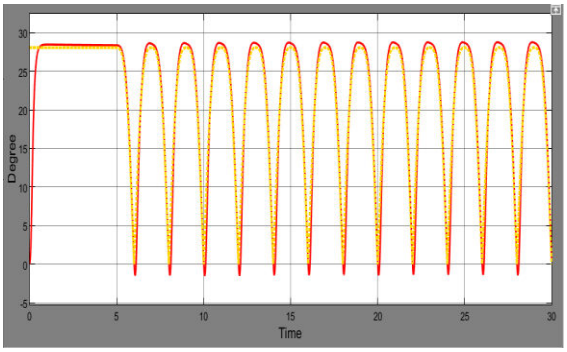


Рисунок 5. График изменения угла q_3 в системе с ПИД-регулятором (действительное значение угла q_3 – красная линия; желаемое значение угла q_3 – желтая пунктирная линия).

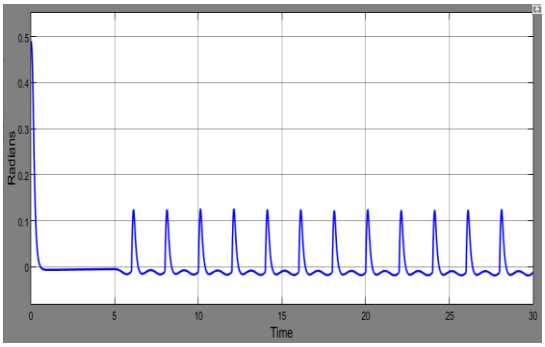


Рисунок 6. График изменения ошибки между действительном и желаемым значениями угла q_3 в системе с ПИД-регулятором.

ПИД-регулятор успешно отслеживает заданную траекторию. Обеспечивает интегрально-квадратичную ошибку равную 0,031 и максимальное абсолютное отклонение равное 0,127 рад.

Синтез прогнозирующего регулятора

Для синтеза Model Predictive Control (MPC) регулятора необходима математическая модель объекта [4]. В данном исследовании используется линеаризованная модель динамики трехзвенного робота, полученная из нелинейной модели Simulink. Процедура линеаризации выполняется с помощью функции linmod из состава MATLAB, которая возвращает матрицы пространства состояний A, B, C, D непрерывной линейной модели.

Ключевыми параметрами MPC являются горизонт прогнозирования P и горизонт управления M. Горизонт прогнозирования P определяет, на сколько шагов вперед регулятор предсказывает поведение системы. Горизонт управления M определяет, на сколько шагов вперед оптимизируются управляющие воздействия. В данном исследовании приняты следующие значения:

P = 8 - горизонт прогнозирования (количество шагов);

M = 3 - горизонт управления (количество шагов).

Эти значения обеспечивают достаточный горизонт для предсказания эффектов управления (при Ts = 0.1 с, P = 8 соответствует 0,8 секундам), при этом сохраняя приемлемую вычислительную нагрузку за счет меньшего горизонта управления M.

Объект MPC-регулятора mpcobj создается с использованием функции mpc из Model Predictive Control Toolbox, которой передаются непрерывная модель объекта plant_continuous, шаг дискретизации Ts, а также горизонты прогнозирования P и управления M. Целевая функция, минимизируемая MPC-регулятором на каждом шаге, является квадратичной и включает штрафы за отклонение выходных переменных от заданных значений, за величину управляющих воздействий и за скорость их изменения. Весовые коэффициенты определяют относительную важность этих компонент:

- Веса для выходных переменных (OutputVariables).

Задают приоритет отслеживания желаемых углов сочленений. В данном исследовании всем трем углам (y_phi1, y_phi2, y_phi3) присвоен одинаковый высокий вес равный 200, что подчеркивает важность точного отслеживания траектории:

- Веса для управляющих воздействий (ManipulatedVariables).

Штрафуют чрезмерно большие управляющие моменты, что способствует снижению энергопотребления и предотвращению насыщения приводов. В данной работе они равны 0,001.

- Веса для скорости изменения управляющих воздействий (ManipulatedVariablesRate).

Штрафуют резкие изменения управляющих моментов, что обеспечивает более плавное управление и снижает износ механических компонентов. Для системы ДШР данные веса равны 0,001.

Важным преимуществом MPC является возможность явного учета ограничений на переменные состояния и управления. В данной работе заданы ограничения на выходные переменные (углы сочленений), которые не должны выходить за пределы $\pm\pi/2$ радиан (± 90 градусов).

Кроме того, для более реалистичного моделирования работы системы управления, учитываются физические ограничения приводов робота. Введено ограничение на максимальное и минимальное напряжение, подаваемое на двигатели сочленений. Это напряжение, являющееся управляющим воздействием u, ограничено диапазоном ±24 Вольта. При необходимости могут быть также заданы ограничения на амплитуду управляющих моментов и на скорость их изменения. На рисунке 7 и 8 представлены: результат моделирования системы с MPC-регулятором и ошибка между желаемым и действительным значениями угла q_3 при угле наклонна поверхности равном 30 градусов.

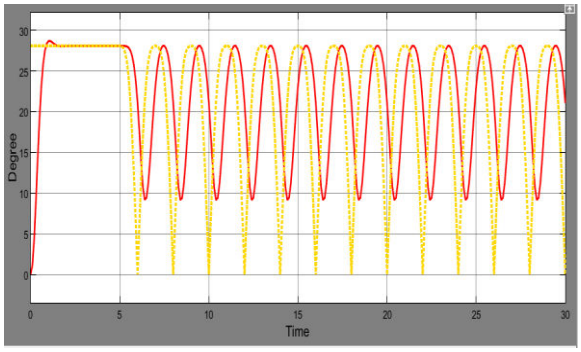


Рисунок 7. График изменения угла q_3 в системе с MPC-регулятором (реальное значение угла q_3 – красная линия; желаемое значение угла q_3 – желтая пунктирная линия).

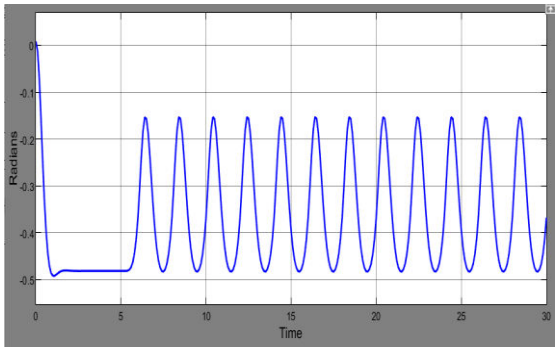


Рисунок 8. График ошибки между реальным и желаемым значением угла q_3 в системе с MPC-регулятором.

Из рисунков видно, что MPC регулятор обеспечивает максимальное абсолютное отклонение примерно равно 0,48 рад., а интегрально-квадратичная ошибка равна 3,47.

Выводы

В данной работе успешно решены задачи стабилизации движения трехзвенного двуногого робота при ходьбе по наклонной поверхности. Была разработана динамическая модель робота и алгоритм генерации траекторий, адаптирующийся к углу наклона.

Для управления системой были спроектированы и сравнены два типа регуляторов: классический ПИД и прогнозирующий (MPC). Сравнительный анализ показал, что оба подхода обеспечивают устойчивость системы. Интегрально-квадратичная ошибка равна 0,031 и максимальное абсолютное отклонение равное 0,127 рад, а для MPC-регулятора: 3,47 и 0,48 рад соответственно.

Таким образом, исследование подтверждает, что прогнозирующее управление (MPC) хоть и является более робастной и качественной стратегией для сложных динамических систем, как двуногий робот, не может обеспечить более высокую точность стабилизации, чем обычный ПИД-регулятор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Базылев Д.Н., Пыркин А.А., Маргун А.А., Зименко К.А., Кремлев А.С., Ибраев Д.Д., Чех М.* Способы стабилизации двуногих роботов в положении стоя на подвижной опоре // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 418–425.

2. *Mu X., Wu Q.* Dynamic walking of a biped robot on an inclined slope // Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), Kunming, China, December 17-20, 2006. – IEEE, 2006. – P. 1378–1383.

3. *Остен Й., Формальский А.М.* Синтез управления двуногим шагающим роботом для преодоления склона // Robotica. – 2003. – Т. 21, № 4. – С. 403–414.

4. *Лю Й., Венсинг П.М., Орин Д.Е., Сентис Л.* Вычислительно эффективное MPC для передвижения человекоподобного робота по неровной местности // Труды 16-й Международной конференции IEEE-RAS по человекоподобным роботам (Humanoids) 2016 г. – Канкун, Мексика: IEEE, 2016. – С. 17–24.

CONTROL STRATEGIES FOR ENSURING STABILITY OF A BIPED ROBOT WHEN WALKING ON AN INCLINED SURFACE

Arzhanov D.N.

Supervisor: Malikov A.I., Ful Professor, Doctor of Physical and Mathematical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper solves the problem of control synthesis for stabilizing a bipedal robot while walking on an inclined surface.

УДК 612.176

РОЛЬ БИОМЕХАНИКИ В ФОРМИРОВАНИИ ПРИБОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВНЕЗАПНОЙ СЕРДЕЧНОЙ СМЕРТИ У СПОРТСМЕНОВ

Арсентьева А.И.

Научный руководитель: Тюрина М.М., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается роль биомеханических факторов в патогенезе внезапной сердечной смерти (ВСС) у спортсменов. Описываются современные и перспективные приборные системы, разработанные с учетом биомеханических принципов, для неинвазивного мониторинга и ранней диагностики факторов риска ВСС.

Занятия спортом сказываются на функционировании практически всех органов и систем, наиболее выраженные изменения развиваются в сердечно-сосудистой системе (ССС). Они носят приспособительный характер, обеспечивая более экономичную работу сердца в покое и значительное увеличение его работоспособности в условиях нагрузки. У 40% высококвалифицированных спортсменов из-за несоответствия интенсивности физических и эмоциональных нагрузок возможностям организма изменения из разряда адаптационных переходят в ранг патологических [1].

Известно, что у спортсменов с сердечно-сосудистыми заболеваниями, часто имеющими бессимптомный характер и поэтому являющимися нередко нераспознанными, повышен риск жизнеугрожаемых состояний и внезапной сердечной смерти (ВСС) по сравнению с нетренированными людьми, имеющими такую же патологию. В структуре ВС спортсменов на сердечно-сосудистые заболевания приходится более 50%. Внезапная смерть у спортсменов, несмотря на невысокую частоту, имеет место быть, вызывает очень большой общественный резонанс и должна быть минимизирована [1].

В последние годы растет понимание роли биомеханических факторов в возникновении ВСС, что стимулирует разработку новых приборных систем, предназначенных для ее раннего выявления и предотвращения.

Биомеханика как наука изучает механические свойства и движения биологических систем. В применении к сердечно-сосудистой системе, биомеханика исследует влияние механических нагрузок, сил и деформаций на структуру и функцию сердца, сосудов и кровотока. У спортсменов, подвергающихся интенсивным физическим нагрузкам, эти факторы могут быть критическими и приводить к следующим биомеханическим рискам ВСС: изменения в геометрии и механических свойствах миокарда, повышенное напряжение сдвига в сосудах, изменение жесткости и эластичности аорты и т.д.

Ключевые биомеханические риски ВСС у спортсменов, требующие внимания при разработке приборных систем мониторинга, включают изменения в геометрии и механических свойствах миокарда, повышенное напряжение сдвига в сосудах и изменение жесткости и эластичности аорты. Мониторинг и анализ этих параметров позволят оценить функциональное состояние сердечно-сосудистой системы и вовремя выявить возможные отклонения от нормы, способствуя профилактике ВСС. На рисунке 1 представлен график, отражающий изменения давления внутри левого желудочка в зависимости от его объема в течение одного сердечного цикла.

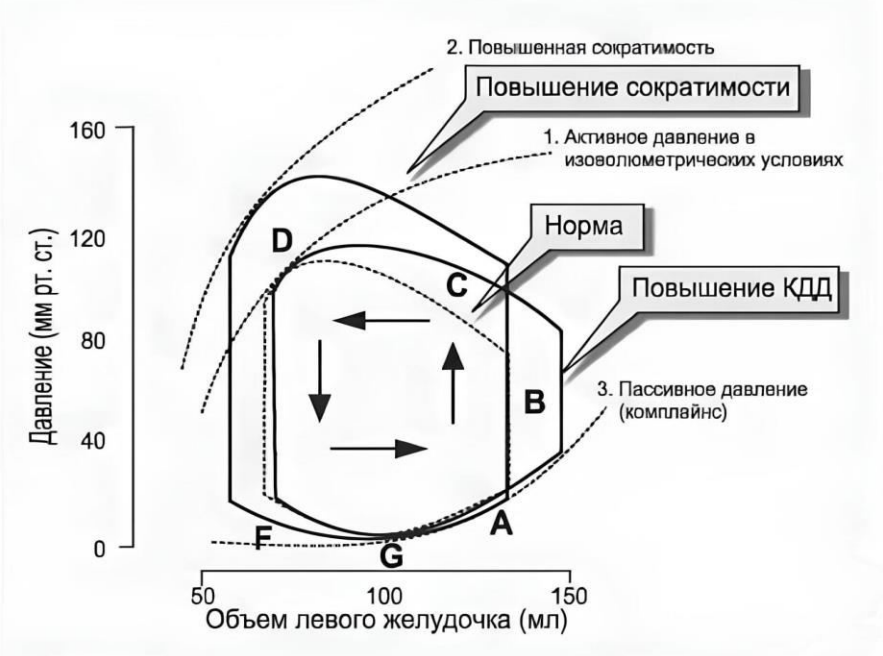


Рисунок 1. Петля «Давление-Объем» левого желудочка (Pressure-Volume Loop)

Нормальная петля имеет характерную форму, отражающую фазы наполнения (от точки A до B), изоволюметрического сокращения (от B до C), выброса крови (от C до D) и изоволюметрического расслабления (от D до A). Смещение петли влево (как показано для повышенной сократимости) отражает увеличение сократимости миокарда. Смещение петли вправо (как показано для повышения конечно-диастолического давления) отражает снижение податливости (комплаенса) желудочка или увеличение преднагрузки. Активное давление в изоволюметрических условиях показывает максимальное давление, которое может создать желудочек при данном объеме, а пассивное давление (комплаинс) показывает, как легко растягивается желудочек при наполнении. Анализ петли «Давление-Объем» позволяет комплексно оценить механическую функцию левого желудочка и выявить признаки различных патологических состояний, таких как сердечная недостаточность, гипертрофия или кардиомиопатия.

Учитывая роль биомеханических факторов в механизме возникновения ВСС, необходимо разрабатывать приборные системы, обеспечивающие неинвазивный, непрерывный и надежный мониторинг ключевых параметров. Примерами таких систем являются:

1. Эхокардиографические системы

Традиционные эхокардиографы имеют ограничения в оценке локальных нарушений сократимости миокарда. Усовершенствованные эхокардиографические системы, оснащенные алгоритмами анализа деформации, позволят количественно оценить деформацию и скорость деформации миокарда в различных сегментах сердца. Это может быть реализовано с помощью разработки алгоритмов, устойчивых к шуму и артефактам, и обеспечивающих высокую точность и воспроизводимость измерений. Кроме того, требуется разработка портативных и удобных в использовании эхокардиографов для применения в спортивных условиях.

2. Магнитно-резонансная томография (МРТ) сердца

МРТ сердца является наиболее точным методом для оценки структуры и функции сердца. МРТ позволяет получить трехмерные изображения сердца с высоким разрешением, что позволяет точно оценить размеры камер сердца, толщину стенок, массу миокарда и наличие фиброза. МРТ также позволяет оценить кровоснабжение сердца.

Для демонстрации возможностей и ограничений каждого метода в таблице 1 приведено сравнение эхокардиографии и МРТ сердца в оценке сердечно-сосудистых параметров.

Таблица 1

Сравнение эхокардиографии и МРТ сердца в оценке сердечно-сосудистых параметров

Параметр	Эхокардиография	МРТ сердца
Разрешение	Среднее	Высокое
Точность	Средняя	Высокая
Доступность	Высокая	Низкая
Стоимость	Низкая	Высокая

Сравнение методов подчеркивает необходимость комбинированного подхода. В некоторых случаях, для получения полной картины состояния сердечно-сосудистой системы спортсмена, может потребоваться использование нескольких методов.

3. Носимые системы для непрерывного мониторинга артериального давления и пульсовой волны

Ключевыми инженерными задачами являются разработка высокоточных и энергоэффективных датчиков давления, а также разработка алгоритмов для выделения полезного сигнала пульсовой волны из зашумленных данных. Важно также учитывать влияние движения и температуры на точность измерений.

Ряд технологий измерения артериального давления предполагает получение и анализ пульсовой волны, даже незначительные изменения которой могут предоставить информацию

о диагнозе и прогнозе сердечно-сосудистого заболевания. В настоящее время существует несколько методов неинвазивного безманжетного измерения АД, основанных на регистрации пульсовой волны и имеющих потенциал для применения в клинической практике. К ним относятся фотоплетизмография, механопульсография и устройства, основанные на применении ультразвука [2].

Основные методы и средства контроля параметров сердечно-сосудистой системы для разработки портативных устройств представлены в работе [3]

Далее в статье будет выделена роль биомеханического моделирования в разработке приборных систем. Компьютерное моделирование позволяет:

• изучать влияние различных факторов (гипертрофии, фиброза, ишемии) на механическую функцию сердца и риск развития аритмий.

• оптимизировать конструкцию сенсоров и алгоритмы обработки данных для повышения точности и надежности измерений.

• разрабатывать персонализированные алгоритмы оценки риска ВСС на основе индивидуальных данных спортсмена.

Подчеркнем, что биомеханическое моделирование играет важную роль в разработке и оптимизации приборных систем для предотвращения ВСС.

В настоящее время в России проводятся исследования по разработке новых приборных систем для спортивной медицины, в том числе для мониторинга сердечно-сосудистой системы спортсменов. Ниже приведены примеры исследований:

• Исследования по анализу вариабельности сердечного ритма (ВСР) [4, 5]

• Разработка текстильных электродов для мониторинга ЭКГ [6, 7]

Таким образом, предотвращение внезапной сердечной смерти у спортсменов – это сложная задача, требующая междисциплинарного подхода, объединяющего знания из области медицины, физиологии, биомеханики и приборостроения. Большой поток информации, возникающий в процессе функционирования современных приборов, требует разработки инструментов работы с полученными массивами данных. Разработка и внедрение инновационных приборных систем для мониторинга биомеханических факторов риска ВСС, а также использование биомеханического моделирования, являются ключевыми направлениями для снижения риска этой проблемы. Дальнейшее развитие приборостроения в этой области требует тесного сотрудничества между инженерами, врачами и спортивными тренерами.

Работа выполнялась на занятиях студенческого научного кружка проектно-технического творчества «IT-приборист» и соответствующие результаты были получены в рамках реализации Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Яковлева Л.В.* Причины и пути предупреждения внезапной сердечной смерти у спортсменов: уч. пос. для врачей / авт.-сост.: Л.В. Яковлева, И.М. Карамова, Р.Р. Раянова, А.В. Мелитицкая. – Уфа: Изд-во ГБОУ ВПО БГМУ Минздрава России, 2013. – 108 с.

2. *Лебедев Г.С.,* Технологии продолжительного мониторинга артериального давления: перспективы практического применения [Электрон. ресурс] / Г.С. Лебедев, И.А. Шадеркин, Э.Э. Порубаева, А.И. Шадеркина. // Журнал телемедицины и электронного здравоохранения. – Электрон. дан. - Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-prodolzhitelnogo-monitoringa-arterialnogo-davleniya-perspektivy-prakticheskogo-primeneniya.

3. *Арсентьева А.И.* Методы и средства контроля параметров сердечно-сосудистой системы для разработки портативного устройства / А.И. Арсентьева // Инженерная мысль: III Республиканская научно-практическая конференция, 28 ноября 2024 г. / под ред. С.В. Смирновой: сборник докладов. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2024 – С. 158-163.

4. *Доев В.К.* Управление программным обеспечением адаптации организма спортсмена к физическим нагрузкам // Физическая культура. Спорт. Туризм. Двигательная

рекреация [Электрон. ресурс] / В.К. Доев, К.Э. Кетоев. – Электрон. дан. - Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-programmnym-obespecheniem-adaptatsii-organizma-sportsmena-k-fizicheskim-nagruzkam.

5. *Мухина И.В.* Анализ вариабельности сердечного ритма методами нелинейной динамики с использованием пакета программ «Скрин-Варио»: методическое пособие / И.В. Мухина, В.А. Самодро, А.Г. Голубев – Н. Новгород: Изд-во ПИМУ, 2020. - 36 с .: ил.

6. *Лемешко Е.В.* Разработка электродов нового поколения для регистрации биоэлектрических потенциалов сердца [Электрон. ресурс] / С.Н. Васюкевич, С.В. Губкин // Доклады БГУИР. – Электрон. дан. - Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-elektrodov-novogo-pokoleniya-dlya-registratsii-bioelektricheskih-potentsialov-serdtsa.

7. *Кривоногов Л.Ю.* Разработка системы ЭКГ-диагностики критических состояний [Электрон. ресурс] / Д.В. Папшев // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – Электрон. дан. - Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-sistemy-ekg-diagnostiki-kriticheskih-sostoyaniy.

THE ROLE OF BIOMECHANICS IN THE DEVELOPMENT OF DEVICE SYSTEMS TO PREVENT SUDDEN CARDIAC DEATH IN SPORTSMEN

Arsentyeva A.I.

Supervisor: Tyurina M.M., Assistant Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The article discusses the role of biomechanical factors in the pathogenesis of sudden cardiac death (SCD) in athletes. It also examines modern and promising device systems developed based on biomechanical principles for non-invasive monitoring and early diagnosis of risk factors for SCD.

УДК 612.176

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АДАПТАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ПАРАМЕТРОВ

Арсентьева А.И.

Научный руководитель: Тюрина М. М., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются современные неинвазивные методы мониторинга сердечно-сосудистых параметров спортсменов, адаптированные для использования в условиях интенсивных физических нагрузок. Описываются ключевые направления развития электронных систем мониторинга, включая миниатюризацию и интеграцию с носимой электроникой.

В современном спорте высших достижений, где доли секунды определяют победителя, мониторинг физиологического состояния спортсмена является критически важным для оптимизации тренировочного процесса, предотвращения перетренированности и снижения риска травм. У спортсменов, подвергающихся регулярным и интенсивным нагрузкам, наблюдаются специфические структурные и функциональные адаптации артериальных сосудов, а работа сердца и сосудистой системы в целом может значительно отличаться от стандартных физиологических норм. В связи с этим, возрастает потребность в современных и адаптированных электронных системах мониторинга, способных учитывать эти особенности и обеспечивать точную оценку состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) для оптимизации тренировок и профилактики осложнений.

Наиболее распространенными и безопасными методами мониторинга сердечно-сосудистых параметров спортсменов являются неинвазивные методы, позволяющие получать информацию без проникновения в организм. Ниже будут рассмотрены эти методы.

• Методы, основанные на регистрации электрокардиограммы

Электрокардиографией (ЭКГ) называют метод регистрации электрических потенциалов, генерируемых мышцей сердца. При ЭКГ электроды накладывают на определенные точки тела человека и соединяют с электрокардиографом [2]. В спорте применяются портативные ЭКГ-регистраторы для мониторинга частоты сердечных сокращений (ЧСС), вариабельности сердечного ритма (ВСР), а также выявления аритмий и других патологических изменений.

Современные ЭКГ-системы интегрируются в спортивную одежду (датчики на ткани), что повышает комфорт и снижает вероятность артефактов, вызванных движением. При этом электроды могут быть как частью одежды (майка, футболка и т.д.), так и частью конструкции из эластичных лент, напоминающей ортопедический бандаж, но без ребер жесткости и со сниженным натяжением. Сами электроды должны отвечать следующим требованиям [1]:

1. Удельное поверхностное сопротивление не более 50 Ом/квадрат.
2. Размер электрода не более 60х60 мм.
3. Надежный контакт с металлом (сталь, медь).
4. Устойчивость к растворам, содержащим NaC1 и высокомолекулярные спирты.

Схема ЭКГ-системы, интегрированной в спортивную одежду представлена на рисунке 1.

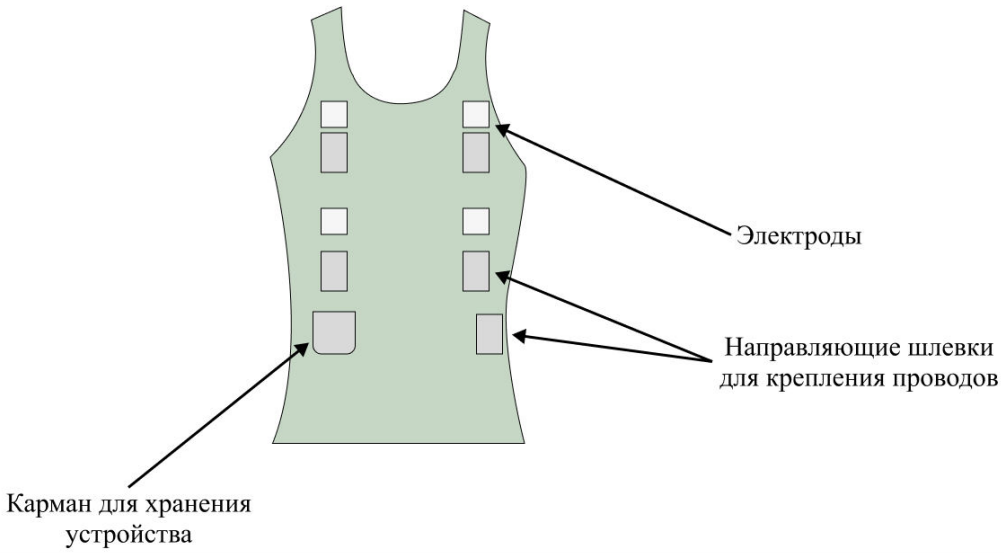


Рисунок 1. Схема ЭКГ-системы, интегрированной в спортивную одежду

• Фотоплетизмография

Фотоплетизмографию (ФПГ) можно рассматривать как метод исследования периферического кровообращения путем оценки уровня абсорбции светового потока биологической тканью. ФПГ используется для измерения частоты сердечных сокращений, оценки периферического кровотока и насыщения крови кислородом (SpO2).

ФПГ-датчики часто встраиваются в фитнес-трекеры, умные часы и другие носимые устройства, что обеспечивает удобство мониторинга в повседневной жизни и во время тренировок. Однако, точность ФПГ может снижаться при интенсивных движениях и плохой фиксации датчика.

Один из вариантов носимых устройств (умные часы) представлен на рисунке 2.

Рисунок 2. Умные часы для мониторинга ЧСС и SpO2 методом фотоплетизмографии, используемые в спорте

• Транскраниальная доплерография

Метод, позволяющий неинвазивно оценивать скорость кровотока в крупных артериях головного мозга. Транскраниальная доплерография (ТКД) позволяет мониторить церебральную гемодинамику во время физических нагрузок, что важно для понимания адаптационных механизмов мозга и профилактики церебральных осложнений у спортсменов [3].

Датчики ТКД, излучающие и принимающие ультразвук, закрепляются на голове спортсмена с помощью специальных шлемов или держателей. Во время тренировки ТКД-аппарат непрерывно регистрирует скорость кровотока в выбранных артериях. Данные записываются для последующего анализа. При этом необходимо постоянно контролировать качество ультразвукового сигнала, так как движения, пот или смещение датчиков могут привести к артефактам.

Данный метод мониторинга больше подходит для циклических видов спорта (бег, велоспорт, плавание). В этих видах спорта относительно просто поддерживать стабильное положение головы, что облегчает проведение процедуры.

Важно отметить, что транскраниальная доплерография во время тренировок – это сложная и трудоемкая процедура, требующая высокой квалификации исследователя и тщательной подготовки спортсмена, и оборудования. Она не является рутинным методом мониторинга, а используется в основном в научных исследованиях и для углубленной оценки функционального состояния спортсменов высокого уровня.

• Импедансная кардиография

Метод оценки сердечного выброса и других гемодинамических параметров на основе измерения электрического сопротивления грудной клетки. Импедансная кардиография (ИКГ) позволяет неинвазивно мониторить изменения ударного объема, минутного объема кровообращения и общего периферического сопротивления сосудов во время физических нагрузок.

Обычно используются полосовые или точечные электроды, располагаемые по анатомическим ориентирам на шее и грудной клетке: два электрода на шее (у основания и в яремной вырезке) и два электрода на груди (на уровне мечевидного отростка и у основания груди).

ИКГ-регистратор непрерывно измеряет изменения электрического импеданса грудной клетки. Эти изменения связаны с пульсациями крови в аорте. Данные записывают, затем анализируют изменения гемодинамических параметров в ответ на различные фазы тренировки (разминка, основная часть, заминка) и различные уровни нагрузки.

Таким образом, для всесторонней оценки состояния сердечно-сосудистой системы спортсмена существует широкий спектр неинвазивных методов. Однако, для их эффективного применения в динамичных условиях тренировок и соревнований, электронные системы, использующие эти методы, требуют значительной адаптации. Далее мы

рассмотрим основные направления этой адаптации, направленные на повышение удобства, надежности и точности мониторинга в спортивной практике.

• Миниатюризация и беспроводные технологии

Современные системы мониторинга стремятся к миниатюризации и беспроводной передаче данных, чтобы обеспечить максимальный комфорт и свободу движений спортсмена во время тренировок и соревнований. Беспроводные технологии (Bluetooth, Wi-Fi) позволяют передавать данные в режиме реального времени на телефон, планшет или компьютер для анализа и визуализации.

• Интеграция с носимой электроникой

Датчики сердечно-сосудистых параметров все чаще интегрируются в спортивную одежду, фитнес-трекеры, умные часы и другие носимые устройства. Это позволяет осуществлять мониторинг в повседневной жизни и во время тренировок без дополнительных усилий со стороны спортсмена.

• Устойчивость к артефактам

Движения, пот и другие факторы могут вызывать артефакты в сигналах датчиков. Современные системы мониторинга используют алгоритмы фильтрации и обработки сигналов для минимизации артефактов и повышения точности измерений. Важную роль играет также правильная фиксация датчиков на теле спортсмена.

• Разработка специализированных алгоритмов анализа данных:

Специфика спортивной деятельности требует разработки специализированных алгоритмов анализа сердечно-сосудистых параметров. Например, алгоритмы для выявления зон оптимальной нагрузки, оценки степени восстановления, прогнозирования риска перетренированности, а также персонализированные алгоритмы на основе индивидуальных физиологических характеристик спортсмена.

• Обратная связь в реальном времени

Некоторые системы мониторинга предоставляют обратную связь в реальном времени, позволяя спортсмену корректировать интенсивность тренировки в соответствии с текущим физиологическим состоянием. Это может быть реализовано с помощью звуковых сигналов, вибрации или визуальных подсказок на экране устройства.

В будущем следует ожидать дальнейшего развития и совершенствования электронных систем мониторинга сердечно-сосудистых параметров спортсменов.

Таким образом, современные электронные системы мониторинга сердечно-сосудистых параметров являются мощным инструментом для повышения эффективности тренировочного процесса и снижения риска травм у спортсменов. Адаптация этих систем к специфическим требованиям спорта, обеспечение комфорта и точности измерений, а также разработка специализированных алгоритмов анализа данных являются ключевыми направлениями развития данной области. Успешное внедрение этих технологий в практику спортивной медицины позволит значительно повысить уровень подготовки спортсменов и продлить их спортивную карьеру.

Работа выполнялась на занятиях студенческого научного кружка проектно-технического творчества «IT-приборист» и соответствующие результаты были получены в рамках реализации Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Синютин С.А.* Интегрированные в одежду электроды для регистрации ЭКГ [Электрон. ресурс] / С.А. Синютин, А.В. Леонова // ИВД. – Электрон. дан. - Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/integrirovannye-v-odezhdu-elektrody-dlya-registratsii-ekg.

2. Нестерова Е.А. Основы электрокардиографии. Нормальная ЭКГ // Кардиология: Новости. Мнения. Обучение [Электрон. ресурс] / Е.А. Нестерова // Электрон. дан. - Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/osnovy-elektrokardiografii-normalnaya-ekg.

3. Скрипаль А.В. Диагностика артериальных сосудов спортсменов с помощью допплеровского ультразвукового измерения [Электрон. ресурс] / А.В. Скрипаль, А.В. Фомин, А.С. Бахметьев, Н.Б. Брилёнок, А.А. Сагайдачный, С.Ю. Добдин, А.С. Тихонова // Изв. Сарат. ун-та Нов. сер. Сер. Физика. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/diagnostika-arterialnyh-sosudov-sportsmenov-s-pomoschyu-dopplerovskogo-ultrazvukovogo-izmereniya.

MODERN METHODS OF ADAPTATION OF ELECTRONIC SYSTEMS FOR MONITORING CARDIOVASCULAR PARAMETERS OF ATHLETES

Arsentyeva A.I.
Supervisor: Tyurina M.M., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses modern non-invasive methods for monitoring cardiovascular parameters of athletes, adapted for use in conditions of intense physical exertion. The key directions of development of electronic monitoring systems, including miniaturization and integration with wearable electronics, are described.

УДК 681.2

МОНИТОРИНГ БИОМЕХАНИКИ В ИЗОКИНЕТИЧЕСКОМ ТРЕНАЖЕРЕ ДЛЯ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Арсентьева В.И.
Научный руководитель: Тюрина М.М., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена разработке системы мониторинга биомеханики, интегрированной в изокинетический тренажер для персонализированной реабилитации верхних конечностей. В статье подробно рассматриваются ключевые биомеханические показатели, алгоритмы их расчета и технические аспекты реализации системы.

Введение

В современном мире растет потребность в эффективных методах реабилитации верхних конечностей после травм, операций и неврологических заболеваний. Изокинетические тренажеры представляют собой перспективное направление в этой области, позволяющее контролировать скорость движения и оказывать сопротивление заданной силы на протяжении всего диапазона движения [1]. Однако, для достижения максимальной эффективности реабилитации, необходим детальный мониторинг биомеханических параметров движения, позволяющий персонализировать тренировочный процесс и оптимизировать его под индивидуальные особенности пациента.

В данной работе предлагается разработка системы мониторинга биомеханики в изокинетическом тренажере, предназначенной для персонализированной реабилитации верхних конечностей. Система предполагает использование современных сенсорных технологий для регистрации параметров движения, таких как угловая скорость, угловое ускорение, усилие и угол в суставе. Полученные данные будут использованы для оценки функционального состояния конечности и корректировки программы реабилитации в режиме реального времени.

Задача

Необходимо разработать тренажер, обеспечивающий контролируемое движение в различных плоскостях и позволяющий регулировать скорость и сопротивление. Система должна включать датчики угловой скорости, углового ускорения, силы и положения,

располагаемые в ключевых точках тренажера. В качестве датчиков могут быть использованы энкодеры, акселерометры, тензометрические датчики и потенциометры. Система обработки данных должна обеспечивать сбор, фильтрацию, обработку и визуализацию данных, полученных с сенсоров. Также необходима возможность корректировки программы реабилитации в режиме реального времени на основе данных о функциональном состоянии конечности. Это может быть реализовано путем изменения скорости движения, сопротивления, амплитуды движения и других параметров.

Ключевые показатели

Для оценки функционального состояния верхних конечностей в изокинетическом тренажере используются следующие ключевые биомеханические показатели:

1) Угловое положение (θ) отражает текущий угол в суставе в процессе движения. Измеряется в градусах (°) или радианах (рад). В изокинетическом тренажере угловое положение является функцией времени θ(t).

2) Угловая скорость (ω) характеризует скорость изменения углового положения во времени. Измеряется в градусах в секунду (°/с) или радианах в секунду (рад/с). Расчет угловой скорости осуществляется путем дифференцирования углового положения по времени (1):

$$\omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \approx \frac{(\theta(t+\Delta t) - \theta(t))}{\Delta t}, \quad (1)$$

где Δt – интервал времени между измерениями.

3) Угловое ускорение (α) отражает скорость изменения угловой скорости во времени. Измеряется в градусах в секунду в квадрате (°/с²) или радианах в секунду в квадрате (рад/с²). Расчет углового ускорения осуществляется путем дифференцирования угловой скорости по времени (2):

$$\alpha(t) = \frac{d\omega(t)}{dt} \approx \frac{(\omega(t+\Delta t) - \omega(t))}{\Delta t}. \quad (2)$$

4) В изокинетическом тренажере усилие (F) обычно измеряется с помощью тензометрических датчиков, расположенных в узлах крепления рычага тренажера. Тензометрические методы являются одними из наиболее распространенных в российской практике биомеханических исследований [2]. Важно отметить, что усилие может быть разложено на компоненты, параллельные и перпендикулярные направлению движения рычага, что позволяет оценить эффективность прилагаемого усилия. Математически это может быть выражено как (3):

$$F = F_t \cdot \cos(\theta) + F_n \cdot \sin(\theta), \quad (3)$$

где F - общее усилие, F_t - касательная компонента усилия, F_n - нормальная компонента усилия, θ - угол между рычагом и направлением движения.

5) Положение (x, y, z). Определение положения конечности в пространстве является важным для контроля траектории движения и обеспечения безопасности пациента. Положение обычно отслеживается с помощью оптических или электромагнитных систем [3]. Эти данные позволяют в реальном времени визуализировать траекторию движения и обнаруживать любые отклонения от заданной программы реабилитации. Данные о положении также могут быть использованы для расчета других кинематических параметров, таких как линейная скорость и ускорение.

Система мониторинга биомеханики может быть реализована с использованием различных технических решений, ориентированных на доступность и точность измерений. Структурная схема системы представлена на рисунке 1 [4].

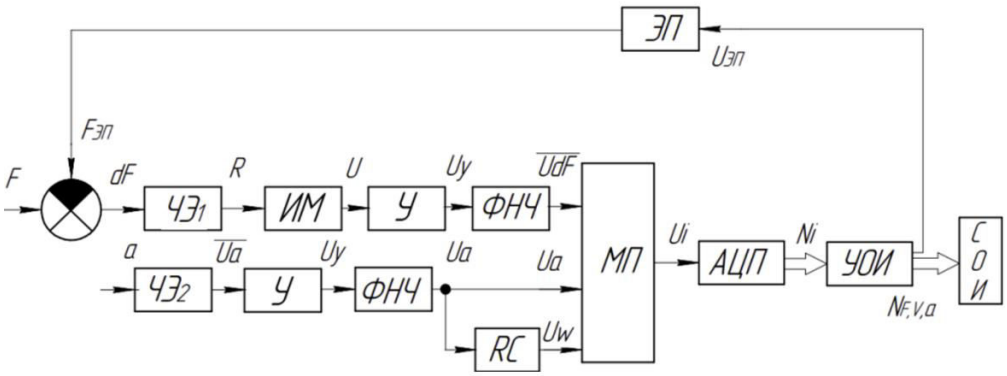


Рисунок 1. Структурная схема системы мониторинга биомеханики

Выбор датчиков

В качестве датчиков углового положения и скорости вращения могут быть использованы инкрементальные энкодеры типа ЛИР-158. Они обладают высокой разрешающей способностью и позволяют точно определять угловое положение вала. Для измерения ускорения предлагается использовать трехосевой MEMS акселерометр типа ADXL345, который отличается компактностью, низким энергопотреблением и достаточной точностью для задач реабилитации. Усилие, прикладываемое к рычагу тренажера, целесообразно измерять с помощью тензометрических датчиков, например, серии Zemic BM14H. Для преобразования деформации в электрический сигнал можно использовать тензоусилитель HX711, обеспечивающий стабильную работу и высокую точность измерений.

Система сбора данных может быть реализована на базе микроконтроллера STM32F407. Этот микроконтроллер обладает достаточной вычислительной мощностью для обработки данных в реальном времени, имеет встроенные АЦП для подключения аналоговых датчиков и интерфейсы для связи с цифровыми датчиками и персональным компьютером.

Система обработки данных может быть реализована с использованием различных алгоритмов фильтрации и цифровой обработки сигналов. А полученные данные могут передаваться на персональный компьютер по интерфейсу USB или Bluetooth для дальнейшего анализа и визуализации.

Выводы

В отличие от традиционных подходов, базирующихся на субъективной оценке, данная система способна представить объективную, количественно измеримую информацию о каждом движении. Это позволит врачам и реабилитологам не только точно отслеживать прогресс пациента, но и оперативно корректировать программу реабилитации, адаптируя ее к индивидуальным потребностям и возможностям. Возможность тонкой настройки нагрузки и параметров движения, основанная на данных реального времени, потенциально приводит к сокращению сроков восстановления, повышению эффективности лечения и, как следствие, улучшению качества жизни пациентов, перенесших травмы или заболевания.

Заключение

Представленная работа является важным шагом на пути к созданию интеллектуальных систем реабилитации. В дальнейшем планируется расширить функциональность системы мониторинга, включив в нее алгоритмы машинного обучения для автоматической идентификации патологических двигательных паттернов и разработки индивидуализированных рекомендаций по коррекции движений. Также, перспективным направлением является интеграция системы с виртуальной реальностью, что позволит создать интерактивные сценарии реабилитации, мотивирующие пациентов к активному участию в процессе восстановления. Кроме того, планируется проведение клинических испытаний, которые позволят оценить эффективность предложенной системы в реальных условиях и подтвердить ее преимущества перед существующими методами реабилитации.

Данная работа выполнена в рамках деятельности студенческого научного кружка проектно-технического творчества «IT-приборист» и поддержана Программой стратегического академического лидерства «Приоритет-2030», благодаря которой были достигнуты представленные результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Попов С.Н.* Лечебная физическая культура: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / С.Н. Попов, Н.М. Валеев, Т.С. Гарасева // под ред. С. Н. Попова. — 8-е изд., испр. — М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 416 с.

2. *Шейко Г.Е.* Возможности применения биомеханических систем захвата движений человека в медицинской реабилитации (обзор) / Г.Е. Шейко, А.Н. Белова, Н.Н. Рукина, Н.Л. Короткова // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2022. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-primeneniya-biomehanicheskih-sistem-zahvata-dvizheniy-cheloveka-v-meditsinskoy-reabilitatsii-obzor (дата обращения: 15.08.2025).

3. *Макарова М.Р.* Тренажерные аппараты и устройства в двигательной реабилитации неврологических больных / М.Р. Макарова, К.В. Лядов, А.В. Кочетков // Доктор.Ру. 2012. №10 (78). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/trenazhernye-apparaty-i-ustroystva-v-dvigatelnoy-reabilitatsii-nevrologicheskih-bolnyh (дата обращения: 15.08.2025).

4. *Арсентьева В.И.* Разработка электронного блока изокинетического тренажера для реабилитации верхних конечностей // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы - Биомедсистемы-2024 : Сборник трудов XXXVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, 04–06 декабря 2024 года. – Рязань: ИП Коняхин А.В., 2024. – С. 352-356.

BIOMECHANICAL MONITORING IN AN ISOKINETIC EXERCISE MACHINE FOR PERSONALIZED UPPER EXTREMITY REHABILITATION

Arsentyeva V.I.

Supervisor: Tyurina M.M., Assistant Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article focuses on the development of a biomechanical monitoring system integrated into an isokinetic dynamometer for personalized upper extremity rehabilitation. The article thoroughly examines key biomechanical parameters, algorithms for their calculation, and technical aspects of system implementation.

УДК 681.2

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ БИОМЕХАНИКИ В ТРЕНАЖЕРЕ ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Арсентьева В.И.

Научный руководитель: Тюрина М. М., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлен обзор современных методов оценки биомеханики верхних конечностей, применяемых в реабилитационных тренажерах. Приведены результаты патентного поиска, демонстрирующие разнообразие технических решений в данной области. Рассмотрена структура и принцип действия изокинетического тренажера для реабилитации верхних конечностей, разработанного с использованием обратной связи.

Реабилитация двигательных функций верхних конечностей является актуальной задачей современной медицины. Оптимизация реабилитационного процесса требует точной и объективной оценки состояния пациента и динамики восстановления. Одним из перспективных направлений является разработка и применение специализированных тренажеров, оснащенных системами мониторинга биомеханических параметров. Цель данной статьи является обзор современных методов оценки биомеханики в тренажерах для реабилитации верхних конечностей, оснащенных системами мониторинга биомеханических параметров.

Успех реабилитационных мероприятий во многом определяется возможностью количественной оценки функционального состояния верхних конечностей. К основным биомеханическим параметрам, используемым для этой цели, относятся:

• Кинематика. Данный параметр включает в себя изучение угловых перемещений в суставах (плечевом, локтевом, лучезапястном), линейных скоростей и ускорений звеньев конечности, а также анализ траекторий движения. Оценка кинематических параметров позволяет определить нарушения координации, амплитуды и плавности движений, а также выявить компенсаторные механизмы, используемые пациентом для выполнения задач.

• Кинетика. Кинетические параметры отражают силы и моменты сил, развиваемые мышцами при выполнении движений, а также силу реакции опоры при взаимодействии конечности с тренажером. Оценка кинетики позволяет определить силовые возможности мышц, выявить дисбаланс между мышцами-агонистами и антагонистами, а также оценить эффективность использования силы при выполнении движений.

• Электромиографические (ЭМГ) характеристики. ЭМГ позволяет зарегистрировать электрическую активность мышц, что дает возможность оценить уровень их напряжения, временные характеристики мышечной активности и амплитуду ЭМГ. Оценка ЭМГ позволяет выявить нарушения активации мышц, преждевременную утомляемость, а также определить эффективность работы мышц-агонистов и антагонистов.

• Координационные параметры. Координационные параметры характеризуют совместное движение различных суставов, плавность и точность выполнения движений. Оценка координационных параметров позволяет выявить нарушения координации, тремор, атаксию, а также оценить способность пациента выполнять сложные и скоординированные движения [1].

Для обоснования актуальности и перспективности применения современных тренажеров с оценкой биомеханических параметров был проведен патентный поиск. Глубина патентного поиска составила 15 лет: с 2011 по 2025 год. В рамках проведенного анализа было выявлено 30 релевантных охранных документов (рис.1), из которых, для разработки структурной схемы предлагаемого устройства, были отобраны и детально проанализированы три наиболее значимых, представленных в таблице 1. Изучение патентных данных позволяет выявить основные тенденции в разработке подобных устройств и определить направления для дальнейших исследований.

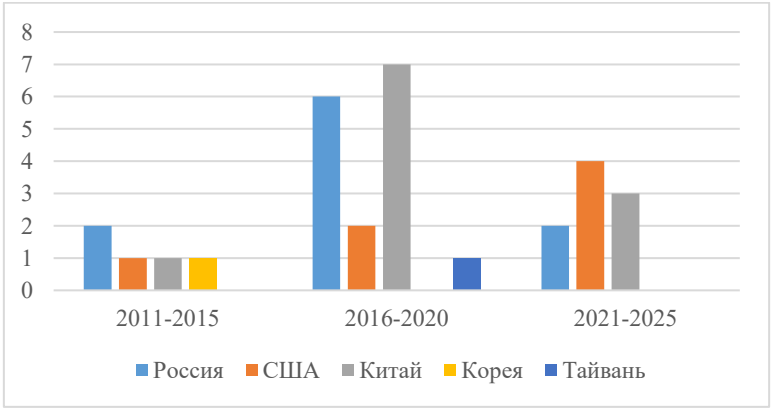


Рисунок 1. Графическая динамика анализируемых патентов

Таблица 1

Результаты патентного поиска

Название, номер патента	Авторы	Год
Тренажер для увеличения силы и объёма движений в суставах верхних конечностей, №RU182113 U1	Пустовалов Иван Алексеевич (RU), Туровинина Елена Фаридовна (RU), Лебедева Джинна Ивановна (RU), Медведева Ирина Васильевна (RU), Козлов Леонид Борисович (RU)	2018
Устройство для реабилитации верхних конечностей, № EP3056182 A1	Wei-Fan Lai (TW), Fu-Han Hsieh (TW)	2017
Устройство, способствующее реабилитации, №RU2427361 C2	Санкаи Йосиюки (JP)	2011

Патентный анализ выявил, что использование обратной связи является распространенным решением в конструкции реабилитационных тренажеров для верхних конечностей [2-4]. В контексте изокинетического тренажера, обратная связь приобретает особое значение, поскольку позволяет обеспечить контроль над движением и адаптировать нагрузку в режиме реального времени. Это позволяет оптимизировать процесс тренировки, повышая его эффективность и безопасность.

Анализ патентной литературы выявил следующие ключевые требования к конструкции изокинетического тренажера для реабилитации верхних конечностей:

- Регулируемость параметров тренировки [2]
- Безопасность [3]
- Измерение биомеханических параметров [2-4]
- Эргономичность и удобство [2-4]
- Функциональность [2, 3]
- Компактность и мобильность [4]
- Долговечность и надежность [2, 3]

Основным принципом работы является обеспечение постоянной угловой скорости движения в течение всего диапазона движения. Тренажер автоматически адаптирует сопротивление в зависимости от приложенного усилия, поддерживая заданную угловую скорость. Конструкция тренажера должна обеспечивать возможность регулировки амплитуды движения, позволяя проводить реабилитацию пациентов с различными ограничениями подвижности.

В результате проведения схемотехнической и конструкторской проработки [5, 6] был разработан макетный образец тренажера, внешний вид которого представлен на рисунке 1. Тренажер состоит из трех функциональных модулей: 1 – модуль измерения силы, 2 – модуль с датчиком угла и электроприводом, 3 – основной модуль управления.

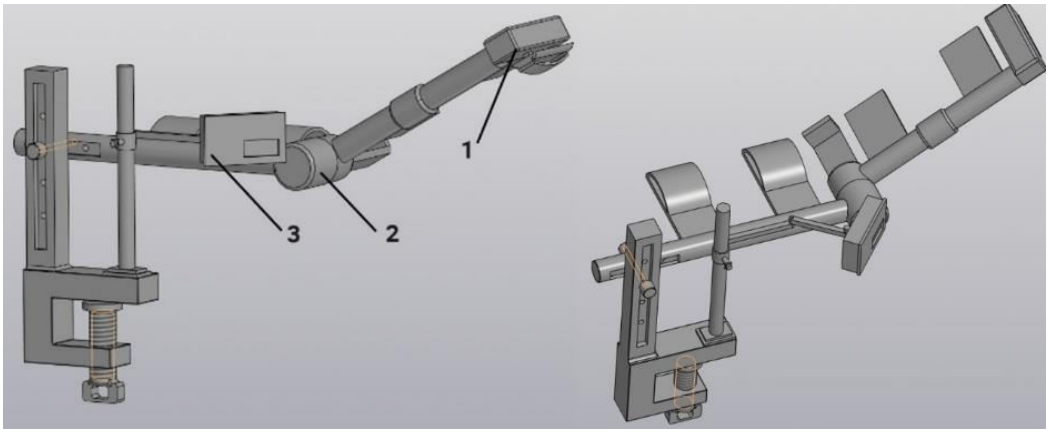


Рисунок 2. 3D-модель изокинетического тренажера для реабилитации верхних конечностей

Для расширения функциональности и повышения доступности, разработанный тренажер обладает рядом преимуществ, делающих его эффективным инструментом реабилитации. Во-первых, относительно компактные габариты и простота конструкции позволяют использовать его не только в условиях специализированных реабилитационных центров, но и в домашних условиях, что существенно расширяет возможности для пациентов с ограниченным доступом к медицинской помощи. Во-вторых, тренажер имеет систему крепления к столу и регулируется под индивидуальные особенности пациента, обеспечивая комфортное и эргономичное взаимодействие. Эта адаптивность позволяет использовать тренажер для пациентов с различными антропометрическими данными и степенью двигательных нарушений, что делает его универсальным инструментом реабилитации.

В представленной работе обобщены результаты анализа современных методов оценки биомеханики в тренажерах для реабилитации верхних конечностей, а также продемонстрированы результаты разработки изокинетического тренажера, в основу которого положена концепция обратной связи. Ожидается, что систематическое применение разработанного тренажера в процессе реабилитации позволит оптимизировать процесс восстановления двигательных функций и ускорить возвращение пациентов к повседневной активности.

Работа выполнялась на занятиях студенческого научного кружка проектно-технического творчества «IT-приборист» и соответствующие результаты были получены в рамках реализации Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Александров А.В.* Современные методы биомеханического анализа движений человека / А.В. Александров, А.А. Артемов, Д.Е. Баранов // Медицинская техника, 2015, № 6, с. 11-16.

2. Патент №182113 Российская Федерация, МПК A61H 1/02 (2006.01). Тренажер для увеличения силы и объёма движений в суставах верхних конечностей: №2018110693; заявлено 26.03.2018; опубл. 03.08.2018 / Пустовалов И.А., Туровинина Е.Ф., Лебедева Д.И., Медведева И.В., Козлов Л.Б. – 8 с.

3. Патент №3056182 Европейское патентное ведомство. Устройство для реабилитации верхних конечностей: №15154407.9A; заявлено 09.02.2015; опубл. 10.05.2017 / Вэй-Фань Лай, Фу-Хан Се – 14 с.

4. Патент №2427361 Российская Федерация, МПК A61H 1/02 (2006.01) A61H 3/00 (2006.01) A61F 5/01 (2006.01). Устройство, способствующее реабилитации: № 2009138936/14; заявлено 17.03.2008; опубл. 27.08.2011 / САНКАИ Йосиюки – 50 с.

5. *Арсентьева В.И.* Разработка электронного блока изокинетического тренажера для реабилитации верхних конечностей // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы - Биомедсистемы-2024: Сборник трудов XXXVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, 04–06 декабря 2024 года. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2024. – С. 352-356.

6. *Арсентьева В.И.* Разработка электронного блока изокинетического тренажера для реабилитации верхних конечностей // Инженерная мысль: III Республиканская научно-практическая конференция, 28 ноября 2024 г. / под ред. С.В. Смирновой: сборник докладов. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2024 – С. 164-167.

MODERN METHODS OF BIOMECHANICAL ASSESSMENT IN EXERCISE EQUIPMENT FOR REHABILITATION OF UPPER LIMBS

Arsentyeva V.I.
Supervisor: Tyurina M.M., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper reviews modern methods for assessing upper limb biomechanics used in rehabilitation exercise equipment. The results of a patent search are presented, demonstrating the diversity of technical solutions in this field. The structure and operating principle of an isokinetic exercise machine for upper limb rehabilitation developed using feedback are examined.

УДК 681

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МЕТОДОМ ЛАХ И ЛФХ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМ ПРИБОРОМ.

Астафьева А.А.
Научный руководитель: Карпов А.И., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Проводится анализ устойчивости системы автоматического управления (САУ) оптико-электронным прибором (ОЭП), осуществляющим слежение за беспилотным летательным аппаратом (БПЛА) методом ЛАХ и ЛФХ по углу места. Строится компьютерная модель данной системы, с помощью которой проводиться дополнительный анализ следящей системы.

Целью исследования является: расчет параметров, обеспечивающих устойчивость САУ по критерию Найквиста на основе построения ЛАХ и ЛФХ;

Постановка задачи: исследование устойчивости и динамических характеристик следящей системы за БПЛА по углу места методом ЛАХ ЛФХ и методом компьютерного моделирования.

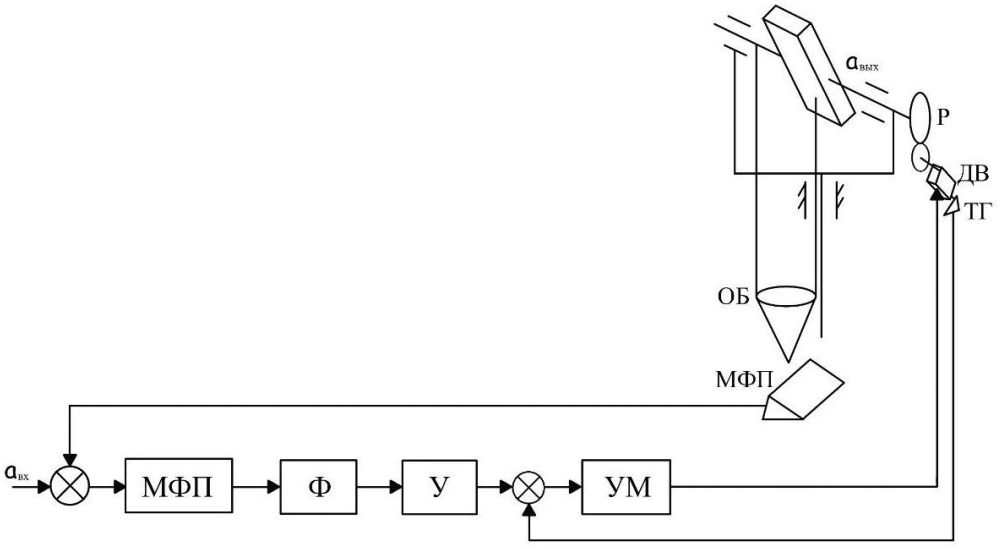


Рис.1. Функциональная схема следящей системы по углу места. Обозначения: МФП – матричный фотоприемник, Ф – фильтр –преобразователь, У – усилитель, УМ – усилитель мощности, Дв – двигатель, Тг – тахогенератор, Р – редуктор, Об – объектив.

Помимо режима слежения существуют еще два режима работы САУ ОЭП:

1. Режим сканирования — используется для поиска цели в заданном диапазоне углов, когда цель не обнаружена. Система работает в разомкнутом или частично замкнутом режиме.
2. Режим наведения — это процесс управления ориентацией прибора для обеспечения точного и непрерывного совмещения его главной оси с выбранной целью.

1. Математическая модель следящей системы. Для описания динамики следящей системы, представленной на рис 1, используется система дифференциальных уравнений, учитывающая электромеханические параметры двигателя, усилителей и тахогенератора.

$$\begin{aligned} &J_{пр}\cdot\frac{d^2a}{dt^2}=C_м\cdot i_я-M_c^{пр}; && U_{ум}=K_{ум}\cdot\Delta U; && U_{тг}=K_{тг}\cdot\frac{da}{dt};\\ &U_{ум}=L_я\cdot\frac{d^2i_я}{dt}+R_я\cdot i_я+C_e\cdot\frac{da}{dt}; && \Delta U=U_y-U_{тг}; && \varepsilon=a_{вх}-a_{вых}; \quad (1)\\ & && T_ф\cdot\frac{dU_y}{dt}+U_y=K_ф\cdot K_y\cdot\varepsilon; && a_{вых}=K_p\cdot a; \end{aligned}$$

где ε - рассогласование (динамическая погрешность следящей системы), $\alpha_{вх}$ и $\alpha_{вых}$ - входная (движение объекта наблюдения) и выходная (движение ОЭП) угловые координаты следящей системы по азимуту, α - угол поворота двигателя, Uтг - напряжение тахогенератора, ΔU - рассогласование на входе УМ, Uум - напряжение на выходе усилителя мощности, $i_я$ - ток якоря, Мс -момент сопротивления (возмущающий момент) на выходном валу управления ОЭП, приведенный к валу двигателя; Jпр - момент инерции нагрузки, приведенный к валу двигателя; См - коэффициент момента двигателя, $К_ф$, $К_у$, $К_{тг}$, $К_р$ - коэффициенты передачи (усиления) МФП совместно с фильтром-преобразователем, усилителя, тахогенератора и редуктора соответственно [1].

В передаточной форме система 1 примет вид:

$$\begin{cases} 1.a=W_{дв}\cdot U_{ум}-W_м(\mathrm{p})\cdot M_c^{пр};\\ 2.U_{ум}=K_{ум}\cdot\Delta U;\\ 3.\Delta U=W_y(\mathrm{p})\cdot\varepsilon-W_{тг}(\mathrm{p})\cdot a;\\ 4.\varepsilon=a_{вх}-a_{вых};\\ 5.a_{вых}=K_p\cdot a. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь передаточная функции двигателя (ПФ), усилителя и тахогенератора:

$$W_{дв}(\mathrm{p})=\frac{K_{дв}}{(\mathrm{T}_м\mathrm{T}_я\mathrm{p}^2+\mathrm{T}_м\,p+1)\,\mathrm{p}};\ W_y(\mathrm{p})=\frac{K_ф K_y}{(\mathrm{T}_ф\,p+1)};\ W_{тг}(\mathrm{p})=K_{тг}p,$$

где $\mathrm{К_{дв}}=\frac{1}{Ce}$, $T_\mathrm{м}=\frac{J_\mathrm{пр}\cdot R_\mathrm{я}}{C_\mathrm{м}\cdot C_e}$,— электромеханическая постоянная времени, $T_\mathrm{я}=\frac{L_\mathrm{я}}{R_\mathrm{я}}$— электрическая постоянная времени, $K_\mathrm{ф}$ — коэффициент передачи фотоприемника, $K_\mathrm{у}$ — усиление усилителя, $T_\mathrm{ф}$ — постоянная времени фильтра.

2. Метод исследования устойчивости САУ по логарифмическим амплитудно-частотным (ЛАХ) и фазо-частотным (ЛФХ) характеристикам является одним из основных частотных методов анализа устойчивости систем управления, используемых в инженерных расчетах. Он позволяет оценить устойчивость системы, не решая уравнения (1).

Формулировка логарифмического критерия устойчивости Найквиста для систем, не имеющих правых корней в разомкнутом состоянии.

Для того чтобы система (1) была устойчивой необходимо и достаточно, чтобы разомкнутая система при всех значениях частот ω, где ЛАХ $L(\omega)>0$ и её фазовая характеристика $\varphi(\omega)$ не пересекала уровень -180° или пересекала его чётное число раз.

В качестве примера рассмотрим систему со следующими исходными данными: момент инерции нагрузки $J_н$ = 0,05 кг·м^2, мощность двигателя $P_н$ = 13 Вт, номинальное напряжение $U_н$ =12 В, номинальный ток якоря $i_я$ = 0,35 А, сопротивление якоря $R_я$ = 20,5 Ом,

индуктивность якоря $L_я$ = 0,115 Гн, момент инерции якоря $J_я$ = $0{,}15\cdot10^{-4}$ кг·м^2, скорость вращения $n_н$ = 3700 об/мин, возмущающий момент $M_в$ = 1,4 Н·м, крутизна статической характеристики $К_{тг}$ = =0,025$\frac{В}{об/мин}$, передаточный коэффициент редуктора $К_р$ = 0,02, постоянная времени фильтра $Т_ф$ = 5 мс. , $\alpha_{вх}$= 1 рад/с, $\varepsilon_{ск} = 0{,}190986°$, $\varepsilon_{ст} = 0{,}07117°$.

1. В качестве основы для построения логарифмических частотных характеристик (ЛАХ и ЛФХ) представим ПФ разомкнутой системы:

$$W(\mathrm{p}) = \frac{K_c}{(\mathrm{T}_ф\, p+1)(\mathrm{T}'_м \mathrm{T}_я \mathrm{p}^2 + \mathrm{T}'_м\, p+1)\,\mathrm{p}},\ \ \mathrm{T}'_м = \frac{T_м}{1+K_{ум}K_{дв}K_{тг}}. \qquad (3)$$

Для построения ЛАХ и ЛФХ представим знаменатель уравнения 3 в виде:

$$\mathrm{T}'_м \mathrm{T}_я \mathrm{p}^2 + \mathrm{T}'_м\, p+1 = (\mathrm{T}_{п1}\mathrm{p}+1)(\mathrm{T}_{п2}\, p+1)\,. \qquad (4)$$

В таком случае передаточная функция разомкнутой системы примет вид:

$$W_{исх}(\mathrm{p}) = \frac{K_c}{(\mathrm{T}_ф\, p+1)(\mathrm{T}_{п1}\mathrm{p}+1)(\mathrm{T}_{п2}\, p+1)\,\mathrm{p}}, \qquad (5)$$

$\mathrm{T}_{п1} = 0{,}013879$ с; $\mathrm{T}_{п2} = 0{,}00941323$ с, $\mathrm{T}_ф = 0{,}005$ с, $T_я = 0{,}005609\ c$, $T_м = 0{,}602137$с, $T'_м = 0{,}0232922\ c$.

Используя значения $Т_{п1}$, $Т_{п2}$ и $Т_ф$ найдем частоты сопряжения асимптот $\omega_{п1}$, $\omega_{п2}$, $\omega_ф$ и значение $20\cdot lg К_с$.

$$К_c = \frac{K_ф K_у K_{ум} K_{дв} K_р}{1+K_{ум}K_{дв}K_{тг}} = 300\frac{1}{c} \rightarrow 20\lg К_c = 49{,}542\,Дб\,;$$

$$\omega_{п1} = \frac{1}{\mathrm{T}_{п1}} = \frac{1}{0{,}013879c} = 71{,}05147c^{-1} \rightarrow \lg\omega_{п1} = 1{,}85764c^{-1};$$

$$\omega_{п2} = \frac{1}{\mathrm{T}_{п2}} = \frac{1}{0{,}00941323c} = 106{,}233432c^{-1} \rightarrow \lg\omega_{п2} = 2{,}02626c^{-1};$$

$$\omega_ф = \frac{1}{\mathrm{T}_ф} = \frac{1}{0{,}005c} = 200c^{-1} \rightarrow \lg\omega_ф = 2{,}30103c^{-1}.$$

2. Построение асимптотической ЛАХ

1) Построим звено W(p)= 1/p. Отложим L(ω)= $20\cdot lg К_с$= 49,542 Дб при ω=1 и проведем через эту точку прямую под наклоном -20 дБ/дек пунктирно (ЛАХ интегрирующего звена построена).

2) Далее, двигаемся по этой прямой из точки при ω=1 вправо до пересечения с вертикальной прямой, проведенной через $\omega_{п1}$, соответствующей частоте сопряжения колебательного звена. Следовательно, асимптота L(ω), сделав излом в частоте сопряжения $\omega_{п1}$, пойдет вниз под наклоном -40 дБ/дек до пересечения со следующей частотой сопряжения $\omega_{п2}$

3) После $\omega_{п2}$ асимптота идет под наклоном -60 дБ/дек до пересечения с частотой сопряжения $\omega_ф$.

4) После $\omega_ф$ асимптота идет под наклоном -80 дБ/дек. [1]

3. Построение ЛФХ. Для построения ЛФХ, исходя из передаточной функции $W_{исх}(p)$, на частотах $\omega_{п1}$, $\omega_{п2}$, $\omega_ф$ строятся по шаблону.

$$\varphi_i(\omega) = \pm arctgT_i\omega. \qquad (6)$$

4. Исследование устойчивости по логарифмическому критерию. Согласно логарифмическому критерию: для того, чтобы система, устойчивая в разомкнутом состоянии (не имеющая правых корней), была устойчива в замкнутом состоянии, необходимо и достаточно на тех частотах, при которых ЛАХ не отрицательна, т.е. $L(\omega) > 0$, иметь значение фазы φ(ω), не превышающее -π.

Таким образом, в соответствии с логарифмическим критерием устойчивости, исходная система устойчива (см. рис. ЛАХ и ЛФХ) при $К_с$= $103{,}80229\ с^{-1}$, выбираем $К_с$=50 $с^{-1}$.

3. Компьютерное моделирование.

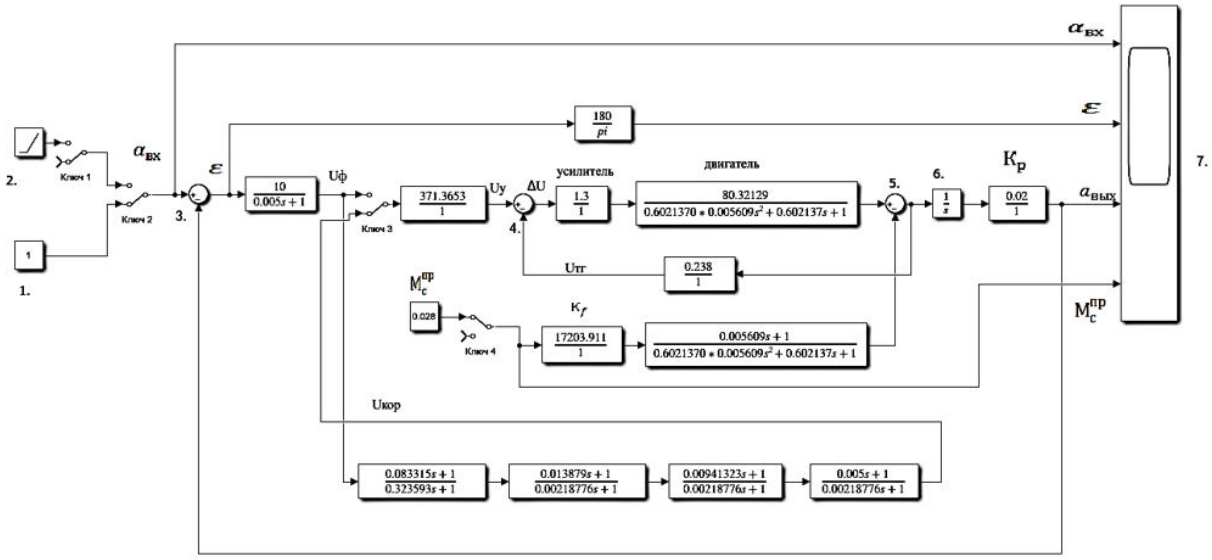


Рис. 2. Схема моделирования.

Обозначения: 1- константа, 2- (Ramp) блок, генерирующий линейно-увеличивающийся сигнал, 3, 4, 5- сумматоры, 6- интегратор, 7- (Scope) блок, визуализирующий сигнал в графическом виде, ε - рассогласование, $\alpha_{вх}$- входная координата, $\alpha_{вых}$ – выходная координата, $U_ф$- напряжение передачи совместно с фильтром-преобразователем, $U_у$ – напряжение усилителя, ΔU- рассогласование на входе усилителя мощности, $К_р$ – передаточный коэффициент редуктора, $U_{тг}$ – напряжение тахогенератора, $U_{кор}$- напряжение корректирующего устройства, $М_с^{пр}$- момент сопротивления на выходном валу управления ОЭП, приведенный к валу двигателя, $К_f$ – коэффициент усиления двигателя по возмущению.

Рассматриваются переходные процессы исходной следящей системы -следящая система является неустойчивой при $К_с$= 50 $с^{-1}$, что подтверждает рис.3

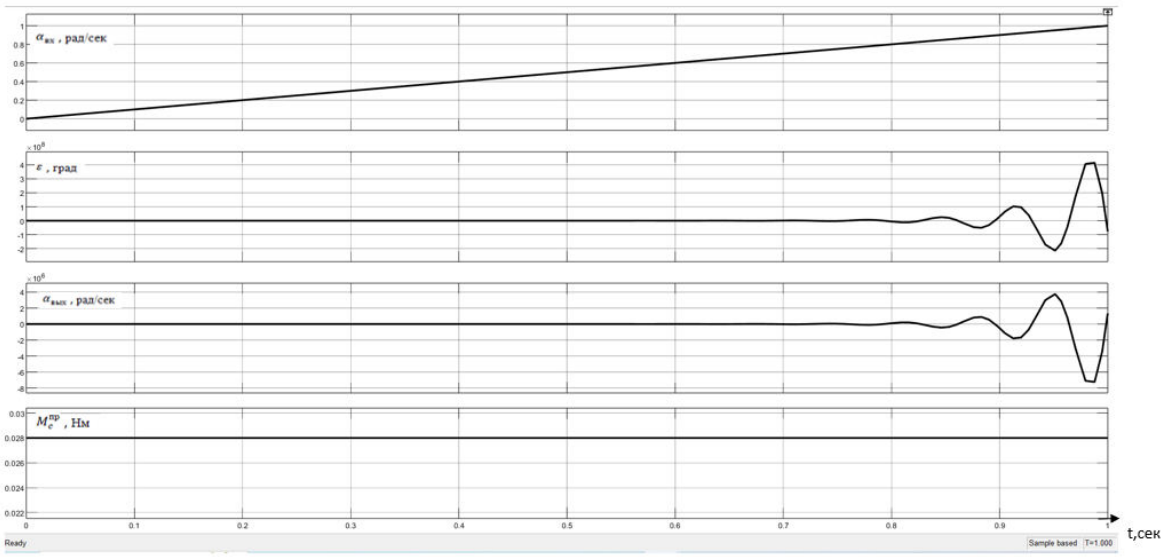


Рис. 3. Переходный процесс неустойчивой системы.

На рис. 4 и 5 показаны переходные процессы при K_c=50 c^{-1} и определены значение статической ошибки, полученное в Simulink $\varepsilon_{ст} = 0{,}07118^o$(рис.4) и значение скоростной ошибки, полученное в Simulink, составляет $\varepsilon_{ск} = 0{,}191^o$ (рис.5)

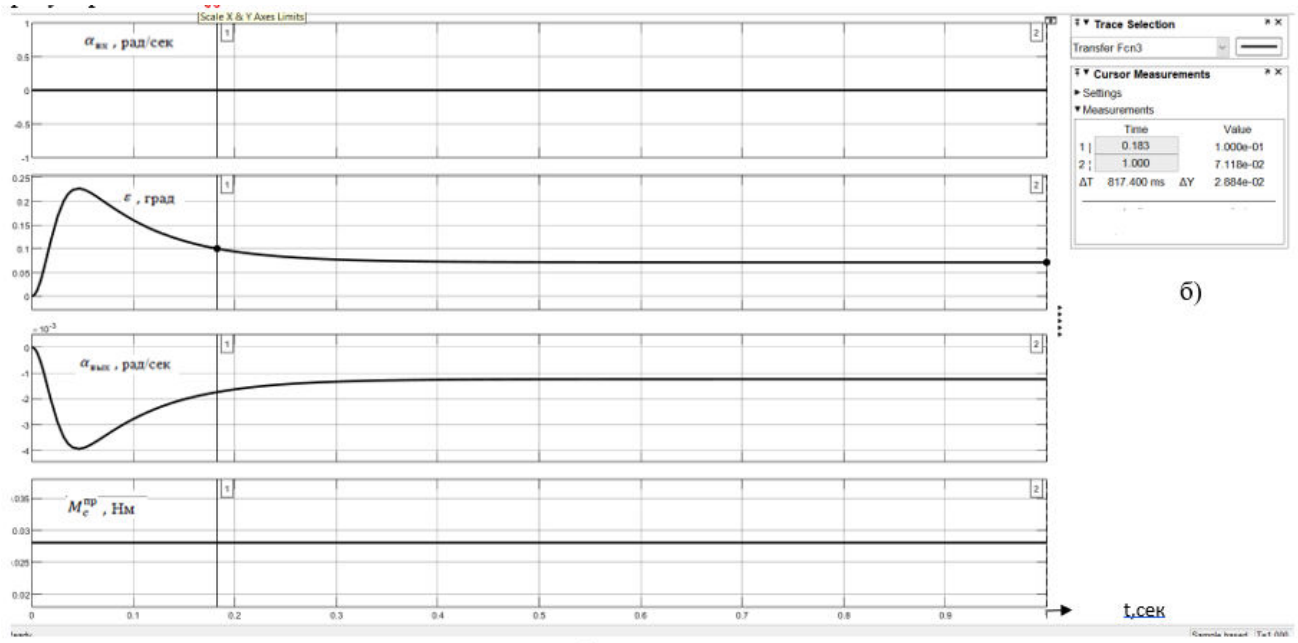


Рис. 4. а) Переходные и установившиеся процессы устойчивой системы с корректирующим звеном (при $M_c^{пр}$=0.028 Нм). б) таблица с показаниями графика ε, град.

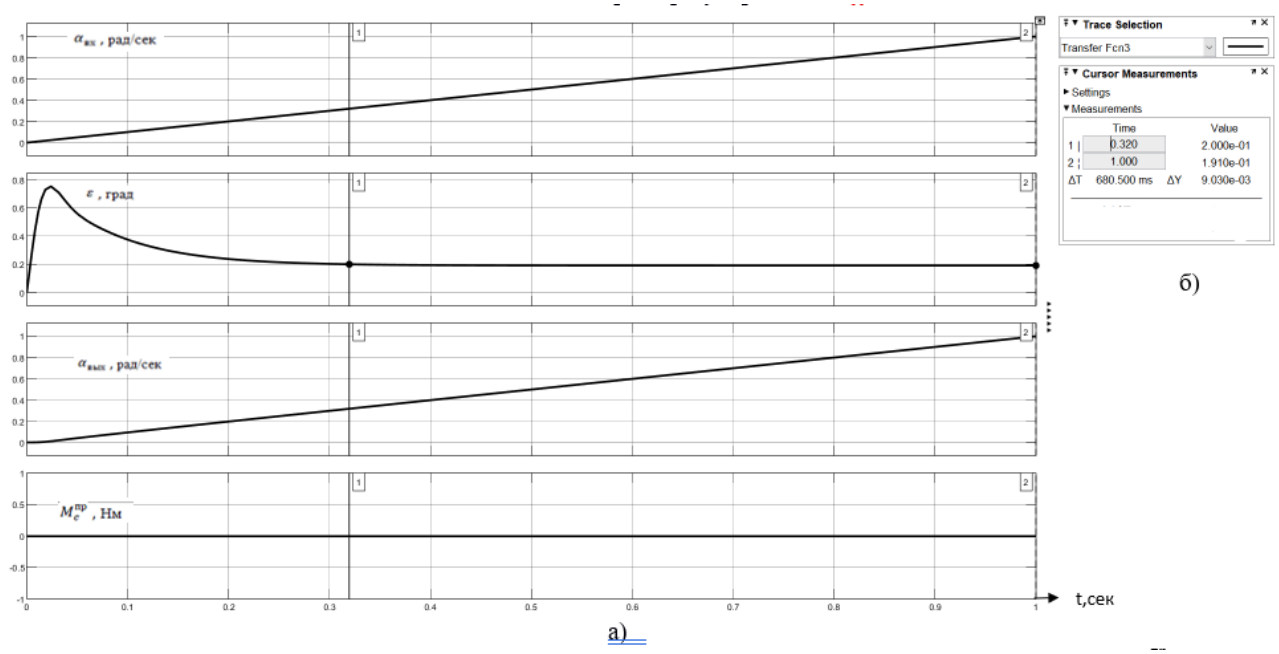


Рис. 5. а) Переходные и установившиеся процессы устойчивой системы с корректирующим звеном (при $\alpha_{вх}$=1 *рад/с* и $M_c^{пр}$=0 *Нм*). б) таблица с показаниями графика ε, *град*.

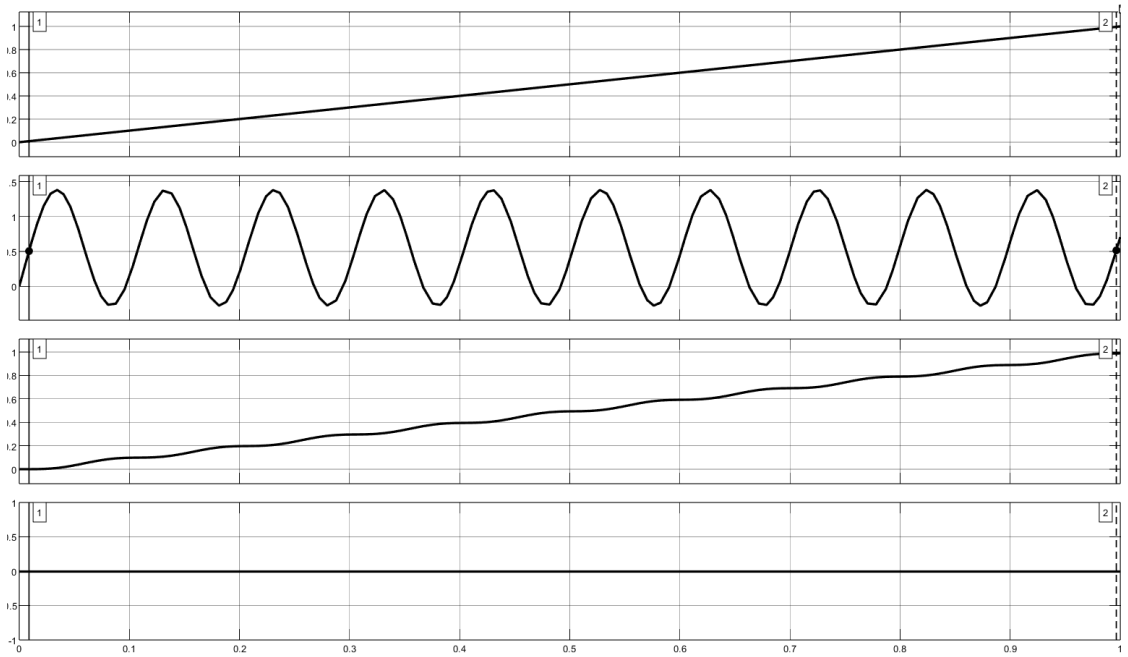


Рис. 6. Переходный процесс системы на границе устойчивости ($К_с^{крит} = 103{,}80229\ с^{-1}$).

Заключение

В результате проведенных исследований получено:

1. Анализ устойчивости по логарифмическому критерию Найквиста показал, что при выбранных параметрах ($К_с = 50\ с^{-1}$) система устойчива, однако при увеличении коэффициента усиления до критического значения ($К_с^{крит} = 103{,}80229\ с^{-1}$) система достигает границы устойчивости.

2. Результаты компьютерного моделирования подтвердили аналитические расчёты: при $К_с = 50\ с^{-1}$ переходные процессы системы устойчивы, статическая и скоростная ошибки находятся в допустимых пределах; при превышении критического значения коэффициента усиления система становится неустойчивой.

Эти выводы полностью соответствуют поставленным целям работы и подтверждают эффективность применения частотных методов анализа устойчивости и компьютерного моделирования для исследования динамики систем управления оптико-электронными приборами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Балоев В.А*. Расчет и исследование динамики систем управления оптико-электронными приборами: учебно-методическое пособие/ Балоев В.А., Карпов А.И. – Казань: КНИТУ-КАИ, 2022. – 58 с.

2. *Карпов А.И.* Системы оптико- электронных приборов /А.И. Карпов: учебное пособие – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ.2020. – 104с.

THE STUDY OF STABILITY BY THE LAX AND LFX METHOD AND COMPUTER MODELING OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF AN OPTOELECTRONIC DEVICE

Astafieva A.A.

Supervisor: Karpov A.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. An analysis of the stability of the automatic control system (ACS) of an optoelectronic device (OEP) that monitors an unmanned aerial vehicle (UAV) using the LAX and LFX method based on the angle of the seat is carried out. A computer model of this system is being built, with the help of which an additional analysis of the tracking system is carried out.

УДК 681.2

ДЕТАЛИ ПРИБОРОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ СОВРЕМЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

Ахметзянов Н.Н.

Научный руководитель: Аскарова А.Я., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассмотрены современные технологии изготовления деталей приборов, их преимущества и недостатки. Представлена сравнительная характеристика в выборе того или иного метода.

Современное приборостроение требует высокой точности, надежности и качества деталей, что достигается применением передовых технологий изготовления. Рассмотрим ключевые технологии и особенности производства деталей приборов с использованием современных методов.

Основные технологии изготовления деталей приборов.

Традиционные методы: литье, штамповка, ковка. Остаются востребованными в производстве по своей дешевизне и максимальной приближенности по форме и размерами к конечным деталям.

Числовое программное управление (ЧПУ). Технологии ЧПУ сегодня играют ведущую роль в высокоточной обработке. Благодаря интеграции с CAD/CAM-системами достигается точность обработки до микронов, а также стабильность результатов при серийном производстве. С помощью ЧПУ можно обрабатывать широкий спектр материалов — от сталей и алюминиевых сплавов до пластика и углепластика, что делает метод универсальным.

Порошковая металлургия. Этот способ позволяет изготавливать детали сложной конфигурации, при этом обеспечивая хорошие механические характеристики. Метод основан на прессовании металлического порошка с последующим спеканием при температуре, ниже точки плавления. Способы получения порошка варьируются: от электролитического осаждения и восстановления соединений металлов до методов распыления расплава. Уплотнение материала может происходить не только на прессе, но и при воздействии высоких давлений газа или жидкости. Спекание чаще всего проводят в печи, но также возможно использование тока или высоких температур под давлением (изостатическое прессование). Такой подход даёт возможность получать прочные детали без дополнительной механической обработки.

Электроэрозионная, электрохимическая обработка. Современные высокоточные технологии включают методы, основанные на воздействии электрических разрядов или электролиза. Они позволяют обрабатывать труднодоступные или очень тонкие элементы, исключая механический контакт и, как следствие, — деформацию заготовки. Электроэрозионная обработка (ЭЭО) основана на локальном разрушении токопроводящего материала в результате теплового воздействия от кратковременных электрических разрядов. Между инструментом и заготовкой формируется дуга в диэлектрической среде (чаще — в керосине или масле). Преимущество ЭЭО — возможность обрабатывать любые токопроводящие материалы независимо от их твёрдости и хрупкости. Кроме того, она позволяет выполнять сложные контуры, которые недоступны при традиционных методах. Среди недостатков — износ инструмента и появление поверхностного слоя с изменённой структурой. Электрохимическая обработка (ЭХО) реализуется путём анодного растворения металла заготовки в электролите. При этом заготовка выступает анодом, а инструмент — катодом. Процесс протекает в электролитической ячейке под действием постоянного тока. Преимущество ЭХО — отсутствие механического воздействия и высокая точность при обработке деталей из трудноподдающихся материалов. Однако метод требует точного подбора состава электролита и параметров тока.

Ультразвуковая обработка. Применяется для изготовления деталей из высокотвердых металлов и неметаллических материалов. Сущность УЗРО состоит в направленном разрушении обрабатываемого материала от ударов абразивных зерен, находящихся между поверхностями материала и инструмента, колеблющегося с ультразвуковой частотой f (18-25 кГц). Вибрирующий с такой частотой инструмент заставляет проникать в обрабатываемый материал абразивные зерна, производят его разрушение. По сути ультразвуковое резание является разновидностью механической обработки материалов.

При ударном воздействии ультразвукового инструмента на абразивную среду самые крупные частицы способны проникать в обрабатываемую поверхность, вызывая выбивание микрофрагментов материала, размер которых сопоставим с габаритами самих зерен.

Одновременно с вибрацией инструмент прижимают к обрабатываемой поверхности с некоторым статическим усилием Рст (0,5-49) Н. Инструмент, постепенно углубляясь в заготовку со скоростью $V_{ин}$, образует отверстие, копирующее его поперечное сечение. Следует отметить, что съем материала наиболее интенсивно происходит в направлении удара и в меньшей степени на боковых поверхностях получаемого отверстия.

Лазерная обработка. Это высокотехнологичный метод обеспечивает высокую точность и качество поверхности деталей, обладает широкими мощностными и временными характеристиками. В технологических целях для решения таких задач, как прошивка отверстий, резка металлов, сварка, поверхностное упрочнение деталей, динамическая балансировка тел вращения и т. д. начинает широко применяться обработка лучом лазера.

Лазерная обработка — это современный способ воздействия на материал при помощи интенсивного светового излучения, которое способно расплавить или испарить обрабатываемую поверхность. Взаимодействие лазерного луча с материалом проходит поэтапно: сначала свет поглощается, затем его энергия превращается в тепло, которое вызывает нагрев и, при необходимости, плавление вещества. Если мощность излучения достаточно высока, происходит испарение материала и выброс частиц из зоны обработки. После прекращения воздействия материал остывает, сохраняя изменённую форму.

Такие процессы находят применение в операциях сверления, резки, упрочнения и сварки различных металлов и других материалов. Высокая эффективность лазерной обработки объясняется тем, что лазерный луч почти не расходится в пространстве — он обладает высокой направленностью и может быть точно сфокусирован на малой области поверхности. Это достигается благодаря свойствам излучения, в частности, его пространственной согласованности (когерентности).

Работа лазера основана на явлении вынужденного излучения, при котором электроны, возбуждённые до высокого энергетического уровня, под действием внешнего электромагнитного поля возвращаются в основное состояние и излучают световую волну. Особенность этого явления в том, что новая волна полностью совпадает по частоте, фазе и направлению с воздействующим излучением. Именно благодаря этому создаётся поток строго упорядоченного света, используемого для высокоточной обработки.

Как известно, атом может излучать свет двумя способами. Один из них — спонтанное излучение, когда каждый атом испускает свет независимо, без какого-либо внешнего воздействия. Второй механизм связан с явлением вынужденного излучения: под действием внешнего электромагнитного воздействия, такого как световой поток, атом переходит в возбужденное состояние и отвечает испусканием волны. Эта волна совпадает с воздействием по частоте, фазе и направлению.

Благодаря этому эффекту стало возможным усиливать электромагнитные волны и создавать лазеры — устройства, которые генерируют направленный и согласованный по фазе свет, известный как когерентное излучение.

Плазменная обработка материалов. Метод основан на использовании температур, развивающихся за счет тепла, выделяемого высокоионизированным веществом - плазмой при его рекомбинации (переходе к нормальному невозбужденному состоянию). Плазмой называется любое вещество, нагретое до такой температуры, при которой пары его

находятся в ионизированном состоянии и не подчиняются обычным газовым законам. Плазма (4-е агрегатное состояние веществ) характеризуется электропроводностью, что позволяет управлять ею (отклонять, фокусировать).

Электронно-лучевая размерная обработка. Электронно-лучевыми методами обработки материалов (резки, прошивания, сварки и др.) называются методы, в которых для технологических целей используется тепловая энергия, выделяющаяся при столкновении быстродвижущихся электронов с обрабатываемым материалом.

Повышая скорость движения электронов и их кинетическую энергию, а также увеличивая число электронов в пучке (т. е. увеличивая плотность пучка), можно создать чрезвычайно высокую концентрация тепловой энергии в зоне торможения электронного пучка.

Размерная обработка материалов электронным лучом осуществляется при плотности тепловой энергии выше 10^6-10^9 Вт/см^2. Материал при такой плотности вскипает и испаряется, образуя на детали углубление (отверстие), а при перемещении луча - сквозной или глухой паз. В зоне обработки температура может достигать 6000 °С, а на расстоянии всего лишь 1 мкм от последней - 280-300 °С - отсюда высокая локализация процесса.

ЭДРО имеет ряд существенных достоинств, обусловливающих целесообразность её практического применения, а именно; возможность широкой регулировки режимов и тонкого управления тепловыми процессами; пригодность для обработки металлических и неметаллических материалов; повышенная чистота среды при обработке; высокий КПД (до 98%); возможность автоматизации процесса. К числу недостатков метода можно отнести требование к экранировке оборудования от рентгеновского излучения, возникающего при напряжениях выше 20 кВ; сложность и дороговизну аппаратуры; необходимость поддержания высокого уровня вакуума, а также затруднённый визуальный контроль за ходом обработки.

Для осуществления процесса обработки электронным лучом требуется применение специальных устройств, которые называются электронно-лучевыми (ЭЛ) пушками, излучающих в достаточном количестве и о требуемой скоростью свободные электроны.

Аддитивные технологии (3D-печать). Позволяют создавать детали с высокой точностью и сложной внутренней структурой непосредственно из цифровой модели. Среди них выделяются методы селективного лазерного плавления (SLM), прямого лазерного спекания металлов (DMLS), электронно-лучевого сплавления (EBM) и лазерной стереолитографии (SLA). Эти технологии обеспечивают производство металлических и полимерных деталей с минимальными отходами.

Современные производственные процессы часто комбинируют послойное наращивание материала с последующей механической обработкой для повышения прочности и точности.

Таким образом, современные технологии изготовления деталей приборов представляют собой комплекс автоматизированных и аддитивных процессов, которые позволяют создавать высокоточные, функциональные и долговечные компоненты с оптимальными затратами времени и ресурсов.

Рассмотрим подробнее методы аддитивной технологии.

Метод селективного лазерного плавления (SLM) – это современная технология аддитивного производства, позволяющая создавать сложные металлические изделия высокой плотности и прочности путем полного расплавления металлического порошка с помощью лазерного излучения.

Принцип работы. Процесс начинается с создания цифровой 3D-модели детали в CAD-системе, которая затем преобразуется в формат STL для передачи на 3D-принтер. В рабочей камере принтера наносится тонкий слой металлического порошка толщиной обычно от 20 до 75 мкм. Мощный лазерный луч выборочно плавит порошок согласно заданной модели, формируя первый слой детали. После этого платформа опускается, и наносится следующий слой порошка, который также плавится и сплавляется с предыдущим. Этот цикл повторяется до полного формирования изделия. Для предотвращения окисления материала

процесс проводится в инертной атмосфере (обычно аргон или азот). Используются иттербиевые волоконные лазеры с длиной волны около 1,07 мкм и мощностью до 1000 Вт, что обеспечивает плавление металлов.

Особенности технологии. В отличие от селективного лазерного спекания (SLS), где порошок лишь спекается, в SLM происходит полное плавление порошка, что дает однородную, непористую структуру с высокими механическими свойствами. Метод позволяет изготавливать детали со сложной геометрией, которые трудно или невозможно получить традиционными методами обработки металлов.

В SLM применяется для обработки широкого спектра металлов и сплавов: нержавеющая сталь, алюминиевые, никелевые, кобальт-хромовые, титановые сплавы, инструментальные стали и др.

Преимущества: 1. высокая точность и качество поверхности

2. возможность изготовления сложных и легких конструкций

3. прочность изделия

4. гибкость в выборе конструктивных решений

5. широкий спектр использования различных материалов.

Ниже разработана сравнительная таблица методов изготовления деталей приборов различными технологиями (табл.1).

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов изготовления деталей приборостроения

Метод обработки	**Конструктивные возможности**	**Стоимость**	**Материалы**	**Автома-тизация**	**Точность**
Лазерная	Сложная геометрия, малые отверстия, высокая чистота	Высокая	Широкий спектр металлов и сплавов	Да	Очень высокая
Электронно-лучевая	Обработка в вакууме, высокая концентрация энергии	Очень высокая	Только проводники	Да	Очень высокая
Электроэро-зионная (ЭЭО)	Обработка твёрдых токопроводящих материалов	Средняя	Только токопроводя-щие материалы	Да	Высокая
Электрохим ическая (ЭХО)	Тонкие стенки, сложные профили без механического контакта	Средняя	Только проводники	Да	Средняя
Ультразву-ковая	Хрупкие материалы, без перегрева	Средняя	Керамика, стекло, твёрдые сплавы	Частич-но	Средняя
ЧПУ	Гибкость, повторяемость, точные формы	Высокая	Почти любые	Да	Очень высокая
3D-печать (SLM, DMLS и др.)	Внутренние полости, сложные поверхности	Очень высокая	Металлы и полимеры	Да	Высокая
Порошковая металлургия	Сложные объёмы, подходит для серийности	Высокая	Ограничено типом порошка	Частич-но	Средняя
Плазменная	Высокая производительность, применяется при резке	Средняя	Широкий спектр металлов	Да	Средняя

На основании сравнительного анализа, представленного в таблице 1, можно сделать вывод, что различные методы обработки обладают различными конструктивными и технологическими возможностями, а также различаются по точности, универсальности и затратам на реализацию. Однако для принятия обоснованного решения о выборе наиболее предпочтительного метода в контексте приборостроения необходимо учесть не только количественные параметры, но и качественные характеристики, такие как технологические преимущества, возможные ограничения и общая технологическая применимость.

В связи с этим в таблице 2 представлена обобщённая оценка преимуществ и недостатков каждого метода обработки, основанная на литературных источниках, экспертных оценках и отраслевом опыте. Для удобства проведена условная бальная оценка (по шкале от 1 до 5), отражающая суммарную технологическую привлекательность каждого способа с точки зрения точности, универсальности, уровня автоматизации и эксплуатационных характеристик.

Таблица 2

Преимущества и недостатки методов обработки

Метод	Преимущества	Недостатки	Балл
Лазерная	Высокая точность, чистая обработка, подходит для многих материалов	Дороговизна, требует техники безопасности	5
Электронно-лучевая	Локализованное воздействие, высокая энергия, точность	Сложность оборудования, необходимость вакуума	5
Электроэрозионная	Обработка сложных форм, отсутствие механической нагрузки	Износ инструмента, подходит только для проводящих материалов	4
Электрохимическая	Подходит для труднодоступных мест, высокая точность	Необходимость в электролитах, сложное управление	3
Ультразвуковая	Без теплового влияния, точность при обработке хрупких материалов	Медленная обработка, повышенный износ	3
ЧПУ	Универсальность, надёжность, повторяемость	Стоимость оборудования, требуется квалификация	4
3D-печать	Минимальные отходы, гибкость в проектировании, высокая точность	Медленная скорость, дороговизна материалов и оборудования	5
Порошковая металлургия	Подходит для массового производства, хорошая экономия материала	Необходима термообработка, ограниченный выбор материалов	3
Плазменная	Высокая производительность, простота управления	Термические повреждения, низкая точность по сравнению с другими	3

Вывод

После сравнения нескольких методов изготовления деталей, можно сказать, что у каждого из них есть как свои преимущества, так и определённые недостатки. Важно учитывать, какие задачи стоят перед производством: нужна ли высокая точность, из какого материала будет сделана деталь, сколько изделий нужно выпустить, и какая техника уже есть на предприятии. Судя по оценкам в таблице, наилучший результат показал метод лазерной обработки. Он отличается высокой точностью, не требует физического контакта с деталью, хорошо подходит для разных материалов и легко поддаётся автоматизации. Да, оборудование для него стоит недёшево, но зато качество деталей на выходе очень высокое, что особенно важно в приборостроении.

В целом, при выборе технологии стоит искать баланс между качеством, затратами и техническими возможностями. Итоги анализа могут пригодиться тем, кто занимается выбором оборудования, проектированием новых производств или хочет улучшить уже существующие процессы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Тихонов В.М.* Физические методы обработки материалов — М.: Машиностроение, 2020. — 368 с.

2. *Горбунов В.А.* Технология конструкционных материалов — М.: Академия, 2017. — 352 с. — ISBN 978-5-7695-4749-6.

3. *Маслов Е.П.* Современные технологии машиностроения — СПб.: Питер, 2019. — 336 с. — (Серия «Инженерное дело»).

4. *Горелик С.С.* Физика лазеров — М.: Физматлит, 2015. — 400 с. —

5. *Куликов И.М.* Основы 3D-печати и аддитивных технологий — М.: ДМК Пресс, 2021. — 288 с. — ISBN 978-5-97060-768-3.

DETAILS OF DEVICES MANUFACTURED BY MODERN TECHNOLOGIES

Akhmetzyanov N.N.

Supervisor: Askarova A.Y., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper discusses modern technologies for manufacturing instrument parts, highlighting their advantages and disadvantages. A comparative analysis is presented to support the selection of the most suitable method.

УДК 681.2

ТОЧНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ПРИБОРОВ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Ахметова Я.Т.

Научный руководитель: Аскарова А.Я., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Аннотация. В работе рассмотрена важность точного измерения для эффективного управления качеством продукции и процессов. Анализируются ключевые характеристики измерительных приборов, современные методы контроля качества и принципы обеспечения точности измерений. Особое внимание уделено перспективам развития измерительных технологий - внедрению квантовых стандартов, применению искусственного интеллекта для обработки данных и созданию автономных измерительных систем нового поколения.

Точное измерение — это основа для обеспечения высокого качества продукции и процессов в различных отраслях промышленности и науки [1]. Точность измерительного прибора определяется его способностью указывать истинное значение измеряемого параметра с минимальной погрешностью и стабильностью результатов во времени. Высокая точность измерений позволяет снизить риск ошибок, повысить надежность данных и, как следствие, улучшить качество продукции и услуг.

Точность и надежность измерений зависят от технических характеристик приборов. Ключевые параметры, определяющие их эффективность, включают:

- Диапазон измерений – это максимальные и минимальные значения, которые прибор способен измерить. Например, цифровой мультиметр с диапазоном измерения 0-1000 В не сможет точно измерить напряжение 1200 В. Важно выбирать прибор с запасом по диапазону

около 10-15%, но чрезмерное превышение приводит к снижению точности на малых значениях

- Порог чувствительности - минимальное изменение измеряемой величины, которое прибор способен зарегистрировать. Современные высокоточные измерительные приборы достигают нанометрового уровня чувствительности.

- Точность - степень соответствия показаний прибора истинному значению параметра с учетом допустимой погрешности. Она выражается в процентах от диапазона измерений или измеряемого значения.

- Стабильность - способность прибора сохранять точность измерений на протяжении длительного времени после калибровки. Высококлассное оборудование (эталонные приборы) сохраняет стабильность годами, тогда как дешевые бытовые устройства могут требовать калибровки ежемесячно. На стабильность влияют качество материалов, конструкция и условия эксплуатации [2].

Кроме того, дополнительными важными параметрами являются: время отклика, что особенно важно для динамических измерений; температурный коэффициент (изменение точности при колебаниях температуры); защита от внешних воздействий (вибрации, электромагнитные помехи); эргономика и удобство считывания показаний. Современные цифровые приборы часто оснащаются функциями автоматической компенсации внешних воздействий и самодиагностики, что значительно повышает надежность и качество измерений.

Класс точности измерительного инструмента — важная метрологическая характеристика, регламентируемая различными стандартами (например, ГОСТ 8.401-80 Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования), определяющая допустимые пределы погрешностей и влияющая на выбор прибора для конкретных задач. Этот параметр количественно определяет допустимые пределы погрешностей прибора и выражается числовым значением (например, 0,5; 1,0; 1,5), которое указывает на максимально допустимую основную приведенную погрешность в процентах от диапазона измерений. Выбор класса точности имеет решающее значение для выполнения конкретных измерительных задач - в прецизионном машиностроении требуются приборы класса 0,1-0,5, тогда как для общепромышленных измерений может быть достаточно класса 1,5-2,5. При этом важно учитывать, что более высокий класс точности означает не только меньшую погрешность, но и более высокую стоимость оборудования, а также повышенные требования к условиям его эксплуатации и квалификации персонала. Современные стандарты также регламентируют дополнительные требования к стабильности характеристик, воспроизводимости результатов и условиям поверки приборов разных классов точности.

Современные приборы для точного измерения физических величин представляют широкий спектр устройств, различающихся по принципу действия, точности и области применения. Все измерительные приборы можно разделить на две большие группы: механические и цифровые. Каждый тип имеет свои преимущества, ограничения и оптимальные сферы использования.

Механические приборы, например, штангенциркули с шкалой Нониуса или Верньера, основаны на физическом взаимодействии измерительных элементов с контролируемым объектом, не требуя источников питания. Они обеспечивают надежность и долговечность, но точность и скорость измерений зависят от квалификации оператора.

Цифровые приборы преобразуют измеряемую величину в электрический сигнал, который обрабатывается микропроцессором и выводится на дисплей в цифровом виде. Они автоматизируют процесс, уменьшая влияние человеческого фактора и повышая точность данных. Для обеспечения точности измерений важно учитывать условия эксплуатации приборов: температурный режим, влажность, воздействие ультрафиолета, а также правильное хранение и обслуживание инструментов.

Управление качеством на основе точных измерений.

Управление качеством продукции и процессов тесно связано с использованием точных измерений. Системы управления качеством, начиная с концепций Ф. Тейлора, предусматривают установление норм, допусков и контроль качества на всех этапах производства — от входного контроля до финальной проверки у потребителя. При этом, современные технологии позволяют автоматизировать сбор и анализ измерительных данных, значительно повышая эффективность контроля.

Современные методы управления качеством включают:

- *использование статистических методов контроля (SPC, MSA, FMEA, 8D и др.)*. Они помогают выявить закономерности в отклонениях параметров и прогнозировать качество продукции [3].

- *автоматизацию анализа систем измерений (MSA)*, что позволяет в реальном времени оценивать качество измерительного прибора, минимизировать ошибки и улучшать доступность информации для команды. Современные MSA-системы интегрируются с производственным оборудованием, обеспечивая непрерывный мониторинг точности измерений.

- *внедрение международных стандартов ISO 9000*, обеспечивающих комплексное управление качеством, включая контроль измерений и управление документацией. Эти стандарты устанавливают четкие требования к периодичности калибровки оборудования и верификации измерительных данных.

Автоматизация управления качеством способствует снижению рисков дефектности, рациональному использованию ресурсов и повышению конкурентоспособности предприятий.

Таким образом, точное измерение приборов является фундаментом для эффективного управления качеством продукции и процессов. Современные технологии измерений и автоматизация анализа данных позволяют повысить надежность и точность контроля, что в конечном итоге ведет к улучшению качества и снижению издержек производства. Для достижения этих целей необходимы правильный выбор измерительных приборов, их регулярная калибровка и соблюдение условий эксплуатации, а также внедрение комплексных систем управления качеством на основе современных стандартов и методов.

Основные принципы точного измерения приборов.

Правильность и прецизионность. Точность измерения состоит из двух компонентов: правильности (соответствия измеренного значения истинному) и прецизионности (повторяемости результатов при многократных измерениях в одинаковых условиях). Прецизионность отражает степень разброса результатов и зависит от случайных погрешностей, а правильность — от систематических ошибок. Для надежных измерений необходимо стремиться к высокой правильности и высокой прецизионности одновременно.

Калибровка приборов. Калибровка — это процесс сравнения показаний измерительного прибора с эталонными значениями для выявления и устранения отклонений [4]. Современные калибровочные процессы часто автоматизированы и включают построение градуировочных кривых с применением эталонов 1-2 разряда. Особое значение имеет периодичность калибровки. Регулярная калибровка обеспечивает соответствие приборов установленным стандартам и поддерживает точность измерений на должном уровне. Это критически важно для получения достоверных данных и поддержания качества продукции.

Прослеживаемость измерений. Результаты измерений должны быть прослеживаемы до национальных или международных эталонов, что гарантирует единообразие и сопоставимость измерений в различных условиях и организациях. Это обеспечивает доверие к результатам и их признание на рынке. На практике прослеживаемость подтверждается сертификатами калибровки с указанием неопределенности измерений с использованием эталонов.

Выбор прибора с необходимой точностью. При выборе измерительного прибора следует учитывать требуемую точность, диапазон измерений, условия эксплуатации и

соответствие стандартам. Прибор должен обеспечивать минимальные погрешности и стабильность результатов.

Контроль условий измерений. Влияние внешних факторов (температуры, влажности, вибраций и др.) должно быть минимизировано или учтено, так как они могут существенно влиять на точность измерений.

Важность точного измерения для качества продукции.

Точные измерения служат основой для обеспечения соответствия продукции установленным стандартам и техническим требованиям. Точные измерения позволяют убедиться, что параметры изделий соответствуют заданным стандартам и допускам, что предотвращает выпуск дефектной продукции.

При точном измерении размеров и характеристик деталей обеспечивается их правильное взаимодействие в конструкции, что снижает количества брака и повышает долговечность изделий.

Контроль точности измерений помогает выявлять и устранять отклонения на ранних этапах, что сокращает переработки и потери материала. Статистические методы контроля процессов (SPC) позволяют прогнозировать возможные дефекты еще до их появления, минимизируя производственные затраты. Это особенно актуально для массового производства, где даже небольшая погрешность может привести к значительным финансовым потерям.

В некоторых отраслях точность измерений напрямую связана с безопасностью продукции и соблюдением законодательных требований. В медицинской и фармацевтической промышленности, например, от точности дозирования активных веществ зависят жизни пациентов [5], а в энергетике - надежность работы сложных систем. Государственные регуляторы строго следят за соблюдением метрологических норм в этих сферах.

Качество продукции, подтвержденное точными и достоверными измерениями, укрепляют репутацию производителя на рынке. Потребители все чаще требуют прозрачности и подтверждения качества через сертифицированные методы испытаний. Компании, инвестирующие в современные измерительные технологии, получают значительное конкурентное преимущество.

Таким образом, соблюдение принципов точного измерения и поддержание высокой метрологической культуры является фундаментом для обеспечения высокого качества продукции устойчивого развития производства.

Будущее измерительных приборов

Перспективы развития измерительных технологий связаны с несколькими ключевыми направлениями:

- *Квантовые технологии*

Квантовые сенсоры и эталоны обещают революцию в точности измерений. Атомные часы нового поколения обеспечивают точность до 10^-18, а квантовые гравиметры позволяют обнаруживать мельчайшие изменения гравитационного поля. Эти технологии найдут применение в геологоразведке, навигации и фундаментальных исследованиях.

- *Искусственный интеллект и машинное обучение*

Алгоритмы искусственного интеллекта уже активно применяются в метрологии, позволяя компенсировать систематические погрешности в режиме реального времени и автоматически подбирать оптимальную методологию измерения. Машинное обучение открывает перспективы автоматического анализа поведения сложных технических устройств, снижая влияние человеческого фактора и повышая эффективность мониторинга.

- *Интернет вещей (IoT) и облачные технологии*

Развитие интернета вещей (IoT) ведет к формированию глобально связанных сетей измерений. Теперь предприятие сможет контролировать ключевые показатели своего производства удаленно, оперативно реагируя на любые отклонения от нормы. Концепция цифровых двойников позволит детально моделировать процессы и выявлять потенциальные

проблемы задолго до возникновения реальных сбоев. Это существенно повысит безопасность эксплуатации критически важных объектов и снизит издержки на техническое обслуживание.

- *Нанотехнологии и новые материалы*

Современная наука стремительно движется вперед благодаря развитию нанотехнологий. Наноустройства позволяют проводить замеры даже на молекулярном уровне, обеспечивая ранее невозможную точность. Новые сенсорные элементы на основе графена и квантовых точек обладают уникальными характеристиками чувствительности и устойчивости к внешним воздействиям. Их внедрение приведет к повышению надежности и расширению функциональных возможностей современной техники.

- *Беспроводные и автономные решения*

Создание энергетически независимых измерительных систем становится возможным благодаря миниатюризации компонентов и внедрению возобновляемых источников энергии. Микроэлектромеханические системы становятся основой для компактных измерителей, оснащённых встроенными системами диагностики и калибровки. Подобные автономные сенсоры станут ключевым элементом интеллектуальных производств и инфраструктуры умных городов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Точность [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Точность (дата обращения: 18.06.2025).

2. Лекция 2. Основы метрологии [Электронный ресурс] // Виртуальная образовательная среда ВГСА. – URL: https://edu.vgsa.ru/pluginfile.php/185106/mod_resource/content/1/лекция%202.pdf (дата обращения: 18.06.2025).

3. *Клячкин В.Н*. Статистические методы в управлении качеством: компьютерные технологии. — М.: Финансы и статистика, 2009. — 304 с.

4. *Макарова А.И*. Типичные ошибки демонстрации метрологической прослеживаемости результатов измерений / Контроль качества продукции. 2022. №10. С. 51-55.

5. *Мелаева Ч., Шадыева Р., Гундогдыева Ш., Тораева Н*. Метрология и стандартизация — основа точности и качества в различных сферах.

PRECISE INSTRUMENT MEASUREMENT AND QUALITY MANAGEMENT

Akhmetova Ya.T.

Supervisor: Askarova A.Ya., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper examines the importance of accurate measurement for effective quality management of products and processes. Key characteristics of measuring instruments, modern quality control methods and principles of ensuring measurement accuracy are analyzed. Particular attention is paid to the prospects for the development of measurement technologies - the introduction of quantum standards, the use of artificial intelligence for data processing and the creation of autonomous measurement systems of the new generation.

УДК 681.5

РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОЙ БАЛАНСИРОВОЧНОЙ ПЛАТФОРМЫ

Бабиков А.И.

Научный руководитель: Лазарева П.А., доцент, к. ф.-м. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается разработка роботизированной балансировочной платформы, предназначенной для автоматической стабилизации положения шара на наклонной поверхности. Описаны этапы моделирования системы с использованием уравнений Лагранжа, синтез ПИД-регулятора и реализация визуального слежения с помощью обработки изображений с камеры. Проведены численные и экспериментальные исследования, подтвердившие устойчивость и эффективность разработанного алгоритма управления. Полученные результаты могут быть использованы в образовательных целях и при тестировании алгоритмов автоматического регулирования.

Разработка и реализация систем автоматического управления для неустойчивых динамических объектов представляет собой одну из ключевых задач в области интеллектуальных технических систем. Особый интерес в этом контексте вызывают учебные и экспериментальные установки, предназначенные для демонстрации сложных алгоритмов регулирования в реальном времени. Эти установки, будучи наглядными и функциональными, позволяют не только отрабатывать методы управления, но и изучать поведение объектов в условиях изменяющихся внешних воздействий. Одной из таких установок является роботизированная балансировочная платформа, задача которой — стабилизация положения шара на наклонной поверхности посредством автоматического изменения угла наклона по двум осям (рис. 1).

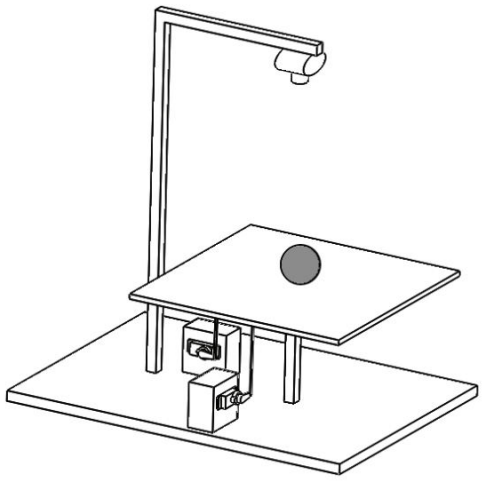


Рис. 1. Схема роботизированной балансировочной платформы [1]

Представленная в работе система представляет собой интеграцию механических, электронных и программных компонентов, взаимодействующих в рамках замкнутого контура управления. Целью проекта стало создание установки, способной в режиме реального времени отслеживать координаты шара и корректировать положение платформы так, чтобы удерживать шар в центральной точке. При этом обеспечивается высокая точность позиционирования, устойчивость системы и адаптивность к неидеальным внешним условиям, включая шумы видеопотока, механические зазоры и влияние трения.

Аппаратная часть установки состоит из платформы с двумя степенями свободы, оснащённой сервоприводами MG996R, управляемыми посредством микроконтроллера Iskra Neo на базе ATmega32U4 [2]. Эта микроконтроллерная плата выбрана благодаря встроенному USB-интерфейсу, множеству каналов ввода-вывода и поддержке стандартных протоколов

связи. Питание подаётся через связку литиевых аккумуляторов формата 18650, соединённых последовательно для достижения необходимого напряжения, а напряжение стабилизируется понижающим линейным преобразователем LM317. Видеопоток обрабатывается на персональном компьютере, оснащённом камерой Logitech C270, позволяющей получать изображение разрешением 720p с частотой 30 кадров в секунду.

Программная реализация основывается на использовании языка Python и библиотеки OpenCV для обработки изображений и определения координат шара. Алгоритм включает захват видеокадра, его обрезку до рабочего участка (обычно 400×400 пикселей), преобразование цветового пространства из RGB в HSV, цветовую сегментацию и бинаризацию изображения. После выделения контуров шара и платформы рассчитываются их центры, и определяются координаты шара относительно центра платформы. Полученные координаты пересчитываются в физические величины (в сантиметрах), после чего поступают на ПИД-регуляторы, реализованные в программном виде. Управляющие воздействия преобразуются в углы поворота сервоприводов и отправляются через USB-порт на микроконтроллер, реализующий наклон платформы.

Важным этапом разработки стало построение математической модели системы. Для анализа динамики движения шара использован метод Эйлера-Лагранжа. Модель строится исходя из предположения симметрии платформы и эквивалентности динамики по осям X и Y, что позволило рассматривать одномерную модель без потери общности. Кинетическая энергия рассчитывалась для шара и платформы, а потенциальная — только для шара, так как центр поворота платформы был принят за нулевой уровень. Уравнения движения получены в нелинейной форме, с учётом моментов инерции и углов наклона, однако для последующего анализа произведена их линеаризация в окрестности положения равновесия. Это позволило перейти к представлению в виде передаточной функции и использовать классические методы управления.

Передаточная функция системы связывает угол наклона платформы с координатой шара, что дало возможность синтезировать ПИД-регулятор. В рамках проектирования были выбраны начальные значения коэффициентов на основе анализа характеристического уравнения системы. Учитывались такие параметры, как время установления, максимальное перерегулирование и устойчивость. Было определено, что при параметрах P = 0.752, I = 0.03, D = 0.229 достигается хорошее качество регулирования: отклик быстрый, система устойчива, а статическая ошибка практически отсутствует. Дополнительно проведена автоматическая настройка коэффициентов с использованием PID Tuner в среде MATLAB Simulink, однако полученные значения показали худшее поведение системы — наблюдался дрейф положения и снижение точности стабилизации.

Для подтверждения корректности теоретических расчётов и настройки регулятора было проведено моделирование в среде MATLAB Simulink. Построена структурная схема, включающая блоки передачи сигнала, объект управления, серводвигатель, ПИД-регулятор и отрицательную обратную связь. Полученные в ходе моделирования графики показали адекватное поведение системы: шар стабилизировался в течение 1,5–3 секунд, перерегулирование не превышало 20 %, углы наклона оставались в допустимом диапазоне. Экспериментально подтверждено, что включение производной и интегральной составляющих улучшает поведение системы в динамике и позволяет эффективно компенсировать шумы, зазоры и нестабильности.

Помимо численного моделирования, проведены натурные испытания физической установки. Видеопоток с камеры поступал на ПК, обрабатывался в реальном времени, координаты шара определялись с высокой частотой и передавались на управляющее устройство. Основной задачей при реализации обработки изображений стало обеспечение устойчивой работы при изменении освещения. Для этого использовано цветовое пространство HSV, в котором оттенок и насыщенность отделены от яркости. Это позволило выделять шар даже при наличии теней, бликов и непостоянного освещения (рис. 2).

Установлены диапазоны значений HSV, при которых светлый шар выделяется наиболее надёжно.

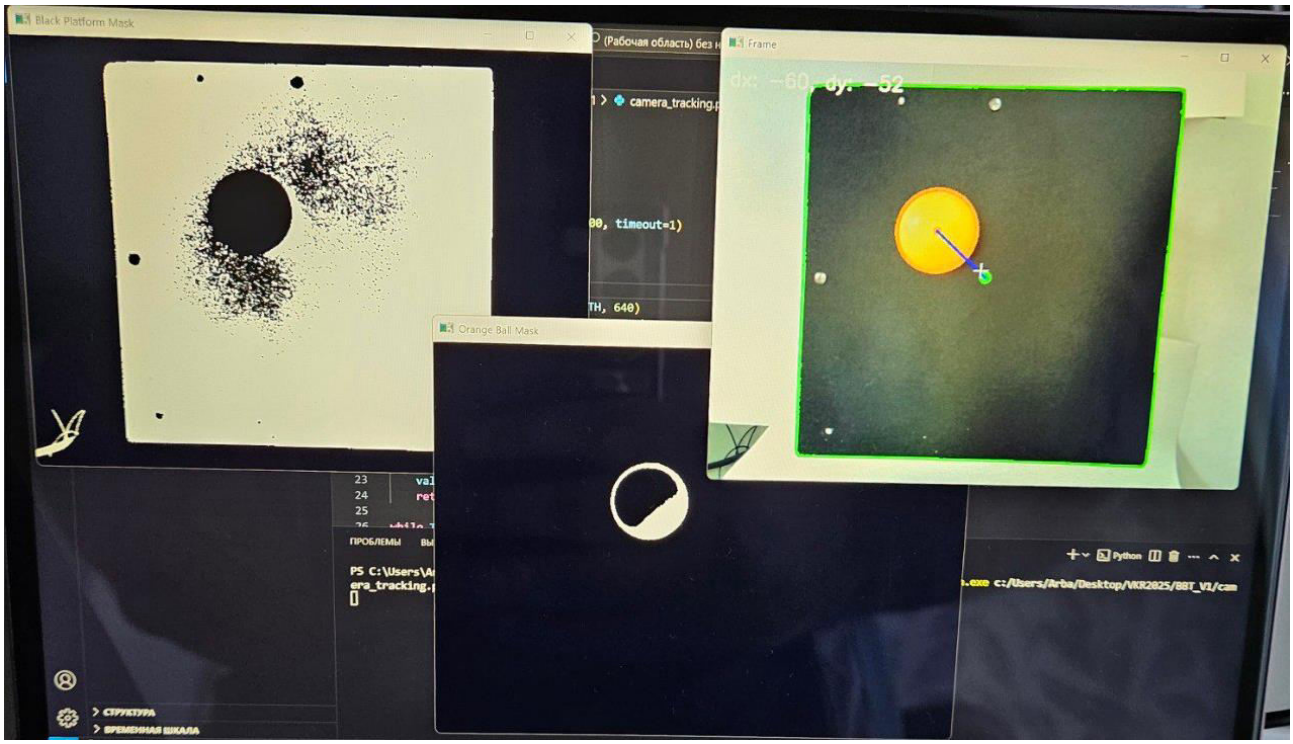


Рис. 2. Определение координат центра шара с помощью системы технического зрения

Визуальная система позиционирования включала этапы морфологической фильтрации, бинаризации, нахождения контуров и вычисления центра масс объекта. Полученные координаты в пикселях пересчитывались в сантиметры с учётом масштаба платформы. Эти данные служили входными воздействиями для ПИД-регуляторов, реализованных в программном виде, выходные сигналы которых преобразовывались в углы платформы в диапазоне 60–120°, соответствующие физическим ограничениям сервоприводов. Система функционировала в режиме реального времени, обеспечивая обратную связь и коррекцию положения шара с частотой, достаточной для устойчивой стабилизации.

Полученная установка представляет собой полноценную замкнутую систему управления, реализующую принципы кибер-физических систем и робототехники. Она объединяет в себе мехатронные компоненты, цифровую обработку сигналов, алгоритмы компьютерного зрения и методы управления, что делает её универсальной платформой для исследования, обучения и тестирования. Платформа может использоваться как в университетских лабораториях, так и в инженерных центрах для демонстрации работы ПИД-регуляторов, анализа устойчивости и синтеза систем управления. Кроме того, установка позволяет интеграцию и тестирование более сложных регуляторов, включая адаптивные, предиктивные, нейросетевые и комбинированные решения.

В заключение следует отметить, что проведённая работа охватывает полный цикл проектирования — от построения математической модели и имитационного моделирования до аппаратной реализации, и тестирования в реальных условиях. Установка демонстрирует стабильную и надёжную работу, легко масштабируется и модифицируется, что делает её ценным инструментом как в образовательных, так и в исследовательских целях. Дальнейшее развитие проекта может включать интеграцию сенсоров ускорения и инерциальных модулей, реализацию адаптивного управления и применение методов машинного обучения для повышения точности, и устойчивости. Таким образом, балансировочная платформа

подтверждает свою эффективность как модельный объект для отработки широкого спектра задач в области управления неустойчивыми системами и интеллектуальной автоматики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Kuncan M.* Fuzzy Logic Based Ball on Plate Balancing System Real Time Control by Image Processing / M. Kuncan, K. Kaplan, A. Fatih, K. İsmail [и др.] // International Journal of Natural and Engineering Sciences. – 2016. – №10. – P. 28-32.

2. Iskra Neo. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://amperka.ru/product/iskra-neo?srsltid=AfmBOoqPk6s0SYWEKHPOsY8Nfgm7pfs4nKR9Sj5gBMUDMM7cM_MWy_Ac (дата обращения: 07.07.2025).

DEVELOPMENT OF A ROBOTIC BALL-BALANCING PLATFORM

Babikov A.I.

Supervisor: Lazareva P.A., Associate Professor, Candidate of Physico-Mathematical Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses the development of a robotic balancing platform designed to automatically stabilize the position of a ball on an inclined surface. The stages of modeling the system using Lagrange equations, synthesis of a PID controller, and implementation of visual tracking using camera image processing are described. Numerical and experimental studies have been conducted that confirm the stability and efficiency of the developed control algorithm. The results obtained can be used for educational purposes and in testing automatic control algorithms.

УДК 851.5

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ САМОХОДНОГО СРЕДСТВА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ

Балабанова-Головина Е.В.

Научный руководитель: Теперин А.А., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Доклад посвящен разработке и реализации управляющего алгоритма для специальной медицинской тележки для передвижения людей с травмами ног и ОПС. В рамках проекта был разработан принцип работы управляющего алгоритма. Алгоритм реализован в виде программного кода на языке Python.

Введение

Наш мир непрерывно развивается, появляются технологии, улучшающие качество жизни людей и, в связи с этим, увеличивается продолжительность жизни, и процент пожилых людей в общей численности населения увеличивается. Современная медицина позволяет спасать жизнь пациентам даже в самых сложных случаях, когда ранее это было невозможно. Однако, несмотря на успехи в лечении и реабилитации, не всегда удается полностью восстановить здоровье пациента. В частности, многие люди остаются с различными ограничениями по подвижности, что связано с травмами ног, поражениями опорно-двигательного аппарата (ОПС) и другими заболеваниями. Эти факторы приводят к тому, что все большее количество людей сталкивается с проблемами инвалидности и ограниченной мобильности.

В таких условиях автоматизация становится важным инструментом, который помогает людям с ограниченными возможностями вести полноценную жизнь, минимизируя ограничения, связанные с их состоянием. Появление электрических инвалидных колясок стало значительным прорывом в этой области. Благодаря таким устройствам пользователям

больше не приходится прикладывать колоссальные физические усилия для передвижения — как своего собственного веса, так и веса самой коляски.

Однако, несмотря на снижение нагрузки на руки, существующие электрические инвалидные коляски все еще требуют от пользователя удерживать и управлять механическим или электронным управляющим устройством, например, джойстиком. Это ограничивает свободу рук пользователя и затрудняет выполнение повседневных задач, таких как использование мобильных устройств, прием пищи, рабочие задачи или выполнение других действий, требующих свободных рук.

В настоящее время ведутся активные исследования и разработки, направленные на создание альтернативных способов управления инвалидными креслами, которые позволят людям с травмами ног и поражениями опорно-двигательного аппарата управлять устройством без необходимости использования рук. Данный доклад посвящен разработке управляющего устройства для самоходного средства передвижения для людей с травмами ОПС, управляющее без использования рук.

1. Краткое описание управляемого и управляющих устройства

Управляемое устройство представляет собой специальное средство передвижения для людей с травмами ОПС. Но состоит из трех основных компонентов, ходовой части, системы вертикализации и управляющего устройства. Управляющее устройство представляет из себя кресло со специальными педалями, в которые встроены датчики холла, работающие подобно джойстикам. Комбинации срабатываний этих датчиков означают определенные команды, которые оператор передает средству передвижения. Схема расположения датчиков показаны на рисунке 1.

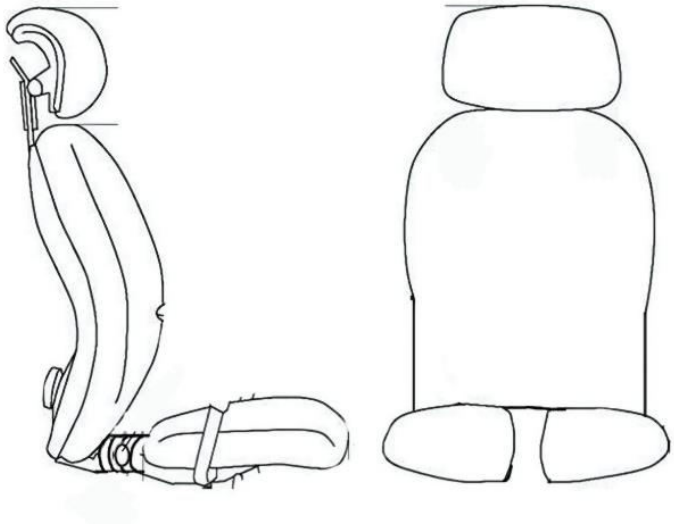


Рисунок 1. Схема управляющего устройства

2. Принцип управления

Функционально средство передвижения состоит из приводной системы, отвечающую за работу машины и сенсорной системы, отвечающей за управление машиной. Реализация управления всем устройством осуществляется при помощи двух микроконтроллеров ESP32, соединенных между собой через интерфейс I2C. Микроконтроллер, отвечающий за сенсорную систему выступает в роли MASTER. Он при помощи упомянутых выше датчиков считывает от оператора комбинации входящих сигналов. Далее происходит их преобразование в управляющие слова. Далее эти слова передаются через шину I2C на другой микроконтроллер, отвечающий за приводную систему, как ходовой части, так и вертикализатора. Этот микроконтроллер выполняет роль SLAVE. SLAVE считывает полученные управляющие слова преобразуя их управляющие сигналы для двигателей, которые соответствуют выполнению распознанной команды.

Использование управляющих слов в организации алгоритма позволяет добиться максимальной надежности в распознании команд и исключение выполнение действий не предусмотренных, которые могут возникнуть при случайных срабатываниях. Несмотря на то, что само управляющее устройство разработано так, чтобы избежать распознание случайных срабатываний, система будет игнорировать те команды, которые не прописаны в её программе. Также такая методика универсальна и может быть применена для любого управляющего устройства при минимальных изменениях в коде, что сильно повышает применимость алгоритма.

3. Программная реализация алгоритма управления

Программа алгоритма управления реализована на языке программирования Python с расширением для работы с ESP32. Ключевой функцией сенсорной системы MASTER является считывание входных команд оператора и преобразование их в управляющие слова. Фрагмент кода с данной функцией представлен на рисунке 2.

```
def signal_to_command(x_left, y_left, x_right, y_right): #Преобразование сигналов с джойстиков в управляющие слова
    signals=[x_left, y_left, x_right, y_right]
    out_sig = []
    for i in range(len(signals)):
        normalized = (signals[i]-2048)

        if abs(normalized)>500:
            if normalized>0:
                out_sig.append(str(1))
            else:
                out_sig.append(str(2))
        else:
            out_sig.append(str(0))

    return out_sig
```

Рисунок 2. Функция преобразования входных воздействий в управляющие слова

Поскольку датчики, использованные в управляющем устройстве, являются аналоговыми, чтобы их использовать как дискретные используется так называемое пороговое значение. С датчиков считывается аналоговый сигнал и в случае, если этот сигнал выше порогового для этого датчика регистрируется срабатывание или логическая единица, в противном случае срабатывание не регистрируется или логический ноль. Из этих срабатываний и несрабатываний формируются управляющие слова, которые потом через шину I2C передаются на приводную систему.

Стоит отметить, что аналоговые датчики открывают возможность для дальнейшей модификации алгоритма так, чтобы оператор мог полноценно управлять и скоростью своего движения и настройки чувствительности самой системы индивидуально под каждого пациента.

Ключевыми элементами программы управления приводной системой SLAVE являются функция, в которой записаны её базовые движения и функция преобразующая команды в комбинации базовых движений. Всего у ходовой части есть 6, так называемых, базовых движения:

0) стоп
1) движение вперед
2) движение назад
3) поворот приводных модулей по часовой стрелке
4) поворот приводных модулей против часовой стрелки
5) подъем оператора
6) спуск оператора

Фрагмент кода с функцией базовых движений представлен на рисунке 3.

```
def actions(command): # Функция преобразования управляющего слова в сигналы для ходовой части
    if command==0:
        timer_0.deinit()
        stop()
    elif command==1:
        go_forward()
        flag=True
        timer_0.init(mode=Timer.PERIODIC, freq=1000, callback=step_0)
    elif command==2:
        go_backward()
        flag=True
        timer_0.init(mode=Timer.PERIODIC, freq=1000, callback=step_0)
    elif command==3:
        rotate1()
        flag=True
        flag_mode=True
        i=0
        n=3402
        timer_0.init(mode=Timer.PERIODIC, freq=1000, callback=step_0)
        while flag:
```

Рисунок 3. Функция базовых движений

Данные функции зашифрованы в номера и при помощи словаря предварительно записаны в комбинации, соответствующие определенным командам. Словарь соответствия команд комбинациям базовых движений представлен на рисунке 4.

```
act = {0:[0],1:[1],2:[2],3:[3,1],4:[4,1],5:[0,1],6:[0,2],7:[0,7],8:[0,8]}
```

Рисунок 4. Словарь соответствия команд комбинациям базовых движений

Сами команды также зашифрованы в номера:

0) стоп
1) движение вперед
2) движение назад
3) движение направо поскопараллельно
4) движение налево поскопараллельно
5) разворот направо
6) разворот налево
7) подъем оператора
8) спуск оператора

Распознав номер поступившей команды, система быстро определяет нужную комбинацию базовых движений и приступает к их выполнению. Фрагмент кода с данной функцией представлен на рисунке 5.

```
while True:
    try:
        if scl.value()==1:
            x = int(bit_to_bite(recieve()), 16)
            l = len(act[x])
            for i in range(l):
                command = act[x][i]
                actions(command)
    except KeyError:
        actions(0)

    time.sleep(0.001)
```

Рисунок 5. Функция работы ходовой части.

В указанном фрагменте «x» это номер полученной команды. Используя его программа обращается к словарю и поочередно выполняет заранее записанные ей движения. Такая организация работы кода позволяет вносить изменения и модификации в программу сравнительно просто, быстро и без серьёзных изменений в коде, что повышает удобство в его настройке и отладке. Также здесь предусмотрена автоматическая аварийная остановка в случае возникновения непредвиденной ошибки в распознавании или передачи команды в результате помех.

Выводы

За время работы был разработан принцип управления всем средством передвижения; Разработан и реализован программный код алгоритма на языке Python.

Добавлена возможность расширения возможностей системы управления и модификации программного кода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Балабанова-Головина Е.В, Микрюков И.Д* «Автоматизированная складская тележка» / XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодёжная научная конференция, 9-10 ноября 2023 года: Материалы конференции. Сборник докладов. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. – С. 1448-1451.

2. *Микрюков И.Д, Балабанова-Головина Е.В*. Автоматизированная медицинская тележка. III Республиканская научно-техническая конференция «Инженерная мысль», 28 ноября 2024 г. / под ред. С.В. Смирновой: сборник докладов. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2024. – с.3-13.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A CONTROL ALGORITHM FOR A SELF-PROPELLED VEHICLE

Balabanova-Golovina E.V.

Supervisor: Teperin A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The report is devoted to the development and implementation of a control algorithm for a special medical trolley for the movement of people with leg injuries and OPS. As part of the project, the principle of operation of the control algorithm was developed. The algorithm is implemented as a program code in Python.

УДК 681.586.67:681.5.015

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ПОТОКА ГАЗА В КАМЕРЕ ТОРМОЖЕНИЯ АВИАЦИОННОГО ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ

Веденеева Д.В., Штэнгауэр А.Р.

Научный руководитель: Сабитов А.Ф., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье рассматриваются термоэлектрические датчики температуры (термопары), применяемые в контуре регулирования температуры газа в системах автоматического управления (САУ) авиационных газотурбинных двигателей (ГТД). Обращается внимание на то, что тепловая инерция термопар значительно зависит от скорости и давления газа в области расположения термопар в ГТД и замедляет измерение текущей температуры газа. Целью данной работы является установление функциональной зависимости между скоростью газового потока, набегающего на термопару, и скоростью газа в камере торможения термопары в области расположения чувствительного элемента для последующей коррекции инерционности термопары. Методика определения

функциональной зависимости показана на примере 3D модели некоторого типа авиационной термопары путем численного моделирования течения газа в ее камере торможения в программном комплексе ANSYS CFX. Предложенная методика моделирования может быть применена и для других типов термопар с известными конструкциями камер торможения и чувствительных элементов.

При измерении температуры воздушных и газовых потоков в авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) широко применяются термопары с проволочными чувствительными элементами, помещенными в камеры торможения. Для термопар в контуре регулирования температуры газа системы автоматического управления (САУ) ГТД возникает необходимость в непрерывной коррекции их тепловой инерционности при изменяющихся режимах работы ГТД. Определяющим фактором тепловой инерционности термопар является теплообмен их чувствительного элемента с газовых потоков в камере торможения, изменение которого при различных режимах работы ГТД приводит к существенному изменению инерционности термопар. Последние исследования в данной области приведены в работах [1 - 3].

На рис.1 приведена схема типовой конструкции поперечно обтекаемой камеры торможения термоэлектрических датчиков температуры газа (ДТГ).

Как видно из рис.1, набегающий поток газа при скорости V через входные отверстия, площадью $S_{вх}$, поступает в камеру торможения, претерпевает торможение и изменение направления движения (поворот в канале камеры на 90°), несколько тормозится и еще раз меняет направление (поворот к выходному отверстию площадью $S_{вых}$).

Поэтому в разных сечениях камеры торможения между входными и выходным отверстиями скорость и характер течения меняются, что существенно усложняет аналитические расчеты ожидаемых коэффициентов конвективного теплообмена на поверхности чувствительного элемента.

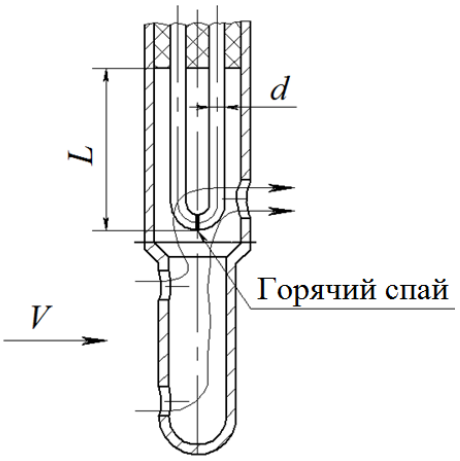


Рис.1. Схема поперечно обтекаемой камеры торможения термоэлектрического ДТГ:
d – диаметр чувствительного элемента; L – длина чувствительного элемента

Поскольку чувствительные элементы большинства авиационных термопар изготовлены из термоэлектродной проволоки различных диаметров, то для расчета среднего коэффициентов конвективного теплообмена на поверхности чувствительного элемента ДТГ можно использовать уравнения подобия, полученные А.А. Жукаускаусом при исследовании поперечного обтекания одиночного цилиндра:

$$\alpha = \lambda \frac{C \mathrm{Re}^n \mathrm{Pr}^m}{d} = \lambda \frac{C \left(\frac{V_{\text{чэ}} d \rho}{\eta} \right)^n \left(\frac{\eta c_p}{\lambda} \right)^m}{d}, \qquad (1)$$

где коэффициенты C, n и m зависят от числа Re;

$V_{чэ}$ – скорость потока газа в области расположения чувствительного элемента;
d – диаметр термоэлектродной проволоки чувствительного элемента;
λ, c_p, ρ и η – теплофизические характеристики газового потока.

Целью данной работы является исследование зависимости между скоростью газового потока V, набегающего на термопару, и скоростью газа $V_{чэ}$.

Для достижения поставленной цели предложено использовать численное моделирование течения потока газа в камере торможения авиационного термоэлектрического датчика температуры в программном комплексе ANSYS CFX версии 18.2.

В качестве объекта исследования выбрана конструкция термопары некоторого типа с поперечно обтекаемой камеры торможения.

Моделирование течения потока газа в камере торможения произведено при скорости набегающего воздушного потока V, равной 50, 100, 150, 200 и 250 м/с. При этом, для каждой скорости V задавалось абсолютное давлении p^* воздушного потока, равное 0,25, 0,50, 0,75 и 1,00 МПа, а при каждом давлении скорость $V_{чэ}$ вычислялась при температуре воздушного потока t, равной 500, 750, 1000 и 1200 ºС. Это позволило рассчитать по 16 значений скорости $V_{чэ}$ в камере торможения при каждой скорости набегающего потока V в различных сочетаниях давления p^* и температуры t воздушного потока.

На рис.2 изображено поперечное сечение камеры торможения расчетной модели термопары с сеткой, количество элементов в которой составляет $5{,}2 \cdot 10^6$ единиц. Максимальный размер элементов сетки равен 10 мм, а минимальный – 0,1 мм.

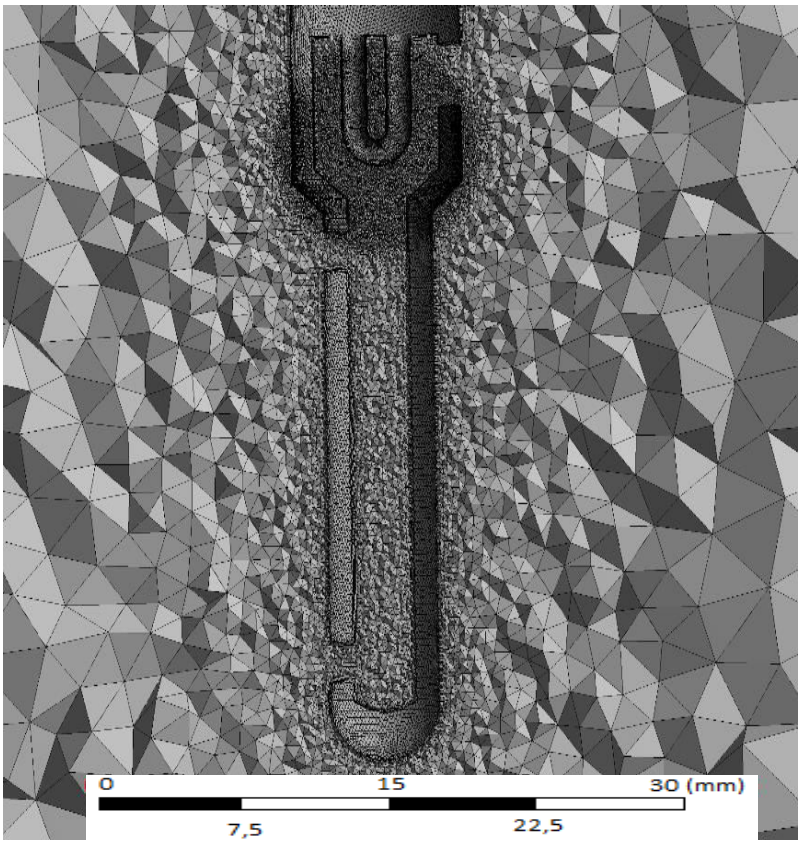


Рис.2. Поперечное сечение камеры торможения модели термопары с сеткой

На рис.3 изображен примеры полученных полей скоростей воздушного потока как снаружи, так и внутри камеры торможения при скорости V= 200 м/с, давлении p^*=0,75 МПа и температуре t= 750 ºС.

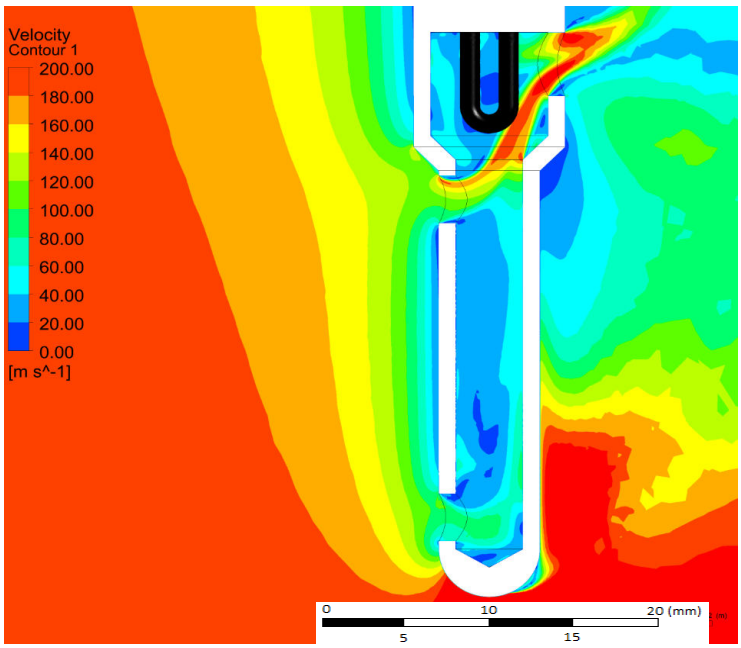


Рис.3. Поля скоростей воздушного потока в модели камеры торможения термопары

На рис. 4 изображен итоговый результат обработки результатов исследования, позволяющий предположить, что средняя скорость $V_{чэ}$ в камере торможения модели термопары близка к линейной зависимости от скорости V набегающего воздушного потока. Данное предположение справедливо, по крайней мере, в интервале температур воздушного потока t от 500 до 1200 ºС и давлений p^* от 0,25 до 1,00 МПа.

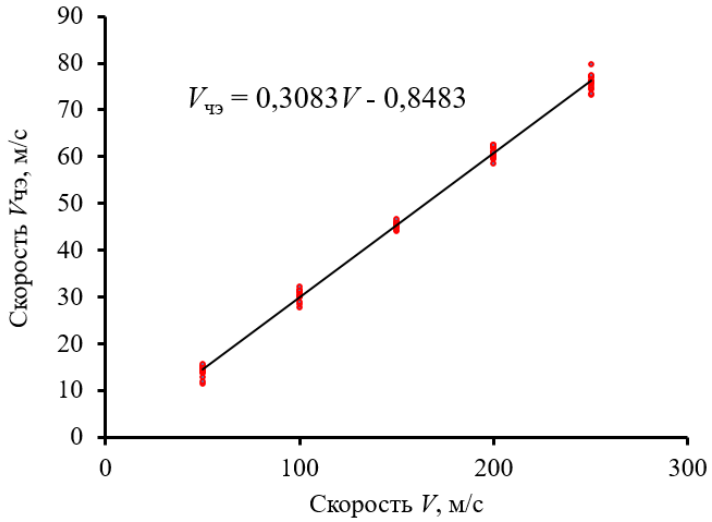


Рис.4. График зависимости скорости Vчэ
от скорости набегающего потока V:
▬ линия тренда.

Результаты моделирования описываются линейной функцией регрессии вида

$$V_{чэ} = 0,3083V - 0,8483, \qquad (2)$$

которая с оценкой R-square=0,9969 приближена к экспериментальным значениям.

В результате исследований определена зависимость между средней скоростью воздушного потока в области расположения чувствительного элемента $V_{чэ}$ модели камеры торможения термопары и скоростью набегающего воздушного потока V. Эта зависимость близка к линейной и описывается линейной функцией (2) в интервале температур

воздушного потока t от 500 до 1200 ºС и давлений p^* от 0,25 до 1,00 МПа с оценкой R-square=0,9969.

С учетом (2) коэффициент теплообмена α в выражении (1) может рассчитываться по формуле

$$\alpha = \lambda \frac{C\left[\frac{(0{,}3083V - 0{,}8483)d\rho}{\eta}\right]^n \left(\frac{\eta c_p}{\lambda}\right)^m}{d}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**:**

1. *Sabitov A. and Safina I.*, Determining Dynamic Characteristics of Measuring Instruments with a Spectral Method Insensitive to Harmonic Interference, *J. Eng. Therm.*, 2021, vol. 30, no. 3. pp. 508–514; DOI:10.1134/S1810232821030139.

2. *Sabitov A. and Safina I.,* Dynamic Characteristics of Thermopiles, *J. Eng. Therm.*, 2022, vol. 31, no. 4. pp. 688–514; DOI:10.1134/S1810232822040130.

3. *Sabitov A. and Safina I.*, Up-to-Third-Order Determination of Time Constants of Models of Avionics Thermocouples in Gas Temperature Control Loop of Automatic Control System of Gas Turbine Engine, *J. Eng. Therm.*, 2024, vol. 33, no. 2. pp. 376–383; DOI:10.1134/S1810232824020127.

STUDY OF GAS FLOW CHARACTERISTICS IN THE DAMPING CHAMBER OF AVIATION THERMOELECTRIC TEMPERATURE SENSOR

Vedeneeva D.V., Shtengauer A.R.

Supervisor: Sabitov A.F., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article examines thermoelectric temperature sensors (thermocouples) used in the gas temperature control loop of automatic control systems (ACS) for aviation gas turbine engines (GTE). It is emphasized that the thermal inertia of thermocouples significantly depends on the gas flow velocity and pressure in the region where the thermocouples are located within the GTE, consequently slowing down the measurement of the current gas temperature. The objective of this work is to establish a functional relationship between the velocity of the gas flow approaching the thermocouple and the gas velocity in the damping chamber of the thermocouple in the area of the sensing element, enabling subsequent adjustments for the thermocouple's inertia. The methodology for determining the functional relationship is illustrated through a numerical simulation of the gas flow in the damping chamber of a specific type of aviation thermocouple using a 3D model in the ANSYS CFX software suite. The proposed modeling methodology can also be applied to other types of thermocouples with known designs of damping chambers and sensing elements.

УДК 004.02

УПРАВЛЕНИЕ БОКОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ ГРУППЫ БПЛА

Волков И.А.

Научный руководитель: Гаркушенко В.И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассматривается вопрос управления боковым движением группы БПЛА самолетного типа при неполном измерении вектора. Проводится моделирование связанной динамики ведущего и ведомого БПЛА по стабилизации угла крена в среде Matlab/Simulink.

Введение

Вопрос группового управления беспилотными летательными аппаратами был рассмотрен в работах [1-6]. В работе [1] осуществляется синтез управления боковым движением летательного аппарата при отсутствии непосредственной информации об угле крена. В статье [2] решается задача отслеживания по высоте ведомого БПЛА относительно ведущего БПЛА с помощью децентрализованного координированного управления с использованием децентрализованных фиксированных мод и предкомпенсаторов. В работе [3] проводится робастная стабилизация и оптимальное подавление внешних возмущений в составной многосвязной системе, состоящей из двух беспилотных летательных аппаратов. В статье [4] рассматривается задача управления траекторным движением квадрокоптера в режиме сопровождения подвижной цели, в условиях действия шумов измерений и внешних возмущений. Работа [5] посвящена синтезу согласованного управления группой БПЛА для движения по заданной траектории, обеспечивающей наиболее эффективное достижение цели полета. В статье [6] предложено программно-алгоритмическое обеспечение для повышения безопасности полёта группы беспилотных летательных аппаратов при мониторинге состояния растений в агропромышленном комплексе.

В настоящей работе в качестве метода для синтеза управления боковым движением группы БПЛА выступает синтез с использованием эталонной модели. Вначале строится управление в предположении о полном измерении вектора состояния. Затем происходит замена не измеряемых переменных состояния на измеряемые при помощи передаточных функций, которые получены из математической модели БПЛА. Необходимость учета этого фактора при синтезе закона управления вызвана тем, что летательный аппарат оснащен ограниченным количеством датчиков для увеличения полезной нагрузки или из-за сложности измерения его некоторых параметров. Кроме того, при определенных условиях эксплуатации, измерительные устройства могут выходить из строя или точность их показаний может становиться недостаточной для эффективного управления.

Постановка задачи

Рассмотрим систему уравнений бокового движения летательного аппарата в связанной системе координат, имеющей вид [1]:

$$\begin{gathered}\frac{d\beta}{dt}+k_\beta\beta-\alpha_0\omega_x-\omega_y-k_\gamma\gamma=0,\\ \frac{d\omega_x}{dt}+l_\beta\beta+l_{\dot\gamma}\omega_x+l_{\dot\psi}\omega_y=-l_э\delta_э,\\ \frac{d\omega_y}{dt}+n_\beta\beta+n_{\dot\gamma}\omega_x+n_{\dot\psi}\omega_y=-n_н\delta_н,\\ \frac{d\gamma}{dt}=\omega_x,\frac{d\psi}{dt}=\omega_y,\end{gathered} \tag{1}$$

где γ – угол крена, ψ – угол курса, ω_x – угловая скорость вращения летательного аппарата по крену, ω_y – угловая скорость вращения летательного аппарата по курсу, β – угол скольжения, $k_\beta,k_\gamma,l_\beta,l_{\dot\gamma},l_{\dot\psi},l_э,n_\beta,n_{\dot\gamma},n_{\dot\psi},n_н$ – аэродинамические коэффициенты летательного аппарата, α_0 – балансировочный угол атаки, $\delta_э$ – угол отклонения элеронов, $\delta_н$ - угол отклонения руля направления.

С помощью системы (1) описывается движение ведущего БПЛА (с добавлением индекса «1» к переменным $\gamma,\psi,\omega_x,\omega_y,\beta,\delta_э,\delta_н$). Аналогично можно описать движение ведомого БПЛА независимо от ведущего (с добавлением индекса «2» к тем же переменным). Для того чтобы связать движение ведомого БПЛА с движением ведущего, произведем следующую замену переменных состояния в системе (1):

$$\begin{gathered}\Delta\psi=\psi_2-\psi_1,\\ \Delta\omega_y=\omega_{y2}-\omega_{y1},\end{gathered} \tag{2}$$

где $\Delta\psi$ – отклонение угла курса у ведомого БПЛА относительно ведущего, $\Delta\omega_y$ – отклонение угловой скорости по курсу у ведомого БПЛА относительно ведущего. С учетом (1), (2), запишем объединенную модель бокового движения ведущего и ведомого БПЛА:

$$\begin{bmatrix} \dot{\gamma}_1 \\ \dot{\omega}_{x1} \\ \dot{\psi}_1 \\ \dot{\omega}_{y1} \\ \dot{\beta}_1 \\ \dot{\gamma}_2 \\ \dot{\omega}_{x2} \\ \Delta\dot{\psi} \\ \Delta\dot{\omega}_y \\ \dot{\beta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -l_{\dot{\gamma}} & 0 & -l_{\dot{\psi}} & -l_{\beta} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -n_{\dot{\gamma}} & 0 & -n_{\dot{\psi}} & -n_{\beta} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{\gamma} & \alpha_0 & 0 & 1 & -k_{\beta} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -l_{\dot{\psi}} & 0 & 0 & -l_{\dot{\gamma}} & 0 & -l_{\dot{\psi}} & -l_{\beta} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & n_{\dot{\gamma}} & 0 & 0 & n_{\beta} & 0 & -n_{\dot{\gamma}} & 0 & -n_{\dot{\psi}} & -n_{\beta} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & k_{\gamma} & \alpha_0 & 0 & 1 & -k_{\beta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \omega_{x1} \\ \psi_1 \\ \omega_{y1} \\ \beta_1 \\ \gamma_2 \\ \omega_{x2} \\ \Delta\psi \\ \Delta\omega_y \\ \beta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ -l_{э} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -n_{и} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -l_{э} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & n_{и} & 0 & -n_{и} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{э1} \\ \delta_{и1} \\ \delta_{э2} \\ \delta_{и2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Приняты следующие значения параметров ведущего и ведомого БПЛА:

- $m_1 = m_2 = 320$ кг – масса летательных аппаратов;
- $V_1 = V_2 = 111$ м/с – истинная воздушная скорость летательных аппаратов.
- $\alpha_{01} = \alpha_{02} = \alpha_0 = 3{,}9°$.

Ведущий и ведомый БПЛА имеют следующие значения аэродинамических коэффициентов: $k_\beta = 0{,}1946c^{-1}$, $k_\gamma = 0{,}0833c^{-1}$, $l_\beta = 47{,}272c^{-2}$, $l_{\dot{\gamma}} = 6{,}776c^{-1}$, $l_{\dot{\psi}} = 1{,}742c^{-1}$, $l_э = 176{,}54c^{-1}$, $n_\beta = 13{,}8c^{-2}$, $n_{\dot{\gamma}} = 0{,}108c^{-1}$, $n_{\dot{\psi}} = 0{,}859c^{-1}$ $n_и = 7{,}12c^{-2}$.

Требуется провести синтез закона управления для выравнивания по курсу ведомого БПЛА относительно ведущего, а также стабилизации заданного курса для ведущего БПЛА. При этом ведомый летательный аппарат получает информацию о векторе состояния ведущего по радиоканалу. Во избежание столкновений между БПЛА необходимо обеспечить их движение в параллельных горизонтальных плоскостях (на разной высоте).

Синтез управления с использованием эталонной модели

Рассмотрим движение системы в отклонениях от положения равновесия:

$$\frac{dx}{dt} = \mathrm{A}x + Bu, \;\; x(t_0) = x_0, \qquad y = Cx \quad (4)$$

где $x = [x_1, \ldots x_n]^T$ – n - вектор состояния системы, $u = [u_1, \ldots u_m]^T$ – m - вектор управляющих сигналов, $y = [y_1, \ldots y_l]^T$ – l - вектор выходных сигналов, A – $n \times n$ - матрица системы, B – $n \times m$ - матрица управления, C – $l \times n$ - матрица выхода.

Тогда цель управления состоит в нахождении таких сигналов $u_1, \ldots u_m$, при которых переходные процессы системы (4) будут соответствовать следующей эталонной модели:

$$\frac{dx}{dt} = \mathrm{A}^* x, \;\; x(t_0) = x_0, \qquad y = Cx \quad (5)$$

где A^* – $n \times n$ - матрица эталонной системы.

Введем отклонения $\varepsilon_i = v_i - v_{ig}, i = \overline{1, m}$, где $v = [v_1, \ldots, v_m]$ – вектор, содержащий те переменные вектора состояния x системы (4), управление которыми является приоритетным. Параметры $v_{ig} = const$ являются желаемыми установившимися значениями для соответствующих переменных вектора v. В данном случае, $v = [\gamma_1, \psi_1, \gamma_2, \Delta\psi]$. Потребуем, чтобы отклонения ε_i с течением времени стремились к нулю. Это будет выполняться, если каждое из отклонений будет являться решением эталонного дифференциального уравнения:

$$\varepsilon_i^{(n)} + a_1^i \varepsilon_i^{(n-1)} + a_2^i \varepsilon_i^{(n-2)} + \ldots + a_{n-1}^i \varepsilon_i^{(1)} + a_n^i \varepsilon_i = 0, \quad (6)$$

где постоянные коэффициенты $a_1^i, \ldots, a_n^i, i = \overline{1,m}$ задаются с учетом заданного качества переходного процесса $\varepsilon_i(t)$.

Для определения управляющих сигналов $u_1, \ldots u_m$ системы (4) в общем случае (когда величины v_{ig} являются функциями от времени), необходимо записать выражения производных:

$$\begin{aligned} \varepsilon_i^{(1)} &= v_i^{(1)} - v_{ig}^{(1)} = f_i(x) - \frac{dv_{ig}}{dt}, \\ \varepsilon_i^{(2)} &= v_i^{(2)} - v_{ig}^{(2)} = \frac{d}{dt} f_i(x) - \frac{d^2 v_{ig}}{dt^2}, \\ \varepsilon_i^{(n)} &= v_i^{(n)} - v_{ig}^{(n)} = \frac{d^{(n-1)}}{dt^{(n-1)}} f_i(x) - \frac{d^{(n)} v_{ig}}{dt^{(n)}}, \end{aligned} \quad (7)$$

где $f_i(x)$ - соответствующие функции, и подставить их в уравнение (6).

Производная $\varepsilon_i^{(n)}$ будет зависеть от функции $\frac{d^{(n-1)}}{dt^{(n-1)}} f_i(x) = f_{in}(x, u_i)$, которая содержит управляющий сигнал u_i. Найдем выражение для управляющего сигнала u_i из уравнения (6):

$$u_i = \phi_i(x) + d_i(p) v_{ig}, \quad (8)$$

где $\phi_i(x), i = \overline{1,m}$ – некоторая функция, $d_i(p) v_{ig} = v_{ig}^{(n)} + a_1^i v_{ig}^{(n-1)} + \ldots + a_{n-1}^i v_{ig}^{(1)} + a_n^i v_{ig}$, p – символ дифференцирования.

В случае связанного бокового движения ведущего и ведомого БПЛА, $\varepsilon_1 = \gamma_1 - v_{1g} = \gamma_1$, $\varepsilon_2 = \psi_1 - v_{2g} = \psi_1$, $\varepsilon_3 = \gamma_2 - v_{3g} = \gamma_2$, $\varepsilon_4 = \Delta\psi - v_{4g} = \Delta\psi$. Запишем эталонные дифференциальные уравнения (6) для отклонений $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$, полагая

$$\begin{aligned} \ddot{\gamma}_1 + k_1^1 \dot{\gamma}_1 + k_2^1 \gamma_1 &= 0, \\ \ddot{\psi}_1 + k_1^2 \dot{\psi}_1 + k_2^2 \psi_1 &= 0, \\ \ddot{\gamma}_2 + k_1^3 \dot{\gamma}_2 + k_2^3 \gamma_2 &= 0, \\ \Delta\ddot{\psi} + k_1^4 \Delta\dot{\psi} + k_2^4 \Delta\psi &= 0, \end{aligned} \quad (9)$$

где $k_1^1, k_2^1, k_1^2, k_2^2, k_1^3, k_2^3, k_1^4, k_2^4$ – положительные постоянные коэффициенты.

После выполнения указанных выше преобразований, законы управления $\delta_{э1}, \delta_{н1}, \delta_{э2}, \delta_{н2}$ при полном измерении вектора состояния имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \delta_{э1} &= \frac{1}{l_э}\left[-\left(l_{\dot{\gamma}} \omega_{x1} + l_{\dot{\psi}} \omega_{y1} + l_\beta \beta_1\right) + k_1^1 \omega_{x1} + k_2^1 \gamma_1\right], \\ \delta_{н1} &= \frac{1}{n_н}\left[-\left(n_{\dot{\gamma}} \omega_{x1} + n_{\dot{\psi}} \omega_{y1} + n_\beta \beta_1\right) + k_1^2 \omega_{y1} + k_2^2 \psi_1\right], \\ \delta_{э2} &= \frac{1}{l_э}\left[-\left(l_{\dot{\gamma}} \omega_{x2} + l_{\dot{\psi}} \Delta\omega_y + l_\beta \beta_2\right) - l_{\dot{\psi}} \omega_{y1} + k_1^3 \omega_{x2} + k_2^3 \gamma_2\right], \\ \delta_{н2} &= \frac{1}{n_н}\left[-\left(n_{\dot{\gamma}} \omega_{x2} + n_{\dot{\psi}} \Delta\omega_y + n_\beta \beta_2\right) + n_{\dot{\gamma}} \omega_{x1} + n_\beta \beta_1 + n_н \delta_{н1} + k_1^4 \Delta\omega_y + k_2^4 \Delta\psi\right]. \end{aligned} \quad (10)$$

При синтезе регуляторов, коэффициенты в (10) выбирались по треугольнику Паскаля: $k_1^1 = k_2^1 = k_3^1 = k_4^1 = 2\omega_0$, $k_1^2 = k_2^2 = k_3^2 = k_4^2 = \omega_0^2$, $\omega_0^2 = 15$.

Для использования законов управления (10) при неполном измерении вектора состояния (измеряются только переменные $\gamma_1, \omega_{x1}, \psi_1, \omega_{y1}, \gamma_2, \omega_{x2}, \Delta\psi, \Delta\omega_y$), используются следующие преобразования:

- углы крена и курса получаются путем интегрирования соответствующих им измерений по угловым скоростям (при известных начальных условиях);
- углы скольжения β_1, β_2 получаются путем прохождения пары сигналов ω_{x1}, ω_{y1} и $\omega_{x2}, \Delta\omega_y$ соответственно через передаточные матрицы:

$$\beta_1 = M_{\beta_1}(p)\begin{bmatrix}\omega_{x1}\\ \omega_{y1}\end{bmatrix},\ \beta_2 = M_{\beta_2}(p)\begin{bmatrix}\omega_{x2}\\ \Delta\omega_y\end{bmatrix}.$$

Чтобы найти выражения для матриц $M_{\beta_1}(p), M_{\beta_2}(p)$, запишем передаточные функции, которые связывают:

- управляющие воздействия $\delta_{э1}, \delta_{н1}$ с переменными состояния ω_{x1}, ω_{y1};
- управляющие воздействия $\delta_{э2}, \delta_{н2}$ с переменными состояния $\omega_{x2}, \Delta\omega_y$.

В результате преобразований с учетом принятых значений параметров получим выражения:

$$M_{\beta_1}(p) = \frac{1}{4}\left[W^{\beta_1}_{\omega_{x1}}(p) + Y^{\beta_1}_{\omega_{x1}}(p),\ W^{\beta_1}_{\omega_{y1}}(p) + Y^{\beta_1}_{\omega_{y1}}(p)\right],$$

$$M_{\beta_2}(p) = \frac{1}{4}\left[W^{\beta_2}_{\omega_{x2}}(p) + Y^{\beta_2}_{\omega_{x2}}(p),\ W^{\beta_2}_{\Delta\omega_y}(p) + Y^{\beta_2}_{\Delta\omega_y}(p)\right],$$

Численные выражения данных матриц имеют следующий вид (матрицы для ведущего и ведомого БПЛА имеют одинаковые численные значения в связи с равенством аэродинамических коэффициентов в системе (3)):

$$M_{\beta_1}(p) = M_{\beta_2}(p) = \left[\frac{-p^4 + 5.8p^3 + 178p^2 + 159p + 5.8}{p^4 + 28.4p^3 + 42.7p^2 + 382p}, \frac{-(7.7p^5 + 60.3p^4 + 1376p^3 + 1260p^2 + 71.9p + 1)}{p^5 + 505p^4 + 3671p^3 + 92636p^2 + 4175p + 47.1}\right],$$

Результаты моделирования

При моделировании были взяты следующие начальные условия для переменных состояния модели (4): $\gamma_1(0) = 0$, $\omega_{x1}(0) = 0$, $\psi_1(0) = 30$ град, $\omega_{y1}(0) = 0$, $\beta_1(0) = 0$, $\gamma_2(0) = 0$, $\omega_{x2}(0) = 0$, $\Delta\psi(0) = -60$ град, $\Delta\omega_y(0) = 0$, $\beta_2(0) = 0$. Для исключения выбросов управляющих сигналов, в законы управления введены ограничения $-20 \le \delta_{э1} \le 20$, $-20 \le \delta_{н1} \le 20$, $-20 \le \delta_{э2} \le 20$, $-20 \le \delta_{н2} \le 20$, град.

Задаются требования к качеству переходных процессов по углу курса: $t_p \le 10$с – время регулирования, $\sigma \le 10\%$ - перерегулирование, $|\varepsilon| \le 0{,}01$ град – модуль установившейся ошибки регулирования. Кроме того, необходимо, чтобы угол крена у ведущего и ведомого БПЛА не превышал по модулю 30 град.

На рисунке 1 приведены переходные процессы по углам курса для ведущего и ведомого БПЛА.

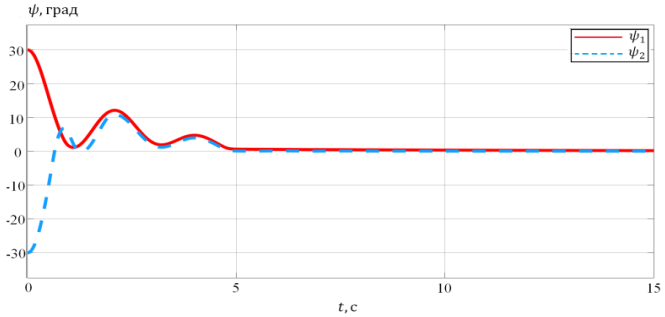


Рисунок 1. Переходные процессы по углу курса для ведущего и ведомого БПЛА.

На рисунке 2 приведены переходные процессы по углам крена для ведущего и ведомого БПЛА.

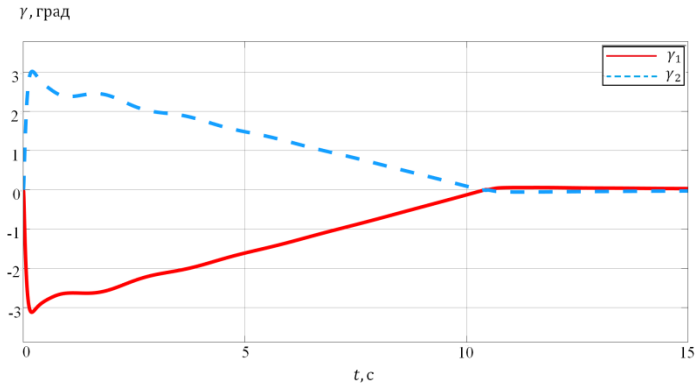


Рисунок 2. Переходные процессы по углу крена для ведущего и ведомого БПЛА.

На рисунке 3 показаны управляющие воздействия для ведущего БПЛА.

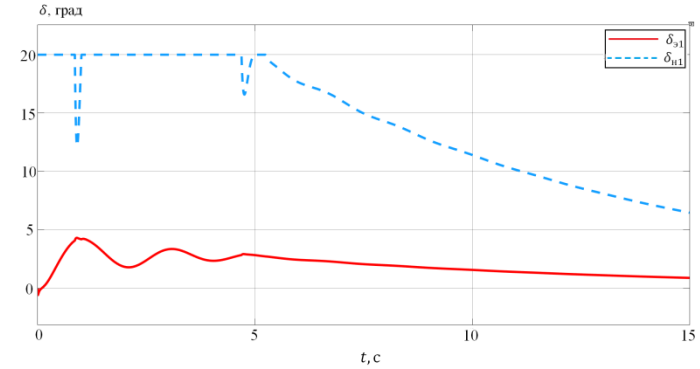


Рисунок 3. Графики управляющих воздействий для ведущего БПЛА.

На рисунке 4 показаны управляющие воздействия для ведомого БПЛА.

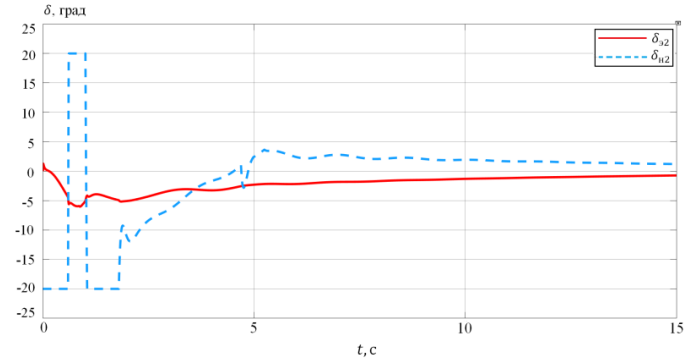


Рисунок 4. Графики управляющих воздействий для ведомого БПЛА.

Таким образом, для обеспечения группового управления БПЛА самолетного типа по каналу курса можно ограничиться измерениями $\gamma_1, \omega_{x1}, \psi_1, \omega_{y1}, \gamma_2, \omega_{x2}, \Delta\psi, \Delta\omega_y$. Полученные переходные процессы соответствуют заданным требованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Романенко Л.Г., Самарова Г.Г., Зайцев С.В.* Управление боковым движением летательного аппарата с одной плоскостью симметрии // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – Казань. – 2012. №2. С. 260-267.

2. *Буков В.Н., Бронников А.М., Сельвесюк Н.И.* Децентрализованное координированное управление группой беспилотных летательных аппаратов // Повышение эффективности средств обработки информации на базе математического моделирования. Материалы докладов IX Всероссийской науч.-техн. конф. Часть 2. – Тамбов: ТВВАИУР, 2009. С. 62 – 70.

3. *Буков В.Н., Сельвесюк Н.И.* Робастное подавление внешних возмущений в многосвязной системе с децентрализованным координированным управлением // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. №2. С. 9-15.

4. *Котов К.Ю., Нестеров А.А., Филиппов М.Н., Ян А.П.* Метод управления полётом квадрокоптера в задаче сопровождения цели // Автометрия. 2017. Т.53. №4. С. 3-10.

5. *Чжу Ю.* Формирование управления полетом группы беспилотных летательных аппаратов на основе алгоритма многоагентной модели роения // Информатика, телекоммуникации и управление. 2022. Т.15. №4. С. 22-36.

6. *Нгуа Ндонг Авеле Ж.* Разработка программно-алгоритмического обеспечения и системы коммуникации взаимодействия для управления роем беспилотных летательных аппаратов, выполняющих миссию по мониторингу в группе // Изв. СПБГУ «ЛЭТИ». 2023. Т.16. №1. С. 66-76.

CONTROL OF THE LATERAL MOVEMENT OF THE UAV GROUP

Volkov I.A.

Supervisor: Garkushenko V.I, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences,
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper considers the problem of lateral motion control of aircraft-type UAVs with incomplete vector measurement. The paper simulates the coupled dynamics of the leading and trailing UAVs in order to stabilize the roll angle in the Matlab/Simulink environment.

УДК 681.2.08

ОБЗОР МИКРОСХЕМЫ ADS1299 ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНОЙ РЕГИСТРАЦИИ БИОПОТЕНЦИАЛОВ

Гарафутдинов А.А.

Научный руководитель: Никишина Г.В., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Микросхема ADS1299 представляет собой восьмиканальный аналогово-цифровой фронт-энд с 24-битными дельта-сигма-преобразователями и программируемыми усилителями, обеспечивающий входной шум порядка 1 μVpp и гибкое управление режимами работы. Встроенные модули формирования смещающего потенциала и контроля целостности электродов в сочетании с высокоскоростным SPI-интерфейсом позволяют строить компактные и энергоэффективные системы. ADS1299 может служить основой для создания собственных датчиков электромиографии в портативных и носимых устройствах биомониторинга.

Назначение и область применения ADS1299

ADS1299 – это специализированный аналоговый фронт-энд (AFE) от Texas Instruments, предназначенный для высокоточного многоканального измерения биопотенциалов. В первую очередь микросхема рассчитана на регистрацию электроэнцефалограммы (ЭЭГ), но также подходит для электрокардиографии (ЭКГ), электромиографии (ЭМГ) и других медикобиологических сигналов. Благодаря низкому уровню шума и малому энергопотреблению ADS1299 особенно востребован в портативных и носимых приборах для неинвазивного мониторинга мозговой активности. В области ЭЭГ

данный чип стал первой интегральной системой с одновременной оцифровкой всех каналов и входовым шумом порядка 1 μV peak-topeak в полосе 70 Гц, что на 75% ниже, чем у предшествующих решений. Это позволяет регистрировать слабые ЭЭГ-сигналы (десятки микровольт) с качеством, сопоставимым с лабораторными установками. Например, экспериментальное сравнение показало отсутствие статистически значимых различий между системой на ADS1299 и высококлассным стационарным ЭЭГ-комплексом при анализе сигналов до 40 Гц. Высокая интеграция функций при отличных характеристиках ADS1299 дала возможность создавать масштабируемые медицинские приборы с существенно меньшими габаритами, энергопотреблением и стоимостью без ущерба для качества измерений.

Архитектура и встроенные функции

Общая структура: ADS1299 представляет собой восьмиканальный 24-разрядный дельта-сигма АЦП с фронт-эндом для биопотенциалов. Семейство включает варианты ADS1299-4 и ADS1299-6 с 4 и 6 каналами соответственно, полностью аналогичные по архитектуре базовой 8-канальной версии. Каждый канал содержит программируемый усилитель (PGA) с перестраиваемым коэффициентом усиления и собственный модуль АЦП, что обеспечивает одновременную выборку всех каналов без временного мультиплексирования. Сигма-дельта модуляторы и цифровые фильтры внутри ADS1299 позволяют достичь высокого разрешения при низком уровне шума.

Интегрированные компоненты: В микросхему встроено множество функций, обычно требующих отдельных узлов в дискретных решениях. В частности, ADS1299 содержит:

Восемь малошумящих дифференциальных входных усилителей (PGA) с программируемым усилением 1, 2, 4, 6, 8, 12 или 24. Широкий диапазон усиления позволяет напрямую подключать электроды без внешних предусилителей – максимальное усиление необходимо для улавливания слабых ЭЭГ-сигналов.

Восемь высокоразрядных АЦП (24-bit) с синхронным запуском, обеспечивающих одновременную оцифровку всех каналов.

Гибкий входной мультиплексор на каждом канале, позволяющий вместо внешнего входа подключать внутренние калибровочные сигналы и датчики. Доступны встроенные тестовые сигналы (для самопроверки тракта), источник постоянного напряжения для измерения температуры, а также узел для контроля отрыва электродов (lead-off detection). Последний генерирует малый ток или сигнал, чтобы выявить, обрыв контакта с пациентом и уведомлять об этом (непрерывный мониторинг контакта электродов повышает надежность системы).

Специальный модуль формирования смещающего потенциала пациента (bias drive). ADS1299 содержит операционный усилитель для формирования компенсирующего сигнала, подаваемого на референсный электрод (например, на тело пациента). Этот bias сигнал представляет собой усредненное напряжение от выбранных входных каналов, подаваемое на тело с противоположной фазой, что повышает общую помехозащищенность и коэффициент подавления синфазной помехи системы. Микросхема позволяет гибко выбирать, какие каналы участвуют в формировании этого смещающего сигнала. Предусмотрены специальные выводы SRB1/SRB2, через которые один общий референтный сигнал может подаваться сразу на несколько входов – это облегчает реализацию референтной монтажной схемы в ЭЭГ (общий электрод для группы каналов).

Внутренний генератор тактовой частоты и опорного напряжения. ADS1299 может работать от встроенного тактового генератора 2,048 МГц, избавляя от необходимости во внешнем кварце. Также имеется внутренняя опорная схема на 4,5 В для АЦП, что позволяет добиться высокой динамики; возможно переключение на внешний прецизионный опорник при необходимости.

Прочие интегрированные узлы включают схему питания для отключения отдельных каналов (режимы Standby/Power-down), универсальные программируемые GPIO-линии и т.д. Таким образом, ADS1299 фактически объединяет на одном кристалле полный аналоговый

фронт-энд: от предварительного усиления и фильтрации, до цифроаналогового преобразования и самотестирования).

ADS1299 обменивается данными с контроллером через последовательный высокоскоростной интерфейс SPI. Поддерживается стандартный 4-проводный SPI-протокол (MISO, MOSI, SCLK, CS), совместимый с большинством встраиваемых систем. Разрядность выходных данных составляет 24 бита на канал, передача осуществляется либо непрерывным потоком, либо по запросу – микросхема поддерживает режимы непрерывного (Read Data Continuous) и одиночного (Single-Shot) преобразования. Для синхронизации считывания служит выходной сигнал DRDY (Data Ready), который генерирует прерывание по окончании каждого цикла оцифровки. Типичная последовательность работы – по фронту DRDY мастер (микроконтроллер) опрашивает ADS1299 через SPI и получает пакет из 24 бит × 8 каналов = 192 бита данных (24 байта) за период перед следующим DRDY. Максимальная тактовая частота SPI ограничена примерно 2–4 МГц (в зависимости от нагрузки шины), что достаточно для передачи данных даже в максимальном режиме 16 кГц на 8 каналах. Практический расчет показывает, например, что при SCLK = 4 МГц и частоте данных 2 кГц можно последовательно объединить (daisy-chain) до 10 микросхем ADS1299 и считать их данные через общий SPIинтерфейс. В таких конфигурациях несколько чипов подключаются «цепочкой»: выход DOUT каждого последующего подается на вход DIN предыдущего, а управляющие линии SCLK и CS объединены. Это существенно упрощает создание многоканальных систем (например, 32- канальная ЭЭГ на четырёх ADS1299), снижая количество линий интерфейса и требуя лишь одного мастера SPI.

Взаимодействие с ADS1299 настраивается через набор регистров, доступных по SPI-командам. Всего имеется около 20 основных регистров конфигурации, включая настройки каждого канала (выбор входа, включение PGA, отключение канала), глобальные параметры (частота дискретизации DR, включение внутреннего опорника, режимы lead-off и bias и т.д.). Команды чтения/записи регистров (RREG/WREG) позволяют микроконтроллеру изменять конфигурацию «на лету», например, переключать частоту семплирования или усиливать определенный канал. Существует также набор специальных команд-опкодов: RESET (сброс всех настроек), START/STOP (управление началом преобразований), RDATAC/SDATAC (переход в режим непрерывного вывода данных или остановка его) и т.п. Эти команды упрощают управление устройством без необходимости записывать отдельные биты регистров. В типичной системе микроконтроллер инициализирует ADS1299, настроив регистры (например, включает нужные каналы, устанавливает частоту выборки 250 Гц для ЭЭГ, активирует внутренний ref и bias), затем переводит чип в режим непрерывного сбора и по прерываниям DRDY читает поток данных.

Для обеспечения стабильной работы аналогового тракта рекомендуется предусмотреть простую входную защиту и подавление ВЧ-наводок: последовательные резисторы малой величины, RC-фильтр нижних частот с частотой среза заметно выше верхней границы полезного спектра, ESD-элементы с низкими утечками, а также «ограждающие» полигоны земли вокруг высокоомных узлов (без подползания цифровых трасс). Дифференциальные пары INxP/INxN стоит вести симметрично и коротко, исключив параллельный пробег рядом с SCLK/MOSI/MISO и линиями тактирования. SRB-шины и общий референс держат вдали от цифровых доменов; места с высоким градиентом токов (DC/DC, драйверы подсветки, радиомодули) физически разводят подальше от входов и опорных цепей.

Bias-драйв (активное смещение пациента) даёт заметный выигрыш по подавлению синфазной помехи, но требует аккуратного выбора участвующих каналов: включают только «здоровые» электроды с надёжным контактом, исключая отстающие по импедансу, чтобы не вносить перекос. Токи и частоты инжекции подбирают так, чтобы соответствовать нормам безопасности; в проект закладывают гальваническую развязку интерфейса и питания «пациентской» стороны, а также ограничительные резисторы в линиях к электродам. Узел lead-off применяют как для непрерывного контроля отрыва, так и для экспресс-оценки

импеданса перед началом записи; в автоматизированной процедуре калибровки система циклически включает внутренний тестовый сигнал/lead-off, проверяет целостность и, при необходимости, информирует оператора о необходимости поправить монтаж.

Калибровка тракта включает измерение нулевого смещения (offset) при закороченных входах, проверку усиления и линейности по внутреннему тестовому сигналу, а также верификацию полосы цифровыми стимулами (например, синус/мульти-тон на частотах интереса). Полученные коэффициенты (offset/scale) сохраняют в постоянной памяти и применяют при постобработке. При работе с реальными электродами полезно реализовать мягкую автоматическую подстройку нуля (медленный HPF), чтобы не потерять динамику на фоне дрейфа, но при этом не искажать самые низкие частоты — для ЭЭГ клинического диапазона нижний срез обычно ставят не ниже долей герца.

С точки зрения программного стека стоит разделить уровни: низкоуровневый драйвер SPI/DRDY/DMA, слой «транспорт» (сборка кадра, таймстемп, контроль целостности, очереди), слой «физики» (преобразование кодов в вольты, фильтрация, детекция артефактов/сетевой наводки) и, наконец, протокол обмена наружу (USB/BT/Wi-Fi) с буферизацией под пиковые нагрузки. При передаче по беспроводным каналам полезно иметь режимы с даунсэмплингом и выбором подмножества каналов, чтобы укладываться в доступную полосу без потерь кадров. Для офлайн-анализа данные удобно сохранять в открытых контейнерах с метаданными (частота дискретизации, карта каналов, коэффициенты масштабирования, отметки событий).

Заключение

Микросхема ADS1299 демонстрирует высокую степень интеграции и удовлетворяет строгим требованиям к регистрации слабых биопотенциалов с разрешением в доли микровольта. Программируемые усилители и синхронные 24-битные аналого-цифровые преобразователи обеспечивают точность и воспроизводимость измерений в многоканальных системах без необходимости внешней коммутации. Встроенные средства контроля целостности электродов и формирования смещающего потенциала пациента упрощают разработку надежных датчиков с гарантированным уровнем шума и подавлением синфазных помех. Гибкие режимы работы, включая каскадирование нескольких кристаллов и динамическое отключение каналов, позволяют создавать модульные решения любой конфигурации и масштабируемости. Высокоскоростной последовательный интерфейс SPI гарантирует своевременную передачу данных даже при максимальных частотах сэмплирования, а программируемые регистры обеспечивают адаптацию параметров в реальном времени. В результате применения ADS1299 возможно формирование собственных сенсорных узлов для электромиографического мониторинга, обладающих малыми габаритами, низким энергопотреблением и высокой помехозащищённостью. Полученные датчики ЭМГ могут использоваться в портативных и носимых системах биомониторинга для точного анализа мышечной активности в клинических и исследовательских проектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Texas Instruments. ADS1299-x Low-Noise, 4-, 6-, 8-Channel, 24-Bit, Analog-to-Digital Converter for EEG and Biopotential Measurements: Datasheet. Rev. C. 25 Jan. 2017. – 64 p. – Режим доступа: TI.com. (дата обращения: 30.06.2025).

2. ADS1299: Даташит / РадиоЛоцман. – URL: https://www.rlocman.ru/datasheet/data.html?%2FADS1299=&di=280655 (дата обращения: 30.06.2025).

3. Автономный портативный электроэнцефалограф на базе одноплатного компьютера NVIDIA Jetson Nano: электрон. журн. CyberLeninka. 2024. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/avtonomnyy-portativnyy-elektroentsefalograf-na-baze-odnoplatnogo-kompyutera-nvidia-jetson (дата обращения: 30.06.2025).

OVERVIEW OF THE ADS1299 CHIP FOR MULTI-CHANNEL REGISTRATION BIOPOTENTIALS

Garafutdinov A.A.
Supervisor Nikishina G.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The ADS1299 chip is an eight-channel analog-to-digital front-end with 24-bit delta-sigma converters and programmable amplifiers, providing input noise of the order of 1 μVpp and flexible control of operating modes. The built-in modules for bias potential generation and electrode integrity monitoring, combined with a high-speed SPI interface, make it possible to build compact and energy-efficient systems. ADS1299 can serve as a basis for creating proprietary electromyography sensors in portable and wearable biomonitoring devices.

УДК 621.311.1

КРИТЕРИИ ВЫБОРА АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЯХ ДО 1КВ

Генсер Д.В, Матюк И.С.
(АО «Механобр Инжиниринг», г. Санкт-Петербург)

Аннотация. Автоматические выключатели являются ключевыми элементами системы защиты электрического оборудования и кабельных линий от повреждений, вызванных перегрузками и короткими замыканиями. Цель настоящего исследования заключается в систематическом анализе основных критериев и методологических подходов к выбору автоматических выключателей для электрических сетей до 1 кВ. Исследование опирается на комплексный анализ нормативных документов, включая Правила устройства электроустановок (ПУЭ), государственные стандарты (ГОСТ), а также современные практики проектирования и эксплуатации электрических сетей.

Введение

Безопасность функционирования электрических устройств требует надежного предотвращения аварийных режимов путем своевременного отключения поврежденных участков сети. В современных низковольтных электроустановках реализована многоуровневая система защитных устройств, среди которых автоматические выключатели занимают ключевую позицию благодаря своей универсальности, высокой степени надежности и удобству интеграции в распределительные системы.

К основным функциональным требованиям к автоматическим выключателям относятся:

- Гарантированное и своевременное отключение сверхтоков различных видов, включая длительные перегрузки и мгновенные токи короткого замыкания, что предотвращает термические и механические повреждения элементов электрической цепи
- Минимизация воздействия на нормальный режим работы подключенных потребителей посредством обеспечения селективности и точности срабатывания, что позволяет снизить количество ложных отключений.
- Соответствие актуальным национальным и международным стандартам, регламентирующим качество, безопасность и эксплуатационные характеристики электрозащитного оборудования

Таким образом, правильный подбор автоматических выключателей становится важной задачей, определяющей надежность энергосистемы.

Выбор АВ для защиты кабельной линии и нагрузки должен основываться на следующих основных критериях:

Номинальное напряжение ($U_{ном}$).

Номинальное напряжение АВ должно быть больше или равно номинальному напряжению сети.

Номинальный ток (I_n).

Номинальный ток АВ должен быть больше или равен номинальному току нагрузки ($I_{\text{ном}}$), но не должен превышать допустимый длительный ток кабеля ($I_{\text{ддк}}$). Допустимый длительный ток кабеля определяется с учетом способа прокладки, температуры окружающей среды, количества совместно проложенных кабелей и других факторов, влияющих на теплоотвод [1-3].

Тип расцепителя

Тепловой расцепитель представляет собой биметаллическую пластину из двух разных металлов. Данный расцепитель обеспечивает защиту от длительных перегрузок, срабатывая при превышении номинального тока нагрузки в течение определённого времени. На работу расцепителя оказывает сильное влияние температура окружающей среды, при высокой температуре возможны ложные срабатывания.

Электромагнитный расцепитель состоит из соленоида с подвижным сердечником. Реагирует на кратковременные токи короткого замыкания, отключая цепь практически мгновенно. Предназначен для защиты от сверхтока.

Термомагнитный расцепитель является комбинацией теплового и электромагнитного расцепителя. Одновременно защищает линию от перегрузки и от сверхтока.

Электронный расцепитель представляет собой измерительные устройства тока и электронный блок управления. Данный тип расцепителя обладает возможностью устанавливать время срабатывания и уставку по току

Микропроцессорный расцепитель аналогичен по принципу действия и конструкции электронному. Но обладает сложной встроенной логической схемой. Обладает широким набором регулируемых настроек и контроля параметров

Отключающая способность ($I_{\text{cu}}/I_{\text{cs}}$).

Отключающая способность АВ должна быть не меньше максимального ожидаемого тока короткого замыкания в месте его установки. Значение отключающей способности определяется на основании расчетов токов короткого замыкания.

Уставка расцепителя

Уставка по току перегрузки (I_r).Уставка по току перегрузки должна быть выбрана таким образом, чтобы обеспечить защиту кабеля от длительных перегрузок, но при этом не вызывать ложных срабатываний при кратковременных пусковых токах нагрузки. Обычно уставку по току перегрузки выбирают в пределах $(1{,}05 - 1{,}25)I_{\text{ном}}$.

Уставка по току короткого замыкания (I_m). Уставка по току короткого замыкания должна обеспечивать быстрое отключение АВ при возникновении короткого замыкания в защищаемой цепи. Значение уставки должно быть выбрано таким образом, чтобы отключающая способность АВ была достаточной для отключения максимального ожидаемого тока короткого замыкания в данной точке сети и при этом отстроена от пускового тока потребителя.

Типоисполнение выключателя

Существует три типоисполнения АВ до 1 кВ – модульное, литое, воздушное.

Под **модульным** понимают коммутационный аппарат компактной конструкции, который устанавливается на din-рейку в распределительных щитах. Данные устройства обладают тепловым и электромагнитным расцепителем. Данные АВ, как правило, не имеют возможности регулирования уставки расцепителей, номинальный ток теплового расцепителя (I_r) до 125 А, предельная коммутационная способность до 25 кА. Такие выключатели широко применяются для защиты маломощных цепей.

Автоматические выключатели в **литом корпусе** представляют собой более массивные устройства с корпусом из литого пластика. Литой корпус обеспечивает герметичность, защищает внутренние компоненты от механических воздействий, влаги и пыли. Данные устройства могут обладать различными типами расцепителей: электромагнитным, термомагнитным, электронным , микропроцессорным. Возможность регулирования порога срабатывания расцепителей позволяет адаптировать АВ под специфические условия

эксплуатации и требования к селективности защиты. К дополнительным функциям данного типа АВ можно отнести блокировки, сигнализации и дистанционное управление и интеграция в системы автоматизации. Обладают широким диапазоном номинальных токов 16-1600 А, обладают высокой коммутационной способностью (до 100 кА и выше). Такие выключатели применяются в промышленных сетях с мощной нагрузкой.

Воздушные АВ получили свое название из-за наличия в своей конструкции дугогасительной камеры, заполненной воздухом. Такая конструкция позволяет эффективно гасить электрическую дугу при отключении больших токов, обеспечивая высокую коммутационную способность. Данные устройства чаще всего исплользуются в качестве вводных и секционных аппаратов, также могут использоваться в качестве распределительных в случае мощной нагрузки. Благодаря высокой надежности и способности отключать большие токи короткого замыкания, воздушные автоматические выключатели широко используются на промышленных предприятиях, электростанциях и подстанциях. Они могут оснащаться различными системами управления – ручным, моторным или дистанционным, что повышает удобство эксплуатации и интеграцию в автоматизированные системы.

В таблице 1 представлено подробное сравнение основных типов АВ до 1 кВ по ключевым техническим и эксплуатационным характеристикам. Данное сравнение позволяет лучше понять особенности каждого типа и определить области их эффективного применения.

Таблица 1

Сравнение типоисполнения автоматических выключателей до 1кВ

Параметр	Модульный АВ	Литой АВ	Воздушный АВ
Номинальный ток	до 125 А	до 1600 А	до 6300 А
Отключающая способность	до 25 кА	до 100 кА и выше	до 150 кА и выше
Тип расцепителя	Тепловой и электромагнитный без регулировки уставок	Электромагнитный, термомагнитный, электронный, микропроцессорный	Электромагнитный, электронный
Наличие регулируемого расцепителя	-	+	+
Степень защиты	обычно IP20	Может достигать уровня IP67 и выше	обычно IP20/ IP23
Область применения	Цепи с низкими токами нагрузки	Промышленные сети с мощными нагрузками	Промышленные сети, подстанции
Управление	Ручное	Ручное/моторное	Ручное/моторное, дистанционное
Конструкция и монтаж	Компактный, устанавливается на din-рейку в щитах	Корпус из литого пластика, устанавливается в щитах и шкафах	Дугогасительная камера, заполненная воздухом, устанавливается в шкафах
Габариты и масса	Компактные и легкие	Средние	Значительные размеры и большой вес

Тип кривой отключения (характеристики срабатывания)

Характеристика срабатывания АВ – это зависимость времени срабатывания АВ от величины протекающего тока. Правильный выбор типа кривой отключения обеспечивает надежную защиту оборудования и сети, а также предотвращает ложные срабатывания. Основные типы характеристик срабатывания, применяемые в АВ до 1 кВ представлены в таблице 2.

Таблица 2

Основные типы характеристик срабатывания

Тип характеристики	Ток срабатывания	Область применения
B	$(3-5)\ I_n$	Применяется для защиты цепей с резистивной нагрузкой (освещение, розетки), где пусковые токи малы.
C	$(5-10)\ I_n$	Рекомендуется для цепей с умеренными пусковыми токами, например, для электродвигателей малой мощности, трансформаторов
D	$(10-20)\ I_n$	Используется для устройств с высокими пусковыми токами, таких как крупные электродвигатели, сварочные аппараты, трансформаторы большой мощности.
Z	$> 4\ I_n$	Для защиты чувствительного электронного оборудования с очень малыми пусковыми токами.
K	$> 12\ I_n$	Специализированная характеристика для защиты электроприводов с индуктивными нагрузками

Количество полюсов

Количество полюсов АВ определяет количество проводников (фаз и нейтрали), которые выключатель может отключить при срабатывании. Область применения АВ с различным количеством полюсов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Область применения АВ с различным количеством полюсов

Количество полюсов	Область применения
1P	Используется в однофазных цепях с нейтралью, например, для освещения и розеток в однофазных сетях
2P	Применяется в однофазных сетях без нейтрали или для отключения фазы и нуля одновременно
3P	Используется в трехфазных сетях без нейтрали для защиты и отключения всех трех фаз
4P	Применяется в трехфазных сетях с нейтралью, обеспечивает отключение всех трех фаз и нуля

Заключение

В результате проведенного исследования систематизированы и проанализированы основные критерии, которыми необходимо руководствоваться при выборе автоматических выключателей для промышленных сетей до 1 кВ. Подчеркнута важность комплексного подхода, учитывающего как технические параметры оборудования, так и специфические условия эксплуатации, для обеспечения надежной и безопасной работы электроустановок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ Р 31996–2012. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0, 66; 1 и 3 кВ // Общие технические условия.

2. ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2022. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 1-1. Методы расчета номинальной токовой нагрузки (100%-ный коэффициент нагрузки) и потерь. Общие положения.

3. Библия электрика: ПУЭ, ПОТЭЭ, ПТЭЭП. 10-е издание. – Москва: Эксмо, 2023. – 624 с. – (Актуальное законодательство).

SELECTION CRITERIA FOR CIRCUIT BREAKERS IN INDUSTRIAL NETWORKS UP TO 1 KV

Genser D.V., Matyuk I.S.
(JSC "Mekhanobr Engineering")

Abstract. Circuit breakers are the key elements of the protection system for electrical equipment and cable lines against damages caused by overloads and short circuits. The aim of present study is to systematically analyze the main criteria and methodological approaches for selecting circuit breakers for electrical networks up to 1 kV. The study is based on a complex analysis of regulations, including the Electrical Installation Rules (EIR), state standards (GOST), as well as current practices in the designing and operation of electrical networks.

УДК 621.311

ВЫБОР ПАССИВНЫХ ФИЛЬТРОВ ГАРМОНИК

Генсер Д.В.
Научный руководитель: Жилин Е.В., доцент, к. т. н.
(*Университет науки и технологий МИСИС, г.* Москва)

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы повышения качества электроэнергии в системах с частотно-регулируемыми электроприводами (ЧРП), за счёт использования пассивных фильтров гармоник (ПФГ). Системы ЧПР приводят к генерированию в сеть высших гармоник (ВГ) тока и напряжения, что приводит к множеству негативных последствий. Одним из эффективных и простых способов подавления ВГ является использование ПФГ, однако, возникают сложности с выбором типа и его параметров. Поэтому в работе предлагается алгоритм выбора и расчета ПФГ, учитывающий параметры сети и потребителей. Кроме того, обосновывается необходимость применения пассивных фильтров гармоник в производственных предприятиях, характеризующихся наличием мощных и нелинейных нагрузок.

Современные системы частотно-регулируемого электропривода широко применяются в промышленности благодаря своей высокой эффективности и гибкости управления. Однако использование преобразователей частоты приводит к появлению высших гармоник в питающей сети, что ухудшает качество электроэнергии и может вызывать сбои в работе оборудования. Согласно ГОСТ 32144-2013, уровень гармонических искажений в системах электроснабжения должен быть ограничен, что требует применения фильтрующих устройств.

Для решения проблемы гармонических искажений и улучшения качества электроэнергии применяются фильтрокомпенсирующие устройства (ФКУ). ФКУ представляют собой комплекс технических средств, предназначенных для выполнения следующих функций:

- Снижение уровня гармонических искажений тока и напряжения;
- Компенсация реактивной мощности;
- Стабилизация параметров электрической сети.

В настоящее время ФКУ подразделяются на три основных типа: пассивные, активные и гибридные системы.

Пассивные устройства используют резисторы, конденсаторы и индуктивности для фильтрации определенных частот.

Активные фильтры применяют электронные компоненты для динамической компенсации искажений.

Гибридные системы объединяют преимущества обеих технологий, обеспечивая высокую эффективность при оптимальных затратах [1].

Подробнее рассмотрим пассивные фильтры.

Пассивные фильтры высших гармоник начали применяться в промышленных системах в середине XX века. Эти устройства представляют собой электротехнические устройства, предназначенные для подавления гармонических составляющих в электрических сетях. Основным преимуществом пассивных фильтров является их простота и низкая стоимость. Тем не менее, их эффективность ограничена фиксированными частотами настройки, что может стать проблемой в условиях изменяющихся нагрузок. Эти фильтры играют ключевую роль в повышении качества электроэнергии, снижении уровня гармонических искажений и предотвращении перегрева оборудования [2].

В производственных предприятиях использование пассивных фильтров особенно актуально из-за мощных электродвигателей, создающих значительные гармонические искажения. Эти фильтры снижают уровень искажений до приемлемых значений, что обеспечивает стабильную работу оборудования и уменьшает потери энергии. Применение таких устройств способствует повышению надежности и эффективности электроснабжения. С другой стороны, установка активных фильтров на вводе питания буровой «позволяет снизить провалы напряжения и уменьшить непроизводительное время в бурении» [3]. Так комплексное применение как пассивных, так и активных фильтров значительно улучшает условия работы оборудования и повышает общую эффективность процессов.

Электротехнические комплексы производственных предприятий характеризуются высокой концентрацией мощных нелинейных и резкопеременных нагрузок: преобразователи частоты приводов мельниц, дробилок и насосов, мощные выпрямители, дуговые печи. Это генерирует значительные высшие гармоники тока и напряжения, а также вызывает дефицит реактивной мощности, что в совокупности приводит к существенному снижению качества электроэнергии. Выбор и внедрение адекватных фильтрокомпенсирующих устройств является важной задачей для обеспечения стабильности, эффективности и соответствия требованиям стандартов КЭ [4].

ПФГ могут быть классифицированы по различным критериям, одним из наиболее распространенных является классификация по полосе пропускания (см. Рисунок 1).

Рисунок 1. Классификация пассивных фильтров по полосе пропускания

Узкополосные фильтры предназначены для подавления одной конкретной гармоники. Чаще всего применяются для фильтрации 5-й или 7-й гармоники, которые обычно являются наиболее значимыми в системах с ЧРП. Преимуществом узкополосных фильтров является высокая избирательность и возможность точной настройки на частоту целевой гармоники.

Широкополосные фильтры предназначены для подавления нескольких гармоник в определенном диапазоне частот. Используются в случаях, когда необходимо снизить уровень суммарных гармонических искажений, а не только подавить конкретные гармоники.

Рассмотрим основной алгоритм выбора и расчета пассивных фильтров:

Этап 1. Анализ гармонического состава сети

Первоочередным этапом является проведение детальных измерений гармонического состава токов и напряжений в характерных точках сети предприятия с использованием специализированных анализаторов качества электроэнергии. Определяется спектр гармоник тока и напряжения, их амплитуды и фазовые углы. Выявляются гармоники с наибольшей амплитудой (часто 5-я, 7-я, 11-я, 13-я для 6-пульсных преобразователей), оказывающие наиболее существенное влияние. На основе анализа режимов работы предприятия определяется общий дефицит реактивной мощности, необходимый для достижения

требуемого коэффициента мощности (обычно не ниже 0.95). Эта мощность распределяется между фильтрами, настроенными на разные гармоники [5,6].

Этап 2. Выбор топологии фильтра

На основе анализа гармонического состава сети и требований к компенсации реактивной мощности определяются основные требования к фильтру:

- Частоты гармоник, которые необходимо подавить;
- Требуемая степень подавления гармоник;
- Требуемая реактивная мощность компенсации;
- Ограничения по стоимости и массогабаритным показателям.

Исходя из требований к фильтру и характеристик сети, выбирается оптимальный тип фильтра. Ниже рассмотрены основные типы:

- Узкополосный фильтр: для подавления одной доминирующей гармоники.
- Широкополосный фильтр: для подавления широкого спектра гармоник высоких частот.
- Фильтр С-типа: для подавления одной доминирующей гармоники с демпфированием резонанса.
- Двойной фильтр: для подавления двух конкретных гармоник.

Этап 3. Расчет параметров фильтра

Расчет параметров фильтров может осуществляться по различным методикам, приведенных в [7-10]. В рамках данной статьи рассмотрим общие принципы выбора параметров фильтра и его настройки. В целях обеспечения устойчивости системы при возможных флуктуациях параметров сети и ухода от резонансной частоты фильтр настраивается на частоту несколько ниже целевой гармоники. Величина расстройки обычно составляет от трех до десяти процентов. Емкость конденсаторной батареи фильтра определяется исходя из требуемой реактивной мощности компенсации на основной частоте (50 Гц) для данного фильтра и номинального фазного напряжения. Индуктивность реактора рассчитывается из условия обеспечения резонанса контура L-C на выбранной частоте настройки. Сопротивление резистора подбирается для достижения необходимой добротности фильтра (обычно в пределах 30-100), что обеспечивает эффективное подавление гармоники и ограничение токов короткого замыкания через фильтр. Оно также должно гарантировать термическую стойкость элемента.

Точность расчета параметров фильтра напрямую влияет на его эффективность. Неправильно рассчитанные параметры могут привести к недостаточному подавлению гармоник или, что еще хуже, к резонансным явлениям, которые могут усилить гармоники на других частотах. Для точного расчета параметров фильтра необходимо использовать специализированное программное обеспечение и учитывать все факторы, влияющие на его работу.

Этап 4. Анализ частотных характеристик и проверка на резонанс

Важно выполнить моделирование частотной характеристики полного сопротивления сети в точке подключения фильтра совместно с характеристикой проектируемого фильтра. Это позволяет выявить и избежать опасных параллельных резонансов на частотах, близких к другим гармоникам, что может привести к их усилению. Рассчитываются действующие значения токов и напряжений на элементах фильтра при работе на основной частоте и гармониках, а также при коротких замыканиях, чтобы обеспечить выбор элементов с соответствующими номинальными параметрами. При необходимости корректируются параметры фильтра (L, C, R) для минимизации резонансных явлений и достижения требуемого уровня подавления гармоник.

Заключение

В статье представлен систематизированный алгоритм расчета параметров пассивных фильтров гармоник, а также рассмотрены общие подходы и методики их настройки. Предлагаемый алгоритм охватывает основные этапы проектирования ПФГ, начиная от анализа гармонического состава сети и заканчивая проверкой на резонанс и оценкой влияния

на существующее оборудование. Рассмотренные методики настройки позволяют инженерам эффективно настраивать ПФГ для достижения требуемого уровня подавления гармоник и компенсации реактивной мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Григорьева М.С., Тихонова И.О.* Анализ структуры угледобывающей отрасли и её воздействие на окружающую среду // Успехи в химии и химической технологии. 2018. №12 (208).

2. *Ляхомский А.В., Фащиленко В.Н., Перфильева Е.Н., Дьячков Н.Б.* Вопросы повышение энергоэффективности предприятий минерально-сырьевого комплекса // Горное оборудование и электромеханика. 2009. №1.

3. *Ляхомский А.В., Фомин В.В.* Моделирование электропотребления технологических переделов железорудных горно-обогатительных предприятий // ГИАБ. 2011. №S4.

4. *Лютаревич А.Г., Лейнерт В.В., Соколов Д.С*. Анализ методов контроля качества электроэнергии // International journal of applied and fundamental research — 2019. — № 12. — С. 126–127.

5. *Ермаков А.Ю., Гришин В.Ю., Бородкин П.С.* Концепция модернизации угольных обогатительных фабрик // Уголь. 2022. №8 (1157).

6. *Клюев Р.В., Босиков И.И., Гаврина О.А., Зацепин Е.П.* Анализ энергетических характеристик отделения измельчения обогатительной фабрики // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2023. №1.

7. *Коваленко Д.В., Киселёв Б.Ю., Плотников Д.И., Шакенов Е.Е., & Кулинич И.О.* Методика расчета пассивных фильтров, предназначенных для компенсации высших гармоник тока в системах электроснабжения промышленных предприятий //Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – №. 1-4 (55). – С. 82-86.

8. *Атаманов М.Н., Дрей Н.М., Зиганшин А.Г., Михеев Г.М*. Расчёт параметров и анализ работы пассивного фильтра гармоник //Вестник Чувашского университета. – 2020. – №. 1. – С. 17-25.

9. *Боярская Н.П., Довгун В.П., Егоров Д.Э.* Синтез фильтрокомпенсирующих устройств для систем электроснабжения. – 2014.

10. *Heng S.U.* et al. A new method of designing double-tuned filter //Conference of the 2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering (ICCSEE 2013). – Atlantis Press, 2013. – С. 206-209.

SELECTING PASSIVE HARMONIC FILTERS

Genser D.V.

Supervisor: Zhilin E.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(National University of Science and Technology «MISIS»)

Abstract. The article considers the issues of improving electric power quality in systems with variable frequency drives (VFD) by using passive harmonic filters (PHF). VFD systems lead to the generation of higher harmonics (HH) of current and voltage in the network, which leads to many negative consequences. One of the effective and simple ways to suppress HH is to use PHF, but there are difficulties to choose type and its parameters. Therefore, the article proposes the algorithm for selecting and calculating PHF taking into account the parameters of the network and consumers. In addition, the need of passive harmonic filter usage in industrial enterprises characterized by the presence of powerful and nonlinear loads is justified to ensure reliable and efficient operation of electrical equipment.

УДК 654.9

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОХРАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА

Глазков А. В.

Научный руководитель: Терентьев С.А., доцент, к.т.н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Интеллектуальные системы безопасности защищают промышленные объекты от несанкционированного доступа, краж, саботажа, несчастных случаев и других чрезвычайных ситуаций. Система включает датчики различных типов, средства передачи информации, компьютерную систему сбора и обработки информации, устройства разграничения доступа. Система включает в себя подсистемы интеллектуальной обработки биометрической и видео информации.

Охранная система производственного здания является критически важным элементом защиты материальных ценностей, оборудования и персонала. В работе рассмотрены ключевые этапы проектирования, подбора оборудования и его размещения, что позволило сформировать комплексный подход к организации безопасности объекта.

В данной работе была разработана охранная система производственного здания.

Актуальность данной темы определяется внедрением в практику проектирования, изготовления и эксплуатации охранных систем производственных объектов устройств на современной электронной и программной базе.

Цель работы

Целью данной работы является разработка и внедрение на производственном объекте комплексной интеллектуальной системы безопасности, обеспечивающей выполнение требований и работающей в непрерывном режиме длительное время с возможностью модернизации.

Необходимо обеспечить следующие меры по обеспечению комплексной безопасности на объекте:

1) Внедрение автоматизированной системы контроля доступа (СКУД):

- Установка полностью функциональной системы контроля доступа на всех входах и выходах, включая тамбуры 1, 2 и 4.
- Разработать и внедрить многоуровневую систему управления правами доступа для сотрудников и посетителей.
- АРМ СКУД располагается в помещении Бюро пропусков

2) Организация видеонаблюдения с интеллектуальными аналитическими функциями:

- IP-камеры в стратегически важных зонах объекта, таких как вестибюли, серверная, пост охраны и входная зона.

3) Разработка и внедрение системы охранной сигнализации:

- Датчики движения, биения стекла, вибрации и открытия дверей на входах в здание.
- Помещения с окнами должны быть оборудованы датчиками, реагирующими на несанкционированное проникновение.
- Использовать адресные датчики для возможности быстрого определения помещения, в котором сработал датчик

4) Внедрение системы распознавания номерных знаков транспортных средств:

- Автоматическая система распознавания номерных знаков для контроля въезда и выезда транспортных средств с территории объекта.

Анализ производственного объекта

В работе выполнен анализ производственного объекта, для которого разрабатывается интеллектуальная охранная система. Были определены основные параметры объекта: геометрические размеры здания, площадь застройки, площадь здания, площадь прилегающей территории проезда автомашин.

На основе анализа производственного объекта сформирован состав системы охраны: датчики, видеокамеры, устройство хранения информации, устройство управления датчиками, линии передачи информации, АРМ (автоматизированное рабочее место). Далее сформулированы требования к системе:

- система видеонаблюдения с возможностью распознавания номеров автомашин
- система контроля управления доступом с возможностью распознавания лиц при проходе в здание
- видеоматериалы с видеокамер системы видеонаблюдения сохраняются в течение 30 дней
- источники резервированного питания должны обеспечивать работоспособность системы в течение 1 часа после внештатного отключения электроэнергии
- электропитание устройств обеспечивается разделом ЛВС (локальная вычислительная сеть).

Видеонаблюдение с аналитикой:

- Развертывание IP-камер, оснащенных функциями отслеживания, распознавания лиц и распознаванием номеров транспортных средств (рис.1)
- Безопасное хранение записанных данных в облаке или на выделенных серверах

Система охранной сигнализации:

- Датчики обнаружения движения, разбивание стекла, вибрации и открытия дверей/калитки, нестандартные звуки.
- Интеграция с внешними системами охранной сигнализации, включая пульты управления частных охранных компаний и службы охраны

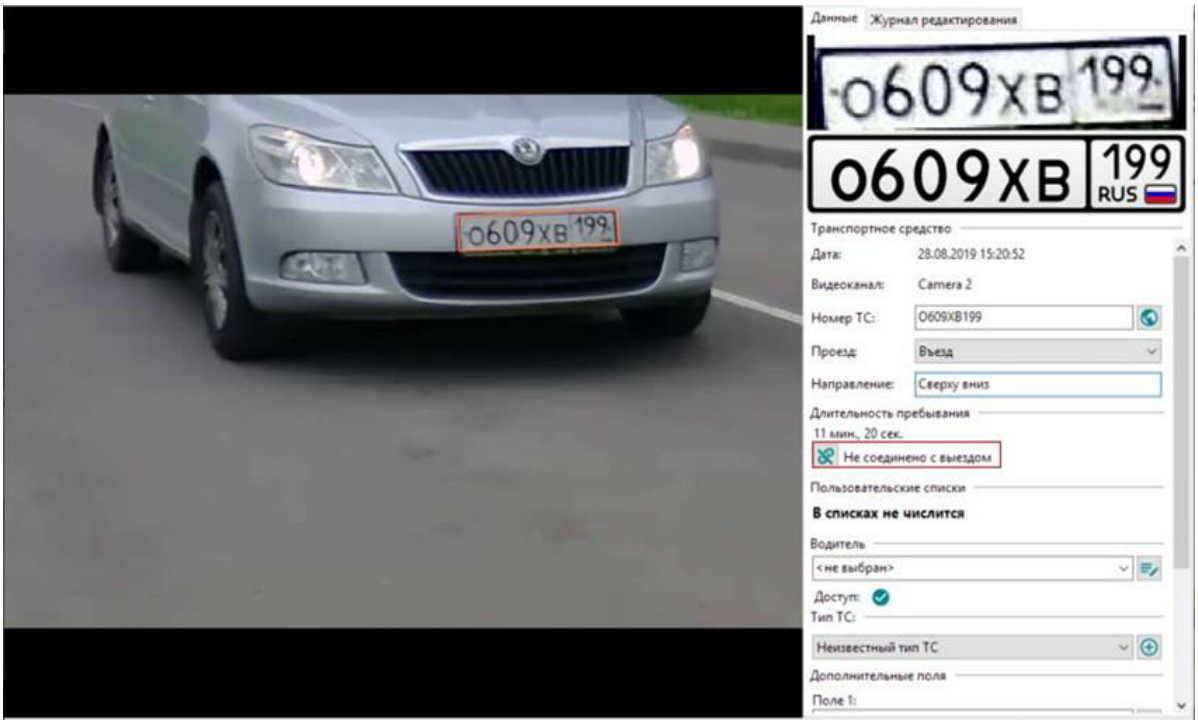


Рис.1. Пример работы подсистемы распознавания номеров автомобилей.

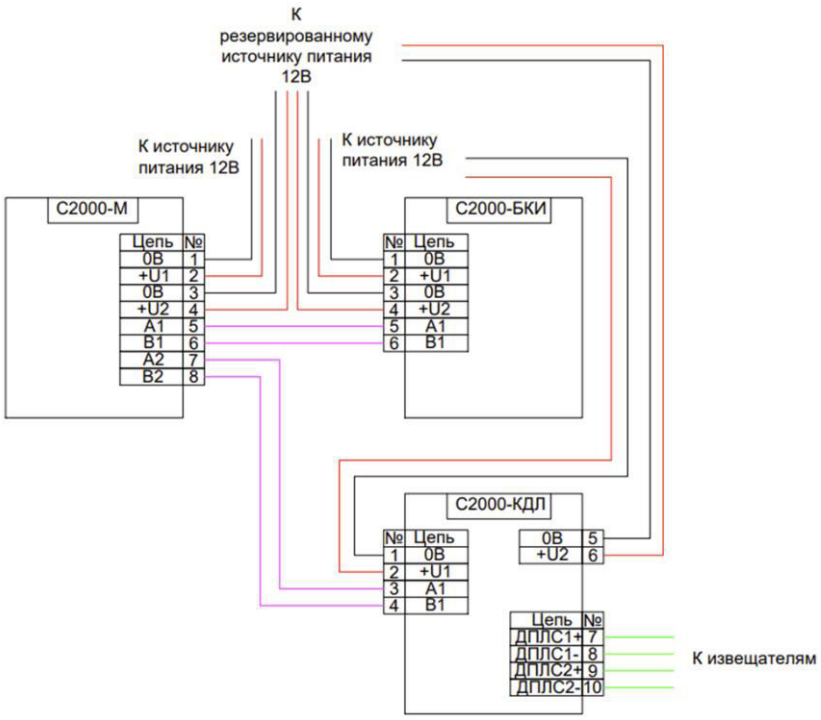


Рис.2. Схема соединений блоков управления.

На рис.2 представлено подключение блоков к пульту управления по интерфейсу RS-485.

Заключение

Система построена на современных защищённых интерфейсах передачи данных (OSDP/RS-485), что обеспечивает высокий уровень информационной безопасности, надёжность и гибкость масштабирования.

Преимущества реализованного решения:

- Высокая степень защищённости доступа за счёт использования биометрии и централизованной базы прав доступа.
- Интеграция с физическими преградами (турникет) и исполнительными устройствами.
- Удобство эксплуатации: регистрация пользователей, настройка прав, формирование отчётов и просмотр событий реализованы в интуитивно понятном интерфейсе АРМ.
- Ведение журнала событий — фиксация всех попыток доступа, проходов, тревог, что повышает контроль над объектом.
- Масштабируемость — возможность дальнейшего наращивания количества точек доступа, интеграции с видеонаблюдением, учётом рабочего времени и другими корпоративными системами.

Система полностью соответствует современным требованиям к безопасности объектов и может быть рекомендована для внедрения на предприятиях, в учреждениях, офисных и промышленных зданиях, а также на объектах с повышенными требованиями к учёту доступа и идентификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Техническая документация. Пульт контроля и управления охранно-пожарный «С2000М» АЦДР.426469.027 РЭп Изм.7 от 15.05.2023.

2. Блок индикации с клавиатурой «С2000-БКИ 2RS485» АЦДР.426469.030 РЭп Изм.7 от 05.06.2023.

3. Контроллер двухпроводной линии связи "С2000-КДЛ" АЦДР.426469.012 РЭп Изм.6 от 13.07.2023.

4. Техническая документация. Из вещатель охранный магнит контактный адресный "С2000-СМК исп.01 (IP68)" АЦДР.425113.003 РЭп Изм.3 от 23.12.2024.

5. Из вещатель охранный объёмный потолочный оптико-электронный адресный С2000-ПИК БФЮК.425152.006.

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SECURITY SYSTEM FOR A PRODUCTION FACILITY

Glazkov A.V.

Supervisor: Terentyev S.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. Intelligent security systems protect industrial facilities from unauthorized access, theft, sabotage, accidents and other emergencies. The system includes various types of sensors, information transmission media, a computer system for collecting and processing information, and access control devices. The system includes subsystems for intelligent processing of biometric and video information.

УДК 621.391.826

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МАЛОКАНАЛЬНОГО ОПТИЧЕСКОГО ПРИЕМНИКА

Гончарова Е.К.

Научный руководитель: Егоров В.В., старший преподаватель

(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет, г. Москва)

Аннотация. Рассмотрен метод повышения чувствительности малоканального оптического приемника. Собран испытательный стенд и приведены результаты экспериментов.

В СКБ-4 была предложена концепция автоматической оптической малоканальной системы посадки (АОМС) для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), которая представлена на рисунке 1. Ее принцип работы основан на методе триангуляции. Он заключается в построении треугольников в пространстве (при помощи сигналов бортового оптического передатчика и четырех наземных оптических приемников), рассчитав стороны и углы которых можно определить местоположение БПЛА и его высоту.

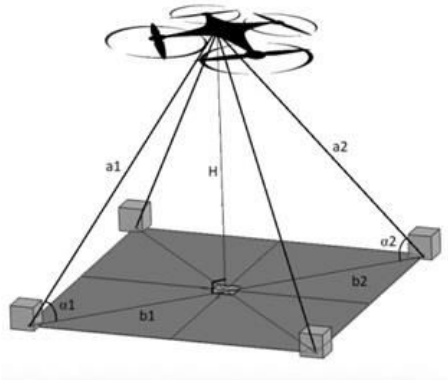


Рисунок 1. Концепция АОМС

Для успешной посадки БПЛА в автоматическом режиме АОМС должна иметь погрешность в ± 2,5 см. В идеальных условиях погрешность определения координат

обусловлена наличием собственных шумов операционных усилителей и сложности расчета. Такие погрешности называют несмещенными. Их можно свести к минимуму путем калибровки приемника и выбора оптимальной базы (расстояния между приемниками) системы посадки [2].

В реальных условиях погрешность определения координат БПЛА обусловлена факторами внешнего воздействия. При попадании на поверхность линзы сторонних предметов, световое пятно может изменять свою форму, интенсивность излучения. Из-за этого изменяется площадь пересечения пятна с фотодиодом, следовательно, и выходная амплитуда сигнала. Угол и дальнейшие координаты рассчитываются с ошибкой. Такие погрешности называют смещенными. Их сложно исправить математически, так как они практически непредсказуемы.

На увеличение ошибки определения координат, кроме внешних факторов, влияет расположение летательного аппарата (увеличение погрешности при увеличении высоты и отдалении от центра приемника). Такие погрешности уменьшаются путем увеличения количества приемников, повышения частоты измерения координат, экстраполяции данных и увеличения мощности передатчика и чувствительности приемника [1].

Для оценки погрешности координат в эксплуатационных условиях был собран экспериментальный стенд, состоящий из четырех канального фотодиодного приемника и передатчика. Была увеличена мощность излучения приемника путем добавления источников и увеличена чувствительность приемника за счет добавления усилителя, детектора и микроконтроллера. Вследствие этого увеличилась дальность приема сигнала. Для повышения избирательности передатчик излучает инфракрасный сигнал с частотой 32.768 кГц, в приемнике находятся фильтры, настроенные на эту частоту. Центр приемника, центр передатчика четко совпадает с оптической осью. В этом случае на всех четырех каналах должна выделяться одинаковая амплитуда. Выравнивание каналов по амплитуде производилось путем настройки сопротивления подстроечных резисторов, коэффициента усиления операционного усилителя и коэффициента передачи на микроконтроллер. В качестве микроконтроллера был выбран микроконтроллер ATMEGA328P в составе отладочной платы Arduino UNO. Также, калибровка проводилась в программной части, при помощи накопления, усреднения и аппроксимации данных.

Эксперимент заключался в том, что на линзу искусственно создавалось внешнее воздействие, и измерялся угол β в трех точках: на оптической оси и при отклонении приемника на ±20◦. По полученным данным рассчитали погрешность и среднеквадратическое отклонение (СКО). Данные полученные в результате эксперимента показаны в таблице 1.

Таблица 1

Угол β, погрешность и СКО в условиях различных помех

	Угол β	Погрешность	СКО	Угол β	Погрешность	СКО
Экспериментальное	99,13	0	0,01	81,22	0	0,03
Мелкие капли	98,55	0,59	0,05	82,27	1,05	0,07
Крупные капли	99,2	0,07	0,02	81,33	0,1	0,03
Динамич. капли	97,85	1,29	0,15	82,42	1,19	0,18
Пыль	98,71	0,42	0,02	81,55	0,22	0,01
Грязь	95,81	3,32	0,19	83,02	1,79	0,04

Эксперимент показал, что при значительном загрязнении линзы плотным слоем грязи определение координат невозможно вследствие большой погрешности. В условиях дождя, тумана система работать будет, но угол будет определяться с ошибкой, которая предположительно укладывается в допуск. Такие погрешности можно исключить конструкторским решением. Например, при помощи обдува поверхности линзы плотной струей воздуха.

В ходе эксперимента было выявлено что при отклонении передатчика относительно оптического оси на ±20◦ увеличивается СКО из-за собственных шумов усилителя. Вследствие сильной дисперсии полученных данных наблюдается увеличение погрешности определения угла β. Наибольшее СКО наблюдается в условиях нестабильной среды (дождь, туман, ветер с частицами пыли), так как из-за движения частиц увеличивается дисперсия, из-за чего среднее значение считается с ошибкой. Для исключения этого недостатка можно увеличить накопление данных, но тогда система потеряет быстродействие. Ставится задача повысить точность определения угла β.

Для этого предлагается увеличить мощность передатчика и увеличить чувствительность приемника при помощи замены фотодиодов на фототранзисторы. Фототранзистор в отличие от фотодиода способен усиливать сигнал. Интегральная чувствительность у фототранзистора в десятки раз больше, чем у фотодиода, и может достигать сотен мА на люмен [3].

Для проведения эксперимента была доработана конструкция приемника. Передатчик оставили прежним, его угол излучения φ= ±17◦, длина волны λ=940 нм. Вместо фотодиодов использовались фототранзисторы. Чувствительность фотодиода при такой длине волны лучше, чем у фототранзистора, но не значительно.

Эксперимент заключался в том, чтобы снять выходные напряжения каждого канала фотоприемника в зависимости от его угла поворота β относительно оптической оси. Сигнал снимался при помощи осциллографа до усиления и детектирования. Расстояние между приемником и передатчиком составило 12 см.

В таблице 2 приведены выходные напряжения каждого канала приемника. Приемник в данном случае состоял из фотодиодов.

Таблица 2

Выходные напряжения каналов фотодиодного приемника

β,◦	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
2, мВ	7	8	8	8	8	8,5	9	10	13,3	19,8	24,5	23	16,3	10	8
1, мВ	6	6	6,5	9,5	16	21	20	14	9,4	7	6,4	6	6	6	6
4, мВ	9	10	10	10	10,5	10,5	11	14	23,5	40,5	51,5	48,9	34	16	11
3, мВ	6	7	8	16,5	33	45	43	30	17	8,5	6	6	6	6	6

По значениям из таблицы 7 были построены графики для каждого канала изображенные на рисунке 2. Так как световая характеристика фототранзистора линейна, напряжение на каждом канале имеет ярко выраженный максимум. Просуммировав 2 и 4 каналы, получим избирательность, согласно которой, рабочий диапазон приемника составил ±20° относительно центра оптической оси. На этом участке график, изображенный на рисунке 2, наиболее прямолинеен.

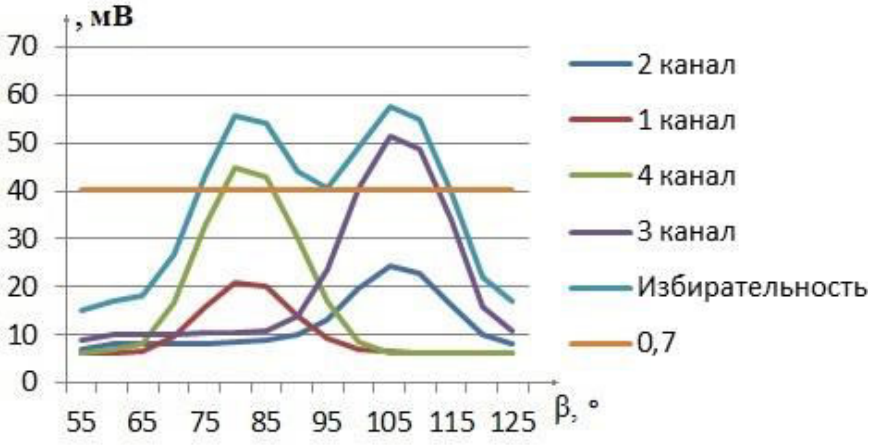


Рисунок 2. Графики зависимости выходного напряжения каналов приемника от β

Некоторая неравномерность избирательности, вызвана наличием зазора в 1мм между окнами, которая показана на рисунке 3.

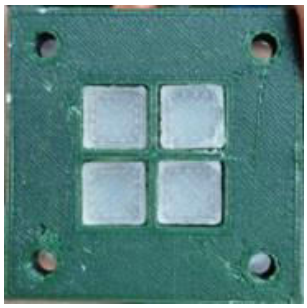


Рисунок 3. Фотодиодный приемник

В таблице 3 приведены выходные напряжения каждого канала приемника. Приемник в данном случае состоял из фототранзисторов. Расстояние между приемником и передатчиком составило 12 см.

Таблица 3

Выходные напряжения каналов фототранзисторного приемника

β,◦	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
2, мВ	8	9	11,5	14	16	18	33	80	59	56	56	75	64,5	28	11
1, мВ	8	16,5	60	81	45	45,5	46,5	80	37	17	10,5	10	8	6	6
4, мВ	9	15	50	100	50	50	50	100	55	23	13	12	10,5	8	9
3, мВ	4	4,5	4,5	4,5	5	11	30	80	37	38	38,5	38,5	77	28	8

Получили график зависимости выходного напряжения каждого канала от угла поворота приемника, изображенные рисунке 4. На полученном графике видны провалы, которые возникли из-за нелинейности световой характеристики фототранзистора. При превышении мощности светового потока фототранзистор уходит в перегрузку и выдает напряжения ниже чем оно должно быть на самом деле. В таком случае координаты будут определяться с ошибкой. Этот недостаток компенсируется при помощи разложения Бесселя.

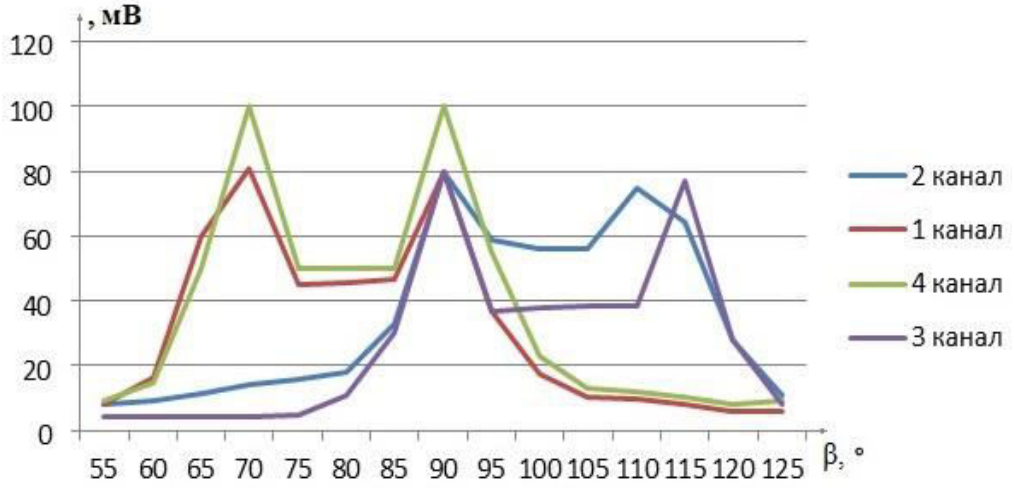


Рисунок 4. Графики зависимости выходного напряжения каналов фотоприемника в зависимости от β

В следующем эксперименте было определено минимальное расстояние между фотопередатчиком и фотоприемником. Данные, полученные в ходе эксперимента, показаны в таблице 4. При расстоянии в 26 см между приемником и передатчиком фототранзисторы не уходят в перегрузку, и каждый канал имеет ярко выраженный максимум.

Таблица 4

Выходные напряжения каналов фототранзисторного приемника

β,◦	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
2, мВ	8	8	9	9	11	12	13	20	45	80	81	56	33	14	8
1, мВ	3	6	15	30	60	75	60	30	13	9	8	6	6	5	5
4, мВ	7	8	14	30	75	100	75	30	17	11,5	10	9	8	7	7
3, мВ	3	3	3	3	3	3,5	6	15	40	94	54	88	40	11	3

В результате получили график зависимости выходного напряжения каждого канала от угла поворота приемника, который изображен на рисунке 5. Просуммировав 2 и 4 канал, получили график избирательности фототранзисторного приемника. Угол чувствительности фотодиода φ= ±60 больше чем угол чувствительности фототранзистора φ= ±25. По этому, избирательность, полученная с фототранзисторного приемника, имеет большую неравномерность, что показывает рисунок 5. Это приводит к появлению слепой зоны на углах от 85 до 95 градусов, когда воздушное судно находится прямо над приемником.

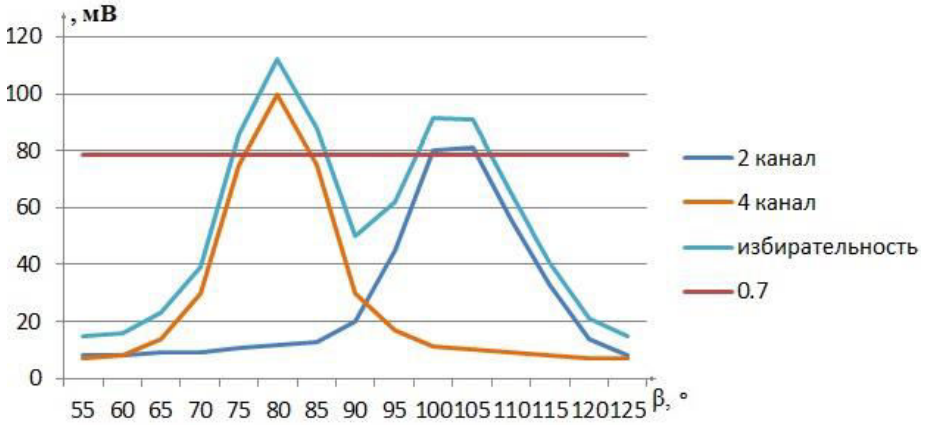


Рисунок 5. Графики зависимости выходного напряжения каналов фотоприемника β

Для решения этой проблемы предлагается доработать конструкцию окон. Для лучшего рассеивания света прозрачный пластик был зашкурен наждачной бумагой и замутнен ацетоном. Отверстия под фототранзисторы были сдвинуты к центру на 0.3 мм по диагонали квадратного окна, что показано на рисунке 6.

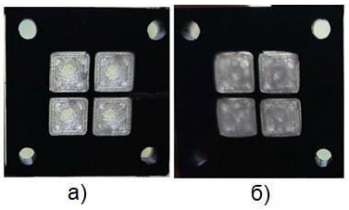


Рисунок 6. Площадка для фототранзисторов а) прозрачная б) замутненная

В таблице 5 приведены выходные напряжения каждого канала приемника с использованием замутненной площадки для фототранзисторов.

Таблица 5

Выходные напряжения каналов фототранзисторного приемника

β,◦	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
2, мВ	8	9	9,6	10,8	11,6	13,4	19	41	79	92	89	65,8	33,7	16,3	11
1, мВ	5	9	24	55,4	78,8	81,8	74,5	46,5	20	12	9	8,3	7,3	7	6,5
4, мВ	8	10	20	42	70	80,5	64,5	40	23	17,7	13,5	11,6	10	9,6	9,3
3, мВ	4	4,3	4,2	4,12	4,11	4,7	11,4	38	81	83	70	50	29,3	18,8	10

При использовании такой конструкции фотоплощадки удалось улучшить равномерность избирательности, что показано на рисунке 7. Рабочий диапазон приемника составил ±20° относительно центра оптической оси, так же как у фотодиодного приемника, но при использовании фототранзисторного приемника дальность приема увеличилась в два раза.

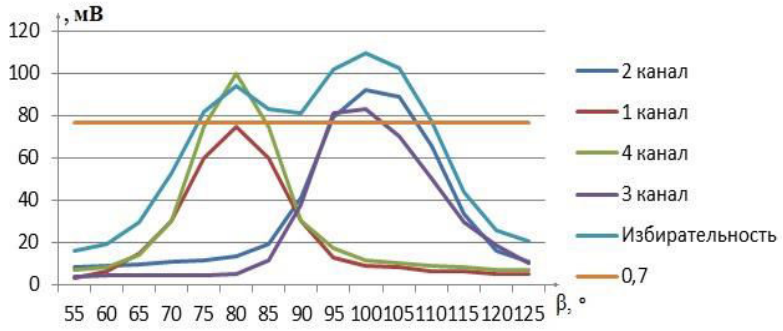


Рисунок 7. Графики зависимости выходного напряжения каналов фотоприемника в зависимости от β

Следующий эксперимент позволил сравнить погрешность и СКО системы с фототранзисторного приемника с фотодиодным. В данном случае выходной сигнал снимался после детектора. Были получены углы β, которые приведены в таблице 6. Эти данные будут использоваться для получения аппроксимационного многочлена.

Таблица 6

Углы β для аппроксимации

Идеал. β	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90
Реал. β	5,26	5,02	4,82	4,64	4,47	4,21	3,80	3,20	2,20	0,99	0,00
Отрицательные углы											
Идеал. β	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	-
Реал. β	0,68	2,66	4,32	5,62	6,27	6,59	6,74	6,82	6,85	6,91	-

После добавления аппроксимационного многочлена получили более точные значения углов β, рассчитали погрешность и СКО. Полученные значения приведены в таблице 7.

Таблица 7

Углы β после аппроксимации

Идеал. β	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115
Реал. β	69,22	75,65	79,61	84,84	90,15	95,15	100,3	106,2	108,1	110,3
Погр.	-0,78	0,65	0,39	0,16	0,15	0,15	0,33	1,20	1,94	4,74
СКО	0,043	0,038	0,016	0,008	0,000	0,005	0,077	0,094	0,421	0,107

В результате экспериментов получили таблицу 8, в которой приведено сравнение фотодиодного приемника и улучшенного фототранзисторного.

Таблица 8

Сравнение фотоприемников

	Фотодиодный приемник	Фототранзисторный приемник
Угол чувствительности φ,◦	±60	±25
Коэффициент фокуса f , м	0,017	0,0135
Дальность определения углов, см	13 (max)	26 (min)
Погрешность при углах 90-80, ◦	0,09-1,2	0,15-0,39
СКО при углах 90-80, ◦	0,002-0,03	0,000-0,001
Диапазон определяемых углов, ◦	80-100	70-115

Выводы, которые можно сделать в результате изменения конструкции приемника и использования фототранзисторов:

1. Улучшилась чувствительность приемника.
2. Увеличилась дальность
3. Увеличился диапазон определяемых углов.
4. Уменьшились СКО и погрешность.

Недостатком такого фотоприемника является его нелинейность и узкий угол чувствительности. Нелинейность можно устранить при помощи использования разложения Бесселя, узкий угол чувствительности расширяется при помощи замутнения фототранзисторной площадки и использования софт фильтра.

В будущем планируется:

1. Сконструировать стенд для более точной калибровки приемника по двум углам α и β.
2. Усовершенствовать программируемую часть для получения большей точности определения углов.
3. Применить более мощный передатчик для увеличения дальности действия.
4. Исключить влияние нелинейности при помощи разложения Бесселя.
5. Увеличить количество приемников для повышения точности определения углов.
6. Повысить мощность принимаемого сигнала при помощи модуляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гончарова Е.К.* Анализ точности оптической системы посадки // Сборник научных трудов XVI международной молодежной научно- технической конференции «Молодежь. Техника. Космос» том 2: Издательство БГТУ «ВОЕНМЕХ». 2025. С. 237-240.

2. *Гончарова Е.К.* Метод повышения избирательности малоканального оптического приемника // Сборник научных трудов международной молодежной научно-технической конференции современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. Издательство РНТОРЭС им. А.С. Попова, СевГУ, 2024. — С. 129.

3. *Шишкин Г.Г., Шишкин А.Г.* // Электроника: учебник для вузов: Издательство Дрофа. 2009. 703 с.

INCREASING THE SENSITIVITY OF A SMALL-CHANNEL OPTICAL RECEIVER

Goncharova E.K.

Supervisor: Egorov V.V., Senior Lecturer

(Moscow Aviation Institute (National Research University, Moscow)

Abstract. A method for increasing the sensitivity of a small-channel optical receiver is considered. A test bench is assembled and the experimental results are presented.

УДК 681.2

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕДИЦИНСКОГО ОДЕЯЛА СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО ОБОГРЕВА ПАЦИЕНТОВ

Губайдуллина А.В.

Научный руководитель: Смирнова С.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье предложена разработка оригинальной структурно-функциональной схемы и выполнен подбор элементной базы отечественных компонентов для стенда контроля температурных параметров медицинского одеяла системы воздушного обогрева пациентов для предотвращения послеоперационных осложнений.

Послеоперационная гипотермия — важная проблема в медицине, влияющая на функции организма. Для нормальной жизнедеятельности организма температура тела должна быть в пределах от 36°C до 37,5°C. Факторами риска возникновения гипотермии выступают охлажденные растворы, низкая температура в операционной и недостаточная теплоизоляция пациента. Гипотермия провоцирует тканевые повреждения, ишемию и сосудистые патологии, ухудшая регенерацию и повышая риск осложнений в послеоперационный период. Наиболее эффективный метод профилактики гипотермии — предварительный подогрев тканей и активное согревание пациента с помощью медицинских одеял с конвекционным воздушным обогревом, обеспечивающих поддержание оптимальной температуры тела пациента.

В современной клинике поддержка нормотермии пациентов остается ключевой задачей. Эффективность систем воздушного обогрева для профилактики гипотермии определяется контролем температуры, равномерностью распределения тепла и стабильностью работы нагревательных элементов. Существующие на сегодняшний день иностранные разработки в данной области не охватывают задачи измерения тепловых характеристик в процессе эксплуатации [4].

В предложенном исследовании была разработана собственная структурно-функциональная схема стенда контроля параметров медицинского одеяла системы воздушного обогрева пациентов и выполнен подбор элементной базы отечественных компонентов. Построение схемы велось с учётом современных требований к медицинскому оборудованию: достаточной точности измерений, надёжности функционирования, безопасности эксплуатации.

Основной задачей разрабатываемого стенда является обеспечение многоканального измерения температурных характеристик по различным зонам одеяла с высокой точностью и возможностью визуализации данных в дальнейшем.

Структурно-функциональная схема стенда приведена на рисунке 1.

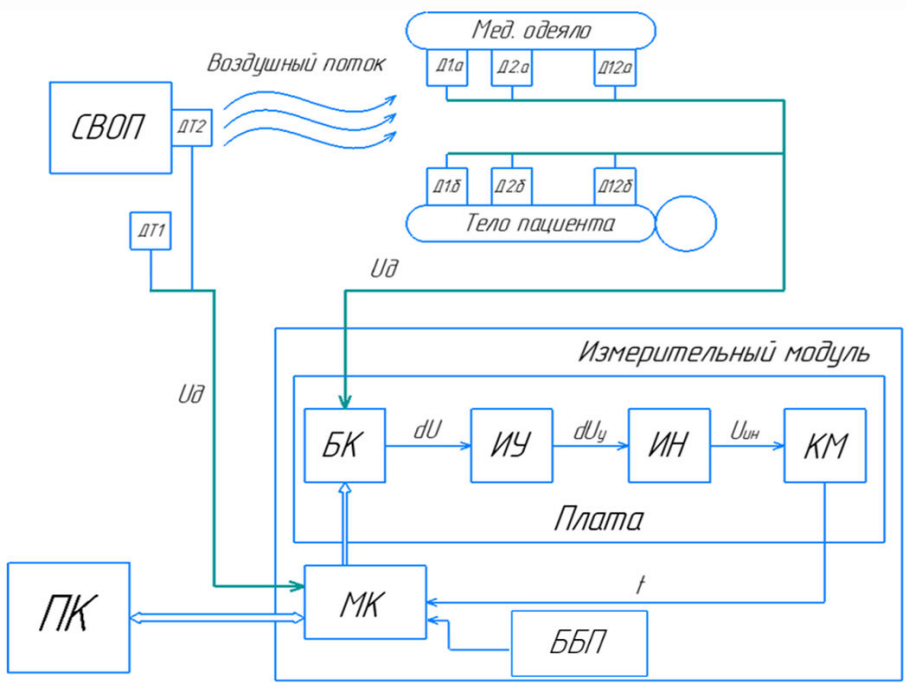


Рисунок 1. Структурно-функциональная схема стенда контроля параметров медицинского одеяла системы воздушного обогрева пациентов: СВОП – система воздушного обогрева пациента; Д – датчики температуры («а» на одеяле, «б» у тела); БК - блок коммутаций; ИУ - инструментальный усилитель; ИН - интегратор (двухтактный); КМ – компаратор; МК - микроконтроллер (Arduino Uno); ПК - персональный компьютер (LabVIEW); ББП - батарейный блок питания; ДТ1, ДТ2 - датчик температуры окружающей среды.

В состав стенда входят следующие функциональные элементы:

ДТ - Датчики температуры. Каждая пара датчиков (Д1а и Д1б) размещается соответственно в материале одеяла и на поверхности тела пациента в 12 точках по площади изделия. Это позволяет регистрировать локальные значения температуры одеяла и поверхности тела, что критично для анализа равномерности прогрева.

ДТ1, ДТ2 - дополнительные датчики для измерения температуры окружающей среды и воздушного потока.

БК - Блок коммутации, реализован на основе дешифратора и герконовых реле. Позволяет микроконтроллеру Arduino Uno адресно подключать любую из 12 пар датчиков к измерительному каналу. Это решение минимизирует аппаратные затраты и повышает надёжность системы.

ИУ - Инструментальный усилитель, усиливает малые разности напряжений с выбранной пары датчиков, подавляя синфазные помехи и обеспечивая высокую точность измерения разницы температур.

ИН - Интегратор двухтактный, накапливает заряд, пропорциональный входному дифференциальному сигналу, и формирует сигнал разрядки, длительность которого линейно связана с измеряемой температурной разностью. Принцип двухтактного интегрирования позволяет получить высокую точность аналогово-цифрового преобразования и устойчивость к шумам.

КМ - Компаратор, определяет момент, когда интегратор разряжается до нулевого уровня, и формирует прямоугольный цифровой сигнал для микроконтроллера.

МК - Микроконтроллер (Arduino Uno) управляет переключением каналов, собирает и предварительно обрабатывает данные, передавая их на персональный компьютер. За счет встроенного таймера обеспечивается точное измерение длительности сигнала компаратора, что позволяет реализовать высокоточное аналогово-цифровое преобразование.

ББП - Батарейный блок питания. Данный блок структурной схемы состоит из 2 частей: аналоговое питание (батарейное) и цифровое питание (от Arduino).

Аналоговое питание (батарейное) обеспечивает автономность устройства, что особенно важно в условиях отсутствия внешнего источника питания.

Цифровое питание (от Arduino). Arduino получает данные от датчиков температуры и, в зависимости от полученных показаний, управляет подачей питания на нагревательный элемент. Дополнительно Arduino подключен к компьютеру для мониторинга и управления через специальное программное обеспечение.

Батарейное питание обеспечивает автономность, а цифровое питание от Arduino позволяет реализовать интеллектуальную систему контроля температуры, что повышает комфорт и безопасность для пациента.

ПК - Персональный компьютер с LabVIEW, управляет рабочим циклом стенда, отправляет команды выбора канала, принимает результаты измерений, проводит калибровку и отображение данных в режиме реального времени.

В результате была разработана оригинальная структурно-функциональная схема стенда, обеспечивающая контроль температуры в медицинском одеяле пациента. Схема включает в себя различные типы датчиков, микроконтроллер для обработки данных и блок управления температурой. Ключевыми требованиями к компонентам являются высокая точность измерений, энергоэффективность и возможность интеграции с внешними системами мониторинга для улучшения функциональности и повышения безопасности пациентов. Выбранная структура обеспечивает не только достаточную точность измерений, но и удобство эксплуатации, а также соответствие современным требованиям метрологического обеспечения медицинской техники [1-3].

В качестве первичных преобразователей температуры выбраны датчики LM235Z, отличающиеся высокой точностью и стабильностью характеристик. Эта микросхема представляет собой прецизионный источник опорного напряжения, изменяющегося в зависимости от температуры. Подключение выполнено по дифференциальной схеме — для

каждой пары датчиков один располагается в контактной зоне с телом пациента, второй — в контрольной точке одеяла. Сигнал снимается как разность напряжений, что минимизирует влияние внешних факторов.

Для последовательного опроса датчиков применён коммутатор на 26 герконовых реле, управляемых дешифраторами на микросхеме К155ИД3 для декодирования адреса датчика. Такой подход обеспечивает низкое сопротивление замыкания, физическую развязку каналов и расширяет возможности автоматизации стенда.

Далее разностный сигнал поступает на инструментальный усилитель, собранный на микросхеме КР1401УД20, который усиливает разницу сигналов между датчиками температуры пациента и средней температурой одеяла. Операционный усилитель на микросхеме КР1401УД20 отличается высоким коэффициентом усиления, низким смещением нуля и широким диапазоном рабочих напряжений, что позволяет привести дифференциальный сигнал к оптимальному уровню для последующей обработки.

Усиленный сигнал поступает на интегратор, реализованный на операционном усилителе микросхемы КР1401УД20. Временной эквивалент напряжения температуры формируется подачей сигнала с интегратора на компаратор микросхемы LM311P.

Центральным измерительным звеном в схеме является АЦП, построенный на принципе двухтактного интегрирования. Выбор интегратора двухтактного интегрирования был обоснован его преимуществами в подавлении помех, способности работать с малыми разностями напряжений и улучшении метрологических характеристик. Алгоритм работы АЦП реализуется следующим образом: на первом такте интегратор накапливает заряд, интегрируя входной сигнал от измеряемой пары датчиков, а на втором такте — разряжается под воздействием опорного напряжения противоположной полярности. Время разрядки интегратора пропорционально разности температур между датчиками определяющее параметры теплового потока и работоспособность и эффективность медицинского одеяла.

Сравнение уровня сигнала и фиксация момента окончания интегрирования осуществляется компаратором с включённым диодом на микросхеме К590КН2 для формирования чёткого цифрового фронта. Длительность выходного импульса подаётся на Arduino, где производится измерение времени разрядки и последующий цифровой анализ. Такой способ преобразования обеспечивает высокую помехоустойчивость и точность.

Инженерная проработка принципиальной схемы позволила учесть реальные эксплуатационные требования и стандарты, что даёт основания говорить о высокой перспективности дальнейшей макетной реализации. Практическую реализацию программного обеспечения для реализации данных этапов обработки и отображения информации планируется проводить в среде визуального программирования LabVIEW.

Благодарности. Работа выполнялась на занятиях студенческого научного кружка «IT-приборист» и результаты были получены в рамках реализации Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Губайдуллина А.В., Смирнова С.В., Благовещенский А.Н.* // Разработка информационно - измерительной системы контроля параметров медицинского одеяла // 17 -й Международная научно -техническая конференция «Приборостроение – 2024» г. Минск, 26 – 29 ноября 2024 г. – Минск, БНТУ. –2024 –с. 38 –40.

2. *Губайдуллина А.В., Смирнова С.В., Благовещенский А.Н.* // Разработка АЦП двухтактного интегрирования в информационно -измерительной системе контроля параметров медицинского одеяла. / XXXVII Всероссийская научно -техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов «Биомедсистемы -2024»: сб. тр. 4 - 6 декабря 2024 г. – Рязань. –2024 –с. 96 –101.

3. *Губайдуллина А.В., Смирнова С.В., Благовещенский А.Н.* // Интегратор двухтактного интегрирования на базе операционного усилителя как элемент информационно - измерительной системы контроля параметров медицинского одеяла / III Республиканская

научно -практическая конференция. – Казань: Инженерная мысль, 28 ноября 2024 г., сборник докладов. Изд -во КНИТУ -КАИ, 2024. -с. 164 -169.

4. *Губайдуллина А.В., Смирнова С.В., Благовещенский А.Н.* // Контроль параметров медицинского одеяла в системе воздушного обогрева для оптимальной температурной поддержки пациентов //II Республиканская научно -практическая конференция. – Казань: Инженерная мысль, 30 ноября 2023 г., сборник докладов. Изд -во КНИТУ -КАИ, 2023. -с. 233-239

DEVELOPMENT OF A STAND FOR CONTROLLING TEMPERATURE PARAMETERS OF A MEDICAL BLANKET OF AN AIR HEATING SYSTEM FOR PATIENTS

Gubaidullina A.V.

Supervisor: Smirnova S.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The article proposes the development of an original structural and functional diagram and the selection of the element base of domestic components for a stand for monitoring the temperature parameters of a medical blanket of an air heating system for patients to prevent postoperative complications.

УДК 681.2

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПЛАТЫ НОСИМОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА НОВОРОЖДЕННЫХ

Давлетова Г.А.

Научный руководитель: Тюрина М.М., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются особенности проектирования и изготовления печатной платы для носимого медицинского устройства, предназначенного для мониторинга температуры тела младенца. Описаны этапы трассировки и компоновки элементов в среде EasyEDA на основе электрической принципиальной схемы, а также технология производства платы методом фотолитографии с применением химического и гальванического меднения. Кратко описано проектирование корпуса устройства, выполненного с учётом биосовместимости и требований медицинской эксплуатации, а также процесс калибровки прибора.

Актуальность изготовления печатной платы связана с необходимостью создания надежной и точной основы для носимых устройств для измерения температуры у младенцев. Новизна заключается в использовании современных технологий производства, которые позволяют делать миниатюрные и безопасные платы для медицинских целей.

Целью работы является разработка и изготовление двусторонней печатной платы для компактного носимого устройства, обеспечивающей надёжность электрических соединений, минимальные габариты и возможность точного измерения температуры тела новорождённых.

Контроль температуры тела новорождённых является одной из важнейших задач неонатологии, так как данный параметр напрямую влияет на здоровье и развитие ребёнка [1]. У младенцев система терморегуляции ещё не сформирована, поэтому они особенно подвержены риску гипотермии и гипертермии [2]. Классические методы измерения температуры у младенцев (аксиллярный, ректальный, оральный) имеют ряд ограничений, связанных с инвазивностью, необходимостью неподвижности или низким уровнем точности.

В данном случае особую актуальность приобретают носимые устройства, обеспечивающие непрерывное и неинвазивное измерение температуры в реальном времени [3].

Для реализации данной задачи была разработана электрическая принципиальная схема носимого устройства (рис.1) для мониторинга температуры тела новорождённых.

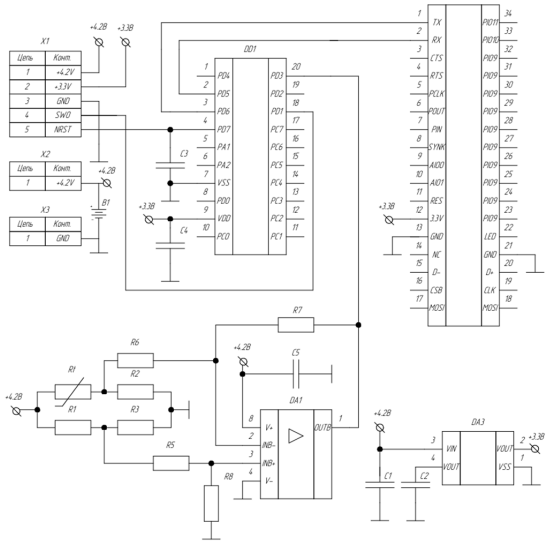


Рисунок 2. Схема электрическая принципиальная.

В её основе используется микроконтроллер CH32V003F4P6, который осуществляет сбор, обработку и передачу данных. В качестве чувствительного элемента применяется терморезистор B3950, включённый в мостовую схему. Сигнал с датчика усиливается операционным усилителем LMV358, после чего преобразуется встроенным АЦП микроконтроллера в цифровую форму и передаётся на модуль Bluetooth HC-05 для отображения данных на смартфоне. Питание устройства осуществляется от литиевого аккумулятора напряжением 4,2 В. Так как микроконтроллер и модуль Bluetooth функционируют при напряжении 3,3 В, в схему включён стабилизатор AMS1117-3.3, который обеспечивает необходимое преобразование. Для повышения помехоустойчивости используются фильтрующие конденсаторы. Конструктивное решение направлено на энергоэффективность и компактность, что делает схему пригодной для реализации в составе носимых медицинских систем.

На основе разработанной электрической схемы производилось проектирование печатной платы в веб-среде EasyEDA, которая предоставляет возможности для сборки электрических принципиальных схем, трассировки и трёхмерной визуализации платы [4]. Использование данной среды позволило выполнить полный цикл проектирования, начиная с разработки принципиальной схемы и заканчивая подготовкой файлов для её изготовления.

Для создания печатной платы необходимо выбрать подходящие компоненты, соответствующие электрической принципиальной схеме. Для этого из библиотеки элементов выбираются микроконтроллер, операционный усилитель, термистор, стабилизатор, модуль-Bluetooth и пассивные компоненты – резисторы и конденсаторы. После выбора элементов необходимо разместить их на схеме в соответствии с логикой устройства.

После завершения проектирования электрической принципиальной схемы формируется PCB-документ, после чего документ импортируется и уже после этого вручную расставляются все элементы на печатной плате. Элементы расставляются так, чтобы минимизировать длину сигнальных трасс, исключить перекрестные соединения и обеспечить надежное питание и заземление. Проектируемая плата выполнена двусторонней (рис.2), что позволило более эффективно разместить соединения и упростить разводку.

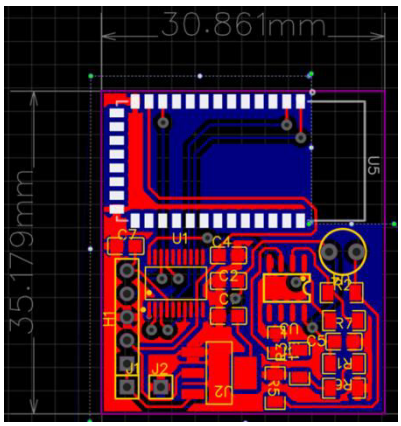


Рисунок 3. 2D-модель печатной платы устройства.

Все элементы и трассы были аккуратно и грамотно разведены вручную с учётом требований к компоновке, электромагнитной совместимости и удобству последующего монтажа. Для носимого устройства компактность имеет решающее значение, поэтому плата сведена к минимально возможным размерам. Финальная версия печатной платы разработанного устройства, представленная в виде 3D модели (рис.2), имеет габариты L=35,179 мм, W=30,86мм, что соответствует миниатюрным носимым устройствам.

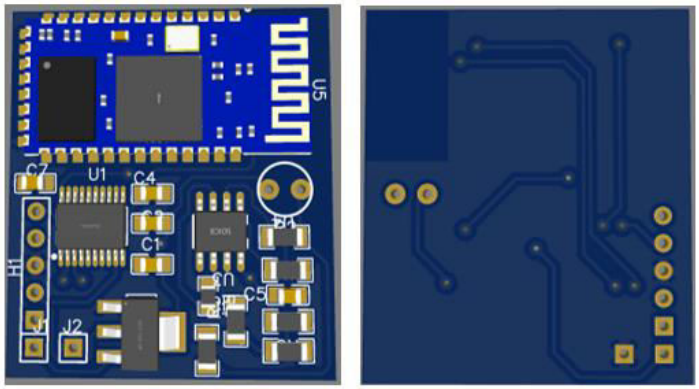


Рисунок 3. 3D-модель печатной платы разрабатываемого устройства
а) вид сверху; б) вид снизу.

Изготовление печатной платы представляет собой многоэтапный технологический процесс, направленный на формирование проводящего рисунка и обеспечение надёжности электрических соединений. На начальном этапе из фольгированного текстолита вырезается заготовка требуемого размера, после чего производится сверление всех монтажных и переходных отверстий. Для улучшения адгезии меди поверхность тщательно шлифуется наждачной бумагой до получения равномерной шероховатости (рис.4).

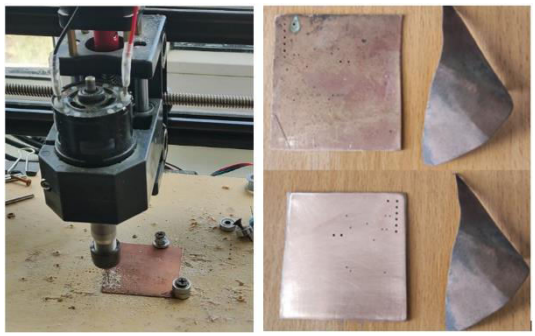


Рисунок 4. Процесс создания заготовки платы.

Далее выполняется обезжиривание: заготовка погружается в специальный раствор при температуре около 80 °C на две минуты и промывается в воде (рис.5а). После этого проводится микротравление, позволяющее удалить окислы меди и подготовить поверхность к дальнейшим операциям. Заготовку выдерживают в соответствующем растворе в течение 1–3 минут, затем тщательно промывают водой (рис.5б). Следующим этапом является активация. Сначала заготовка кратковременно обрабатывается раствором поваренной соли (рис.5в), а затем помещается в палладиевый активатор на 15–20 минут (рис.5г). В результате поверхность диэлектрика приобретает каталитические свойства, необходимые для начала химического осаждения меди.

а) б) в) г)

Рисунок 5. Процесс подготовки платы к химическому и гальваническому меднению переходных отверстий. а) обезжиривание; б) микротравление; в) обработка в растворе поваренной соли; г) погружение платы в палладиевый активатор.

Далее происходит процесс химического меднения. Он заключается в погружении платы в раствор на основе формальдегида, где в течение 15–20 минут формируется первый тонкий слой меди, в том числе в переходных отверстиях (рис.6а). Для наращивания толщины проводящего слоя применяется гальваническое меднение (рис.6б): заготовка подключается к источнику тока и погружается в кислотный электролит, содержащий $CuSO_4$ и H_2SO_4. При токе порядка 0,43 А и напряжении около 0,18 В в течение 15 минут на поверхности осаждается дополнительный слой меди. После завершения этой операции плата промывается водой с мылом, сушится и подвергается визуальному контролю под микроскопом, чтобы убедиться в равномерности покрытия.

а) б)

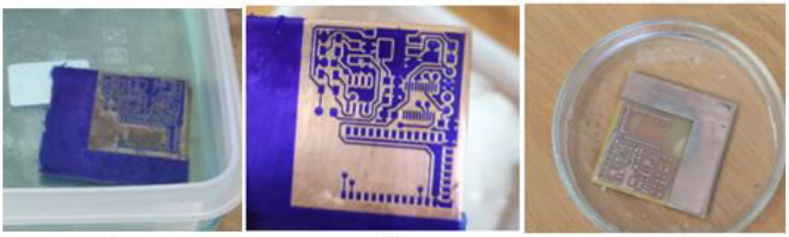
Рисунок 6. а) Процесс химического меднения; б) Процесс гальванического меднения.

Дальнейшая работа связана с формированием рисунка проводников. На основе проектной модели в программе EasyEDA создаётся фотошаблон, который печатается на прозрачной плёнке и для повышения контрастности выдерживается 10–15 минут в парах растворителя (рис.7а). На высушенную плату наклеивается фоторезистная плёнка, поверх которой накладывается фотошаблон, совмещённый по отверстиям (рис.7б). Заготовка подвергается ультрафиолетовому облучению по 30 секунд с каждой стороны (рис.7в), после чего помещается в раствор кальцинированной соды, где проявляются участки, не защищённые от УФ-излучения.

а) б) в)

Рисунок 7. Фотолитография печатной платы. а) подготовка шаблона платы; б) использование фоторезиста; в) ультрафиолетовое облучение.

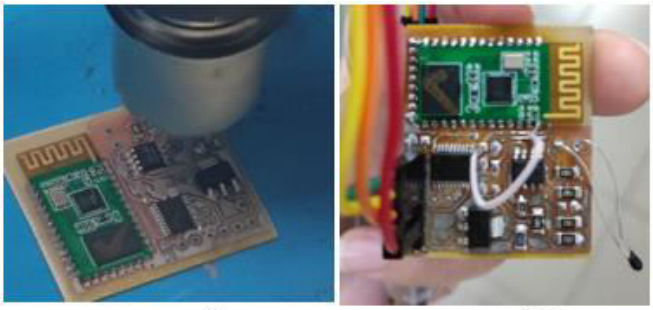
После всех этапов происходит травление, оно производится в растворе лимонной кислоты и перекиси водорода, нагретом до 50–70 °C. При этом избыточная медь удаляется, а на поверхности остаются только проводящие дорожки, соответствующие проекту. Фоторезист затем удаляется при помощи ацетона, после чего чистые медные дорожки дополнительно покрываются оловом. Такая обработка обеспечивает защиту от окисления и повышает надёжность пайки.



а) б) в)

Рисунок 8. Заключительные этапы изготовления печатной платы.
а) травление в растворе лимонной кислоты и перекиси водорода;
б) удаление пленки; в) покрытие платы жидким оловом.

Заключительной стадией является монтаж радиоэлектронных компонентов. На поверхность платы наносится паяльная паста, элементы устанавливаются в соответствии с трёхмерной моделью, после чего производится их припайка с использованием паяльного фена (рис.9а), после чего получается готовая плата носимого устройства (рис.9б).



а) б)

Рисунок 9. Плата печатная. а) процесс припайки компонентов; б) готовая печатная плата.

Наряду с печатной платой в работе было произведено проектирование корпуса устройства. Его моделирование выполнялось в среде Компас-3D. Корпус устройства изготавливается из медицинского ABS-пластика, он безопасен для кожи и выдерживает обработку дезинфицирующими средствами.

Части корпуса соединяются с помощью защёлок – такое решение выбрано для отказа от мелких винтов, чтобы обеспечить безопасность ребёнка и упростить сборку. Для крепления к телу используются специальные двусторонние силиконовые наклейки, которые

удобно фиксируют устройство и не вызывают раздражения кожи. Поверхность корпуса можно обрабатывать спиртовыми растворами или специальными салфетками. Устройство рассчитано на многократное использование как в домашних, так и в медицинских условиях.

После сборки устройства был проведён этап калибровки, позволивший проверить корректность работы платы и датчика температуры. В качестве источника опорной температуры использовался температурный калибратор QUARTZ, предназначенный для воспроизведения и поддержания температуры с высокой точностью. Устройство позволяет задавать и стабилизировать температуру с точностью до десятых долей градуса, а также осуществлять измерение значений терморезисторов и термопар. Использование сертифицированного оборудования такого уровня позволяет обеспечить надёжность и воспроизводимость измерений.

Несмотря на известную нелинейность зависимости сопротивления термистора от температуры, в эксперименте была зафиксирована практически линейная зависимость между температурой и цифровыми значениями, выдаваемыми АЦП. Это обусловлено ограниченным диапазоном температур (от 32 °C до 42 °C), который составляет лишь малую часть от полного температурного диапазона термистора (−40 °C до +125 °C).

Таким образом, в пределах рабочего диапазона 10 °C, калибровочный график (рис.10) может быть аппроксимирован линейной функцией без существенной потери точности.

Оранжевая линия на графике – реальные значения АЦП по температуре. Синяя пунктирная линия – аппроксимация по уравнению (1):

$$Y = -103{,}613 \cdot X + 4327.564, \quad (1)$$

Благодаря узкому диапазону температур (32–42 °C), 10-битный АЦП обеспечивает высокую чувствительность – около 10 кодов на 0,1 °C (шаг ≈ 0.01 °C). Для сглаживания шумов применяется скользящее усреднение.

Анализ показал, что суммарная погрешность не превышает ±0,083 °C, что соответствует требованиям к медицинским измерениям.

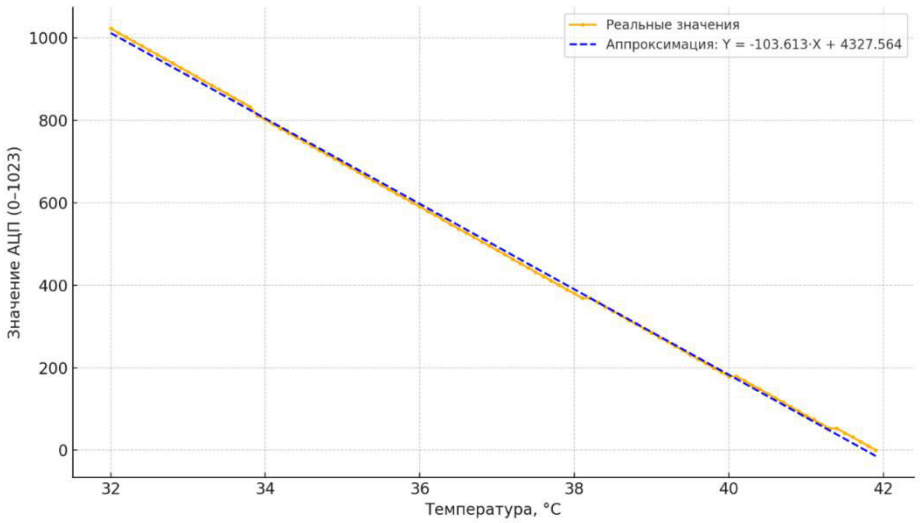


Рисунок 10. Зависимость значения АЦП от температуры.

В ходе работы была разработана и изготовлена двусторонняя печатная плата для носимого медицинского устройства. Использование среды EasyEDA позволило эффективно провести все этапы проектирования и подготовить трёхмерную модель платы. Технология фотолитографии с химическим и гальваническим меднением обеспечила высокое качество дорожек и надёжность металлизированных переходных отверстий.

Финальная сборка с использованием паяльной пасты и фена позволила интегрировать электронные компоненты и подготовить готовый прототип устройства. Дополнительно был спроектирован корпус из биосовместимого материала, обеспечивающий безопасное применение прибора для детей.

Проведённая калибровка показала, что разработанное устройство обеспечивает точность измерения температуры в пределах ±0,1 °C, что соответствует медицинским нормам [5].

Полученный результат демонстрирует успешное решение задачи создания печатной платы для носимого медицинского устройства и подтверждает возможность практического применения данной технологии при создании аналогичных компактных электронных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Хакимжанова А.С.* Физиологические аспекты элементов терморегуляции у новорожденных и их влияние на заболевания верхних дыхательных путей/ А.С. Хакимжанова // Вестник магистратуры. –2022. – № 6-2. – С. 4-7.

2. Педиатрия. Диагностика и неотложная помощь при нарушении терморегуляции: учеб. пособие / под ред. В.А. Романенко. –Екатеринбург: УГМУ, 2014. –33 с.

3. TempTraq. User Manual [Электронный ресурс]: руководство пользователя. – Режим доступа: https://temptraq.healthcare/ (дата обращения: 25.06.2025).

4. EasyEDA. Руководство пользователя. Версия 6.4.3 [Электронный ресурс]. –Режим доступа: https://image.easyeda.com/files/EasyEDA-Tutorials_v6.4.3.ru.pdf (дата обращения: 04.06.2025). (дата обращения: 25.05.2024).

5. ГОСТ ISO 10993-1–2021. Изделия медицинские. Оценка биологического действия медицинских изделий. Часть 1. Оценка и исследования в процессе менеджмента риска: межгос. стандар: офиц. изд.: утв. и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 окт. 2021 г. № 1095-ст: введён впервые: дата введ. 2022-06-01 / разраб. АО «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева». –Москва: Стандартинформ, 2021. – 28 с.

FEATURES OF THE DESIGN OF A WEARABLE DEVICE FOR MONITORING THE BODY TEMPERATURE OF NEWBORNS

Davletova G.A.

Supervisor: Tyurina M.M., Assistant professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses the design and manufacturing features of a printed circuit board for a wearable medical device intended for monitoring the body temperature of infants. It describes the stages of tracing and arranging elements in the EasyEDA environment based on an electrical schematic diagram, as well as the technology for manufacturing the board using photolithography with chemical and electrolytic copper plating. It briefly describes the design of the device housing, which was made with biocompatibility and medical requirements in mind, as well as the device calibration process.

УДК 681.2

РАЗРАБОТКА НОСИМОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА НОВОРОЖДЕННЫХ

Давлетова Г.А.

Научный руководитель: Тюрина М.М., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Аннотация. В статье рассмотрена разработка миниатюрного устройства для мониторинга температуры тела новорожденных. Проанализированы существующие решения, созданы структурная и электрическая схемы, разработан алгоритм работы устройства. Результаты показывают возможность создания простого, надежного и безопасного устройства для постоянного контроля температуры у младенцев.

Температура тела является одним из важнейших витальных показателей у новорождённых. Даже незначительные отклонения от нормы могут приводить к развитию осложнений, особенно у недоношенных детей, для которых риск гипотермии или гипертермии крайне высок. Традиционные методы контроля температуры (аксиллярный, ректальный, бесконтактный) имеют ряд ограничений: необходимость участия медицинского персонала, высокая погрешность или дискомфорт при измерении. Современные носимые системы мониторинга позволяют решить данные проблемы за счёт непрерывного измерения и беспроводной передачи данных [1]. Однако многие из существующих решений являются зарубежными и недоступны в клинической практике в России, либо не адаптированы к особенностям неонатологии.

Актуальность разработки носимого устройства обусловлена необходимостью создания удобных и точных средств для измерения температуры тела младенцев, лишенных тех недостатков, которыми обладают существующие аналоги на рынке. Новизна заключается в разработке персонализированного миниатюрного устройства, с возможностью беспроводной передачи данных, которое можно использовать в домашних условиях.

Цель работы – разработка прототипа носимого устройства для непрерывного измерения температуры тела младенца. Для её достижения выполнен анализ методов и требований к носимым устройства, разработаны схемные решения, алгоритм работы и обоснован выбор элементной базы.

В таблице 1 представлен результат анализа существующих решений для измерения температуры тела новорождённых, отражающий их основные характеристики, достоинства и ограничения.

Таблица 1

Существующие решения для измерения температуры новорожденных

Способ измерения	Диапазон, °C	Точность	Примеры	Особенности
Контактный (аксиллярный, ректальный)	32–42	±0,1–0,2	Omron, Braun	Доступные и точные, но требуют участия взрослых и неподвижности ребёнка
Бесконтактный (ИК)	34–43	±0,5–1,0	Braun, Xiaomi	Быстрые и удобные, но низкая точность у младенцев
Проводной мониторинг (стационарный)	30–44	±0,1	Philips, GE Healthcare	Высокоточные датчики для инкубаторов, ограничены стационаром
Беспроводной кожный сенсор	30–42	±0,1–0,2	Philips Avalon CL	Перспективные разработки, комфортны для длительного применения

Нормальная температура тела у новорожденных колеблется в пределах 36,5–37,5 °C, причём ректальные показатели выше аксиллярных и кожных [2]. Лихорадка диагностируется при повышении температуры выше 37,9 °C ректально [3], а гипотермия фиксируется при снижении ниже 36,5 °C [4−7]. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует поддерживать температуру тела новорожденного в пределах 36,5–37,5 °C, выделяя три степени гипотермии: лёгкую (36,0–36,4 °C), умеренную (32,0–35,9 °C) и тяжёлую (<32,0 ° C) [7]. Исходя из вышеуказанных фактов, можно сделать вывод, что термометры для новорожденных должны иметь рабочий диапазон от 30 до 42 °C с точностью около 0,1 °C, чтобы надёжно регистрировать как снижение, так и повышение температуры.

Изученные методы показали, что наилучшие результаты обеспечивает контактный способ измерения температуры, так как является более точным по сравнению с бесконтактными методами. На основании этих данных была разработана конструкция устройства, а также определены его основные технические характеристики (таблица 2).

Таблица 2

Технические характеристики устройства

Характеристика	Значение
Основная погрешность, %	1
Полоса частот полезного сигнала, Гц	1
Напряжение питающего аккумулятора, В	4,2
Рабочая частота микроконтроллера, МГц	2
Разрядность АЦП, бит	10
Период опроса датчика, с	5
Тип датчика температуры	NTC
Способ измерения температуры	Контактный
Условия эксплуатации	Нормальные

Структурная схема устройства (рис.1) выполнена в соответствии с заданными параметрами на основе результатов патентного поиска.

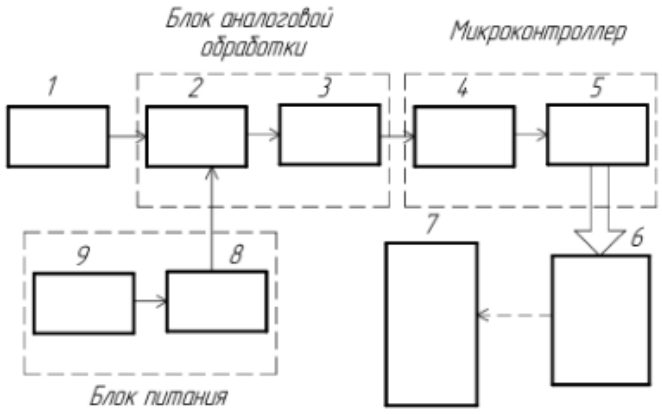


Рисунок 4. Структурная схема устройства.

Разработанная структурная схема включает в себя температурный датчик (NTC), блок питания, блок аналоговой обработки, который состоит из делителей напряжения и операционного усилителя, микроконтроллер, в составе которого находится АЦП и микропроцессор, Bluetooth-модуль и средство отображения информации.

Основной измерительный элемент в данной схеме – терморезистор (NTC-датчик), сопротивление которого изменяется в зависимости от температуры тела. Делители напряжения в данной схеме формируют выходное напряжение, зависящее от температуры терморезистора. Формируемое делителями напряжение отражает измеряемую температуру тела. Сигнал с делительного каскада усиливается операционным усилителем, это позволяет достичь более точных значений для последующего оцифровывания.

Далее сигнал поступает на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) микроконтроллера, который преобразует напряжение в цифровой код. Обработка данных, вычисление температуры и формирование выходной строки для передачи выполняются с помощью программы внутри микроконтроллера. Полученное значение температуры передается по UART в Bluetooth-модуль. Он обеспечивает надежную связь на расстоянии до 10м и легко интегрируется с мобильными устройствами. Далее сигнал по беспроводной связи поступает на внешний приемник – смартфон или планшет с установленным приложением-интерфейсом.

Выбор и расчет элементов носимого устройства. В качестве чувствительного элемента выбран NTC-термистор (Negative Temperature Coefficient) с номинальным сопротивлением 10 кОм при 25 °C (B3950). Выбор обусловлен следующими преимуществами:

– Высокая чувствительность.
– Компактные размеры (2,5×2,5×30 мм).
– Широкий диапазон рабочих температур (-40…+125 °C).
– Низкая стоимость и простота интеграции в аналоговые схемы.

Основным недостатком NTC-термисторов является нелинейная характеристика (Рис. 2).

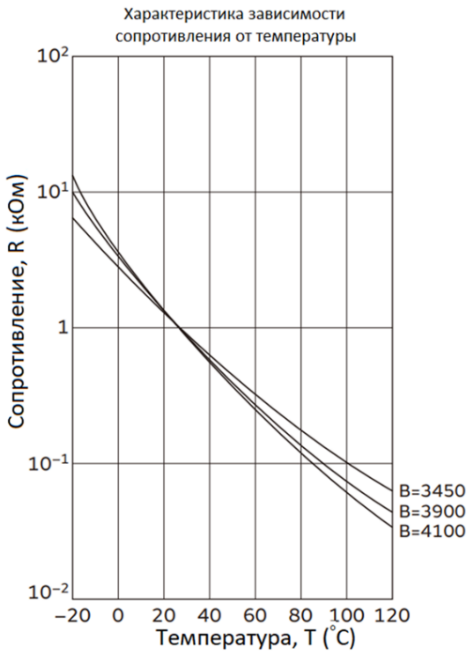


Рисунок 5. Характеристика зависимости сопротивления
от температуры NTC-термистора B3950

Для работы в узком медицинском диапазоне (32–42 °C) нелинейность была скомпенсирована схемотехнически за счет подбора номиналов резисторов в измерительном мосту и настроек операционного усилителя, что позволило выделить линейный участок преобразования «сопротивление–напряжение».

Расчет сопротивления термистора производился по формуле (1):

$$R(T) = R_0 \cdot e^{B\left(\frac{1}{T+273,15} - \frac{l}{T_0+273,15}\right)}, \quad (1)$$

где R_0=10 000 Ом – сопротивление при T_0=298.15 K;
B – температурный коэффициент =3950 K;
T – измеряемая температура в градусах Цельсия;
T_0 – температура калибровки в градусах Цельсия (25 °C).

Для диапазона 32–42 °C сопротивление термистора изменяется от 7379,26 Ом до 4893,63 Ом.

Расчет измерительной цепи. Измерительная цепь построена на основе моста Уитстона и операционного усилителя (ОУ) LMV358IDR, работающего в режиме дифференциального усилителя. Выбор данного ОУ обусловлен его способностью работать в режиме «rail-to-rail», низким энергопотреблением (0,21 мА) и возможностью работы от однополярного питания 3,3 В. Были рассчитаны и выбраны номиналы резисторов для обеспечения баланса моста и необходимого коэффициента усиления. Коэффициент усиления ОУ задается резисторами обратной связи и рассчитывается по формуле (2):

$$U_{вых} = \frac{R_{ОС}}{R_1}(U_{вх+} - U_{вх-}), \quad (2)$$

Для фильтрации помех в цепи установлены керамические конденсаторы номиналом 0,1 мкФ. Работоспособность и правильность расчетов измерительной цепи были подтверждены путем моделирования в среде Multisim (рис.3).

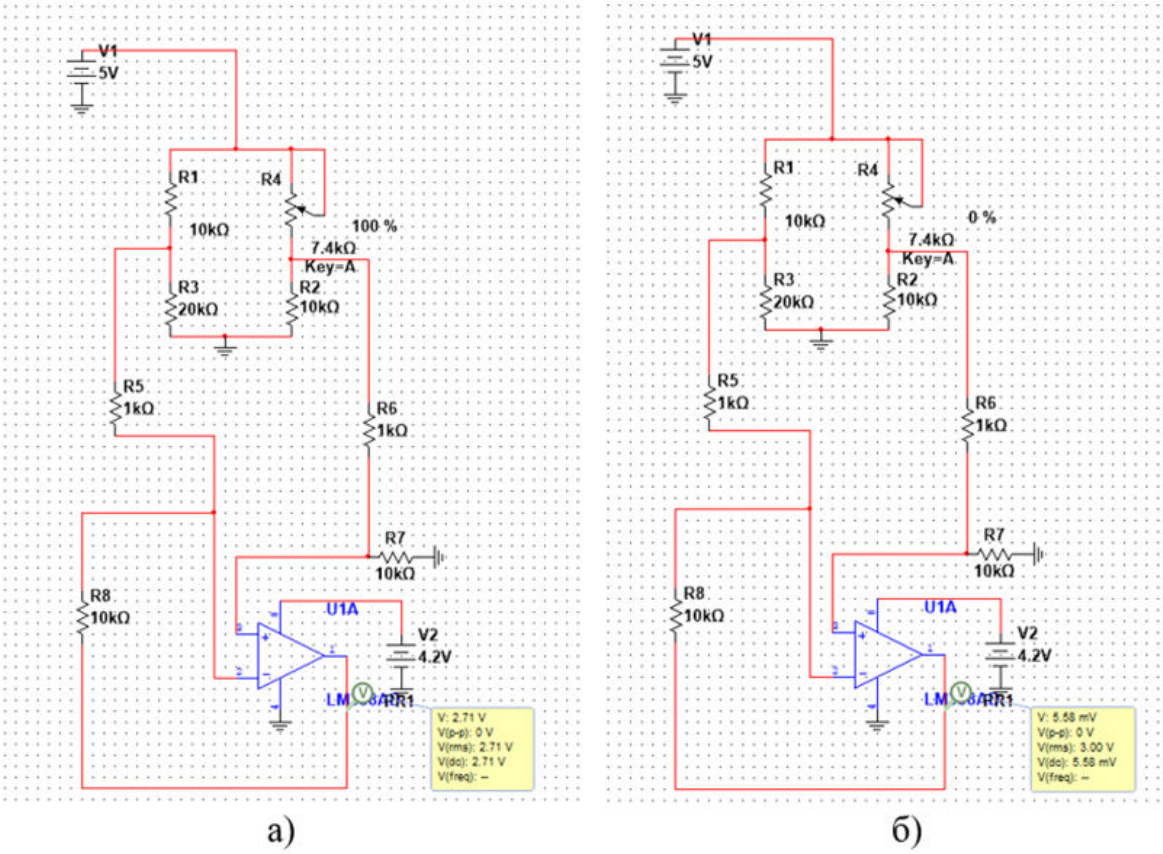


Рисунок 6. Проверка измерительной части устройства в программе Multisim.
3а) при минимальной температуре; 3б) проверка при максимальной температуре.

При моделировании было установлено, что выходное напряжение схемы изменяется от ≈ 0 В (при 32 °C) до 2,71 В (при 42 °C), что эффективно использует динамический диапазон АЦП микроконтроллера.

Выбор микроконтроллера и периферии. В качестве управляющего ядра выбран 32-битный микроконтроллер CH32V003F4P6 (архитектура RISC-V). Выбор обоснован следующими факторами:

- Наличие встроенного 10-битного АЦП, достаточного для заданной точности.
- Низкое энергопотребление.
- Наличие аппаратного UART для связи с Bluetooth-модулем.
- Малые габариты и стоимость.

Для беспроводной передачи данных выбран модуль HC-05, обеспечивающий надежную передачу на расстоянии до 10 метров и простую интеграцию через интерфейс UART на скорости 9600 бод.

Питание устройства осуществляется от литий-полимерного аккумулятора ёмкостью 300 мА·ч с номинальным напряжением 3,7 В. Напряжение стабилизируется до 3,3 В с помощью микросхемы AMS1117-3.3. Расчет энергопотребления показал, что средний ток системы составляет ≈17,2 мА, что обеспечивает автономную работу устройства до 12 часов.

На основе структурной схемы и выбора элементной базы была разработана электрическая принципиальная схема носимого устройства для непрерывного мониторинга и измерения температуры тела новорожденных (рис.4).

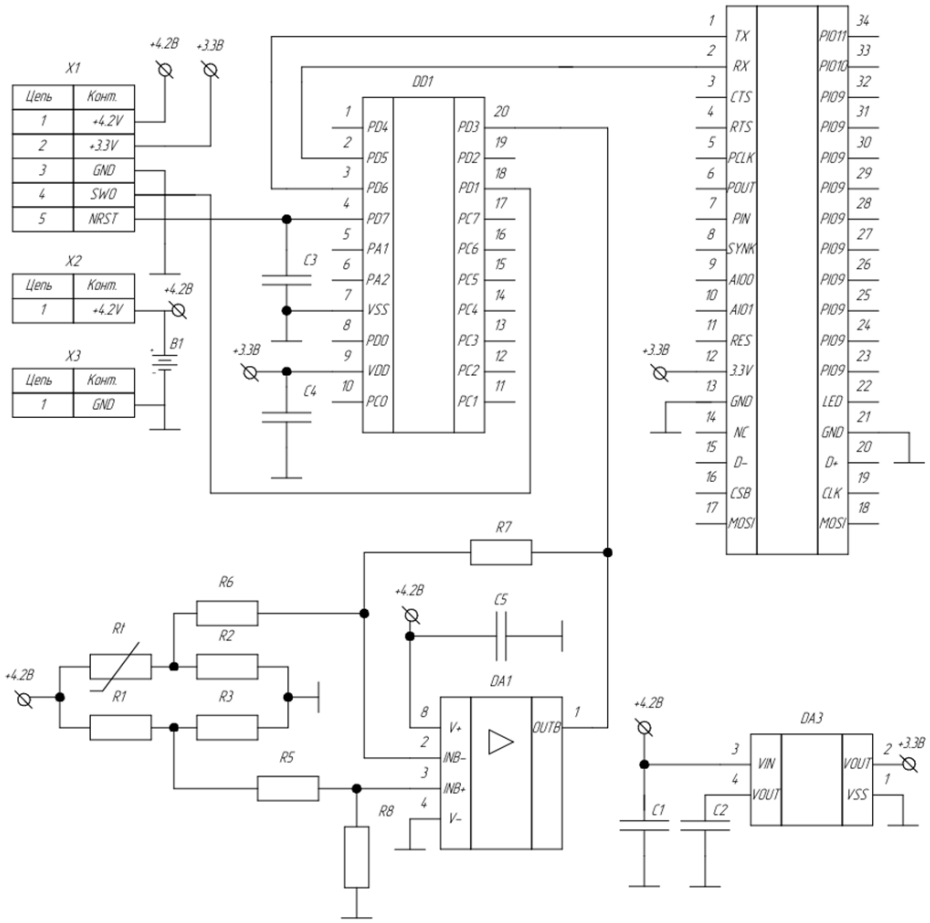


Рисунок 7. Электрическая принципиальная схема устройства.

В этой схеме используется микроконтроллер CH32V003F4P6 (DD1), который является основным управляющим элементом. Он собирает данные с аналогового датчика температуры, обрабатывает их и передаёт результат на смартфон по Bluetooth.

Схема питается от литиевого аккумулятора на 4,2 В, но так как микроконтроллер и модуль Bluetooth работают на 3,3 В, используется понижающий стабилизатор напряжения AMS1117-3.3 (DA3). Он понижает напряжение до нужного уровня, а конденсаторы C1 и C2 фильтруют помехи. Для измерения температуры используется терморезистор B3950 (Rt), который вместе с резисторами R1, R2, R3 и другими элементами образует мостовую схему. Она формирует аналоговый сигнал, зависящий от температуры. Этот сигнал усиливается с помощью операционного усилителя LMV358 (DA1). Усиление настраивается с помощью резисторов R5 и R8, а конденсатор C5 фильтрует высокочастотные шумы. Выход с операционного усилителя подаётся на вход АЦП микроконтроллера. АЦП, встроенный в микроконтроллер, преобразует аналоговый сигнал в цифровой, рассчитывает температуру и передаёт её на Bluetooth-модуль HC-05 (DA2).

После подачи питания начинается выполнение программы (рис.5). Сначала происходит инициализация микроконтроллера: настраиваются тактирование, порты ввода-вывода (GPIO), интерфейсы UART и АЦП, а также запускается системный таймер.

Затем производится настройка аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) на работу в фоновом режиме, что позволяет получать измерения без прерывания основного цикла. Параллельно каждые 5 миллисекунд выполняется считывание значений с АЦП и сохранение их в массив, предназначенный для вычисления скользящего среднего. Это позволяет сгладить шумы и получить более точные данные температуры.

Пока устройство работает, оно находится в режиме ожидания подключения пользовательского устройства (например, смартфона по Bluetooth). Если соединение не установлено – устройство продолжает ждать.

После установления синхронизации устройство вычисляет текущую температуру на основе усреднённого значения АЦП и передаёт данные на Bluetooth-модуль для дальнейшей передачи на смартфон. Передача данных продолжается в цикле до тех пор, пока соединение активно. В случае разрыва связи – система возвращается к ожиданию синхронизации. Таким образом, алгоритм обеспечивает непрерывное измерение, фильтрацию и передачу температуры с минимальной нагрузкой на процессор и высокой стабильностью.

В ходе исследования была составлена структурная схема устройства, определившая ключевые компоненты и взаимосвязи между ними.

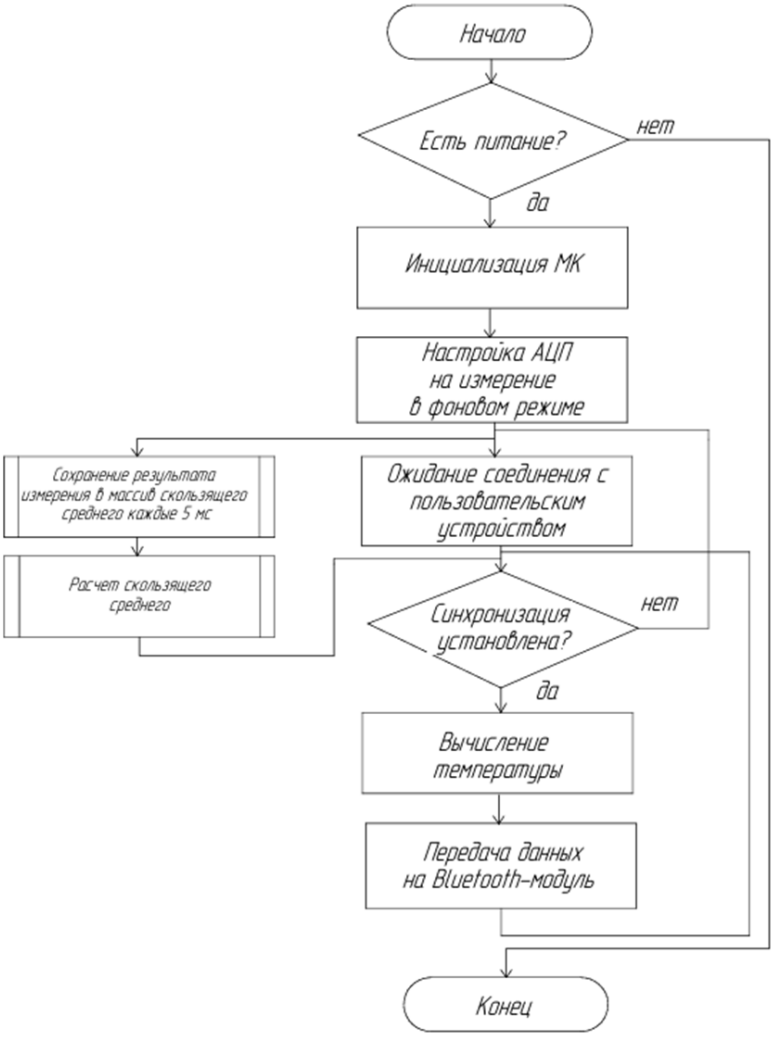


Рисунок 8. Блок-схема алгоритма работы устройства.

Проведен подбор основных элементов устройства, выполнены расчеты номиналов резисторов и коэффициента усиления. Разработана электрическая принципиальная схема, обеспечивающая стабильность и надежность измерений. Составлена блок-схема алгоритма работы устройства и создано программное обеспечение для обработки данных и взаимодействия с внешними устройствами. Проведенные этапы работы позволяют создать устройство, которое обеспечит удобный и надежный контроль температуры, повысив безопасность и эффективность ухода за новорожденными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Давлетова Г.А.* Носимые гибкие датчики температуры и их применение// Инженерная мысль: III Республиканская научно-практическая конференция, Казань, 28 ноября 2024 г. Сборник докладов / под ред. С.В. Смирновой. —Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2024. —С. 179-182. —ISBN 978-5-7579-2741-1

2. *Генне Н.А., Зайцева О.В.* Представления о механизмах лихорадки у детей и принципах жаропонижающей терапии // Российский медицинский журнал. –2003. –Т. 11, № 1. – С. 31–37.

3. *Бакрадзе, М.Д.* Острые лихорадочные синдромы у детей // Педиатрия. – 2021. – № 2. – С. 185-192.

4. *Costeloe, K., Hennessy, E., Gibson, A.T. et al.* The EPICure study: outcomes to discharge from hospital for infants born at the threshold of viability // Pediatrics. –2000. –Vol. 106. – P. 659–671.

5. *Billimoria Z., Chawla S., Bajaj M., Natarajan G.* Improving admission temperature in extremely low birth weight infants: a hospital-based multi-intervention quality improvement project // Journal of Perinatal Medicine. – 2013. – Vol. 41, № 3. – P. 289–293. – DOI: 10.1515/jpm-2012-0259. – URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23334053/. (дата обращения: 08.06.2025).

6. *Miller S.S., Lee H.C., Gould J.B.* Hypothermia in very low birth weight infants: distribution, risk factors and outcomes // Journal of Perinatology. – 2011. – Vol. 31, Suppl. – P.S49–S56. – DOI: 10.1038/jp.2010.183. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21448204/. (дата обращения: 05.07.2025).

7. World Health Organization. Thermal protection of the newborn: a practical guide. – Geneva: WHO, 1997.

DEVELOPMENT OF A WEARABLE DEVICE FOR MONITORING OF BODY TEMPERATURE OF NEWBORNS

Davletova G.A.

Supervisor: Tyurina M.M., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses the development of a miniature device for monitoring of the body temperature of newborns. Existing solutions are analyzed, structural and electrical diagrams are created, and an algorithm for the device's operation is developed. The results show the possibility of creating a simple, reliable, and safe device for continuous temperature control in infants.

УДК 004

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТОК РАЗЛИЧНОГО ТИПА

Дьяконов К.Г.

Научный руководитель: Павлычева Н.К., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Аннотация. Дифракционные решетки являются основным видом диспергирующих элементов современных спектральных приборов. Целью данной работы является исследование дифракционной эффективности различных типов дифракционных решеток

Нарезные решетки в ходе исследования показывали более высокие показатели дифракционной эффективности, чем аналогичные решетки, изготовленные голографическим методом

Введение

Дифракционные решетки представляют собой оптические элементы, которые находят широкое применение в различных областях науки и техники, в то числе и в таких как, спектроскопия, лазерные технологии [1]. Они играют важную роль в анализе световых волн, позволяя разделять их на составляющие длины волн, что делает их незаменимыми инструментами для исследований, связанных с взаимодействием света с веществом.

Под дифракционной эффективностью дифракционной решетки стоит понимать отношение лучистого потока длины волны λ, направляемого решеткой в главный максимум k-го порядка спектра, к лучистому потоку этой длины волны, падающему на решетку.

Целью данной работы является исследование дифракционной эффективности различных типов дифракционных решеток [2,3].

В работе был использован комплексный подход, включающий как теоретические, так и экспериментальные методы.

Такой подход позволит получить полное представление о характеристиках дифракционных решеток и их применении в различных областях.

В процессе проведения исследования дифракционной эффективности дифракционных решеток большое значение имеет оборудование, на котором проводятся измерения. Ввиду специфики конструкций решеток разного типа требуется различное оборудование для измерения дифракционной эффективности решеток плоского вида и вогнутого, а также необходимы различные приборы, для решеток, работающих на пропускание и отражение.

Методика эксперимента

В работе использовались установки РЭС-1 и РЭС-2 (распределение энергии по спектру) которые отличаются тем, что на РЭС-1 можно измерять дифракционные решетки размером от 20х20х10 до 170х170х25 мм, а на РЭС-2 от 100х100х20 до 320х220х40.

Установки РЭС-1(рис.1) и РЭС-2 (рис.2) состоят из оптического блока, монохроматора и автоколлимационной камеры, осветителя, усилителя измерительного канала, блока исследуемых дифракционных решеток, блока питания лампы.

Рисунок 1. Установка РЭС-1

Рисунок 2. Установка РЭС-2

Спектральная установка для измерения распределения энергии дифракционных решеток по спектру (РЭС) предназначена для измерения коэффициентов отражения плоских дифракционных решеток в ультрафиолетовой, видимой и ближней инфракрасной области спектра в диапазоне 200-2500 нм.

В основу измерений положен метод определения коэффициентов отражения дифракционной решетки путем сравнения монохроматических потоков, отраженных от исследуемой решетки и «эталонного» зеркала.

Установка предназначена для использования на предприятиях, изготавливающих дифракционные решетки и их копии.

Эксплуатация спектральной установки должна происходить в помещении при температуре окружающей среды в пределах + 15 ° до +30 °С, относительной влажности воздуха не более 80 %, напряжении 220±22 В, 50±0,5 Гц, атмосферном давлении 760±330 мм.рт.ст.

В основу измерения распределения энергии плоских дифракционных решеток по спектру положен метод определения коэффициентов отражения дифракционных решеток для монохроматических пучков. Коэффициент отражения ρ дифракционной решетки определяется отношением интенсивности монохроматического светового потока, дифрагированного решеткой, $I_{диф}$ к интенсивности светового потока той же длины волны, отраженного от зеркала $I_{зер}$ (1).

$$\rho = \frac{I_{\text{диф}}}{I_{\text{зер}}} \cdot 100\% \quad (1)$$

В работе установки коэффициент $\rho_{\text{реш}}$ определяется относительно «эталонного» зеркала, отражение которого принимается за 100 %.

Коэффициент отражения решеток измерялся на установке УКОР (установка для измерения коэффициентов отражения решеток, рис.3)

Рисунок 3. Установка УКОР

В основу работы установки УКОР положен принцип измерения отношения двух монохроматических световых потоков: потока, дифрагированного решеткой в рабочий порядок спектра, к потоку, отраженного от зеркала сравнения, имеющего тот же радиус кривизны поверхности и то же покрытие, что и исследуемая решетка.

Значение коэффициента отражения исследуемой решетки на заданной длине волны рассчитывается по формуле 2:

$$\rho_\lambda = \frac{\text{u}}{u_0} \cdot 100\% \quad (2)$$

Анализ полученных экспериментальных результатов

В рамках представленной работы было проведено исследование дифракционной эффективности более 30 различных решеток. Для описания и представления в данной работе были отобраны решетки разных типов с различными характеристиками.

В первую очередь были изучены решетки, работающие на пропускание, которые являются копиями друг друга, с целью выяснения качества копирования исходных решеток, а также оценки погрешности измерений.

В таблице 1 представлены измерения для 3 копий плоской нарезной прозрачной решетки, с апертурой 30х30 мм^2 и частотой штрихов на 1 мм = 100.

Таблица 1

Дифракционная эффективность решеток 30х30/130, работающих на пропускание

Плоская, нарезная, прозрачная решетка, 30х30/100											
λ, нм	900	950	1100	1200	1300	1500	1600	1700	1900	2300	2400
τ_1	27	37	60	67	71	67	62	57	47	30	27
τ_2	27	36	59	68	70	66	62	56	47	30	26
τ_3	26	36	60	66	71	66	62	56	46	29	26

В ходе анализа измеренных результатов было выявлено, что полученные кривые близки к теоретическим. Более того, значительные расхождения между копиями решеток из одной и той же серии отсутствуют, что может свидетельствовать о высокой точности копирования решеток, отсутствии дефектов, а также высокой точности измерений. А максимальная эффективность решетки достигается при длине волны равной 1300 нм. На рисунке 4 представлены полученные результаты измерений.

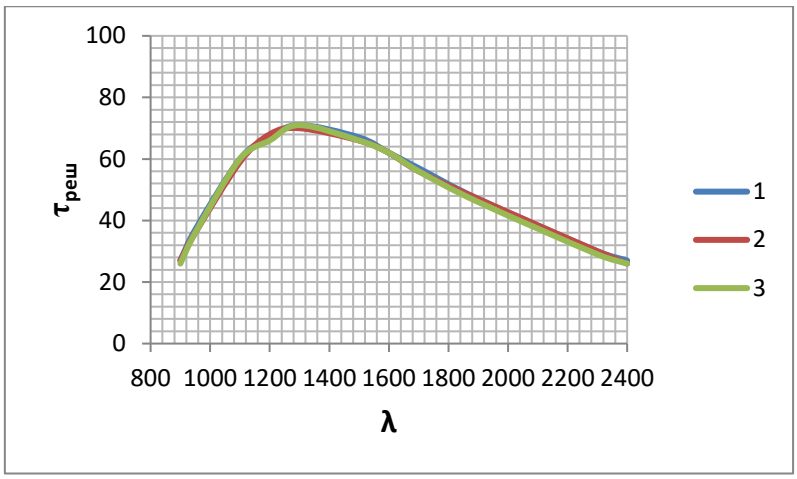


Рисунок 4. График зависимости коэффициента пропускания от длины волны для решеток 30x30/100, работающих на пропускание

Следующим объектом исследования были выбраны голограммные вогнутые решетки с симметричным профилем, которые имеют апертуру диаметром 20 мм, радиус кривизны 60 мм и частоту штрихов 1200 мм$^{-1}$.

В таблице 2 представлены измерения для 2 копий вогнутой голограммной отражательно решетки.

Таблица 2

Дифракционная эффективность для голограммных вогнутых решеток с симметричным профилем, которые имеют апертуру диаметром 20 мм, радиус кривизны 60 мм и частоту штрихов 1200 мм$^{-1}$

Голограммная, симметричный профиль, вогнутая R=60мм,D=20мм, N=1200мм$^{-1}$										
λ, нм	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
ρ_1	20	24	19	19	19	20	20	16	15	15
ρ_2	22	23	17	17	16	18	16	14	14	10

В процессе обработки результатов было выявлено, что дифракционная эффективность решетки №1 лучше, чем у решетки №2. Это означает, что в ходе копирования были произведены ошибки. Тем не менее, можно сразу сделать вывод о характерных особенностях распределения коэффициента пропускания дифракционной решетки по длине волны для голограммных решеток с симметричным профилем. У голограммных решеток наблюдается равномерное распределение коэффициента отражения без значительных падений по всей области рабочей длины волны. На рисунке 5 представлены полученные результаты измерений.

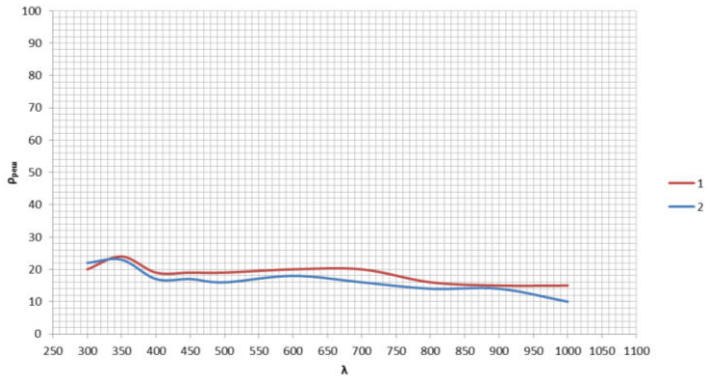


Рисунок 5. График зависимости коэффициента отражения от длины волны для голограммных вогнутых решеток с симметричным профилем, которые имеют апертуру диаметром 20 мм, радиус кривизны 60 мм и частоту штрихов 1200 мм$^{-1}$

Далее были исследованы 2 плоские дифракционные решетки с одинаковыми характеристиками, но созданные различными методами. То есть были сняты показания дифракционной эффективности решеток с апертурой 50х50, частотой штрихов 600 мм$^{-1}$ для длин волн от 1200 нм до 2100. Первая решетка является нарезной, а вторая голограммной с симметричным профилем. В таблице 3 представлены измеренные данные.

По полученным результатам можно заключить, что нарезные решетки обладают большими значениями дифракционной эффективности, однако, для нарезных решеток наблюдается сильная зависимость от длины волны, тогда как голографические решетки с симметричным профилем имеют незначительные изменения коэффициента отражения в зависимости от длины волны.

Таблица 3

Дифракционная эффективность для нарезной и голограммной решеток, которые имеют апертуру 50х50, частоту штрихов 600 мм$^{-1}$

Плоская 50х50/ 600										
λ, нм	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100
$\rho_{\text{Нарезная}}$	41	57	64	67	65	64	60	56	51	42
$\rho_{\text{голограммная}}$	24	27	29	29	31	30	30	28	26	26

На рисунке 6 представлены графики дифракционной эффективности.

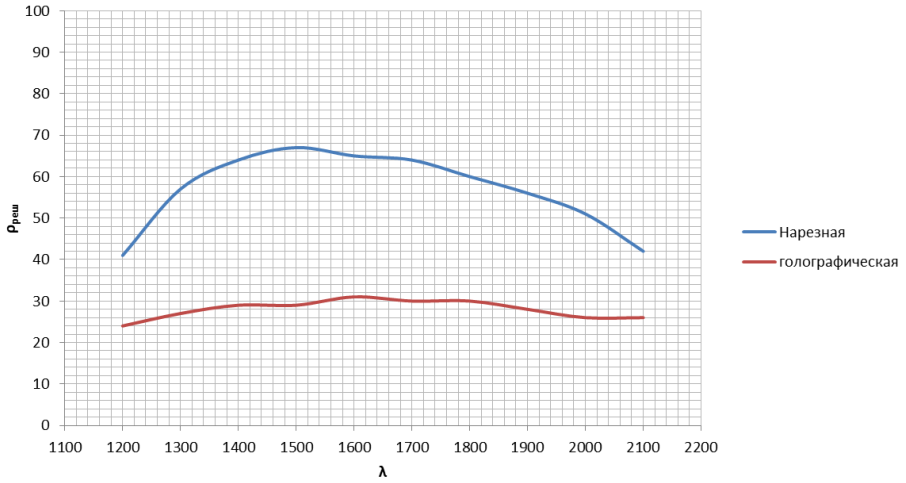


Рисунок 6. График зависимости коэффициента отражения от длины волны для плоской нарезной и плоской голограммной решетки, которые имеют апертуру 50Х50, частоту штрихов 600 мм$^{-1}$

Также были получены результаты измерений для 2 плоских дифракционных решеток с аналогичными характеристиками, изготовленных голографическим методом, однако, у одной решетки профиль является симметричным, а у другой профилированным. В таблице 4 представлены результаты измерений для 2 плоских дифракционных решеток с апертурой 60х50, частотой штрихов 1200 мм$^{-1}$.

Таблица 4

Дифракционная эффективность для голограммных решеток с симметричным и несимметричным профилем, которые имеют апертуру 50х50, частоту штрихов 600 мм$^{-1}$

Плоская 60х50/ 1200							
λ, нм	300	350	400	450	500	550	600
$\rho_{\text{профилированная}}$	17	32	51	69	73	70	66
$\rho_{\text{симметричная}}$	35	42	56	60	59	54	48

Из полученных данных видно, что профилированная решетка имеет большую максимальную эффективность, а также резкое падение эффективности по краям рабочей области решетки, в то время как симметричная решетка обладает меньшим максимум, но и падение по краям рабочего диапазона значительно ниже. На рисунке 7 представлены графики дифракционной эффективности.

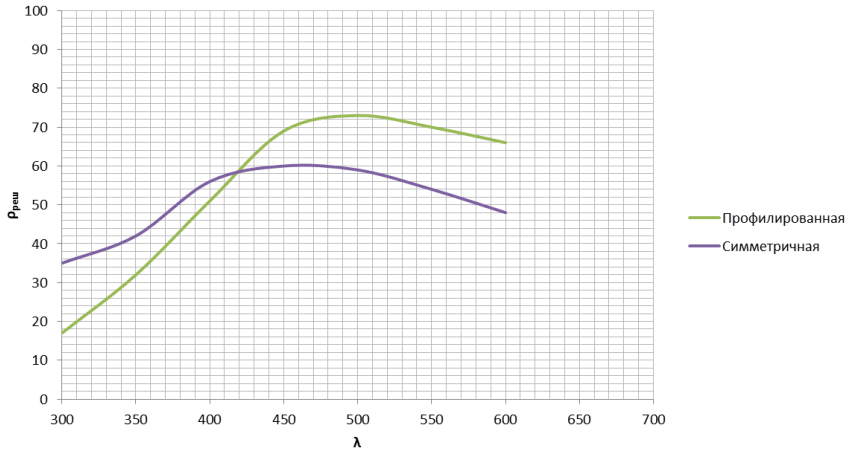


Рисунок 7. График зависимости коэффициента отражения от длины волны для плоской профилированной голограммной решетки и плоской симметричной голограммной решетки, которые имеют апертуру 60Х50, частоту штрихов 1200 мм$^{-1}$

Большой интерес представляют измерения дифракционной эффективности решетки-эшелле. В таблице 5 приведена дифракционная эффективность для 44 и 45 порядков решетки-эшелле с апертурой 300х200 и частотой штрихов в 75 мм$^{-1}$

Таблица 5

Дифракционная эффективность для 44 и 45 порядков решетки-эшелле

Решетка - эшелле № 1-2-3-58318							
λ, нм	530	535	540	545	550	555	560
ρ_{XLIII}	0	0	5	30	48	40	16
ρ_{XLIV}	15	42	46	26	7	0	0

В результате анализа полученных данных можно выявить, что для 43 порядка спектра максимальный коэффициент отражения достигается при длине волны равной 550 нм, в этом случае ρ_{XLIII}= 48%, а для 44 порядка длина волны = 540 нм и ρ_{XLIV} = 46%, соответственно. На рисунке 8 представлены графики дифракционной эффективности решетки-эшелле.

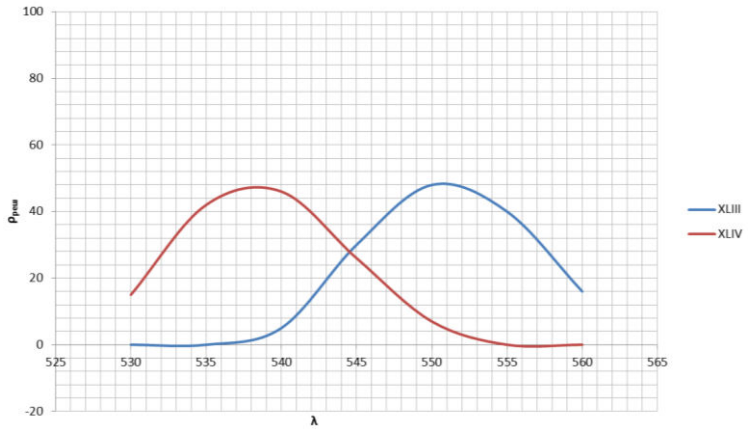


Рисунок 8. График зависимости коэффициента отражения от длины волны для 43 и 44 порядков решетки-эшелле, которая имеют апертуру 300х200, частоту штрихов 75 мм$^{-1}$.

Заключение

В рамках представленного исследования были изучены основы теории дифракционных решеток, описано оборудование для измерения дифракционной эффективности, а также приведены измерения дифракционной эффективности для дифракционных решеток различного типа.

В ходе исследования было выявлено, что копии исследованных дифракционных решеток имеют практические одинаковые показатели дифракционной эффективности по всему спектру. Однако, иногда наблюдаются незначительные отклонения, что может быть связано с погрешностями измерения и браком при изготовлении.

Нарезные решетки в ходе исследования показывали более высокие показатели дифракционной эффективности, чем аналогичные решетки, изготовленные голографическим методом, но решетки с симметричным профилем показывали меньшие перепады между показателями на наиболее эффективных длинах волн, нежели нарезные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кукушкин Д.Е., Сазоненко Д.А., Бахолдин А.В., Красавцев В.М.* Моделирование спектральных систем. Часть первая. СПб: Университет ИТМО, 2021. 99 с.

2. *Пейсахсон И.В*. Оптика спектральных приборов: Физика, оптика – М.: Книга по Требованию, 2013. 312 с.

3.*Павлычева Н.К.* Дифракционные решетки для спектральных приборов. Обзор // Оптический журнал. 2022. Т. 89. № 3. С. 28–41

DIFFRACTION EFFICIENCY OF DIFFRACTION GRATINGS OF VARIOUS TYPES

Diakonov K.G.

Scientific adviser: Pavlycheva N.K., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Diffraction gratings are the main type of dispersing elements in modern spectral instruments. The purpose of this work is to study the diffraction efficiency of different types of diffraction gratings. During the study, cut gratings showed higher diffraction efficiency than similar gratings made using the holographic method.

УДК 629.7.05

РАССМОТРЕНИЕ МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОПИЛОТА ТУ-214

Евтушенко Н.А.

Научный руководитель: Тимохович А.С. заведующий кафедры, к. п. н.

(Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск)

Аннотация. В современных условиях, как политических, так и экономических, в ближайшее время перед российским авиастроением стоит задача обеспечения транспортом авиаперевозок. На данный момент используются импортные узкофюзеляжные самолёты, но наше авиастроение ничуть не хуже. Мы хотим доказать это через модернизацию самолёта Ту-214, рассчитав целесообразность такого решения.

Введение

Самолет Ту-214 зарекомендовал себя как надежный и эффективный летательный аппарат. Увеличение числа заказов и масштабов эксплуатации Ту-214 свидетельствует о его востребованности среди авиаперевозчиков. Модернизация его автопилота позволит улучшить эксплуатационные характеристики самолета и обеспечить конкурентоспособность на рынке.

1. Модернизация Ту-214

Автопилот Курс-214[1] отличается не большими характеристиками в сравнении с зарубежными аналогами, а именно наличие оборудование, которое соответствует полной автоматической посадки без участия пилота. Так же в основе безопасности полетов находится автопилот, который может совершить полностью без участия пилота автоматизированную посадку в плохих условиях погоды или нештатной ситуации. Но на Ту-214 [2] был сделан уровень 2, который позволяет идти в автоматическом режиме до 30 метров, а потом летный экипаж должен идти в ручном режиме [5] для более быстрого получение сертификатов IKAO[3] и более быстрое введение в эксплуатацию. Поэтому мы предлагаем, добавить в вычислительную машину Ту-214 [2] алгоритм, который позволит самолет совершать полностью автоматизированную посадку и достичь автопилота 3 уровня.

Автопилот Курс-214 [1], который используется на самолете Ту-214 [2], имеет несколько проблем, которые могут привести к поломкам и авариям. Одной из самых является отсутствие полного автоматического пилотирования, которая помогает пилотом в сложных метеоусловиях. Добавляя дополнительный алгоритм к автопилоту Ту-214 [2] мы делаем синхронизацию систем, который позволяет комплексу работать с аэропортами, которые оборудованы системой автоматической посадки, а также поддерживать приемлемый уровень безопасность полетов. Сделанная нами система СИХ-214 позволяет идти самолету полностью в автоматическом режиме, но также при изучение системы автопилота Ту-214, было замечено, что для систем ВСС,ВСУП,ВСУТ,ВСС2 имеются по две резервной системе на одну систему, тем самым предлагаем СИХ-214 создать резервное систему СИХ-214-2, которая будет иметь те же функции и задачи, но в случаи какого-либо отказа, чтоб пилоты не шли по II категории ИКАО, будет активироваться резервная система СИХ-214-2, которая позволит пилотом совершить посадку в категории III ИКАО.

MCDU (Multi-Function Control Display Unit) - хранит информацию о маршруте, текущем положении, состоянии ILS (Instrument Landing System), видимости взлетно-посадочной полосы и доступности автоматической посадки [4].

2. Алгоритм Работы системы СИХ-214 и резервной системы СИХ-214-2

Этап 1 - Логика для запуска системы.

```
self.is_operational = True
print(f"{self.name} запущена.")
def sync(self):
if self.is_operational:
print(f"{self.name} синхронизирована.")
return f"{self.name} синхронизирована."
else:
print(f"{self.name} не работает, синхронизация невозможна.")
return f"{self.name} не работает."
class BackupSystem(System):
def __init__(self, name, main_system):
super().__init__(name)
self.main_system = main_system
def activate_backup(self):
if not self.main_system.is_operational:
self.start()
print(f"Резервная система {self.name} активирована.")
else:
print(f"Основная система {self.main_system.name} работает, резервная система не
активирована.")
class CentralComputer:
def __init__(self):
self.data = []
```

```
def receive_data(self, message):
self.data.append(message)
print(f"ЦВ получил данные: {message}")
```
Этап 2 - Инициализация систем.
```
zbd = System("ЗБД")
vss1 = System("ВСС1")
vss2 = System("ВСС2")
vsup = System("ВСУП")
vsut = System("ВСУТ")
pua = System("ПУА")
Инициализация резервных систем
backup_zbd = BackupSystem("Резервная ЗБД", zbd)
backup_vss1 = BackupSystem("Резервная ВСС1", vss1)
backup_vss2 = BackupSystem("Резервная ВСС2", vss2)
backup_vsup = BackupSystem("Резервная ВСУП", vsup)
backup_vsut = BackupSystem("Резервная ВСУТ", vsut)
backup_pua = BackupSystem("Резервная ПУА", pua)
```
Этап 3 - Инициализация центрального вычислителя.
```
central_computer = CentralComputer()
Запуск всех систем
zbd.start()
vss1.start()
vss2.start()
vsup.start()
vsut.start()
pua.start()
Проверка работы резервных систем
backup_zbd.activate_backup()
backup_vss1.activate_backup()
backup_vss2.activate_backup()
backup_vsup.activate_backup()
backup_vsut.activate_backup()
backup_pua.activate_backup()
```
Этап 4 - Синхронизация систем
```
def synchronize_systems():
if zbd.is_operational:
print("Начинаем синхронизацию систем...")
messages = []
messages.append(vss1.sync())
messages.append(vss2.sync())
messages.append(vsup.sync())
messages.append(vsut.sync())
messages.append(pua.sync())
```
Этап 5 - Передача данных в центральный вычислитель
```
for message in messages:
central_computer.receive_data(message)
print("Синхронизация завершена.")
else:
print("Ошибка: ЗБД не работает, синхронизация невозможна.")
backup_zbd.activate_backup()
if backup_zbd.is_operational:
print("Начинаем синхронизацию с резервной системой...")
```

```
messages = []
messages.append(backup_vss1.sync())
messages.append(backup_vss2.sync())
messages.append(backup_vsup.sync())
messages.append(backup_vsut.sync())
messages.append(backup_pua.sync())
for message in messages:
central_computer.receive_data(message)
print ("Синхронизация с резервной системой завершена.")
```

Выполняется посадка. Если все условия (высота, скорость, состояние шасси и видимость полосы) выполнены, посадка считается успешной. Также в случаи отказа системы СИХ-214, активируется представленная нами резервная система СИХ-214-2, которая позволит пилотам совершить полностью автоматизированную посадку.

Заключение

Предложенная модернизация представляет собой простую модель автоматической посадки воздушного судна, демонстрируя основные этапы и логику, которые могут быть использованы в реальных системах управления полетом. Предложив вариант модернизации, мы предполагаем уменьшение числа отказов и неисправностей. Сравнивая стоимость воздушного судна и автопилота, можно прийти к выводу, что, устанавливая дополнительный алгоритм мы увеличиваем стоимость производства самолета на 1,25 млн долл.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Объединенная авиастроительная корпорация *(*ОАК*).* [Электронный ресурс]. URL: https://uacrussia.ru/ru/ (дата обращения: 09.09.2024).

2. АО Туполев [Электронный ресурс]. URL: https://www.tupolev.ru (дата обращения: 09.9.2024).

3. IKAO The International Civil Aviation Organization [Электронный ресурс]. URL: https://www.icao.int (дата обращения: 10.09.2024).

4. The Boeing Company. [Электронный ресурс]. URL: https://www.boeing.com (дата обращения: 10.09.2024).

5. Агенство Воздушного Транспорта. [Электронный ресурс]. URL: https://favt.gov.ru (дата обращения: 09.09.2024).

REVIEW OF THE TU-214 AUTOPILOT UPGRADE

Evtushenko N.A.

Supervisor: Timokhovich A.S., Head of the Department, Candidate of Pedagogic Sciences.

(Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk)

Abstract. In the current conditions, both political and economic, in the near future the Russian aircraft industry faces the task of providing air transportation with transport. At the moment, imported narrow-body aircraft are used, but our aircraft industry is no worse. We want to prove this by upgrading the Tu-214 aircraft, calculating the feasibility of such a solution.

УДК 535

ПЕРЕРАСЧЁТ И ОПТИМИЗАЦИЯ ОБЪЕКТИВА DOUBLE GAUSS ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ РОССИЙСКИХ МАРОК ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА

Ершова Е.В., Хазов Д.В.

Научный руководитель: Павлычева Н.К., д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Рассматривается комплексный подход к перерасчёту и оптимизации классического объектива типа Double Gauss с использованием отечественного оптического стекла. Исследование включает поэтапную оптимизацию оптических характеристик материала, последующую корректировку конструктивных параметров объектива и анализ полученных результатов.

Оптическая система является ключевым элементом любого оптического прибора. При проектировании объективов особое внимание уделяется выбору оптических материалов, которые определяют основные характеристики системы [1]. В современных условиях актуальной задачей является адаптация зарубежных оптических систем под отечественные стандарты.

Внимание следует уделить техническим характеристикам стёкол, поскольку именно они определяют возможности адаптации зарубежных систем под отечественные условия производства и эксплуатации.

К техническим характеристикам оптического стекла относятся: показатель преломления, средняя дисперсия, коэффициент дисперсии, коэффициент пропускания, оптическая однородность, двойное лучепреломление, бессвильность, пузырность и включения. Однако в рамках данной статьи детальное рассмотрение будет посвящено наиболее значимым характеристикам, определяющим основные оптические свойства материалов: показателю преломления и коэффициенту дисперсии.

Основным показателем преломления оптического стекла является показатель преломления n для длины волны 546,07 нм (спектральная линия ртути), расположенной в зеленой части спектра вблизи области максимальной чувствительности глаза человека [2].

Показатели преломления изменяются в зависимости от длины волны непрерывно и плавно.

Дисперсионные свойства стекла в видимой области спектра характеризуются величиной средней дисперсии, определяемой как разность показателей преломления $n_{F'} - n_{C'}$ для длин волн 480 и 643,8 нм. Для других областей спектра средняя дисперсия определяется как разность показателей преломления для крайних длин волн рабочего спектрального диапазона, например: $n_i - n_g$. В общем случае средняя дисперсия определяется как $n_{\lambda 1} - n_{\lambda 2}$, где $n_{\lambda 1}$ – показатель преломления для коротковолнового края диапазона; $n_{\lambda 2}$ – показатель преломления для длинноволнового края диапазона [2].

Для характеристики дисперсионных свойств стекла используют также коэффициент дисперсии, которым называют следующую величину:

$$\nu = \frac{n_{\lambda 0} - 1}{n_{\lambda 1} - n_{\lambda 2}} \ ,$$

где $n_{\lambda 0}$ – показатель преломления для основной длины волны, расположенной внутри диапазона, для которого рассчитывается оптическая система.

Поскольку показатель преломления и коэффициент дисперсии являются определяющими характеристиками оптических свойств стекла, логично рассмотреть разработанную в отечественной промышленности систему маркировок, где каждая разновидность стекла получает уникальное обозначение, полностью отражающее его основные оптические параметры.

Согласно ГОСТ Р 71465—2024 используются следующие обозначения марок стекол:

Таблица 1

Система обозначений оптических бесцветных стекол по ГОСТ Р 71465—2024

ЛК	Легкий крон	КФ	Кронфлинт
ФК	Фосфатный крон	БФ	Баритовый флинт
ТФК	Тяжелый фосфат крон	ТБФ	Тяжелый баритовый флинт
К	Крон	ЛФ	Легкий флинт
БК	Баритовый крон	Ф	Флинт
ТК	Тяжелый крон	ТФ	Тяжелый флинт
СТК	Сверхтяжелый крон	СТФ	Сверхтяжелый флинт
ОК	Особый крон	ОФ	Особый флинт

Флинты имеют большее значение показателя преломления n_e и меньшее значение коэффициента дисперсии ν_e, чем кроны, что достигается введением оксидов кремния, свинца и калия. Некоторые марки флинтов содержат диоксид титана.

Для оптимизации процесса выбора типов и марок стекла при расчете оптических систем пользуются диаграммой Аббе, которая представляет зависимость показателя преломления и коэффициента дисперсии $n_e = f(\nu_e)$ для различных марок стекол [2].

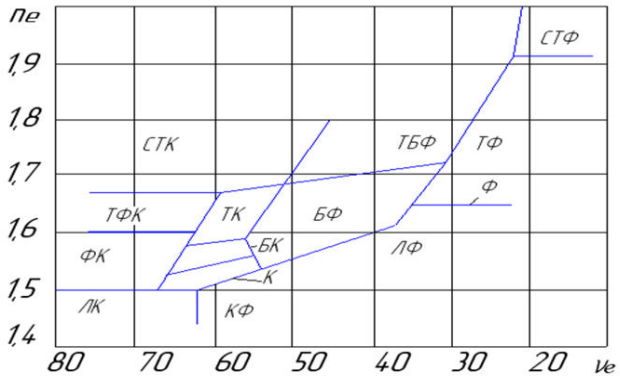


Рис.1. Диаграмма Аббе

Отличительной чертой отечественных оптических материалов является тщательно проработанная система классификации, где каждая марка имеет уникальные показатели преломления, дисперсии и других важных параметров.

Технологические особенности отечественного производства гарантируют стабильное качество продукции и соответствие установленным стандартам, что подтверждается многолетним опытом использования оптических стёкол в различных приборах и системах.

Полученные знания об основных технических характеристиках оптических стёкол и системы их маркировки позволили сформировать необходимую теоретическую базу для последующего проектирования оптической системы, обеспечив понимание свойств материалов и их возможностей в практическом применении.

Проектирование объектива типа Double Gauss в программном комплексе Zemax представляет собой многоэтапный процесс. Начальный этап проектирования включает формирование базовой структуры системы, которая традиционно состоит из симметричных компонентов относительно апертурной диафрагмы (рис.2).

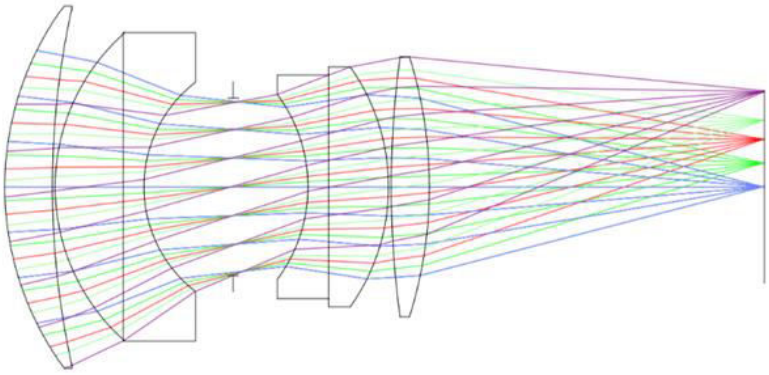


Рис.2. Оптическая схема объектива Double Gauss с ходом лучей

Первоочередной задачей является настройка основных параметров системы. В диалоговом окне General задаются единицы измерения, параметры входного зрачка, угловое поле зрения и спектральный диапазон.

При создании структуры объектива в редакторе Lens Data Editor последовательно вводятся параметры каждой поверхности: радиусы кривизны, толщины элементов, показатели преломления и дисперсионные характеристики материалов. Начальные конструктивные параметры объектива указаны в таблице 2:

Таблица 2

Конструктивные параметры объектива типа Double Gauss

Радиус	Толщина	Стекло
Бесконечность	Бесконечность	–
56,202	8,750	N-SSK2
152,286	0,5	–
37,683	12,5	N-SK2
Бесконечность	3,8	F5
24,231	16,369	–
Бесконечность	13,748	–
-28,377	3,8	F5
Бесконечность	11,0	N-SK16
-37,925	0,5	–
177,412	7,0	N-SK16
-79,411	61,490	–
Бесконечность	–	–

Объектив характеризуется комплексом важных характеристик (табл.3), которые определяют его функциональные возможности и качество изображения.

Таблица 3

Основные характеристики объектива типа Double Gauss

Наименование основных характеристик системы	Численное значение
Фокусное расстояние	100,004 мм
Диаметр входного зрачка	50 мм
Максимальный размер поля	±10 градусов
Диафрагменное число	2

Качество объектива оценивается посредством комплексного анализа различных метрик. Ключевым инструментом является изучение диаграммы рассеяния точек (SpotDiagram) (рис.3), позволяющей оценить аберрации. Функция передачи модуляции (MTF Curve) (рис.4) — инструмент для оценки разрешающей способности. Даёт возможность:

измерить контрастную передачу, оценить разрешение системы, проанализировать зависимость от частоты, отследить влияние аберраций, сравнить разные конфигурации.

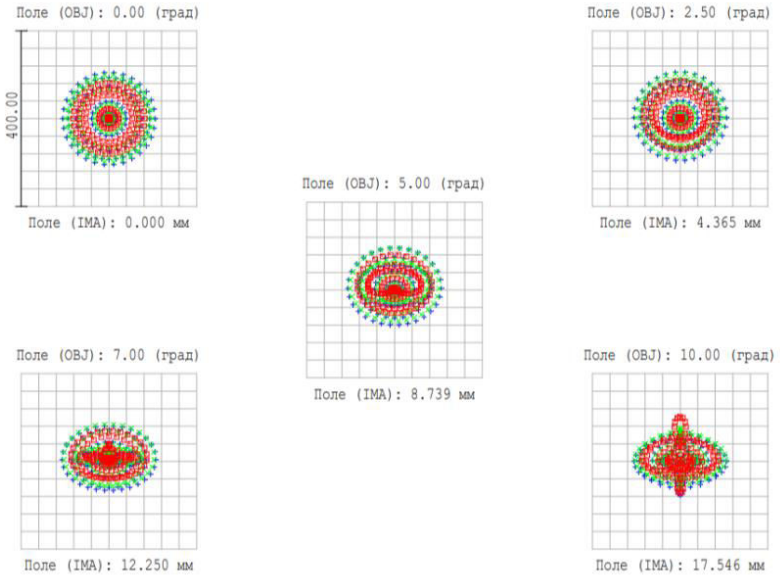


Рис.3. Диаграммы пятен рассеяния исходной оптической системы.

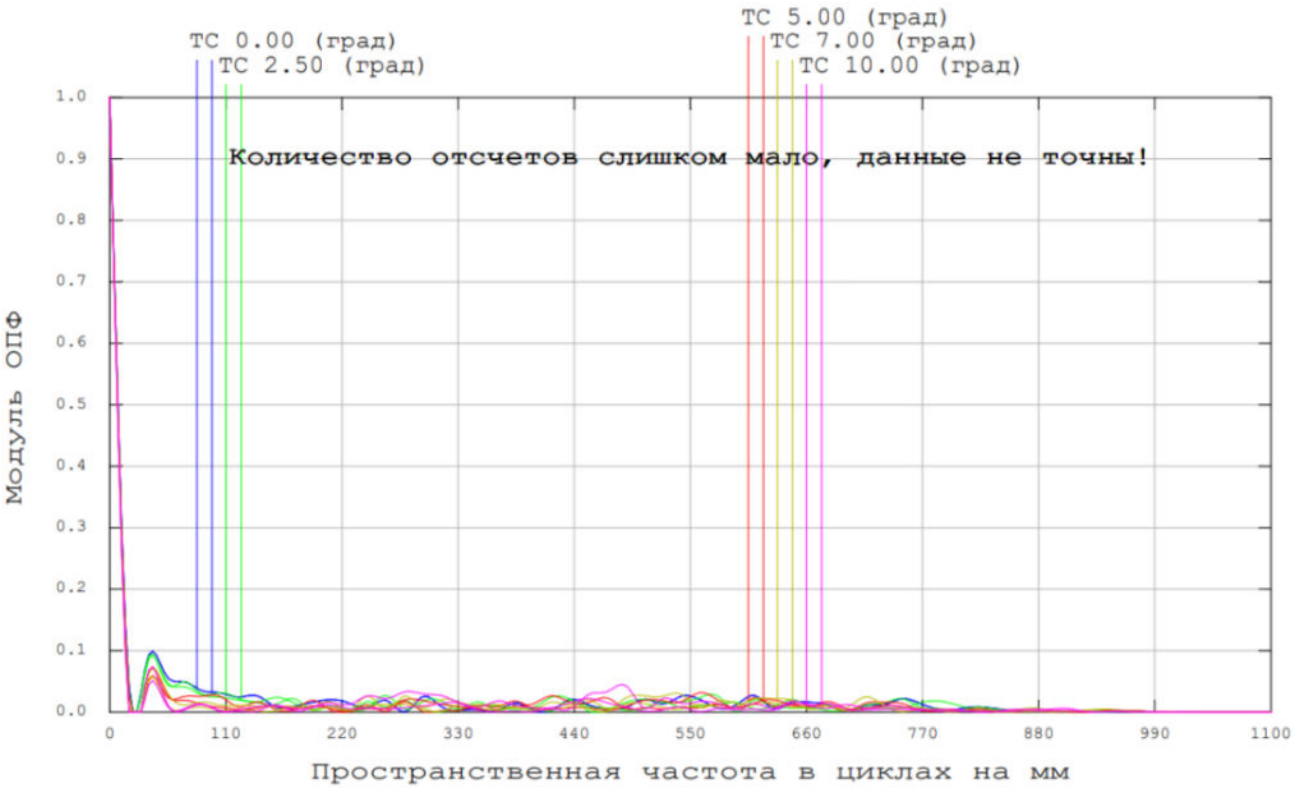


Рис.4. График модуляционной передаточной функции исходной оптической системы.

Процесс модернизации оптической системы Double Gauss в среде Zemax представляет собой комплексную процедуру адаптации, начинающуюся с детального анализа исходной конфигурации. На первом этапе создаётся точная копия исходной системы с полным документированием всех параметров элементов и используемых материалов для последующего сравнения результатов.

Ключевым моментом является замена зарубежных оптических материалов на российские аналоги. Zemax осуществляет подбор стёкол, анализируя целый комплекс параметров: показатель преломления, число Аббе, коэффициенты дисперсии, спектральное

пропускание, а также механические характеристики материалов [5]. Программа автоматически сравнивает свойства доступных в российском каталоге стёкол с исходными материалами, выбирая наиболее подходящие по совокупности параметров.

После замены материалов начинается этап оптимизации системы, в ходе которого Zemax анализирует влияние новых материалов на ключевые характеристики объектива. Оптимизационный процесс включает корректировку геометрических параметров элементов, относительных отверстий и положения компонентов системы. Программа стремится минимизировать аберрации и улучшить качество изображения, отслеживая такие показатели, как среднеквадратичное отклонение, размер пятна рассеяния и модульная передаточная функция.

Особое внимание уделяется сохранению исходных характеристик системы при адаптации к новым материалам. Zemax контролирует фокусное расстояние, диаметр входного зрачка и другие основные характеристики, предотвращая их существенные отклонения от заданных значений. При этом учитываются как оптические, так и механические свойства материалов, включая плотность и коэффициент теплового расширения.

После первичной оптимизации произведен детальный анализ результатов с использованием инструментов визуализации: диаграмм рассеяния, графиков MTF и карт аберраций. Проведенный анализ выявил снижение качества изображения. Процесс оптимизации был повторён с корректировкой весовых коэффициентов и ограничений до достижения требуемых характеристик.

Результатом данного процесса становится адаптированная оптическая система Double Gauss, реализованная с использованием отечественных материалов и обеспечивающая требуемое качество изображения при сохранении или улучшении исходных характеристик (табл. 4).

Таблица 4

Конструктивные параметры оптимизированного объектива типа Double Gauss

Радиус	Толщина	Стекло
Бесконечность	Бесконечность	–
56,692	10,0	СТК19
202,106	0,5	–
38,136	13,406	БК4
Бесконечность	3,8	ТФ1
24,231	16,369	–
Бесконечность	13,748	–
-28,377	3,8	ЛФ9
Бесконечность	8,766	ТК9
-34,555	0,5	–
113,685	10,0	ТК2
-102,390	53,521	–
Бесконечность	–	–

Сравнительный анализ исходного и оптимизированного вариантов оптической системы убедительно подтверждает эффективность проведённого перерасчёта и оптимизации. Ключевыми показателями успеха стали улучшенные характеристики качества изображения при сохранении исходных проектных параметров.

Исследование модуляционной передаточной функции (MTF) выявило значительное повышение контрастных характеристик системы во всём диапазоне пространственных частот. Оптимизированная версия (рис.5) демонстрирует более высокие значения MTF при сохранении требуемого уровня разрешения, что свидетельствует об эффективном подавлении аберраций и улучшении однородности изображения.

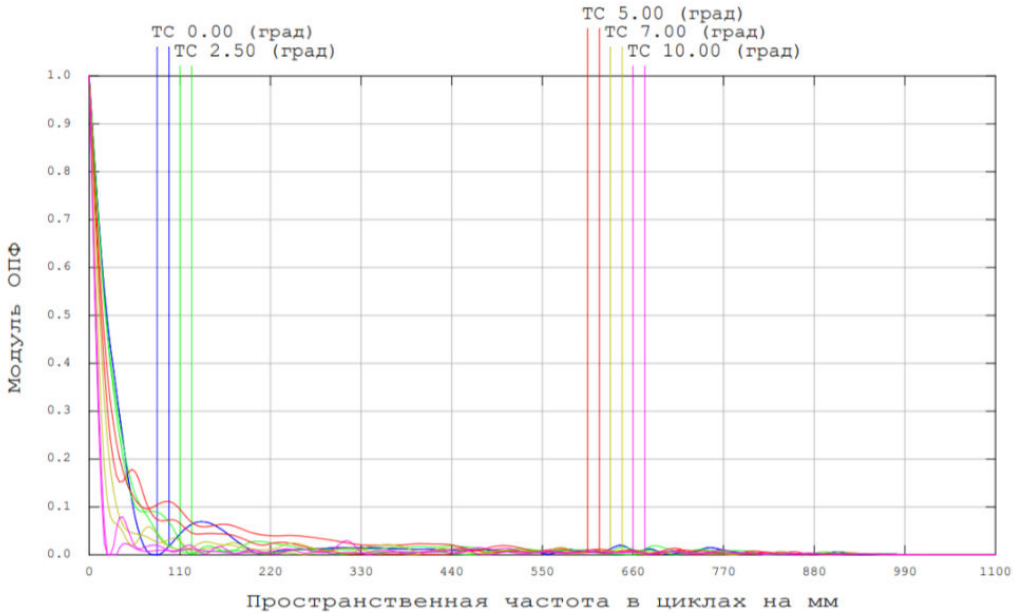


Рис.5. График модуляционной передаточной функции оптимизированного объектива.

Данные spot-диаграмм (рис.6) наглядно показывают существенное улучшение размера пятна рассеяния, что напрямую связано с повышением разрешающей способности объектива. Оптимизированная система демонстрирует заметно лучшие показатели как в осевой, так и в наугольной зонах поля зрения.

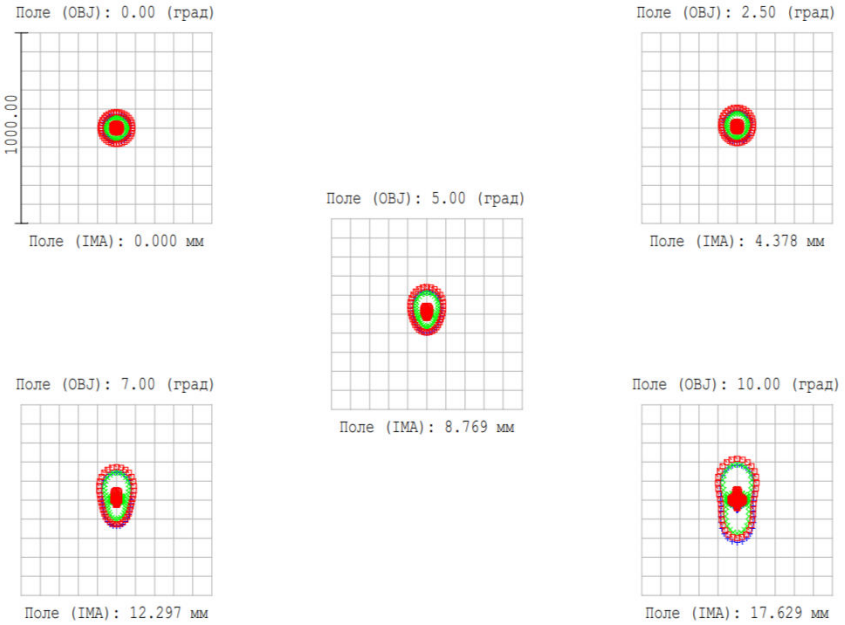


Рис.6. Диаграммы пятен рассеяния оптимизированной оптической системы.

Сохранение основных характеристик (табл.5) в заданных пределах подтверждает корректность проведённой оптимизации. При этом наблюдается значительное улучшение качества изображения.

Таблица 5

Основные характеристики оптимизированного объектива типа Double Gauss

Наименование основных характеристик системы	Численное значение
Фокусное расстояние	100,3 мм
Диаметр входного зрачка	50 мм
Максимальный размер поля	±10 градусов
Диафрагменное число	2

Таким образом, проведённая модернизация оптической системы в среде Zemax с использованием российских оптических материалов позволила не только сохранить, но и существенно улучшить ключевые характеристики объектива, что делает оптимизированную версию более конкурентоспособной с точки зрения, как качества изображения, так и производственной реализуемости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Заказнов Н.П*. Прикладная оптика. — М.: Машиностроение, 2002. — 400 с.

2. *Беляков Ю.М., Гайнутдинов И.С., Лукин А.В., Мельников А.Н., Насыров З.А., Павлычева Н.К., Прихин Ю.А.* Оптические материалы и технологии: Учебное пособие / Под общ. редакцией докт. техн. наук Н.К. Павлычевой. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2008. 484 с.

3. ГОСТ Р 71465-2024 Оптика и фотоника. Материалы оптические. Система обозначений Текст: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: введен 01.09.2025 / Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — М.: Стандартинформ, 2024. — (Серия “Оптика и фотоника”).

4. *Zhang, H.* Three-dimensional polarization ray tracing calculus for partially polarized light / H. Zhang, Y. Li, C. Yan, J. Zhang // Optics Express. — 2017. — Vol. 25, № 22. — P. 26973.

5. Руководство пользователя Zemax Optic Studio 2023 / Zemax LLC. — Bellevue, WA: Zemax, 2023. — Раздел 4.3: Material Selection and Analysis. — 896 с.

RECALCULATION AND OPTIMIZATION OF THE DOUBLE GAUSS LENS FOR THE USE OF RUSSIAN BRANDS OF OPTICAL GLASS

Yershova E.V., Khazov D.V.

Supervisor: Pavlycheva N.K., Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. An integrated approach to recalculation and optimization of a classic Double Gauss lens using domestic optical glass is considered. The study includes a step-by-step optimization of the optical characteristics of the material, subsequent adjustment of the lens design parameters and analysis of the results obtained.

УДК 681.121+519.246.8

ПРОГНОЗНАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ РАСХОДА НА ОСНОВЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Естерекова К.С.

Научный руководитель: Сойко А.И., к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается подход к повышению точности измерений при минимальных расходах путем анализа временного ряда и выбором подходящей прогностической модели на основе результатов исследований массового расходомера. При минимальном расходе наблюдается чувствительность к шумам и сложность учета всех значений. Установлено, что применение модели ARIMA позволяет стабилизировать корректирующие параметры при демонстрации данного подхода при наименьшем расходе в процессе эксплуатации средства измерения, когда традиционные методы контроля оказываются недостаточными.

Обеспечение высокой точности измерений было и остается одной из ключевых задач в области метрологии. Несвоевременный учет отклонений может привести к недостоверным результатам измерений, повлиять на интерпретацию данных и принятие решений на их основе. Особой проблемой является трудность учета при минимальном уровне расхода, предполагается, что данный участок чувствителен к первым проявлениям изменений метрологических характеристик. Традиционные подходы не позволяют вовремя выявлять отклонения метрологических характеристик в процессе эксплуатации средства измерения, что влияет на метрологическую надежность прибора. В связи с этим возрастает потребность в методах позволяющих повысить точность измерений за счет обработки и анализа существующих данных. Требуется подход, обеспечивающий выявление скрытых тенденций и отклонений в данных, прогнозирование изменений в будущем.

В данной работе используется анализ временных рядов, позволяющий выявлять отклонения, шумы, тренды, основываясь на данных ресурсных испытаний конкретного средства измерения и условиях эксплуатации. Анализ временных рядов предоставляется возможность прогнозирования изменения метрологических характеристик, отслеживать и выявлять отклонения по мере их появления.

Проблема, рассматриваемая в данной работе, заключается в сложности получения достоверных результатов при минимальном расходе из-за трудности считывания отклонений и слабого сигнала датчиков.

Целью работы является разработка модели прогнозирования погрешности измерения расхода на основе временных рядов.

При минимальном расходе возникает ряд ограничений, такие как:

- датчики не регистрируют малые изменения достоверно, что приводит к пропускам изменений;
- сигнал чувствительного элемента слабеет, в то время как шумовая составляющая находится примерно в том же уровне, что приводит к недостоверным данным, затруднению интерпретации информации и повышению нестабильности измерений;
- возрастает относительная погрешность, поскольку уровень шума сопоставим с сигналом;
- существующие установки рассчитаны на большие значения расхода.

Таким образом, при минимальных расходах даже небольшое отклонение составляет большую часть сигнала и ведет к существенным последствиям. Также тяжело учесть реальные изменения, отделить шум и распознать сигнал. Игнорирование наименьших отклонений приводит к снижению точности, возможности пропуска начала изменения, пропуску случайных отклонений, позднему обнаружению неисправностей. Небольшое отклонение сигнала уже указывает на внутренние изменения в системе. Игнорируя все это снижается точность измерений за счет роста погрешностей. Для минимизации колебаний необходимо учитывать и рассматривать временную динамику сигналов, то есть рассматривать наблюдения как временной ряд.

Использование временных рядов позволяет рассматривать существующие данные как последовательность наблюдений с внутренней структурой. Данный подход позволяет обнаруживать закономерности, тренды, шум, скрытые и случайные отклонения, что влияет на стабильность процесса. Игнорирование отклонений при минимальных расходах может привести к существенным ошибкам. При минимальных уровнях возрастает влияние шумов, внешних помех, внутренних нестабильностей.

Для повышения точности измерений при наименьших расходах используется алгоритм выбора статистической модели прогнозирования метрологических характеристик, представленный в работе [1].

В качестве метрологической характеристики выбрано SMF из действующей методики поверки [2], характеризующийся как среднее квадратичное отклонение результатов определений коэффициентов коррекций для точек расхода в рабочем диапазоне. Данный показатель является подходящим для анализа, поскольку он:

1) способен отражать нестабильность измерений при минимальном расходе, когда сигнал ослаблен;

2) позволяет определить стабильность коррекции при повторных измерениях в одинаковых условиях эксплуатации прибора;

3) учитывает влияние различных случайных факторов;

4) имеет возможность количественной оценки.

Исходными данными являются результаты исследований массового расходомера Promass 83 за период с 2015 по 2023 гг. В качестве минимально расхода принято значение 5 т/ч, как наиболее встречающийся среди исходных данных. Всего наблюдений 156, что является достаточным для построения модели и оценки результатов.

Одним из этапов алгоритма является анализ временного ряда, когда ряд раскладывается на компоненты. Компонентами временного ряда являются: тренд, сезонность, распределение белого шума [3]. Тренд представляет собой долговременную тенденцию изменения метрологической характеристики, позволяет выявить направленность изменений, фиксируя повышение или снижение значений. Сезонность представляет собой периодические колебания через разные промежутки времени. Распределение белого шума представляет собой остатки. Остатки являются случайными, не систематическими, их наличие говорит об адекватности модели. Исходный ряд и графики компонентов временного ряда по переменной SMF для расхода 5 т/ч представлены на рисунке 1.

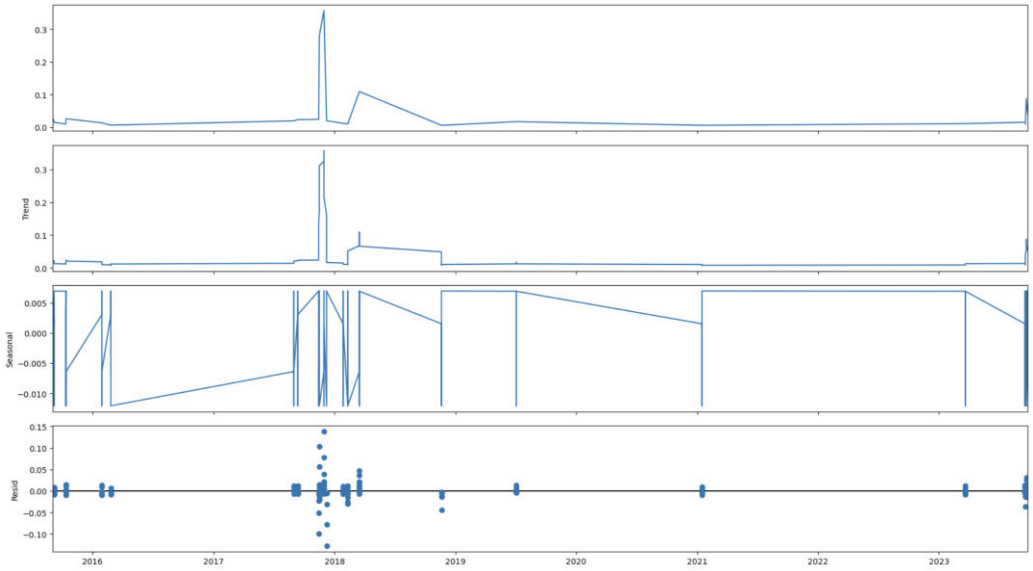


Рисунок 1. Компоненты временного ряда по переменой SMF для расхода 5 т/ч

По рисунку 1 можно сделать следующие выводы:

1. График исходного ряда представляет собой исходные данные в динамике с 2015 по 2023 год. Позволяет проанализировать общее поведение данных. Наблюдается расположение значений в районе нуля, за исключением 2018 года. Это как раз может свидетельствовать о слабом уровне сигнала, что характерно для минимального диапазона из-за чувствительности сигнала. В 2018 году наблюдается существенный рост значений, представляющие собой отклонения. Отклонения могут наблюдаться по нескольким причинам:

- изменение условий эксплуатаций на данный период;
- ошибка в передаче информации;
- появлением аномального процесса, на который срабатывает датчик;
- переходный режим работы системы.

После 2018 года происходит постепенное снижение и стабилизация данных. Необходимо обратить внимание как на резкий всплеск, так и на малые значения, которые могут указывать на потери в данных участках информации из-за шумов или ограниченной чувствительности.

2. Тренд демонстрирует сглаженный исходный ряд, наблюдается рост в 2018 году, после всплеска наблюдается плавное снижение. Резкий рост указывает на структурный сдвиг, что не является случайным шумом. В остальных промежутках данные находятся в районе нуля, что свидетельствует о низкой чувствительности к малым изменениях. Таким образом, наблюдается наличие тренда, что необходимо учитывать в последующем.

3. На графике не наблюдается сезонности. Значения находятся в диапазоне от -0,01 до +0,005, что говорит о минимальном влиянии периодических факторов. Визуально отсутствуют повторяющиеся колебания, что также необходимо учитывать в последующем.

4. Наблюдается скопление остатков в 2017-2018 году, в то время, как и резкий всплеск в исходном ряде. В остальные периоды остатки расположены в районе нуля, что говорит о наличии случайных ошибок. Остатки необходимо исследовать, именно в них могут содержаться малые, но диагностически значимые отклонения. По графику в период всплеска остаточный шум, в остальных промежутках остатки малы.

В данном случае при анализе компонентов временного ряда по переменной SMF при расходе 5 т/ч наблюдается наличие тренда и отсутствие сезонности. Для построения модели ряд должен быть стационарен. Для проверки ряда на стационарность используется тест Дики-Фуллера. По результатам теста данные не удовлетворены требованиям для дальнейшего построения модели, поскольку ряд не стационарен, что было очевидно при наличии тренда. Для приведения ряда к стационарности было использовано дифференцирование первого порядка. Подходящей прогностической моделью оказалась ARIMA (0,1,0). Для анализа адекватности подобранной модели необходимо рассчитать статистические метрики: среднюю абсолютную ошибку (MAE) и среднюю квадратическую ошибку (MSE) [4]. Обе метрики указывают на расхождение фактических значений с прогнозируемыми. Результатами по переменной SMF при Qном = 5 т/ч являются:

- MAE: 0,03235;
- MSE: 0,01465.

MAE демонстрирует расхождение прогнозных значений с фактическими на 0,03235 единиц, что является малым значением. MSE указывает на отсутствует существенных выбросов в ошибках прогноза. Низкие значения статистических метрик указывают на высокую точность модели, подтверждая улавливание динамики изменений. Это важно при работе со слабыми сигналами, где шум оказывает сильное влияние, что может искажать действительную тенденцию. Минимальный расход 5 т/ч является наиболее уязвимым к ошибкам, поскольку возрастает относительная погрешность. Шум и отклонения при минимальном расходе 5 т/ч указывают на сложность учета чувствительности сигнала. Незначительные отклонения при наименьших расходах составляют значительную погрешность в измерениях, их фиксация необходима для получения достоверных результатов. Минимальный расход является тяжело интерпретируемым и тяжело обнаруживаемым стандартными методами контроля. Необходимо фиксировать отклонения при наименьших расходах для обеспечения метрологической надежности средства измерения. Игнорирование приводит к росту ошибок, тем самым снижается достоверность результатов измерений.

В результате данной работы был проведен анализ использования временных рядов в зоне минимальных расходов. Процесс включал в себя обработку исходных данных, анализ компонентов временных ряд, построение и оценку точности модели. Использование временных рядов в результате анализа повышает точность измерений при минимальных расходах, где наблюдается низкая чувствительность сигналов. Используемый в качестве метрологической характеристики показатель SMF позволяет судить о стабильности процесса, чем ниже значение SMF, тем надежнее работает система. Таким образом, по данной метрологической характеристике достигаются следующие результаты:

- снижается разброс значений коэффициентов коррекций, который учитывает систематическую погрешность и влияние условий измерений в исследуемом диапазоне расхода;

- стабилизируется коэффициент коррекции, снижение колебаний коэффициентов говорит о надежности во временной перспективе.

Результаты были достигнуты без использования дополнительных элементов измерительной системы, подход основан на обработке уже существующих данных. Таким образом, проанализировав структуру данных можно скорректировать влияние шумов без вмешательств в процесс эксплуатации.

Применение временных рядов является инструментом повышения измерений особенно в диапазоне минимальных расходов, где чувствительность элементов слабая, а влияние шумов наиболее выражено. Предоставляется возможность анализировать данные без вывода средства измерения из этапа эксплуатации, что является отличительной характеристикой от традиционных подходов. Учет скрытых отклонений позволяет формировать метрологические характеристики, которые напрямую связаны с метрологической надежностью средства измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Естерекова К.С., Сойко А.И., Шафигина А.Э. Алгоритм выбора статистической модели прогнозирования метрологических характеристик массовых расходомеров // Современные технологии в науке и образовании СТНО-2025. 2025. Т. 6. С. 302-306.

2. Методика поверки. Государственная система обеспечения единства измерений. Расходомеры массовые Promass: МП 15201-11 с изменением №2 / ФГУП «ВНИИМС». - Москва, 2017- [19].

3. *Balila Abdulsalam Elnaeem, Shabri Ani Bin.* Comparison Between ARIMA and EEMD+ARIMA Models in Forecasting Electricity Consumption // Fusion: Practice and Applications. 2024. №01. С. 08-18

4. Hodson Timothy O. Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not // Geosci. Model Dev. 2022. С. 5481–5487.

FORECAST MODEL OF FLOW ERROR VARIATION ON THE BASIS OF TIME SERIES

Yesterekova K.S.

Supervisor: Soyko A.I., Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The paper discusses an approach to improve measurement accuracy at minimum flow rates by analyzing the time series and selecting a suitable predictive model based on the results of mass flow meter studies. At minimum flow rate, sensitivity to noise and difficulty in accounting for all values are observed. It is found that the application of the ARIMA model allows stabilizing the corrective parameters in the demonstration of this approach at the lowest flow rate during the operation of the measuring instrument, when traditional control methods are insufficient.

УДК 004.052.42

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ГЕНЕРАЦИИ ТЕСТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРУКТУРНОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ВЕРИФИКАЦИИ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

Жаринов А.В.

Научный руководитель: Шишкин В.В., доцент, к. т. н.

(Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск)

Аннотация. В статье приведен анализ методов автоматической генерации тестов применяемых при верификации программного обеспечения (ПО) бортовых информационно-управляющих систем. Выявлены особенности применяемых методов, их достоинства и недостатки.

Введение

Бортовые информационно-управляющие системы (БИУС) являются сложными программно-аппаратными комплексами, решающими задачи управления летательным аппаратом (ЛА) и информационного обмена в процессе полета. Так как, БИУС относятся к классу систем с высоким уровнем критичности, к ним предъявляются жесткие требования при сертификации. Для прохождения сертификации разработка и верификация ПО должны проходить в соответствии с стандартом КТ-178С[1], который получил широкое распространение при разработке БИУС для современных гражданских самолетов и вертолетов.

Верификация является обязательным процессом жизненного цикла ПО согласно КТ-178С. Основным методом верификации является тестирование программного обеспечения, успешность которого оценивается полнотой структурного покрытия[1]. Структурное покрытие определяет, какая часть программного кода прошла через тестовые процедуры, основанные на требованиях к ПО. При этом оценивается, насколько хорошо тесты проверяют различные части программного кода, и выявляются недостаточно протестированные участки. Разработка тестов всегда должна стремиться к максимально полному покрытию всей функциональности БИУС, определенной в требованиях к ПО.

Существует несколько методов определения структурного покрытия[2]:

- По строкам программного кода (Statement Coverage);
- По веткам условных операторов (Decision Coverage);
- Покрытие по условиям (Condition Coverage);
- Покрытие по веткам/условиям (Condition/Decision Coverage);
- Покрытие по всем условиям (Multiple Condition Coverage);
- Модифицированный метод покрытия по веткам/условиям (Modified Condition/Decision Coverage).

Традиционные методы определения покрытия кода, такие как покрытие инструкций или ветвей, дают ценную информацию о путях выполнения кода, но они могут оказаться недостаточными для выявления определенных ошибок и уязвимостей. При использовании метода покрытия по всем условиям должны быть проверены все возможные наборы значений компонент логических условий. Т.е. в случае n компонент потребуется 2^n тестовых примеров, каждый из которых проверяет один набор значений. Несмотря на очевидную полноту системы тестов, обеспечивающей этот уровень покрытия, данный метод редко применяется на практике в связи с его сложностью и избыточностью [2].

Для уменьшения количества тестовых примеров при тестировании логических условий был разработан модифицированный метод покрытия по веткам/условиям (Modified Condition/Decision Coverage или MC/DC) [3]. Данный метод широко используется при верификации бортового авиационного программного обеспечения. MC/DC — комплексный подход, который обеспечивает тщательное тестирование сложных структур принятия решений в программном коде [4].

Для обеспечения полного покрытия по этому методу необходимо выполнение следующих условий:

- Каждое логическое условие должно принимать все возможные значения;
- Каждая компонента логического условия должна хотя бы один раз принимать все возможные значения;
- Должно быть показано независимое влияние каждой из компонент на значение логического условия, т.е. влияние при фиксированных значениях остальных компонент.

Внедрение MC/DC требует тщательного планирования и систематической разработки тестовых примеров. Необходимо разработать хорошо структурированный набор тестов для проверки всех возможных комбинаций результатов принятия решений. Необходимо учитывать граничные значения и различные комбинации входных данных, чтобы обеспечить всесторонний охват. Автоматизация процесса тестирования может значительно упростить выполнение многочисленных тестовых заданий, необходимых для полного охвата MC/DC.

Хотя достижение покрытия MC/DC может показаться сложной задачей из-за сложности структур принятия решений в определенных сегментах кода, преимущества перевешивают усилия. Обнаруживая незначительные недостатки в логике принятия решений, покрытие MC/DC помогает разработчикам выявлять скрытые ошибки и повышать общую надежность программного обеспечения.

Существующие методы генерации тестов с учетом MC/DC покрытия

В данной статье мы рассмотрим 4 метода генерации тестов. Каждый из которых обеспечивает MC/DC покрытие, но достигает это разными путями.

Метод 1. Перебор всех возможных комбинаций

В статье [5] предложено программное обеспечение, разработанное для генерации интеграционных тестовых данных. Суть метода заключается в формировании всех возможных комбинаций входных сигналов, с целью обеспечения покрытия MC/DC. Согласно методу количество итераций K_{it} комбинаций входных дискретных сигналов определяется количеством этих входных сигналов и определяется по формуле:

$$K_{it} = \sum_1^n V^n, \quad (1)$$

где n-количество входных сигналов, применяемых в алгоритме, V-количество возможных состояний входных сигналов.

Данный метод эффективен при малом n<5, когда K_{it} будет максимум равен 16. Однако, при увеличении n, K_{it} будет расти геометрически, что в конечном условии приведет к слишком большому объему проверок. То же самое касается и в случае с параметрическими(аналоговыми) сигналами. Недостатком данного подхода является, что при расчете количества тестовых случаев, берется во внимание только количество входных сигналов, и не учитываются логические связи между ними. Соответственно данный подход нельзя считать оптимальным, для всех проектов в сфере авионики, т.к. зачастую входных данных для алгоритмов больше 5.

Метод 2. Подход с использованием парных таблиц

Известен метод эффективной генерации тестовых данных для MC/DC покрытия с использованием языка объектных ограничений(OCL)[6]. Для применения критерия MC/DC требуется несколько комбинаций значений истинности, соответствующих предикату ограничения OCL. Для этого используется подход с использованием парных таблиц, представленный Чиленски и Миллером [7]. Подход с использованием парных таблиц обеспечивает систематический способ определения комбинаций, необходимых для MC/DC покрытия. На первом этапе строится таблица пар, в которой присутствуют все возможные комбинации для входных сигналов. Во второй строке таблицы показаны все возможные значения истинности, соответствующие предикату, а в третьей строке — результат предиката. Значения в строке представляют собой потенциальные пары, удовлетворяющие критериям выбора комбинации MC/DC. На примере логического выражения p ∧ (q ∨ r) это будет иметь следующий вид:

Таблица 1

Пример подхода с использованием парных таблиц

i	1	2	3	4	5	6	7	8
pqr	*TTF*	*TFT*	*FTT*	*TFF*	*FTF*	*FFT*	*TTT*	*FFF*
Результат	*T*	*T*	*F*	*F*	*F*	*F*	*T*	*F*

Далее из полученной таблицы отсеиваются те комбинации, которые частично дублируют другие, с точки зрения MC/DC покрытия, т.е. их выполнение не приведет к увеличению процента покрытия при анализе структурного покрытия кода. В данном случае это комбинации под номерами: 3, 6, 7, 8. Для примера p ∧ (q ∨ r) из таблицы пар получаем четыре комбинации K_{it} (TTF, TFT, TFF и FTF).

В итоге имеем преимущество второго метода в части уменьшения количества итераций K_{it} с сохранением полноты MC/DC покрытия.

Данный метод позволяет получить лишь тестовый план будущего теста, а не саму процедуру тестирования. Более того метод не обеспечивает полноценной проверки граничных значений.

Метод 3. «MC/DC-Star»

Известен метод под названием «MC/DC-Star»[8]. «MC/DC-Star» — это автоматизированный метод для генерации тестов, который направлен на повышение покрытия MC/DC в программах на языке C. Он использует комбинацию статического анализа, символического выполнения и анализа ассемблерного кода для выбора наиболее перспективных путей выполнения.

Данный метод содержит несколько основных шагов:

1. Исходный код программы модифицируется(инструментируется) для отслеживания покрытия MC/DC, затем компилируется с помощью GCC. Также создается версия с отладочной информацией для анализа путей.
2. Определяются все возможные пути выполнения, а затем — при помощи анализа ассемблерного кода — строятся пути условий и их влияние на MC/DC. Для каждого условия создается набор комбинаций, показывающих, как изменение условий влияет на независимый эффект.
3. Используя символическое выполнение, система генерирует входные значения, которые приводят к максимальному проценту покрытия MC/DC. При этом выбираются пути, которые наиболее эффективно покрывают условия.
4. После выполнения тестов и анализа результатов обновляется информация о покрытии MC/DC. Процесс повторяется, пока не достигнется максимальное покрытие или не станет невозможным дальнейшее улучшение.

В отличие от полного перебора всех путей, MC/DC-Star использует стратегию жадного выбора путей, стремясь при этом к максимальному проценту покрытия. Если выбранный путь не может быть достигнут из-за конфликтов условий или ограничений, система объединяет текущие пути с предыдущими, чтобы обеспечить достижимость нужных условий. В случае конфликтов условий или невозможности решения ограничений, система использует механизм отслеживания и исключения проблемных комбинаций, чтобы избежать бесконечных циклов.

Данный метод содержит ряд недостатков, наиболее явным видится то, что набор тестовых данных генерируется по исходному коду, а не по требованиям к ПО. Что безусловно приведет к повышению покрытия всех условий, но не обеспечит проверку соответствия кода заявленным требованиям. Хотя одной из основных целей верификации в соответствии с КТ-178C, является демонстрация того, что ПО соответствует требованиям.

Так же данный метод предоставляет лишь набор тестовых данных, но не тестовые примеры как таковые. Соответственно требуется время на их разработку, что снижает эффективность применения метода в целом.

Метод 4. Библиотека Intrepyd

Важной составляющей методов автоматической генерации тестов на основе требований к ПО является формализованное представление этих требований. Одним из способов формализации требований может служить моделирование алгоритмов в таких инструментах как Simulink или Scade. Существует метод[9] основанный на генерации тестплана из схемы Simulink с применением скрипта на языке Python и библиотеки Intrepyd. Метод представляет собой генерацию тест плана из схемы (Рис.1).

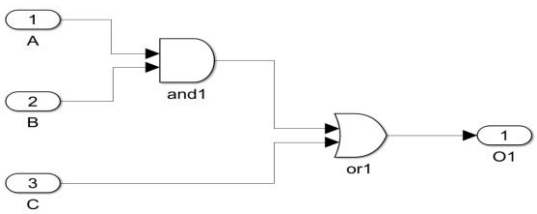


Рисунок 1. Пример схемы Simulink

Результатом работы скрипта с данной схемой будет тест-план в следующем виде:

Таблица 2

Пример работы скрипта

i	A	B	C	Результат
1	T	T	F	T
2	F	T	F	F
3	T	F	F	F
4	F	F	T	T
5	F	F	F	F

Генерация в данном случае не является оптимальной, так как для этого решения достаточно четырёх тестов (вместо этого скрипт сгенерировал пять): это следствие приближений, лежащих в основе алгоритма оптимизации, цель которого — найти компромисс между оптимальностью и временем выполнения.

Данный метод также поддерживает операция сравнения, в том числе и для чисел с плавающей запятой.

Недостатком данного метода является необходимость в формализации требований в виде схемы Simulink. Поэтому необходимо четко понимать сколько времени займет написание теста на конкретном проекте вручную, а сколько времени удастся выиграть, если использовать данный метод.

Выводы

В данной статье мы рассмотрели наиболее яркие, но не единственно существующие методы автоматической генерации тестов, применяемых (или потенциально готовых к применению) при верификации ПО бортовых информационно-управляющих систем и обеспечивающих полноту структурного покрытия. Для более детального сравнения приведенных методов, были предложены следующие критерии:

- Необходимость формализации требований. По данному критерию методы сравниваются с точки зрения необходимости формализованного представления требований перед генерацией тестов;
- Результат генерации. По данному критерию методы сравниваются с точки зрения результата генерации, получается ли готовый тестовый скрипт или только тест-план из которого требуется разработать тестовый сценарий;
- Оптимальность тест-плана. По данному критерию методы сравниваются с точки зрения количества тестовых случаев(ТС) в тест-плане. Данный критерий демонстрирует отсутствие или наличие дублирующих ТС (одновременное выполнение которых не увеличивает полноту покрытия по MC/DC);
- Соответствие КТ-178С. По данному критерию методы сравниваются с точки зрения источника информации для генерации тестов.

В итоге мы получили следующую таблицу сравнения методов (Таб.3):

Таблица 3

Сравнение методов

Критерии	Метод 1	Метод 2	Метод 3	Метод 4
Необходимость формализации требований	В виде XML	В виде логического выражения	Не требуется	В виде схемы Simulink
Результат генерации	Тестовый сценарий (скрипт)	Тест-план	Тестовый сценарий (скрипт)	Тест-план
Оптимальность тест-плана	Не оптимален	Оптимален	Оптимален	Возможны дублирующие ТС

Соответствие КТ-178С	Да	Да	Нет, тесты генерируются по коду	Да

Текущий анализ продемонстрировал необходимость дальнейшего исследования в области автоматической генерации тестов в соответствии с авиационными стандартами. Итоговый инструмент должен уметь генерировать тесты по неформализованным требованиям (в текстовом виде), тест-план должен быть оптимальным. Также результатом работы инструмента должен быть готовый тестовый скрипт, который без каких-либо доработок можно будет использовать при верификации ПО БИУС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. КТ-178С. Квалификационные требования. Требования к программному обеспечению бортовой аппаратуры и систем при сертификации авиационной техники. Межгосударственный авиационный комитет, Авиационный регистр, 2016.

2. *Синицын С.В.* Верификация программного обеспечения // С.В. Синицын, Н.Ю. Налютин. – Москва: МФТИ, 2006.

3. An Investigation of Three Forms of the Modified Condition Decision Coverage (MCDC) Criterion. Office of Aviation Research Washington, D.C., 2001, 214 c.

4. *Rajan A.* The effect of program and model structure on MC/DC test adequacy coverage // Rajan A. Whalen M.W., Heimdahl M.P.E. In Proceedings of the 13th international conference on software engineering, ICSE ’08, pages 161-170. ACM New York, NY, USA, May 2008. DOI: 10.1145/1368088.1368111.

5. *Хасанов А.С., Шишкин В.В.* Автоматизация интеграционного тестирования программного обеспечения с повышенными требованиями к критичности // Вестник Ульяновского государственного технического университета – 2021. - №2 – С. 61-67.

6. *Hassan Sartaj*. Efficient Test Data Generation for MC/DC with OCL and Search // Hassan Sartaj, Muhammad Zohaib Iqbal, Atif Aftab Ahmed Jilani, Muhammad Uzair Khan. 2024. DOI:10.48550/arXiv.2401.03469.

7. *John Joseph Chilenski and Steven P Miller*. Applicability of modified condition/ decision coverage to software testing. Software Engineering Journal, 9(5):193–200, 1994. doi: 10.1049/sej.1994.0025.

8. *Linghuan Hu*. MCDC-Star: A White-Box Based Automated Test Generation for High MC/DC Coverage // Linghuan Hu, W. Eric Wong, D.R. Kuhn, R.N. Kacker. 2018 5th International Conference on Dependable Systems and Their Applications (DSA) – 2018. С. 102-112. DOI 10.1109/DSA.2018.00027.

9. Automated Test Generation of MC/DC (part 2) – Текст: электронный. – 2017. – URL: https://formalmethods.github.io/atg/2017/12/20/automated-test-generation-of-mcdc-part2.html (дата обращения: 31.07.2025).

ANALYSIS OF TEST GENERATION METHODS FOR ENSURING STRUCTURAL COVERAGE IN VERIFICATION OF ON-BOARD INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS.

Zharinov A.V.

Supervisor: Shishkin V.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk)

Abstract. The article provides an analysis of automatic test generation methods used in verification of software (SW) of on-board information and control systems. The features of the methods used, their advantages, and disadvantages have been identified.

УДК 629.7

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОПИЛОТА ВЕРТОЛЁТА

Журавлева К.С.

Научный руководитель: Терентьев С.А., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Вертолеты – это летательные аппараты (ЛА) вертикального взлёта, которые имеют возможность решать широкий спектр задач и функционировать на режимах, которые недоступны другим типам ЛА. В работе. исследуется. движение. вертолёта. по требуемой. траектории, выполняется разработка. алгоритмов управления. автопилота. Использование систем. автоматического. управления. для летательного аппарата. (ЛА) позволяет существенно повысить качество управления при одновременном снижении нагрузок, которые будут воздействовать на него в процессе управления.

Модель динамики полёта вертолёта

Основой для вывода уравнений динамики движения вертолёта является допущение о замене несущего винта равнодействующей силой. При этом предполагается, что маховое движение лопастей изменяется мгновенно при изменениях параметров движения вертолёта и углов общего и циклического шага лопастей. Такой подход позволяет в процессе исследования динамики полёта вертолёта не учитывать связи между продольным и боковым движениями и рассматривать их раздельно.

Исходя из указанного допущения, построены системы дифференциальных уравнений продольного (1) и бокового (2) движений:

$$\begin{aligned} m(\dot{V}_X + \omega_Y V_Z - \omega_Z V_Y) &= R_X - G\sin\vartheta; \\ m(\dot{V}_Y + \omega_Z V_X - \omega_X V_Z) &= R_Y - G\cos\vartheta\cos\gamma; \\ m(\dot{V}_Z + \omega_X V_Y - \omega_Y V_X) &= R_Z - G\cos\vartheta\sin\gamma. \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &(J_X - \frac{J_{XY}^2}{J_Y})\dot{\omega}_X + \frac{J_{XY}}{J_Y}(J_X + J_Y - J_Z)\omega_X\omega_Z - (J_Y - J_Z + \frac{J_{XY}^2}{J_Y})\omega_Y\omega_Z = M_X + \frac{J_{XY}}{J_Y}(M_Y - \xi M_{ДВ}); \\ &(J_Y - \frac{J_{XY}^2}{J_Y})\dot{\omega}_Y + \frac{J_{XY}}{J_X}(J_X + J_Y - J_Z)\omega_Y\omega_Z - (J_Z - J_X + \frac{J_{XY}^2}{J_Y})\omega_X\omega_Z = M_Y + \frac{J_{XY}}{J_Y}M_X - \xi M_{ДВ}; \quad (2) \\ &J_Z\dot{\omega}_Z - (J_X - J_Y)\omega_X\omega_Y - J_{XY}(\omega_Y^2 - \omega_X^2) = M_Z; \\ &J_\omega\dot{\omega}_н = \xi M_{ДВ} - M_к. \end{aligned}$$

Была выполнена линеаризация модели при определённых условиях и модель сформирована для линеаризованной модели. Данные линеаризованные модели дают возможность проводить имитационное моделирование движения вертолёта в стандартных условиях полёта.

Приведём балансировочные режимы вертолёта «Ансат», описываемые векторно-матричным уравнением:

$$X' = AX + BU,$$

где $X = [V_X, V_Y, V_Z, \omega_X, \omega_Y, \omega_Z, \vartheta, \gamma, \psi]$, $U = [\kappa, \eta, \varphi_{ош}, \varphi_{рв}]$;

$\varphi_{ош}$ – общий. шаг несущего. винта; $\varphi_{рв}$ – шаг рулевого. винта.

Для задания режима полёта мы будем использовать следующую линейную модель:

$$m = 3000\,\text{кг};\ X_T = 0,05;\ V{=}220\ \text{км/ч},\ H = 0.$$

Кинематические параметры: $V_{X0} = 99,88$ км/ч, $V_{Y0} = -4,95$ км/ч, $V_{Z0} = 0,20$ км/ч, $\vartheta_0 = 0,0496\,рад(2,84\,град)$, $\gamma_0 = 0,0406\,рад(2,33\,град)$.

Остальные параметры принимаются равными 0.

Управляющие параметры:

$$\eta_0 = -0,0039\,рад(-0,22 град);\ \kappa_0 = -0,0402\,рад(-2,3 град);$$

$$\varphi_0 = 0,1365\,рад(7,82 град);\ \varphi_{рв0} = 0,1049\,рад(6,01 град).$$

Итоговые матрицы представлены на рисунке 1.

$$A = \begin{bmatrix} -0,043 & -0,028 & 0,000 & 0,026 & 0,020 & 1,138 & -9,801 & -0,004 & 0,000 \\ -0,008 & -0,790 & -0,021 & 0,056 & 0,000 & -50,074 & -0,092 & 0,146 & 0,000 \\ 0,000 & 0,006 & -0,131 & -1,120 & 49,815 & -0,002 & 0,004 & 9,801 & 0,000 \\ 0,040 & 0,126 & -0,168 & -8,522 & -0,211 & -0,187 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ -0,019 & 0,023 & -0,068 & 0,007 & -0,564 & 0,281 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,025 & -0,110 & -0,007 & -0,102 & -0,002 & -2,421 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,042 & 0,999 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 1,000 & 0,009 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,999 & -0,042 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} -16,662 & 1,372 & 1,824 & 0,000 \\ -50,070 & 21,675 & 108,226 & 0,000 \\ 0,118 & -14,874 & -0,445 & -4,186 \\ 2,557 & -195,509 & -8,011 & -2,216 \\ -9,712 & 1,897 & 7,476 & -8,317 \\ 46,539 & 0,808 & 22,062 & 0,054 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{bmatrix}$$

Рис.1. Итоговые матрицы

Требуемая траектория полёта

Требуемая. траектория. полёта обеспечивает движение. вертолёта из исходной в конечную точку. В данной работе решается задача управления вертолётом, который совершает полёт по заданному маршруту. Будем задавать две разные траектории:

1) Траектория, которая включает в себя набор высоты и дальнейший полёт по прямой, параллельной поверхности земли, с сохранением набранной высоты, затем снижение и приземление (Рис. 2).

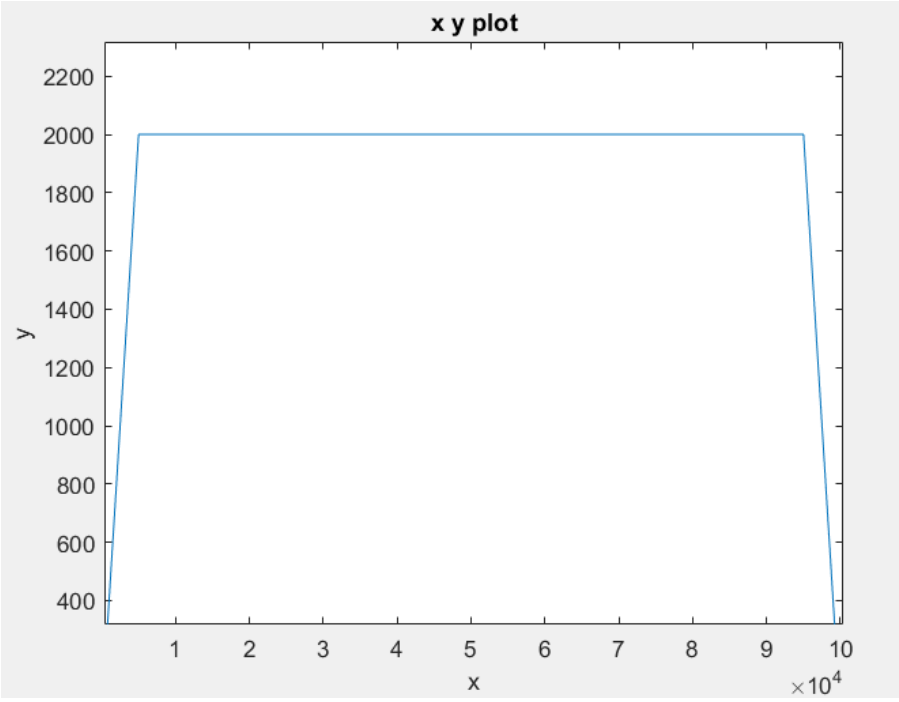


Рис. 2. Требуемая траектория полёта

Численные значения точек требуемой траектории представлены в таблице 1.

Таблица 1

Численные значения точек траектории

№	*x*, м	*y*, м
1	0	0
2	5000	2000
3	95000	2000
4	100000	0

2) Траектория, которая включает в себя набор некоторой высоты, полёт по прямой, параллельной поверхности земли, в течение некоторого времени, затем повторный набор высоты и дальнейший прямолинейный полет с сохранением набранной высоты, затем снижение на некоторую высоту, полёт по прямой некоторое время, затем снова снижение и приземление (Рис. 3).

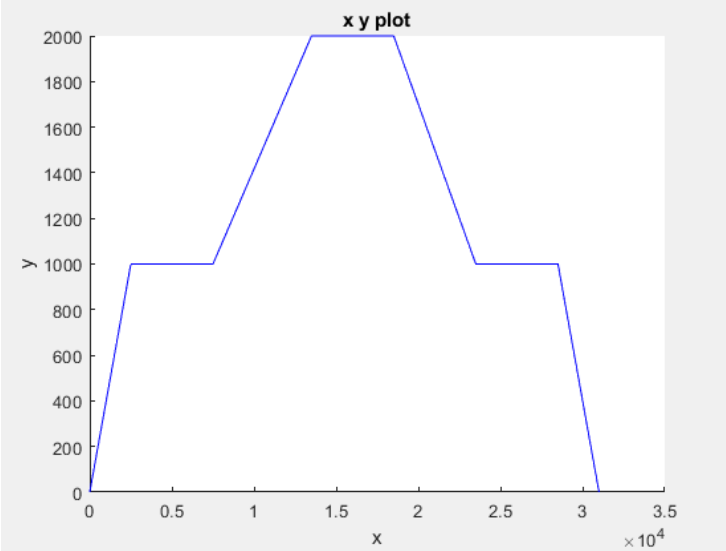


Рис. 3. Требуемая ступенчатая траектория полёта в плоскости OXY

Численные значения точек требуемой траектории представлены в таблице 2.

Таблица 2

Численные значения точек траектории

№	*x*, м	y, м
1	0	0
2	2500	1000
3	7500	1000
4	13500	2000
5	18500	2000
6	23500	1000
7	28500	1000
8	31000	0

Моделирование в Simulink

На рисунке 4 приведена схема в Simulink, при помощи которой моделируется модель движения вертолёта по требуемой траектории с автопилотом.

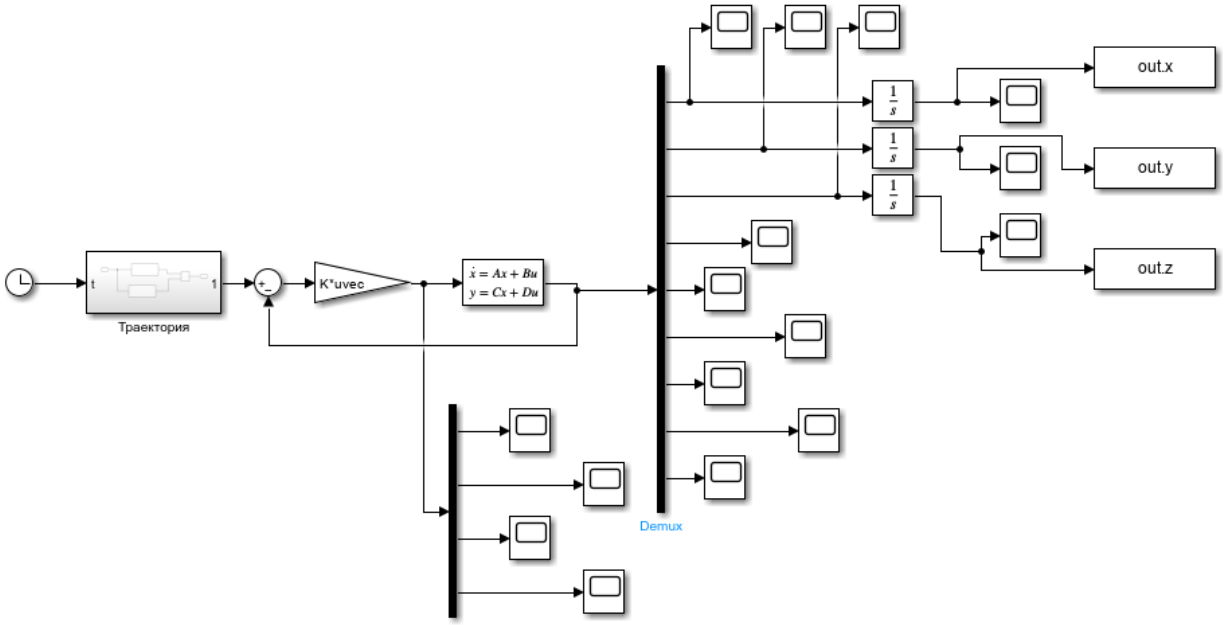


Рис. 4. Моделирование системы

1) Требуемая траектория полёта «взлёт-полёт по прямой-снижение»

В результате выполнения моделирования мы получим следующие графики на Scope:

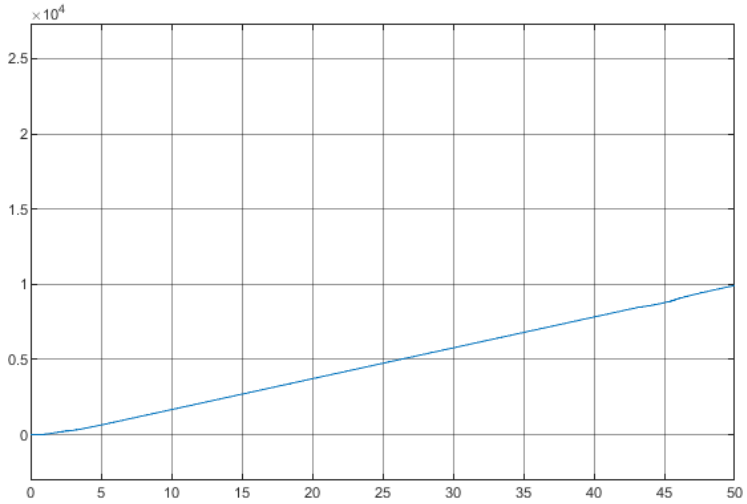


Рис.5. Требуемая траектория по координате X

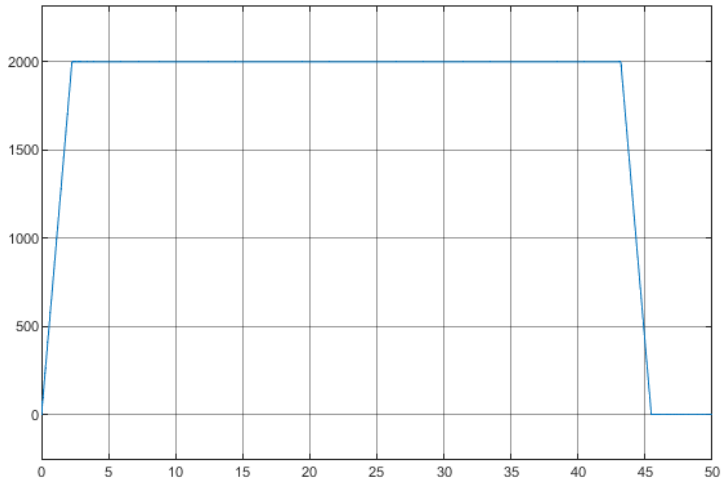


Рис. 6. Требуемая траектория по координате Y

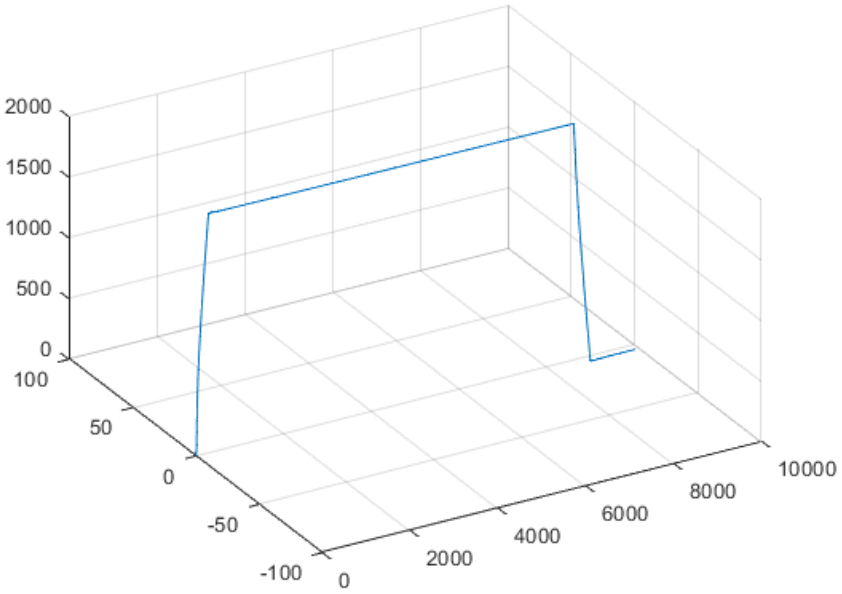


Рис. 7. Траектория движения вертолёта в трёхмерном пространстве

Отклонения от требуемой траектории были минимальны, приблизительно 2 м по координате x и 2,2 м по координате y.

2) Требуемая ступенчатая траектория полёта

В результате выполнения моделирования мы получим следующие графики на Scope:

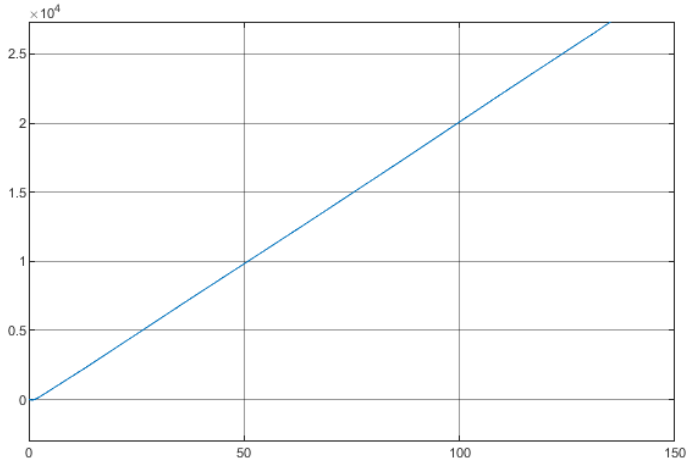


Рис. 8. Требуемая траектория по координате X

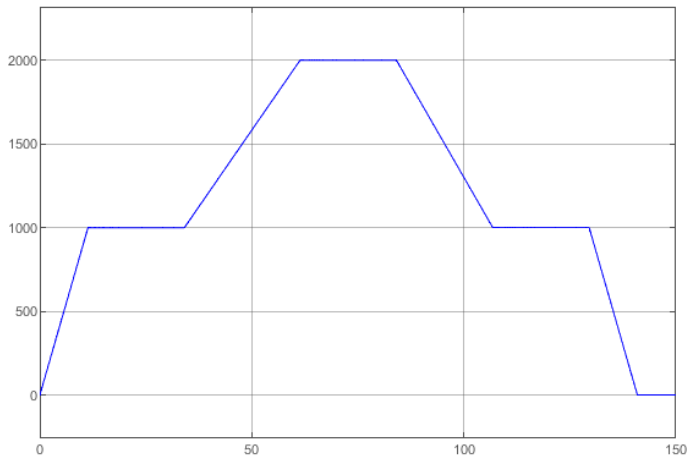


Рис. 9. Требуемая траектория по координате Y

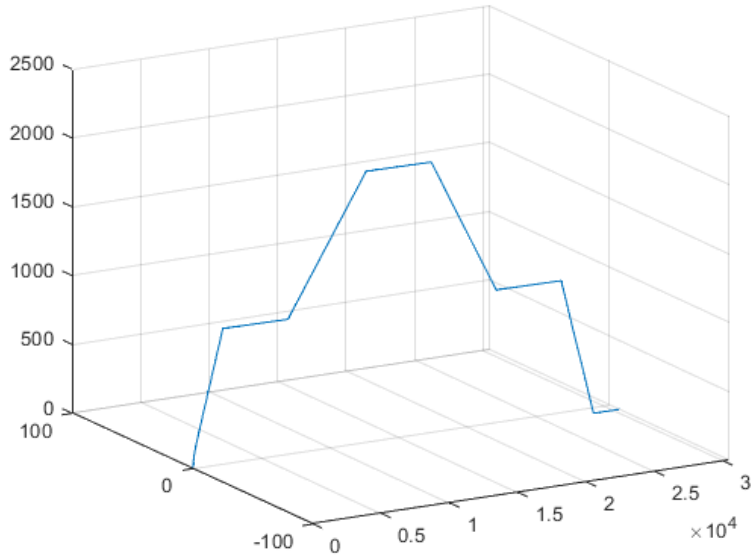


Рис. 10. Траектория движения вертолёта в трёхмерном пространстве

Отклонения от заданной траектории были минимальны, приблизительно 0,7 м по координате x и 1,7 м по координате y.

Изучение графиков показало, что вертолёт совершает движение в соответствии с требуемой траекторией, а отклонения от неё минимальны: для базовой траектории по x ≈ 2 м, по y ≈ 2,2 м; для ступенчатой по x ≈ 0,7 м, по y ≈ 1,7 м, что в рамках данной исследовательской работы существенно не влияет на результаты работы. Благодаря использованию выбранных алгоритмов управления при полученных коэффициентах управления, можно добиться желаемой гарантированной эффективной работы системы автоматического управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Есаулов С.Ю. Бахов О.П. Дмитриев И.С.* Вертолѐт как объект управления. – М., «Машиностроение», 1977.

2. *Берестов Л.М.* Моделирование динамики вертолета в полете. М: Машиностроение, 1978.

HELICOPTER AUTOPILOT CONTROL ALGORITHMS

Zhuravleva K.S.

Supervisor: Terentyev S.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Helicopters are vertical takeoff aircraft (AC) that have the ability to solve a wide range of tasks and operate in modes that are not available to other types of AC. The work. studies. the movement. of a helicopter. along the required. trajectory., and develops. control algorithms. for the autopilot. The use of automatic. control systems. for an AC allows for a significant improvement in control quality while simultaneously reducing the loads that will affect it during control.

УДК 629.7

ОЦЕНИВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВЕРТОЛЁТА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЕТРОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Журавлева К.С.
Научный руководитель: Терентьев С.А., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Вертолеты – это летательные аппараты (ЛА) вертикального взлёта, которые имеют возможность решать широкий спектр задач и функционировать на режимах, которые недоступны другим типам ЛА. Одним из важных факторов, влияющих на поведение вертолёта, является воздействие ветра, он может существенно влиять на устойчивость и управляемость вертолёта, особенно в сложных метеорологических условиях. Поэтому в настоящий момент является актуальной задача разработки математической модели вертолёта с учётом ветровых возмущений.

Модель динамики полёта вертолёта

Основой для вывода уравнений динамики движения вертолёта является допущение о замене несущего винта равнодействующей силой. При этом предполагается, что маховое движение лопастей изменяется мгновенно при изменениях параметров движения вертолёта и углов общего и циклического шага лопастей [1]. Такой подход позволяет в процессе исследования динамики полёта вертолёта не учитывать связи между продольным и боковым движениями и рассматривать их раздельно.

Исходя из указанного допущения, построены системы дифференциальных уравнений продольного (1) и бокового (2) движений:

$$\begin{aligned}
&\dot{V}_x = \tilde{X}^{V_x}\Delta V_x + g\Delta\vartheta + \tilde{X}^{\chi}\Delta\chi;\\
&\dot{V}_y = \tilde{Y}^{V_y}\Delta V_y + \tilde{Y}^{\varphi_{ош}}\Delta\varphi_{ош};\\
&\dot{\omega}_y = \tilde{M}_z^{V_x}\Delta V_x + \tilde{M}_z^{\omega_x}\Delta\omega_x + \tilde{M}_z^{\chi}\Delta\chi;
\end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
&\dot{V}_z = \tilde{Z}^{V_z}\Delta V_z - V_{y0}\Delta\omega_x - V_{x0}\Delta\omega_y + g\Delta\gamma + \tilde{X}^{\eta}\Delta\eta;\\
&\dot{\omega}_x = \tilde{M}_x^{V_z}\Delta V_z + \tilde{M}_x^{\omega_x}\Delta\omega_x + \tilde{M}_x^{\eta}\Delta\eta;\\
&\dot{\omega}_y = \tilde{M}_y^{V_z}\Delta V_z + \tilde{M}_y^{\omega_y}\Delta\omega_y + \tilde{M}_y^{\varphi_{рв}}\Delta\varphi_{рв};\\
&\dot{\gamma} = \Delta\omega_x;
\end{aligned} \tag{2}$$

К приведенным дифференциальным уравнениям (1) и (2) добавлены зависимости, обеспечивающие аппроксимацию табличных данных аэродинамических коэффициентов вертолёта на основе их кубической сплайн–интерполяции, а также уравнения и коэффициенты автопилота, обеспечивающего устойчивость движения вертолёта на всех режимах полёта, характерных для рассматриваемой задачи.

На рассмотренную систему действует помеха измерения с корреляционной функцией:

$$k_z(\tau) = 2e^{-0.5|\tau|}. \tag{3}$$

Для моделирования такого воздействия требуется построить формирующий фильтр, преобразующий сигнал белого шума.

Исходя из (3) спектральная плотность помехи равна:

$$S_Z^*(\omega) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} k_z(\tau)e^{-j\omega\tau}d\tau = \frac{4}{\pi(0.25+\omega^2)}. \tag{4}$$

Известно, что если на вход системы с передаточной функцией $W(p)$ подать сигнал $X(t)$ со спектральной плотностью $S_X^*(\omega)$, то на выходе получим сигнал $Y(t)$, спектральная плотность которого равна

$$S_Y^*(\omega) = |W(j\omega)|^2 \, S_X^*(\omega).$$

Найдем передаточную функцию формирующего фильтра:

$$W_\phi(p) = \sqrt{\frac{4}{\pi S_0}} \frac{1}{(p+0.5)}, \tag{5}$$

где S_0 – спектральная плотность белого шума.

Тогда параметры формирующего фильтра имеют следующие значения: $A_\phi = -\alpha$, $b_\phi = \sqrt{D_G \alpha} / \sqrt{\pi S_0}$.

Передаточной функции (5) матрицы равны:

$$A_\phi = -0.5; \; b_\phi = \sqrt{\frac{4}{\pi S_0}}; \; c_\phi^T = 1.$$

Чтобы промоделировать шум на компьютере требуется построить дискретную модель фильтра.

Пусть период дискретности равен $T_0 = 0.01\,c$, тогда дискретная модель фильтра примет вид:

$$\tilde{X}_\phi(t_{i+1}) = \Phi_\phi \tilde{X}_\phi(t_i) + B_\phi \Theta(t_i),$$
$$Z(t_i) = c_\phi^T \tilde{X}_\phi(t_i),$$

где $\Phi_\phi = e^{A_\phi T_0}$; $B_\phi = b_\phi \sqrt{\frac{2\pi S_0 (1 - e^{2A_\phi T_0})}{2\alpha}}$, $\Theta(t_i)$ – дискретный Гауссовский белый шум.

Проведем моделирование формирующего фильтра для заданных исходных данных при помощи программы.

На рисунках 1 и 2 представлены дискретный случайный процесс $\Theta(t_i)$ на входе формирующего фильтра и дискретный случайный процесс $G(t_i)$ на его выходе соответственно.

Рис.1. Процесс белого шума на входе дискретного фильтра

Рис.2. Процесс шума на выходе дискретного фильтра

На рисунке 3 представлены заданная и экспериментальная корреляционная функция, полученная посредством моделирования по выражению:

$k_G(t_j) \approx \frac{1}{(g-j)} \sum_{i=1}^{g-j} (g(t_i) - m_G)(g(t_{i+j}) - m_G), \quad j = \overline{1,m}, \; m < g.$ На рисунке 4 представлены расчетная и экспериментальная корреляционная функция, полученная посредством моделирования по выражению: $S_G^*(\omega_j) \approx \frac{T_0}{\pi} \sum_{i=0}^{m} k_G(t_i) \cos(\omega_j t_i), \; j = \overline{1,G}.$

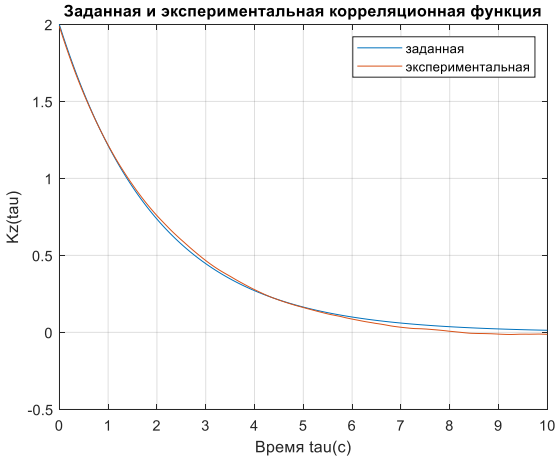


Рис.3. График заданной и экспериментальной корреляционной функции

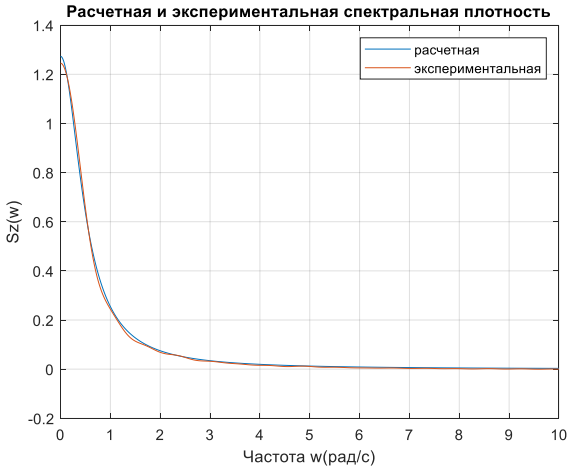


Рис.4. График расчетной и экспериментальной спектральной плотности

По рисункам 3 и 4 видно, что полученные результаты довольно точно сходятся с расчетными.

Для того, чтобы промоделировать воздействие помехи изменения на систему, необходим дискретно-непрерывный формирующий фильтр.

Рассмотрим непрерывную модель формирующего фильтра:

$$\dot{X}_ф(t) = A_ф X_ф(t) + d_ф Z_б(t),$$

$$Z(t) = c_ф^T X_ф(t).$$

На вход которого поступает кусочно-постоянный сигнал: $Z_б(t) = \Theta(t_i)$ при $t_i \le t < t_{i+1}$ где $\Theta(t_i)$ – дискретный гауссовский белый шум с дисперсией $K_\Theta(t_i) = M\left[\Theta^2(t_i)\right] = 1.$

Эквивалентная дискретная модель системы имеет вид:

$$X_ф(t_{i+1}) = \Phi_ф X_ф(t_i) + \int_0^{T_0} e^{A_ф \tau} d_ф \Theta(t_i),$$

$$Z(t_i) = C_ф X_ф(t_i),$$

где $\Phi_ф = e^{A_ф T_0}$.

На рисунке 5 приведена схема моделирования дискретно-непрерывного фильтра, выход которого в дискретные моменты времени $t_i = iT_0$ сравнивается с выходом дискретного фильтра.

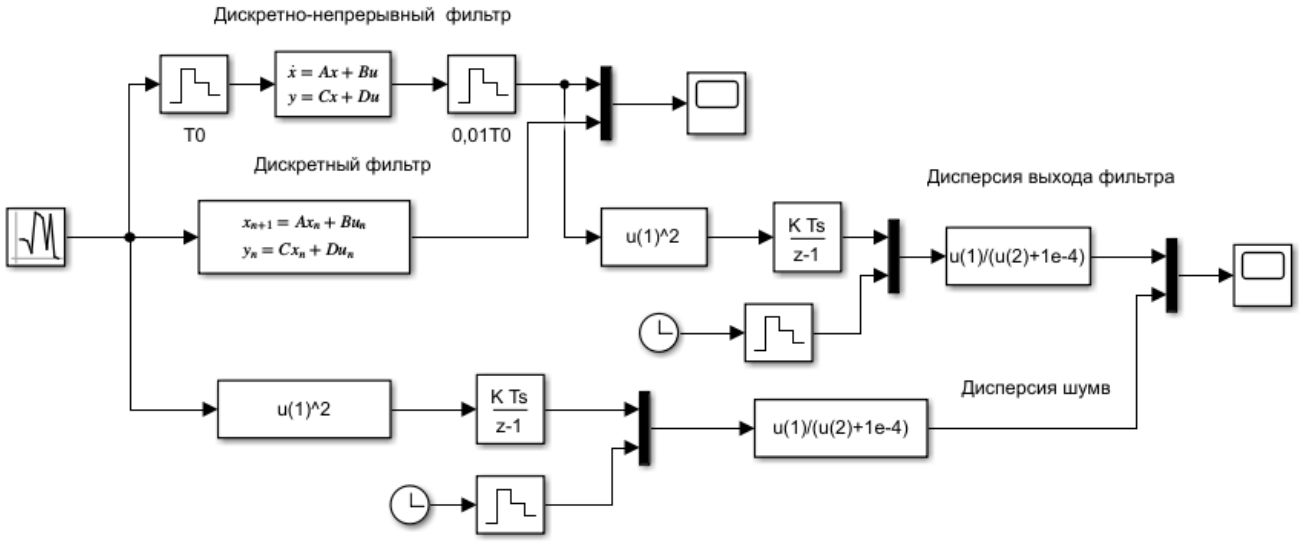


Рис. 5. Моделирование дискретно-непрерывного фильтра

На рисунке 6 приведены переходные процессы дискретно-непрерывного и дискретного фильтров, из которого видно, что выходы фильтров совпадают в дискретные моменты времени $t_i = iT_0$.

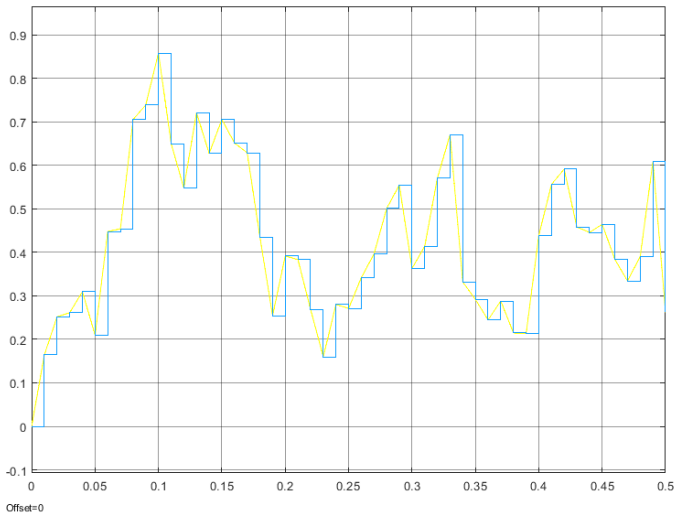


Рис. 6. Переходные процессы дискретно-непрерывного и дискретного фильтров

По рисунку 6 видно, что характеристики дискретно-непрерывного фильтра и диискретного фильтра полученного ранее совпадают.

Фильтрация полезного сигнала с использованием дискретного фильтра Калмана

Мы разработаем математическую модель для исследования поведения вертолёта под воздействием ветровых условий. Также мы создадим алгоритм для оценки состояния вертолёта, используя фильтр Калмана, который поможет снизить влияние внешних возмущений и улучшить точность оценки параметров.

Представим решение математической модели вертолета, используя упрощенную линейную модель для пояснения.

Уравнение движения по высоте (вертикальное движение):

$$m * \frac{dv}{dt} = T - mg - Fd,$$

где m – масса вертолета, v – вертикальная скорость, t – время, T – тяга несущего винта, g – ускорение свободного падения, Fd – сила сопротивления воздуха.

$$Fd = 0,5 * Cd * \rho 0 * A * v^2,$$

где Cd – коэффициент сопротивления воздуха, ρ – плотность воздуха, A – площадь поперечного сечения вертолета.

$$T = k * u * \rho,$$

где k – коэффициент тяги, u – управляющее воздействие.

Параметры: m = 3000 кг, A = 10 м², Cd = 0.4, ρ0 = 1.225 кг/м³, H = 8400 м, v0 = 47,02 м/с, u = 0.07; k ≈ 262.093 Н/ед.упр.

Уравнение для изменения высоты:

$$dh/dt = v.$$

Переход к пространству состояний:

1. Переменные состояния:
   - x1 = h (высота)
   - x2 = v (вертикальная скорость)
2. Уравнения состояния:
   - dx1/dt = x2
   - dx2/dt = (k*u*ρ - mg - 0.5*Cd*ρ*A*x2^2) / m.

Линеаризуем ρ около рабочей точки $h0$:

$$\rho \approx \rho 0 * (1 - (h - h0) / H) = \rho 0 * (1 - (x1 - h0) / H).$$

Тогда:

$$\frac{dx2}{dt} \approx k * u * \rho 0 * (1 - (x1 - h0) / H) - mg - 0,5 * Cd * A * \rho * (1 - (x1 - h0) / H) * (v0^2 + 2v0 * (x2 - v0)) / m.$$

Матричное представление:

[dx1/dt] = [0 1] × [x1] × [0],

[dx2/dt] = [a b] × [x2] + [c] × u + [0],

где a = (-k*u*ρ0/H +0.5*Cd*ρ0*A*v0^2/H)/m = -0.026841;

b = - Cd*ρ0*A*v0/m = -0.0768; c = k*ρ0/m = 0.107.

Итоговые матрицы:

- A = [[0, 1], [a, b]] (матрица динамики),
- B = [[0], [c]] (матрица управления),
- C = [1 0] (матрица выхода).

На рисунке 7 приведена схема моделирования системы с дискретным фильтром Калмана.

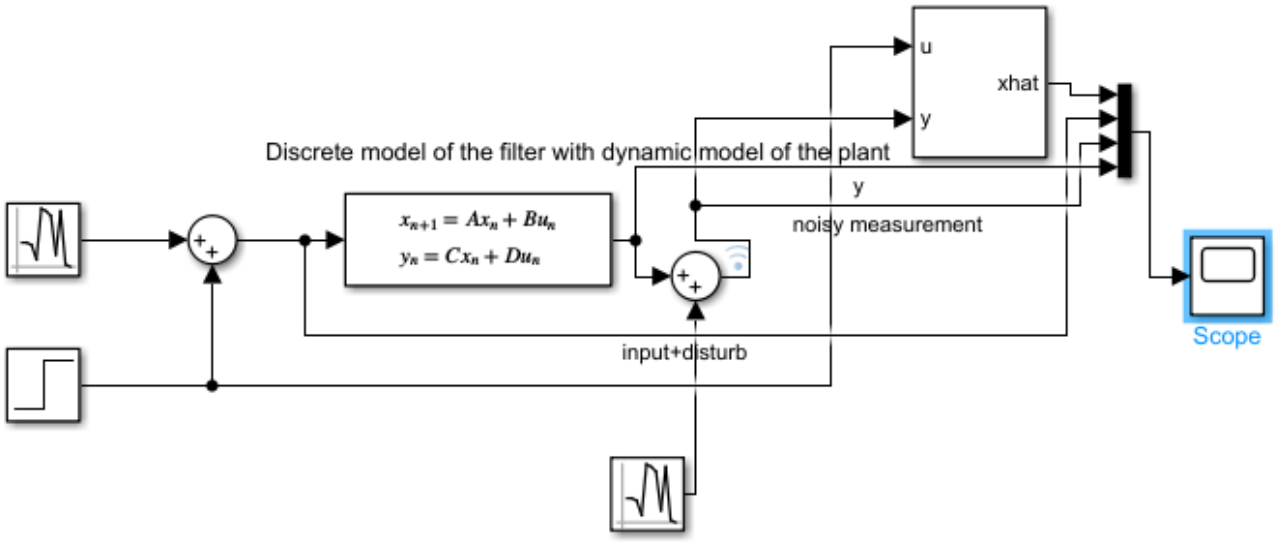


Рис. 7. Моделирование системы

В результате выполнения моделирования мы получим следующие графики на Scope:

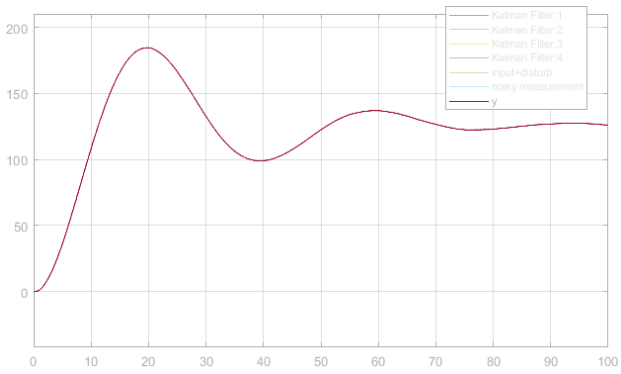


Рис.8. Переходный процесс выхода расширенной системы

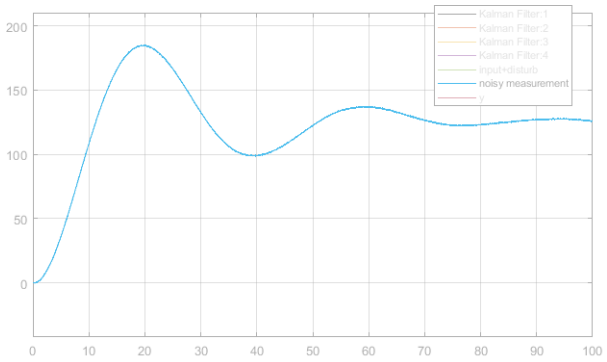


Рис. 9. Переходный процесс расширенной системы с шумом

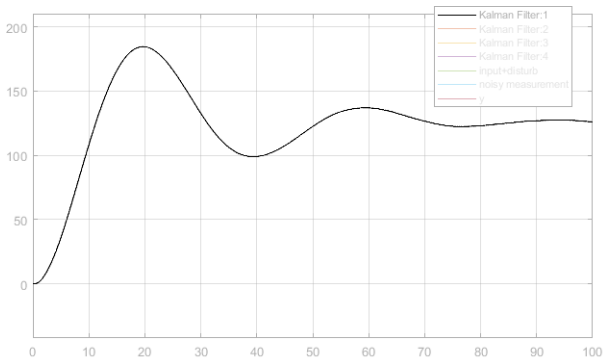


Рис.10. Переходный процесс выхода системы после фильтрации

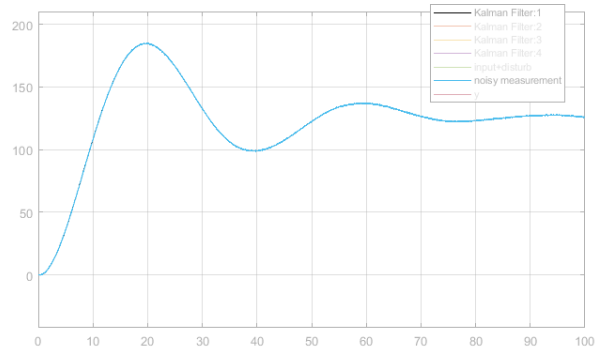


Рис. 11. Сравнение переходных процессов до фильтрации и после

Для уточнения поведения кривой в окрестности начала координат необходимо увеличить масштаб (рис.12).

График на рисунке 12 демонстрирует эффект фильтрации сигнала. Синяя линия отображает исходный сигнал (до фильтрации), характеризующийся значительными шумами и колебаниями вокруг основной тенденции, а черная линия показывает сигнал после

применения фильтра. Фильтрация заметно снизила уровень шума и сгладила колебания, сделав тренд более явным и четким.

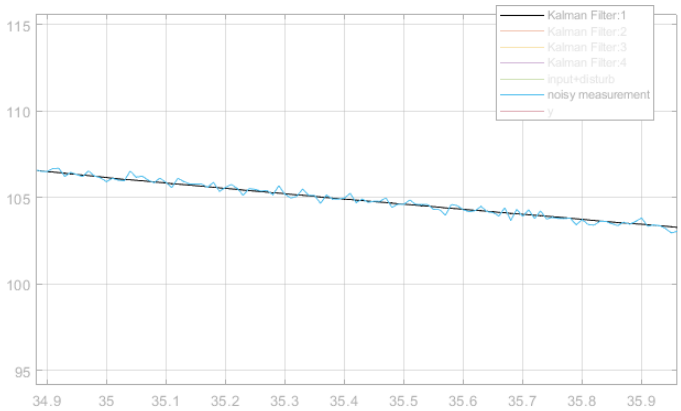


Рис. 12. Приближённый график на рис.11

В итоге, применение фильтра улучшило качество сигнала, уменьшив уровень ветровых помех, действующих на вертолёт, и повысив его информативность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Есаулов С.Ю. Бахов О.П. Дмитриев И.С.* Вертолѐт как объект управления. – М., «Машиностроение», 1977.

2. *Берестов Л.М.* Моделирование динамики вертолета в полете. М: Машиностроение, 1978.

ASSESSMENT OF HELICOPTER CONDITION UNDER THE INFLUENCE OF WIND DISTURBANCES

Zhuravleva K.S.

Supervisor: Terentyev S.A, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. Helicopters are vertical take–off aircraft that have the ability to solve a wide range of tasks and operate in modes that are not available to other types of aircraft. One of the important factors influencing helicopter behavior is wind exposure, which can significantly affect helicopter stability and handling, especially in difficult meteorological conditions. Therefore, at the moment it is an urgent task to develop a mathematical model of a helicopter taking into account wind disturbances.

УДК 681.2

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Ипполитова С.В.

Научный руководитель: Аскарова А.Я., доцент, к.т.н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассмотрены основные проблемы и пути совершенствования системы управления качеством в производстве прецизионных измерительных приборов. Проанализированы причины нестабильности параметров, влияние человеческого фактора, техническое состояние оборудования, а также недостаточная стандартизация процедур

контроля и тестирования. На основе анализа статистических данных и примеров предприятий выделены эффективные методы повышения надёжности и точности продукции.

Прецизионные измерительные приборы занимают особое место в современной промышленности и науке. Их точность лежит в основе технологических процессов, контроля продукции и проведения исследований, поэтому требования к ним во многом жёстче, чем к большинству массовых изделий. Недостатки такой продукции могут повлечь за собой тяжёлые последствия: ошибки в эксплуатации на производстве, неверные научные результаты, сбои в высокотехнологичных системах. Учитывая растущие запросы по точности и надёжности, создание чёткой системы управления качеством в этом секторе становится вопросом не только прибыли предприятия, но и престижа страны-производителя.

Несмотря на широкое внедрение современных технологий, на большинстве промышленных заводов и исследовательских лабораторий сохраняется ряд важных и пока нерешённых проблем. Производственный процесс требует, чтобы на каждом его этапе строго соблюдались все установленные стандарты — начиная от выбора и закупки исходного сырья, заканчивая финальной упаковкой изделия. На практике этот процесс сталкивается с трудностями: часто бывает непросто точно контролировать геометрические размеры деталей, характеристики их поверхности и механические свойства, а также их взаимное соответствие внутри готового изделия. Даже незначительные колебания температуры, влажности или состава воздуха в производственном помещении способны сказаться на точности конечного продукта. В условиях отдельных лабораторий решающим фактором становятся даже десятые доли градуса: при их несоблюдении качество изделий может заметно снизиться.

Дополнительно стоит отметить, что многие современные предприятия начинают внедрять элементы концепции «умного производства» (Smart Manufacturing), основанные на постоянном мониторинге параметров среды и производственного оборудования. Использование сенсорных систем и Интернета вещей (IoT) позволяет фиксировать микроколебания параметров, влияющих на точность, и автоматически корректировать процесс. Однако такие технологии требуют высокой культуры метрологического обеспечения и регулярного обновления программного обеспечения, что пока реализуется лишь на ограниченном числе площадок.

Большое влияние на стабильность производства оказывают и внутренние организационные вопросы. Так, далеко не всегда есть возможность оперативно и точно подтвердить качество комплектующих, поступающих на производство, а передача информации между отделом технологов и отделом контроля часто не отличается прозрачностью и последовательностью. Кроме того, избежать появления ошибок практически невозможно без регулярной проверки измерительного оборудования и поддержания его в рабочем состоянии.

Причинами можно назвать как человеческий фактор, так и просчёты в автоматизированных технологических программах. К недостаткам продукции относят не только ошибки измерения, но и дефекты в сборке, несоответствие внутренней структуры изделия, а также проблемы с обработкой поверхности линз или других деталей корпуса.

В последние годы особое внимание уделяется интеграции системы управления качеством с общим цифровым контуром предприятия. В рамках концепции «цифрового двойника» создаются виртуальные модели измерительных приборов, которые позволяют прогнозировать возможные дефекты ещё до начала физического производства. Такая методика значительно снижает затраты на экспериментальные серии и повышает эффективность корректирующих мер.

Наконец, одной из ключевых сложностей остаётся отсутствие унифицированных стандартов тестирования и калибровки. Во многих организациях разработка стандартов для приборов бывает формальной и не учитывает специфику используемых материалов, особенностей техники или даже условий хранения продукции. Это приводит к тому, что

один и тот же образец при разных условиях может оцениваться по-разному: либо как полностью соответствующий требованиям, либо как подлежащий дальнейшей доработке [1].

Для глубокого анализа проблем, характерных для сферы производства прецизионных измерительных приборов, рассмотрим их по ключевым направлениям.

Первое - отсутствие устойчивого контроля на всех стадиях изготовления. Даже если внедрена базовая проверка поступающего сырья (например, металлов, сплавов, оптического стекла), зачастую эти данные не пересекаются с результатами промежуточной обработки. Нарушение преемственности информации приводит к неэффективности выявления брака на ранней стадии, когда затраты на исправление дефектов минимальны.

Вторая заметная проблема - зависимость качества сборки и настройки приборов от квалификации персонала. Даже при наличии программ регулярного обучения ошибки по причине усталости, невнимательности и личных особенностей не снижаются ниже определённого уровня. На производстве оптических анализаторов в России установлено, что после пяти часов непрерывной работы вероятность ошибки в сложных процедурах растёт почти на треть. Механический труд можно стандартизировать, но индивидуальные навыки профессионалов остаются ключевым элементом надежности конечного изделия — и это особенность именно данной отрасли [3].

В этой связи перспективным направлением становится внедрение систем поддержки операторов — программ, которые фиксируют последовательность действий и выдают предупреждения при отклонении от алгоритма. Использование таких решений позволяет снизить влияние человеческого фактора и облегчить адаптацию новых сотрудников к технологическим процессам.

Третья проблема - техническое состояние оборудования. Многие заводы и лаборатории вынуждены работать на старых приборах ещё советского периода, по причине нехватки финансирования либо технических сложностей установки нового оборудования. Использование изношенных станков и вспомогательных систем негативно сказывается на точности обработки деталей, а также на возможности повторяемости технологических операций.

Для решения этой проблемы предлагается внедрение поэтапной модернизации — обновление ключевых узлов оборудования с использованием технологий обратного проектирования. Такой подход позволяет повысить точность работы без полной замены станков и минимизировать финансовую нагрузку на предприятие.

Четвёртый аспект - отсутствие единой базы данных результатов промежуточных и итоговых измерений. На большинстве старых предприятий контроль ведется «на бумаге», а результаты испытаний доступны только ответственному сменному инженеру. Современные подходы же требуют создания цифрового архива, что позволяет вести аналитику не только по отдельным приборам, но и по сериям, партиям, выявлять скрытые тенденции к браку, отслеживать изменения характеристик в зависимости от сезона или смены параметров внешней среды. Без такой «системной памяти» управление качеством остаётся фрагментарным.

Пятое направление — недостаточная детализированность регламентов при проведении калибровки. Во многих фирмах используемые методики не охватывают всех особенностей конструкции нового оборудования или материалов. К примеру, для сложных электронных приборов (аналитические вольтметры, генераторы стандартных сигналов, аналого-цифровые преобразователи) отдельные этапы настройки остаются на усмотрение мастера, что ведёт к субъективности оценок и увеличивает область неопределённости.

Сталкиваясь с этими проблемами, предприятия внедряют разнообразные подходы к улучшению качества. Чаще всего это создание многоуровневой системы контроля, когда отдельные этапы ведутся разными специалистами — например, входной контроль сырья, промежуточная проверка после механической обработки, финальное испытание после сборки. В ряде компаний введены строгие графики работы и смен, регламентированы перерывы, чтобы снизить нагрузку и уменьшить количество ошибок из-за усталости.

Некоторые заводы проводят регулярные семинары для сотрудников, обмениваются опытом с научными лабораториями и смежными производствами [4].

Наряду с этим активно развивается практика внутреннего аудита качества, позволяющая оценить эффективность внедрённых процедур.

Статистика показывает: на предприятиях, где введён детализированный анализ производственного брака и унифицированы стандарты проверки, процент возврата изделий снижается на 20–28% в течение первого года после изменений [5].

Особую роль играет внедрение современных методов измерения — подавляющее большинство успешных предприятий отмечают значительное повышение стабильности продукции после подключения калибровочных лабораторий и построения собственной метрологической службы. При этом повышается не только качество, но и доверие заказчиков, поскольку все этапы могут быть документированы и подтверждены независимыми отчётами.

Дополнительно, для минимизации ручного труда предприятия внедряют стандартизацию процедур тестирования. При этом особое значение придаётся формированию чётких правил для работы с каждым типом прибора, включая требования к месту испытаний, условиям хранения, периодичности поверок. Это особенно важно для продукции, направляемой в предприятия аэрокосмической, медицинской и машиностроительной отраслей, где даже малейшее отклонение от стандарта ведёт к риску выхода из строя сложных систем [6].

Анализируя изложенное, мы пришли к выводу, что только системный, комплексный подход даёт реальное повышение качества и точности при производстве прецизионных измерительных приборов. Необходимо объединять сразу несколько методов: последовательный контроль качества на всех процедурах, создание прозрачной базы промежуточных и окончательных испытаний, настройка индивидуальных стандартов для разных типов продукции и постоянное повышение квалификации сотрудников.

Опыт российских и зарубежных предприятий доказывает: персонализированные программы калибровки, регулярное обучение и взаимодействие специалистов, а также переход к цифровому архивированию всей метрологической информации позволяют не только уменьшить процент брака, но и заранее выявлять прорехи в производственной цепочке. Важно уделять внимание не только самому оборудованию, но и деталям: тщательный отбор комплектующих и постоянная связь с поставщиками позволяют снижать ошибки на самом раннем этапе.

Ключ к решению проблем лежит в сочетании технических и организационных усилий. Если каждая стадия будет контролироваться независимо и все результаты аккуратно фиксироваться, предприятие сможет не только снизить число дефектных изделий, но и прогнозировать нестабильность характеристик во времени. Так формируется устойчивая репутация предприятия, а значит — и доверие к выпускаемой продукции в любой точной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Коваленко А.В., Сысуев П.В.* Система менеджмента качества на предприятии: современные тенденции и методы внедрения // Вестник современных исследований. — 2022. — №2(47). — С. 65-69.

2. *Захаров И.Ю., Лебедев И.В.* Особенности внедрения стандартов ISO 9001 на предприятиях приборостроения // Управление качеством. — 2020. — №3. — С. 40-47.

3. *Тихонов В.А., Савельев Ю.П.* Применение методов бережливого производства в организации контроля качества высокоточных измерительных приборов // Приборостроение. — 2021. — Т.64, №5. — С. 109-116.

4. *Ким Г.С.* Автоматизация процессов контроля качества на предприятиях точного приборостроения // Инженерный журнал: наука и инновации. — 2023. — №1. — С. 11-16.

5. *Гришин А.А.* Цифровая трансформация системы управления качеством в производстве электроники и измерительных приборов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2023. — №2(78). — С. 87-94.

6. *Dey S., Paul S.K., Ghosh K*. Implementation of Total Quality Management in Precision Instrument Industry // Quality Management Journal. — 2021. — Vol. 28, Issue 3. — P. 120–134.

DEVELOPMENT OF A QUALITY MANAGEMENT SYSTEM IN THE PRODUCTION OF PRECISION MEASURING INSTRUMENTS

Ippolitova S.V.

Scientific Supervisor: Askarova A.Ya., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article examines the main issues and ways to improve the quality management system in the production of precision measuring instruments. The causes of parameter instability are analyzed, as well as the influence of the human factor, technical condition of equipment, and insufficient standardization of control and testing procedures. Based on the analysis of statistical data and case studies of enterprises, effective methods for increasing the reliability and accuracy of products are highlighted.

УДК 681.2

КАЧЕСТВО ДЕТАЛЕЙ ПРИБОРОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Ипполитова С.В.

Научный руководитель: Аскарова А.Я., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассмотрен метод лазерной обработки при изготовлении деталей приборов, а также влияние лазера на качество поверхности деталей, в частности влияние термокапиллярной конвекции.

Лазерная обработка — это современная высокоточная технология, получившая широкое распространение в машиностроении, микроэлектронике и приборостроении. Её популярность объясняется высокой точностью, универсальностью, минимальным влиянием на обрабатываемый материал и возможностью интеграции в гибкие производственные процессы [1]. Однако качество лазерной обработки может значительно варьироваться в зависимости от множества технологических и физических факторов.

В последние годы лазерные технологии активно развиваются в направлении микро- и наномасштабной обработки, что требует учёта всё более тонких физических эффектов. В частности, при уменьшении размеров зоны воздействия и увеличении требований к качеству поверхности возрастает роль внутренних тепловых и гидродинамических процессов, возникающих в момент обработки.

Преимущества лазерной обработки:

1. Высокая точность. Лазерное воздействие обеспечивает минимальные отклонения от заданных размеров, что критически важно при изготовлении точных приборов. Использование ЧПУ позволяет достигать точности в пределах нескольких микрон [2]. Более того, благодаря управляемой глубине проникновения, лазер может выполнять как поверхностную модификацию, так и глубокую резку без изменения геометрии изделия.

2. Минимальное тепловое влияние. Лазер концентрирует энергию в узкой зоне, что предотвращает значительный нагрев материала и сохраняет его физико-механические свойства. Это особенно важно при обработке термочувствительных материалов и

многослойных структур, где традиционные методы могут привести к деформации или разрушению.

3. Универсальность по материалам. Метод подходит для обработки металлов, керамики, полимеров, стекла и композитов, что делает его незаменимым при производстве сложных изделий [1]. При этом оптимизация параметров обработки позволяет получать разные типы воздействий — от плавления и спекания до испарения материала.

4. Интеграция с другими процессами. Возможность совмещения операций (резка, гравировка, сварка) в рамках одного этапа повышает производственную эффективность и снижает трудозатраты. На современных производственных линиях лазеры часто работают в связке с роботизированными манипуляторами и системами автоматического контроля, что способствует полной автоматизации технологического цикла.

В отличие от некоторых традиционных методов, лазеры не требуют использования абразивов или химических реагентов, что снижает количество отходов и загрязняющих выбросов.

Критерии оценки качества деталей:

1. Геометрическая точность. Измерение отклонений от проектных размеров позволяет оценить соответствие деталей техническим требованиям. Для особенно ответственных изделий может применяться лазерная интерферометрия, позволяющая контролировать точность на субмикронном уровне.

2. Состояние поверхности. Лазерная обработка позволяет существенно уменьшить шероховатость и улучшить микрорельеф, что особенно важно при подготовке функциональных поверхностей [2]. Гладкая поверхность способствует снижению трения, уменьшению износа и улучшению адгезии покрытий.

3. Микроструктура. Воздействие лазерного пучка должно быть подобрано таким образом, чтобы минимизировать структурные изменения, особенно в зонах термического влияния. Металлографические исследования показывают, что в благоприятных режимах можно добиться как сохранения исходной структуры, так и её целенаправленного упрочнения.

4. Механические свойства. При правильно подобранных режимах возможно повышение прочности, микротвёрдости и износостойкости поверхности [3]. Это открывает широкие возможности для локального упрочнения и модификации деталей без их полного переконструирования.

Факторы, влияющие на качество:

1. Тип лазера. Углекислотные, волоконные и твердотельные лазеры имеют различную длину волны и энергетические характеристики, что влияет на взаимодействие с конкретными материалами [1]. Например, ИК-лазеры хорошо подходят для металлов, а УФ-лазеры — для полимеров и полупроводников.

2. Параметры лазерной обработки. Скорость перемещения, мощность, частота пульсаций, диаметр пятна — все эти параметры напрямую влияют на глубину проплавления, температурный градиент и тепловое распределение. Оптимизация этих параметров требует точной калибровки оборудования и, в ряде случаев, предварительного моделирования.

3. Состояние обрабатываемой поверхности. Загрязнения, микротрещины могут вызвать неравномерное поглощение энергии и ухудшение качества обработки. Особенно это актуально при обработке в открытой атмосфере, где возможна быстрая реакция материала с кислородом или влагой воздуха.

4. Дополнительные операции. Последующая шлифовка, полировка и термообработка могут как улучшить, так и ухудшить результат лазерной обработки, если не учитывать режимы воздействия [3]. В некоторых случаях целесообразно применять комбинированную механо-лазерную обработку для достижения оптимальных результатов.

Одним из важнейших эффектов, сопровождающих лазерное нагревание и плавление материала, является термокапиллярная (Маркановская) конвекция. Этот процесс обусловлен разностью температур по поверхности расплава, что приводит к изменениям поверхностного

натяжения и перемещению частиц жидкости от центра зоны нагрева к периферии. Поверхностные слои, перемещаясь, увлекают более глубокие за счёт вязкого взаимодействия, формируя волнообразный профиль [4].

Температура на поверхности жидкости меняется радиально от наибольшего значения T_1 в центре ванны (см. рис. 1) до наименьшего значения на ее периферии T_2. Частицы жидкости, находящиеся на поверхности с более высокой температурой и, следовательно, с меньшим поверхностным натяжением, стремятся переместиться на участок поверхности с меньшей температурой и большим поверхностным натяжением. Всё это приводит к возникновению движения частиц жидкости вдоль свободной поверхности в сторону отрицательного градиента температуры. Поверхностные слои жидкости за счет ее вязкости увлекают более глубинные слои. В результате происходит термокапиллярная конвекция. При этом явлении образуется волнообразный профиль поверхности с углублением в центре и небольшими высотами по краям ванны расплавленного металла. Высота наплывов Δh может достигать до 3 мкм, что отрицательно сказывается на качестве поверхности изготавливаемой детали.

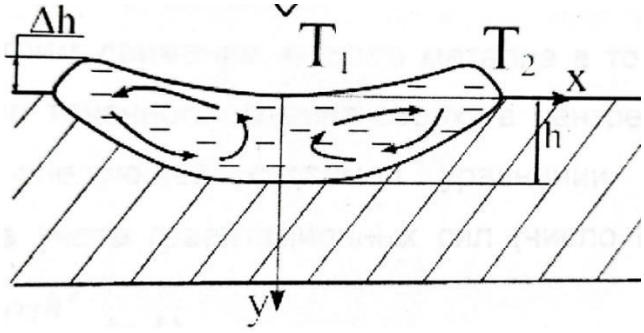


Рис.1. Термокапиллярная конвекция

Образование наплывов застывшего металла является нежелательным эффектом поверхностной лазерной обработки деталей, так как влияет на качество поверхности. Кроме того, такие неровности могут служить центрами концентрации напряжений, ускоряя старение или разрушение материала. Поэтому исследования, связанные с нахождением факторов, влияющих на профиль поверхности, имеют важное прикладное значение.

Для снижения влияния термокапиллярной конвекции возможно использовать несколько технологических решений:

- Регулировка режимов обработки — снижение мощности, уменьшение времени воздействия и увеличение скорости перемещения лазерного пучка могут уменьшить температурный градиент. Также возможно применение импульсных режимов, позволяющих локализовать тепловое воздействие во времени.

- Применение адаптивных оптических систем, которые корректируют форму и распределение лазерного пятна в реальном времени. Это позволяет добиться более равномерного прогрева и, как следствие, уменьшить влияние конвективных течений [4].

- Модификация состава обрабатываемого материала — добавление легирующих элементов и наночастиц позволяет изменить термофизические свойства расплава и стабилизировать его поведение при лазерном воздействии. Например, введение наночастиц оксидов может повысить вязкость расплава, тем самым снижая интенсивность конвекции.

Дополнительно важным направлением развития технологий становится внедрение автоматизированных систем управления и мониторинга. Использование тепловизоров, датчиков обратной связи и программных алгоритмов анализа позволяет отслеживать состояние зоны обработки в реальном времени и вносить корректировки без участия оператора. Это существенно снижает риск появления дефектов.

Перспективным подходом также считается использование комбинированных воздействий — например, наложение ультразвуковых колебаний во время лазерной

обработки способствует более равномерному перемешиванию расплава и предотвращает образование термокапиллярных волн. Такие методы уже находят применение при обработке микроструктур и тонкоплёночных покрытий.

Наконец, численные методы моделирования процессов теплопереноса и конвекции становятся неотъемлемой частью проектирования лазерной технологии. С помощью программных решений можно заранее предсказать температурные поля, форму зоны плавления и возможные дефекты, что даёт возможность оптимизировать параметры до начала реального эксперимента.

Таким образом, применение комплексного подхода, сочетающего современные методы диагностики, управление параметрами лазерного воздействия и моделирование физических процессов, обеспечивает высокое качество обработки. Исследуя влияние различных характеристик исследуемых систем: глубины проплавления, разности температур, теплофизических свойств самого материала, режимов теплового источника и скорости перемещения подвижного лазерного источника на высоту наплывов, появляется возможность регулирования развития термокапиллярной конвекции изменением этих параметров. Это обеспечивает более стабильный уровень качества деталей приборов и надежность применяемых технологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Евтихиев Н.Н., Очин О.Ф., Бегунов И.А.* Лазерные технологии: учебное пособие — Москва: Изд-во «Интеллект», 2022. — 240 с.

2. *Шиганов И.Н*. Специальные лазерные технологии: учебное пособие — Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. — 143 с.

3. *Гладуш Г.Г., Смуров И.Ю.* Физические основы лазерной обработки материалов — Москва: Физматлит, 2017. — 592 с.: ил. — ISBN 978-5-9221-1712-8. URL: rfbr.ru (дата обращения: 12.06.2025).

4. *Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И., Третьяков Р.С.* Лазерные аддитивные технологии в машиностроении: учебное пособие / под ред. А.Г. Григорьянца. — Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — 278 с.

THE QUALITY OF INSTRUMENT PARTS MADE BY LASER PROCESSING

Ippolitova S.V.

Supervisor: Askarova A.Ya., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper considers the method of laser processing in the manufacture of instrument parts, as well as the effect of laser on the surface quality of parts, in particular the effect of thermocapillary convection.

УДК 681.586’34

ОБЗОР ДАТЧИКОВ ВИБРАЦИИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Камалов А.И.

Научный руководитель: Никишина Г.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Рассматриваются микромеханические датчики вибрации (акселерометры и гироскопы) как ключевой класс микроэлектромеханических систем. Приведены физические принципы чувствительности, современные конструктивные решения, технологии микрофабрикации, методы калибровки и обработки сигналов, а также

актуальные области применения — от мониторинга технического состояния сооружений до биомедицинской диагностики. Особое внимание уделено тенденциям миниатюризации, энергоэффективности и повышению надёжности приборов в агрессивных средах.

Введение

Рост потребности в высокоточных, малогабаритных и энергоэффективных датчиках вибрации стимулировал бурное развитие микроэлектромеханических систем [1]. В отличие от классических пьезоэлектрических и тензорезистивных преобразователей, такие устройства изготавливаются методом массового производства на кремниевых пластинах, что обеспечивает воспроизводимость характеристик, снижение стоимости и возможность встраивания в компактные электронные узлы. Дополнительным фактором популярности стала возможность совместного размещения чувствительного элемента и электроники обработки сигнала в одном корпусе, что сокращает паразитные помехи и улучшает метрологические характеристики.

Динамика системы «масса–пружина–демпфер»

Основу большинства акселерометров, выполненных по технологии микроэлектромеханических систем, составляет подпружиненная инерционная масса. При внешнем ускорении $a(t)$ масса смещается на величину:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = ma(t),$$

где m – инерционная масса, x – смещение массы относительно корпуса, c – коэффициент вязкого демпфирования, k – жёсткость пружинного подвеса, $a(t)$ – внешнее поступательное ускорение корпуса [2]. Измерение смещения x либо его производных (скорости, ускорения) позволяет восстановить входное воздействие. Собственная частота свободных колебаний равна $f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$; при частотах существенно ниже f_n связь между смещением и ускорением приближённо линейна: $a \approx \frac{k}{m}x$. Вблизи резонанса существенны все три члена уравнения, и поведение определяется как амплитудой, так и фазой внешнего воздействия.

Принципы преобразования

1) Ёмкостный. Смещение подвижной массы изменяет дифференциальную ёмкость между неподвижными и подвижными гребнями. Дифференциальная схема подавляет общий шум и температурные влияния, обеспечивая высокую чувствительность при низком энергопотреблении.

2) Пьезорезистивный. В местах концентрации напряжений размещаются тонкие легированные мостики, сопротивление которых меняется при деформации. Метод технологически прост, но чувствителен к температурным дрейфам.

3) Пьезоэлектрический. На плёнке нитрида алюминия или оксида цинка при деформации возникает электрический заряд. Такой подход удобен при измерении вибраций в широком диапазоне частот и для высоких динамических нагрузок.

4) Оптический. Смещение модулирует интенсивность света в интегральной волноводной структуре. Метод перспективен для ультраминиатюрных и низкошумных датчиков, нечувствительных к электромагнитным помехам.

Пакетная обработка кремния

Классические методы — фотолитография, анизотропное влажное и глубинное реактивное ионное травление, ионная имплантация. Комбинация объёмного и поверхностного микромеханического подходов позволяет формировать подвижные подвесы толщиной 10–50 мкм с зазорами 1–4 мкм. Геометрия подвесов (кантилеверы, S-образные балки, рамки) подбирается для достижения требуемой жёсткости и допустимого хода. Важную роль играет перфорация подвижной массы: через неё отводится газ, что снижает «сдавливающий» эффект и позволяет настраивать демпфирование.

Структура «кремний-на-изоляторе»

Применение подложек типа «кремний-на-изоляторе» сокращает паразитную ёмкость, упрощает формирование глубоких подвижных структур и повышает однородность параметров за счёт фиксированной толщины активного слоя [3]. Такая структура облегчает точную подгонку собственной частоты по проекту, снижает разброс между приборами из одной партии и улучшает температурную стабильность.

Монолитная интеграция электроники и чувствительного элемента

Совместное размещение чувствительного элемента, усилителя, аналогово-цифрового преобразователя и интерфейса в одном кристалле уменьшает длину и количество межсоединений, снижает входной шум и изолирует датчик от внешних помех. Кроме того, встроенные тестовые электроды позволяют возбуждать известные электростатические силы для оперативной самопроверки и калибровки без внешних механических стендов.

Схемотехника

Дельта-сигма преобразование с цифровой демодуляцией обеспечивает широкий динамический диапазон (более 100 дБ) при потребляемой мощности менее 500 мкВт. В режиме силовой обратной связи электроника генерирует электростатическое противодействие, удерживающее массу вблизи нулевого положения. Величина компенсирующей силы пропорциональна ускорению и после оцифровки становится выходным сигналом сенсора. Такой подход улучшает линейность, снижает влияние ограниченного хода и уменьшает дрейф нуля.

Температурная компенсация

Применяются встроенные терморезисторы и температурные датчики, позволяющие оценивать текущую температуру кристалла и корректировать смещение нуля и коэффициент преобразования. Дополнительно используются схемы опорной рампы, обеспечивающие стабилизацию чувствительности на всём диапазоне температур. Для приборов высокой точности выполняется индивидуальная термокалибровка с построением таблиц коррекции.

Системная калибровка

Шестипозиционный метод (ориентация датчика в шести положениях относительно вектора ускорения свободного падения) позволяет оценить смещение нуля и масштабные коэффициенты по осям. Калибровка «на месте» с использованием встроенных электростатических стимуляторов помогает регулярно контролировать чувствительность, не снимая прибор с объекта. По результатам калибровок вносятся поправки в программное обеспечение устройства. Итоговая погрешность чувствительности может быть снижена до 0,1 % шкалы, а смещение нуля — стабилизировано на уровне десятков милли-g.

Расчёт и выбор параметров чувствительного элемента

Проектирование ведётся от требований к диапазону ускорений, полосе частот и допустимому шуму.

1) Выбор собственной частоты. Обычно принимают запас: $f_n \geq 3...5 * f_{раб}$, чтобы рабочие частоты не попадали в резонансную область.

2) Оценка хода. При максимальном ускорении квазистатический ход $x_{max} \approx \frac{a_{max}}{\omega_n^2}$, где $\omega_n = 2\pi f_n$. Ход должен быть существенно меньше технологического зазора.

3) Масса и жёсткость. Масса задаётся площадью и толщиной подвижного элемента, жёсткость — геометрией балок подвеса; далее рассчитывают $k = m\omega_n^2$.

4) Демпфирование. Коэффициент качества выбирают исходя из требований к времени установления и шуму. Для ускоренных переходных процессов целесообразен умеренный коэффициент качества, а для сверхнизкошумных приборов — высокий коэффициент качества и вакуумная герметизация.

5) Проверка по шуму. Оценивают тепловой (броуновский) шум механической части и суммарный электронный шум тракта; при необходимости увеличивают массу, изменяют зазор и давление в полости, оптимизируют усилители.

Источники погрешностей и шумовые ограничения

К основным погрешностям относятся: смещение нуля и его температурный дрейф; погрешность масштабного коэффициента; перекрёстная чувствительность по нерабочим осям; нелинейность вблизи предельного хода; влияние внешних акустических и электромагнитных помех. Тепловой шум определяется диссипативными процессами в механической системе (трение газа в щелях, внутренние потери в материале, якорное демпфирование). В электронном тракте учитываются собственные шумы входного усилителя, квантизация и тактовые артефакты. Современные архитектуры переносят значительную часть электронного шума за предел рабочей полосы за счёт передискретизации и цифровой фильтрации.

Упаковка, герметизация и надёжность

Для обеспечения стабильной работы необходима герметичная полость с контролируемым давлением и составом газа. Применяются крышки из кремния или стекла, соединённые с основанием твёрдотельной сваркой «кремний-кремний» либо анодным способом. Важны малые остаточные напряжения и согласование коэффициентов теплового расширения материалов, чтобы исключить температурные дрейфы. Надёжность подтверждается испытаниями на механические удары и вибрации, термоциклированием и влажностным старением; на этапе проектирования проводится моделирование мод собственных колебаний, ударной прочности и тепловых напряжений.

Применение

Таблица 1

Применение датчиков вибрации на основе технологии микроэлектромеханических систем

Область	Функция датчика	Особенности
Промышленный интернет вещей	Диагностика вибраций редукторов и подшипников	Питание от энергетического харвестера, беспроводной интерфейс Bluetooth Low Energy
Аэрокосмическая техника	Инерциальные измерительные модули	Радиационно-стойкие датчики на подложке «кремний-на-изоляторе», температурный диапазон –55…+125 °C
Биомедицина	Оценка тремора, мониторинг осанки	Ультранизкий шум, габариты менее 2 мм²
Сейсмология	Регистрация микротолчков (менее 1 милли-g)	Требуется малый собственный шум (менее 50 нано-g $/\sqrt{\text{Гц}}$)
Потребительская электроника	Управление жестами, стабилизация изображения	Массовое производство более 100 млн шт/год

Преимущества и ограничения

Преимущества: миниатюрность, низкая стоимость, малое энергопотребление, возможность массовой интеграции с электроникой, устойчивость к помехам при дифференциальных схемах считывания.

Ограничения: чувствительность к температурным градиентам, необходимость герметичного корпуса, деградация параметров при высоких ударных нагрузках, ограничение верхней рабочей частоты геометрией подвесов и демпфированием.

Тенденции развития

1) Низкошумные пьезоэлектрические структуры для сейсмических применений.

2) Интеграция с наноэлектромеханическими элементами для расширения верхней граничной частоты до десятков мегагерц.

3) Алгоритмы машинного обучения, выполняемые непосредственно на кристалле, для локальной классификации вибрационных спектров без передачи «сырых» данных.

4) Герметизация твёрдотельной сваркой «кремний-кремний» с обеспечением вакуума порядка 10^{-3} Па для повышения долговременной стабильности.

Заключение

Датчики вибрации, созданные на основе технологий микроэлектромеханических систем, представляют собой зрелую, но продолжающую быстро развиваться технологию, лежащую в основе современных киберфизических систем. Их дальнейший прогресс определяется совершенствованием микрофабрикации, глубокой интеграцией с цифровой электроникой и внедрением интеллектуальных методов обработки данных. Комплексная оптимизация механизма чувствительности, энергопотребления и масштабируемости позволит удовлетворить запрос растущих рынков промышленного интернета вещей, автономного транспорта и персональных медицинских устройств. Дополнительные резервуары улучшений связаны с повышением однородности параметров в партиях, дальнейшим снижением уровня шумов и внедрением самокалибрующихся архитектур с прогнозированием деградации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Bao, M., Analysis and Design Principles of MEMS Devices. Elsevier, 2021.

2. Yazdi, N., Ayazi, F., Najafi, K. "Micromachined Inertial Sensors," Proc. IEEE, vol. 86, no. 8, pp. 1640-1659, 1998.

3. Beeby, S., Ensell, G., Kraft, M., White, N. MEMS Mechanical Sensors. Artech House, 2020.

OVERVIEW OF VIBRATION SENSORS BASED ON MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS TECHNOLOGY

Kamalov A.I.

Supervisor: Nikishina G.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Micromechanical vibration sensors (accelerometers and gyroscopes) are considered as a key class of microelectromechanical systems. The physical principles of sensitivity, modern design solutions, microfabrication technologies, calibration and signal processing methods, as well as current applications ranging from monitoring the technical condition of structures to biomedical diagnostics are presented. Special attention is paid to the trends of miniaturization, energy efficiency and increased reliability of devices in aggressive environments.

УДК 550.380.83

ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕГРИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ БУРЕНИИ В АППАРАТУРУ LWD

***Ковалев Д.В.*[1,2]**

Научный руководитель: Воробьев А.В.[3], профессор, д. т. н.

([1]АО «Башнефтегеофизика», г. Уфа,

[2]Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа,

[3]Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа)

Аннотация. В работе рассмотрено влияние геомагнитных возмущений на точность магнитной инклинометрии при бурении скважин и предложена концепция системы поддержки принятия решений, учитывающей факторы космической погоды. Описаны архитектура и принципы интеграции системы в LWD/MWD-комплексы, а также перспективы применения методов машинного обучения и технологий «цифрового двойника» для повышения достоверности геонавигации.

Теоретические основы магнитной инклинометрии скважин

Современные реалии бурения обуславливают очень высокие требования к точности соблюдения заложенной при проектировании траектории скважин. Соблюдение траектории достигается за счет непрерывного контроля пространственного положения ствола скважин при помощи инклинометрической системы, которая рассчитывает значения зенитного и азимутального угла, основываясь на направлениях векторов гравитационного и магнитного полей Земли (рис.1) (1).

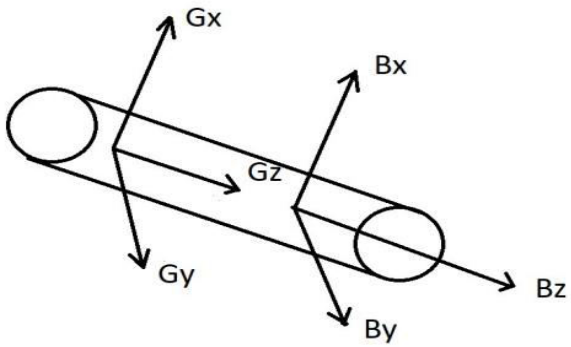


Рисунок 1. Схема магнитного инклинометра,
где Gx, Gy, Gz – акселерометры, Bx, By, Bz – магнитометры

$$B_{total} = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}; \quad G_{total} = \sqrt{G_x^2 + G_y^2 + G_z^2}; \tag{1}$$

Геомагнитные возмущения, обусловленные магнитными бурями и суббурями, возникающими при взаимодействии магнитосферы Земли с высокоскоростными потоками заряженных частиц солнечного ветра, приводят к изменению вектора напряжённости геомагнитного поля, что негативно отражается на точности измерений инклинометра [1]. Строение магнитосферы таково, что геомагнитная активность максимальна на широтах 65–75°. Это может негативно повлиять на соблюдение заложенной проектом траектории скважин, что особенно критично в условиях шельфового бурения, где любая неточность или простой могут принести как репутационные, так и существенные денежные потери.

Требования к точности определения пространственного положения скважины в условиях воздействия космической погоды

В соответствии с промышленными стандартами магнитометрические инклинометрические системы должны обеспечивать основную погрешность измерения зенитного угла не более ±0,5° (диапазон измерений 0–180°) и основную погрешность измерения азимута не более ±2° при зенитных углах свыше 3° [2]. Дополнительные метрологические поправки, учитывающие влияние температуры окружающей среды, лимитируются величиной не более 10% от основной погрешности на каждые 10°C от стандартных 20°C, а погрешности, обусловленные флуктуациями напряжения питания, — не более 20% от основной погрешности. Такие нормативные показатели заложены в регламентных документах и определяют пределы допустимых отклонений при проведении инклинометрических измерений в стандартных условиях.

В условиях повышенной геомагнитной активности, характерной для периодов $Kp \geq 6$ и областей аврорального овала, в работу инклинометрических систем предлагается вводить динамическую дополнительную погрешность, обусловленную изменениями локального геомагнитного поля под воздействием суббурь и магнитных бурь. Зафиксировано, что величина этой дополнительной погрешности по азимуту может достигать 5–10°, а по зенитному углу — 1,5–2° [3]. Суммарная погрешность измерений в таких условиях складывается из базовой системной неопределённости и импульсных возмущений внешнего происхождения, что приводит к многократному превышению нормативных допусков и напрямую влияет на достоверность определения пространственного положения ствола скважины. Для практической реализации алгоритмов количественного учета влияния

геомагнитной активности (ГМА) на показания инклинометра необходимо создание специализированного методического программного обеспечения (МПО) и интеграция его в существующие системы LWD. Такое МПО должно обеспечивать моделирование, численные расчёты, фильтрацию данных, прогнозирование и визуализацию результатов. В данной секции предложена структурированная архитектура МПО, включающая в себя функциональные модули различного назначения.

Концепция системы поддержки принятия решений

Целью системы является обеспечение соответствия фактической траектории скважины проектным параметрам. Контроль осуществляется на основе данных скважинного магнитометра, который регистрирует характеристики магнитного поля и позволяет определять пространственное положение бурильного инструмента (азимут, угол отклонения от вертикали, глубину). Эти данные сопоставляются с проектным профилем в режиме реального времени.

Лицом, принимающим решения, является инженер-технолог, ответственный за наклонно-направленное бурение. Для повышения достоверности анализа ему дополнительно предоставляется информация о геомагнитной обстановке, поскольку магнитные возмущения способны вносить систематические ошибки в измерения.

Система построена по принципу замкнутого управления: фактические данные поступают в контур анализа, где учитывается влияние геомагнитных факторов, после чего рассчитываются отклонения траектории от проектного допуска. При превышении допустимых значений формируется решение о корректирующих действиях.

Проблемой является ограниченность прямых данных о геомагнитной обстановке, особенно в высокоширотных районах. В связи с этим система предусматривает два источника информации:

- результаты прямых наблюдений, если поблизости функционируют магнитные станции;
- данные виртуальных моделей, позволяющих прогнозировать состояние геомагнитного поля при отсутствии наблюдений.

Такой подход обеспечивает универсальность и применимость системы как в условиях развитой сети мониторинга, так и при её отсутствии.

Интеграция предложенной системы в существующие LWD/MWD-системы

В качестве эффективного пути интеграции предложенной системы поддержки принятия решений в существующую телеметрию бурения можно рекомендовать модульный подход, включающий два взаимосвязанных компонента. Первый компонент — забойный модуль, устанавливаемый в состав бурильного инструмента и представляющий собой компактный вычислительный блок на базе одноплатного контроллера (ARM) или программируемой логической матрицы (ПЛМ). Этот агент получает по существующему гидравлическому или электронному каналу связи прогнозные параметры космической погоды (индекс геомагнитной активности Kp, индекс возмущения Dst и характеристики потока солнечного ветра), выполняет в реальном времени первичную фильтрацию геомагнитных возмущений и калибровку показаний магнитного инклинометра. Благодаря этому снижается объём «зашумлённых» данных и повышается достоверность закольцованных замеров, поступающих на поверхность.

Второй компонент — наземная платформа, интегрируемая с системой централизованного контроля и сбора данных буровой (аналог SCADA) или с рабочей станцией бурового оператора. Передача данных между забоем и поверхностью осуществляется по тем же каналам связи, при этом для взаимодействия компонентов используется стандартный сетевой протокол по HTTP с обменом сообщениями в формате JSON и промышленный протокол обмена данными (АИС «Первичная Автоматизация» вместо OPC-UA). Наземная платформа аккумулирует и визуализирует как прогнозные, так и фактические навигационные параметры; при достижении порога высокой геомагнитной

активности (например, индекс Kp ≥ 6) она автоматически помечает неблагоприятные временные интервалы и формирует рекомендации по адаптации режима бурения.

Дополнительный уровень повышения точности может быть обеспечен многофакторным анализом, при котором данные системы поддержки решений сопоставляются с результатами каротажных измерений во время бурения (измерения гамма-излучения, электрического сопротивления, акустических и вязкостных характеристик). Это позволяет разграничивать истинные геологические аномалии и геомагнитный шум. В случаях применения бурильной колонны с проводным кабелем для передачи данных (wired drill-pipe) реализуется полнофункциональный двунаправленный канал: забойный модуль передаёт статистику наблюдаемых дополнительных погрешностей, наземная платформа рассчитывает корректирующие коэффициенты и возвращает их обратно на забой для адаптивной калибровки инклинометрического комплекса непосредственно в процессе бурения. Такой комплекс мер обеспечивает соблюдение метрологических требований и повышает надёжность геофизической навигации в условиях переменных параметров космической погоды.

Перспективным направлением развития представляется использование алгоритмов машинного обучения для автоматизированного выявления и классификации сигнатур геомагнитных возмущений в многомерных массивах навигационных и геофизических данных. Внедрение технологий «цифрового двойника» буровой операции позволит моделировать поведение инклинометрического комплекса при различных сценариях космической погоды и адаптировать стратегию бурения на основе прогностического анализа. В дальнейшем возможно создание унифицированного интеллектуального комплекса, интегрирующего систему поддержки принятия решений в состав LWD/MWD-инструментария и обеспечивающего повышение степени автоматизации и надежности геонавигации в условиях геомагнитной вариабельности.

Выводы

Воздействие геомагнитных возмущений на магниточувствительные инклинометры может приводить к дополнительным погрешностям, превышающим базовую системную невязку датчика. При отсутствии архивов совместных измерений инклинометра и индексов ГМА требуется модельный подход на основе имеющихся данных: геомагнитного эталона (IGRF), глобальных индексов и, при возможности, дополнительных сенсоров (например, гироскопов). Известны несколько направлений решения задачи, включая использование прогноза космической погоды для коррекции в реальном времени, адаптивную калибровку сенсоров и мультисенсорное слияние (магнитных и инерциальных датчиков). Предложенная архитектура демонстрирует практическую реализуемость интеграции инструментов учёта геомагнитных возмущений в стандартные телеметрические комплексы бурения. Реализация модульного подхода обеспечивает совместимость с существующей инфраструктурой, тогда как использование прогностических моделей космической погоды и перспективных методов обработки данных формирует основу для дальнейшего повышения точности и устойчивости геонавигации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Воробьев А.В.* Оценка влияния геомагнитной активности на метрологические характеристики инклинометрических информационно-измерительных систем // Измерительная техника. 2017. №6. С. 21–24.

2. *Воробьев А.В., Шакирова Г.Р., Иванова Г.А.* Исследование и анализ естественных факторов, воздействующих на метрологические характеристики магнитометрических инклинометров // Вестник УГАТУ. 2015. № 1 (67).

3. *Ковалев Д.В.* Оценка влияния геомагнитной активности на дополнительную погрешность инклинометрических систем // Вестник Пермского университета. Геология. – 2024. – Т. 23, № 4. – С. 323-328. – DOI 10.17072/psu.geol.23.4.323. – EDN LRPBFO.

THE POSSIBILITIES OF INTEGRATING THE DECISION SUPPORT SYSTEM INTO THE LWD TOOLS

***Kovalev D.V.*[1,2]**
Supervisor: Vorobyev A.V.[3], Full Professor, Doctor of Engineering Sciences
([1]JSC Bashneftegeofizika, Ufa, Russia
[2]Ufa State Petroleum Technological University, Ufa
[3] Ufa University of Science and Technology, Ufa)

Abstract. The paper examines the impact of geomagnetic disturbances on the accuracy of magnetic wellbore inclinometry and proposes a decision support system concept that accounts for space weather effects. The architecture and integration principles of the system into LWD/MWD complexes are described, along with prospects for applying machine learning and digital twin technologies to improve geonavigation reliability.

УДК 629.7.058.54; 629.7.058.4; 004.031.6; 004.057.4

ИНТЕРФЕЙС ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ О ВЫСОТНО-СКОРОСТНЫХ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ

Козловский Р.В., Козловский Г.В.
Научный руководитель: Солдаткин В.М., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается интерфейс передачи информации о высотно-скоростных и аэродинамических параметрах, формируемых системой воздушных сигналов (СВС) летательного аппарата. Основное внимание уделяется структуре и принципам работы протокола ARINC 429, используемого для цифрового обмена данными между вычислителем СВС и потребителями информации. Проанализированы типовые метки, формат слов и порядок выдачи параметров, таких как барометрическая высота, приборная и истинная скорости, число Маха, угол атаки и температура набегающего потока. Описано соответствие протокола требованиям стандартов ГОСТ 18977–79 и РТМ 1495–75 с изм. 3. Также рассматриваются особенности построения аппаратной части интерфейса, что представляет практический интерес при разработке опытного образца СВС с неподвижным фюзеляжным приемником набегающего воздушного потока.

Современные летательные аппараты (ЛА) требуют надёжной передачи информации о параметрах полёта для обеспечения безопасного и эффективного самолётовождения [1]. Ключевыми величинами, определяющими состояние полёта, являются барометрическая высота, приборная и истинная скорости, число Маха, угол атаки и температура набегающего воздушного потока. Именно на основе этих данных строятся алгоритмы работы бортовых вычислительных систем, автопилотов и систем предупреждения об опасных режимах.

Для того чтобы обеспечить надёжность и совместимость передачи этих критически важных параметров, в авиационной отрасли была выработана единая нормативно-техническая база, регламентирующая как физический, так и логический уровни интерфейсов обмена – ARINC 429. В России этот стандарт регламентируется ГОСТ 18977-79 [2] и РТМ 1495-75 [3]. Этим стандартом определяется и интерфейс передачи информации системы воздушных сигналов СВС-96, разработанной ОАО «Аэроприбор-Восход», установленной на Ту-214 [4].

Передача информации СВС-96 осуществляется асинхронным способом – способом, при котором доступ к информации производится свободно, так как система непрерывно выдает информацию, состоящую из нескольких слов или одного слова, а приемник включается на прием по собственной независимой программе и по адресу выбирает нужные параметры.

Каждое слово ARINC – 32-битовая величина, которая содержит пять битовых полей:

1. Биты 1 – 8 содержат адрес (метку) данных. Значение метки принято представлять в восьмеричной системе счисления. Например, абсолютная высота имеет адрес 203_8, температура наружного воздуха – 213_8, истинный угол атаки – 241_8, истинная скорость – 210_8, приборная скорость – 206_8.

2. Биты 9 и 10 указывают на источник информации – идентификатор СВС (в самолёте устанавливаются 3 независимые системы [5]).

3. Биты 11 – 29 содержат основные данные. Данные могут быть представлены в двоичном (ДК), двоично-десятичном (ДК) или трехформатном (ТК) коде. Причём могут использоваться не все биты – некоторые биты зарезервированы. Например, максимальное значение слова, содержащего значение числа Маха, – 4096, слова, содержащего температуру наружного воздуха, – 512, слова, содержащего значение вертикальной скорости – 131071.

4. Биты 30 и 31 составляют «матрицу состояния», которая указывает на то, действительны ли данные в этом слове. Иногда поле используется для передачи знака числа (отрицательные числа передаются в дополнительном коде). Описание состояний приведено в таблице 1.

5. Бит 32 – бит чётности, используется для проверки корректности передачи слова.

Таблица 1

Описание состояний слова

Номер разряда		Значение разряда
31	30	
0	0	Информация достоверна и плюс (+), север, восток, вправо (к чему-либо), вверх
0	1	Отказ параметра или контрольные данные (при этом должен передаваться тест)
1	0	Информация недостоверна или данные не готовы
1	1	Информация достоверна и минус (-), юг, запад, влево (от чего-либо), вниз

Для передачи слова, состоящего из букв, знаков, цифр в трехформатном коде используется кодовая матрица (составлена из ограниченной матрицы по ГОСТ 13052-74 [6]), представленная в таблице 2.

Таблица 2

Кодовая матрица для передачи букв, символов и цифр

Разряды					Латинский регистр						Русский регистр	
P7 →					0	0	0	0	1	1	1	1
P6 →					0	0	1	1	0	0	1	1
				P5 →	0	1	0	1	0	1	0	1
P4	P3	P2	P1	$N_{стб}$ / $N_{стр}$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0				0	P	P	Ю	П
0	0	0	1	1				1	A	Q	А	Я
0	0	1	0	2				2	B	R	Б	Р
0	0	1	1	3				3	C	S	Ц	С
0	1	0	0	4				4	D	T	Д	Т
0	1	0	1	5				5	E	U	Е	У
0	1	1	0	6				6	F	V	Ф	Ж
0	1	1	1	7				7	G	W	Г	В
1	0	0	0	8				8	H	X	Х	Ь

1	0	0	1	9				9	I	Y	И	Ы
1	0	1	0	10				:	J	Z	Й	З
1	0	1	1	11			+	;	K	I	К	Ш
1	1	0	0	12			,	<	L	V	Л	Э
1	1	0	1	13			-	=	M	J	М	Щ
1	1	1	0	14			.	>	N	Λ	Н	Ч
1	1	1	1	15			/	?	O	-	О	ЗБ

Также определены и требования к электрическим характеристикам: для датчиков, выдающих информацию со скоростями 12 и 48 кбит/с с допуском ±25% рекомендуется по каждому выходу обеспечивать нагрузку: R ≤ 600 Ом, C = 10000 пФ; для датчиков, выдающих информацию со скоростями 100, 250, 500 или 1000 кбит/с должен быть обеспечен выходной импеданс 75±5 Ом; для приёмников значения нагрузки должны составлять: R ≥ 6 (кОм), C ≤ 100 (пФ). Уровни сигналов приведены в таблице 3. Форма сигналов приведена на рисунке 1.

Таблица 3

Уровни электрического напряжения биполярного трехуровневого кода

Логический уровень	Датчик	Приёмник
«1»	+10 В ± 1 В	$+10\ В^{+3\ В}_{-5\ В}$
«0»	-10 В ± 1 В	$-10\ В^{+3\ В}_{-5\ В}$
Отсутствие напряжения	0 В ± 0,5 В	0 В ± 2,5 В

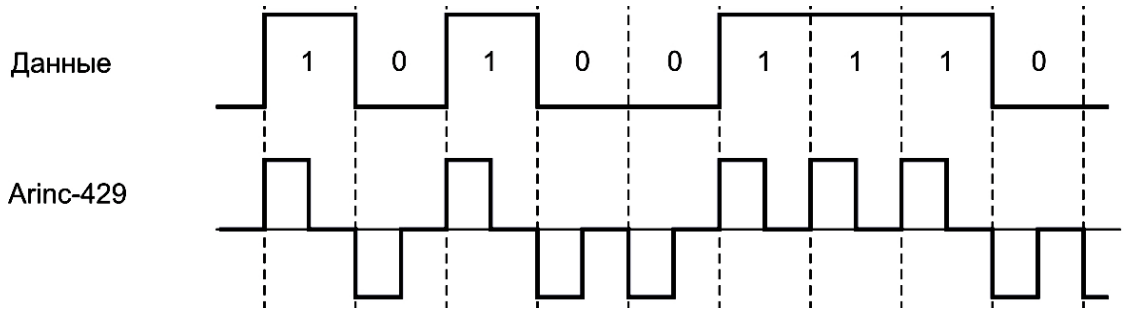


Рис. 1. Форма сигналов

Для реализации обмена информации по ARINC 429 при разработке, например, собственной системы воздушных сигналов можно рассмотреть несколько подходов:

1. Микроконтроллеры с интегрированным модулем ARINC 429. Микроконтроллер 1986ВЕ1Т, разработанный российской компанией «ПКК Миландр», содержит контроллер интерфейса ARINC 429. Контроллер содержит в своем составе восемь приемников и четыре передатчика. Однако при этом требуется использовать физические приемопередатчики, в качестве которых можно применить микросхемы 1485ХК2 и 1485ХК3 (производства отечественной компании «Ангстрем»).

2. Микроконтроллеры общего назначения + специализированные интерфейсные микросхемы (ARINC-трансиверы) с последовательным/параллельным интерфейсом. Это готовые микросхемы, реализующие логику протокола и обычно содержащие FIFO-буферы. Например, НПО «Физика» выпускает микросхемы 1582ВЖ1Б-0082 (приёмник ARINC 429 с SPI-протоколом) и 1582ВЖ1Б-0083 (передатчик ARINC 429 с SPI-протоколом).

3. Микроконтроллеры общего назначения + приемопередатчики интерфейса. В целом этот подход совпадает с указанным под номером 1. Отличие заключается в том, что протокол приходится эмулировать – самостоятельно разрабатывать программное обеспечение (ПО), обрабатывающее (в случае приёма) и формирующее (в случае передачи) каждый бит: длительность импульса, паузу между отдельными импульсами и целыми словами.

При этом выбор подхода основан на компромиссе между трудозатратами на

разработку ПО, скоростью выхода на рабочую систему и стоимостью аппаратной части:

1. Микроконтроллер с интегрированным контроллером ARINC 429 содержит на кристалле всю логику и предоставляет разработчику лишь высокоуровневые регистры для передачи и приёма слов. Преимущества подхода заключаются в минимизации усилий по разработке и верификации ПО, так как вся протокольная логика реализована аппаратно; сокращении числа компонентов на плате – требуется только внешний приемопередатчик ±5 В и собственно микроконтроллер. Однако с преимуществами тесно связаны и недостатки: специализированные микроконтроллеры стоят значительно дороже обычных, а их ассортимент более ограниченный (может создать риски с доступностью).

2. Микроконтроллеры общего назначения в сочетании со специализированными интерфейсными микросхемами предполагают усложнение печатной платы, связанное с увеличением числа компонентов, но незначительно усложняют программную часть и могут сократить расходы на аппаратную часть, а также обеспечивают масштабируемость – для добавления канала нужно подключить ещё одну интерфейсную микросхему.

3. Микроконтроллеры общего назначения в сочетании с приемопередатчиками интерфейса позволяют максимально сократить расходы на аппаратную часть и, при необходимости, расширить или модифицировать протокол. Но в этом случае значительно возрастают траты на разработку и отладку протокольного ПО, а для передачи на высокой скорости требуется использование высокочастотных микроконтроллеров.

Таким образом, выбор подхода к реализации зависит от целевых требований проекта. Аппаратная реализация обеспечивает надёжность и скорость, но может быть дороже и менее гибкой. Программная реализация на обычных микроконтроллерах более экономична, но требует сложной отладки и ограничена по скорости передачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Особенности построения, формирование и обработка информации системы воздушных сигналов самолета с фюзеляжными приемниками параметров набегающего потока / В.М. Солдаткин, В.В. Солдаткин, Р.В. Козловский, Г.В. Козловский // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2023. – Т. 79, № 3. – С. 91-96.

2. ГОСТ 18977-79. Комплексы бортового оборудования самолетов и вертолетов – М.: Издательство стандартов, 1980. – 10 с.

3. РТМ 1495-75. Обмен информацией двуполярным кодом в оборудовании летательных аппаратов. – Утверждён Министерством авиационной промышленности СССР 05.03.1975, согласован Министерством радиопромышленности СССР 18.03.1975.

4. *Борисов Р.А.* Датчики давлений на основе оптоэлектронных преобразователей для систем управления высотноскоростными параметрами воздушного судна: специальность 05.13.00 «Информатика, вычислительная техника и управление»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Борисов Руслан Андреевич. – Ульяновск, 2022. – 187 с. – EDN CVVMPQ.

5. Дальний магистральный широкофюзеляжный пассажирский самолёт Ил-96-400М. Спецификация [Электронный ресурс]. URL: https://ru.scribd.com/document/702197375/96-400 (дата обращения: 30.06.2025).

6. ГОСТ 13052-74. Машины вычислительные и аппаратура передачи данных. Коды 7-битные для обмена информацией. – М.: Издательство стандартов, 1974.

INTERFACE FOR TRANSMISSION OF INFORMATION ON HIGH-SCOPE AND AERODYNAMIC PARAMETERS OF AIR SIGNALS SYSTEM

Kozlovskiy R.V., Kozlovskiy G.V.

Supervisor: Soldatkin V.M., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. The article deals with the interface of information transmission about altitude-velocity and aerodynamic parameters generated by the airborne signal system of an aircraft. The main attention is paid to the structure and principles of operation of the ARINC 429 protocol used for digital data exchange between the AHS calculator and information consumers. Typical labels, word format and the order of issuing parameters such as barometric altitude, instrument and true velocity, Mach number, angle of attack and temperature of the incoming flow are analyzed. The compliance of the protocol with the requirements of GOST 18977-79 and RTM 1495-75 standards with revision 3 is described. The peculiarities of the hardware part of the interface are also considered, which is of practical interest in the development of a prototype with a flush incoming airflow receiver.

УДК 681.2

СТЕНД ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ КАНАЛОВ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Козловский Р.В., Козловский Г.В.
Научные руководители: Благовещенский А.Н., доцент, к. т. н.
Смирнова С.В., доцент, к.т.н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Настоящая работа посвящена созданию лабораторного учебного стенда, предназначенного для воспроизведения сигналов датчиков абсолютного давления и температуры. Основной целью стенда является демонстрация принципов построения информационно-измерительных систем, генерации, передачи и обработки сигналов, а также расчёт барометрической высоты на основе полученных данных. Стенд разработан на основе Arduino с цифро-аналоговым преобразователем и микроконтроллера STM32 для приёма и обработки аналоговых сигналов. Построение стенда охватывает ключевые принципы межмикросхемного взаимодействия и программирования встроенных систем на языках низкого уровня и в средах визуального проектирования LabVIEW.

Современная авиационная техника, а также тренажёрные и учебные средства требуют точной имитации внешних физических условий, таких как высота, температура и давление. Одним из важнейших параметров, необходимых для функционирования авиационных систем, является барометрическая высота, рассчитываемая на основе атмосферного давления. Разработка учебных стендов, способных воспроизводить и измерять этот параметр в условиях лаборатории, представляет собой актуальную задачу для подготовки специалистов в области авиационной приборостроительной техники.

Учебный стенд (рисунок 1) предназначен для демонстрации и изучения принципов измерения барометрической высоты с использованием датчиков давления и температуры, преобразующих аналоговые сигналы в цифровые значения, обрабатываемые микроконтроллером STM32F411. Основу стенда составляет цифровой имитатор датчиков, построенный на базе микросхемы цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) MCP4922, взаимодействующей с платой Arduino посредством интерфейса SPI.

MCP4922 позволяет генерировать аналоговые напряжения, пропорциональные параметрам давления и температуры. Эти сигналы поступают на аналоговые входы STM32F411, где происходит их последующее оцифровывание и обработка. Особенностью MCP4922 является возможность задания опорного напряжения (в данной установке – 3,3 В), наличие двух независимых каналов и 12-битное разрешение, позволяющее точно имитировать поведение аналоговых датчиков.

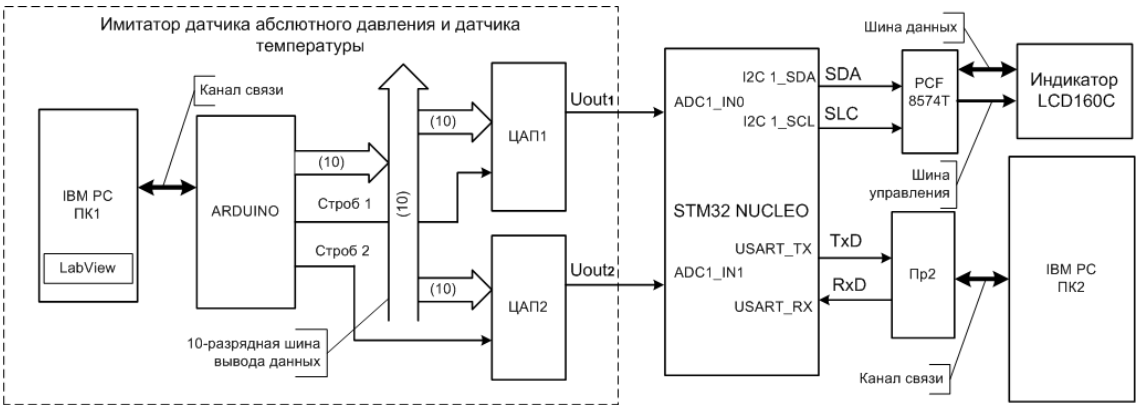


Рис. 1. Структурная схема учебного стенда

Сигналы с выходов V_{OUTA} и V_{OUTB} подаются на входные каналы модуля аналого-цифрового преобразования (АЦП) микроконтроллера (выводы PA_0 и PA_1). В STM32F411 производится преобразование аналоговых сигналов в цифровые значения, фильтрация и вычисление текущего значения барометрической высоты, выведенной из ГОСТ4401-81 по зависимости [1]:

$$h = \frac{RT}{Mg} \ln\left(\frac{p_0}{p}\right) + h_0, \qquad (1)$$

где $R = 8{,}31424$ Дж/(моль · К) – универсальная газовая постоянная;

$M = 0{,}029$ кг/моль – молярная масса газа;

$p_0 = 101325$ Па $= 760$ мм. рт. ст. – среднее абсолютное давление на уровне моря (h_0);

$g = 9{,}81$ м/с^2 – ускорение свободного падения;

h – абсолютная барометрическая высота соответствует геопотенциальной высоте над уровнем моря в условиях стандартной атмосферы;

значения давления p и температуры T определяются по цифровым эквивалентам N_p и N_T через соответствующие функции.

Вычисленные параметры отображаются на символьном индикаторе LCD160C, подключённом через преобразователь PCF8574T последовательного кода, передаваемого при помощи интерфейса I^{2}C, в параллельный код управления дисплеем.

Таким образом, на аппаратном уровне система интегрирует три платформы: ПК с установленной средой LabVIEW для задания параметров имитации и визуального контроля, Arduino Uno для обеспечения управления генерацией сигналов, STM32F411 для приёма и обработки данных. Схема учебного стенда представлена на рисунке 2.

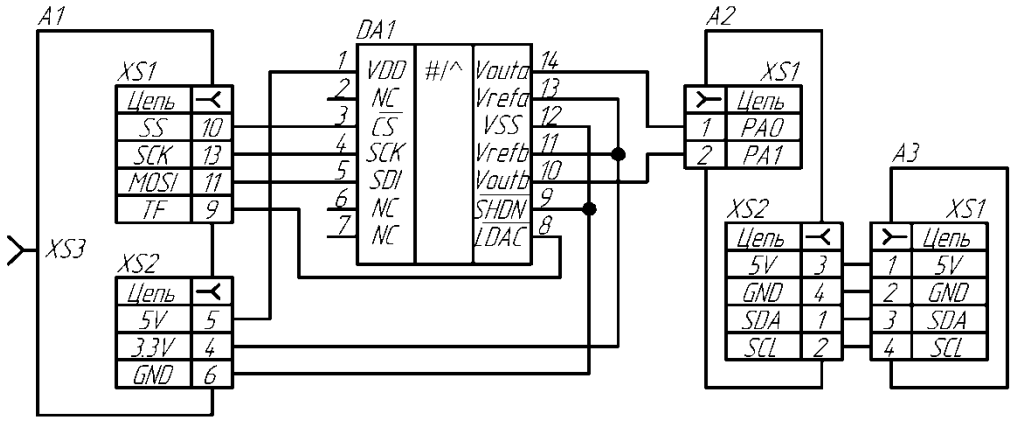


Рис. 2. Электрическая схема учебного стенда: A1 – плата Arduino Uno; A2 – плата микроконтроллера STM32F411; A3 – плата символьного индикатора (с преобразователем PCF8574T); DA1 – микросхема ЦАП MCP4922; XS3 (на A1) – USB-разъём для подключения к ПК.

В LabVIEW [2] реализована визуальная панель (см. рисунок 3) с регуляторами и индикаторами. Программа пересчитывает значения в 12-битные коды, дополняя их до 16 бит с учётом управляющих битов и передаёт в Arduino, подключённую по COM-порту. В скетче Arduino используется библиотека LIFA, обеспечивающая взаимодействие с LabVIEW и передающая SPI-команды на MCP4922.

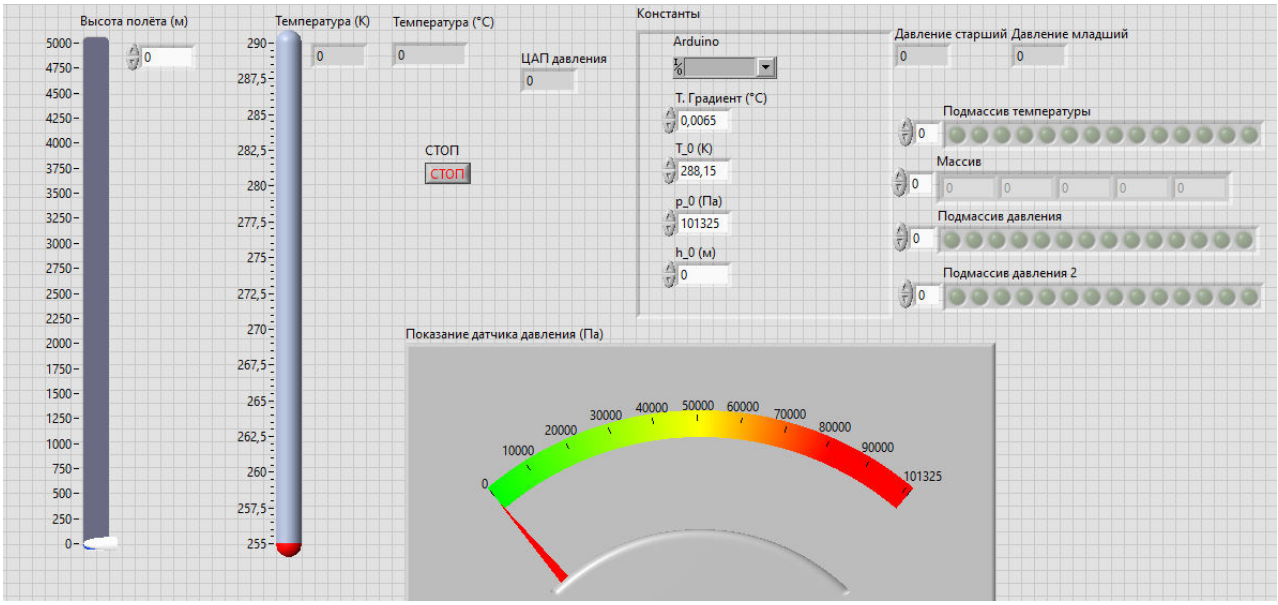


Рис. 3. Интерфейс пользователя программы

Прошивка STM32F411 разработана с использованием среды STM32CubeMX и Keil uVision. Преобразование выполняется двумя каналами ADC1 в непрерывном режиме с применением прямого доступа к памяти (DMA, Direct Memory Access), что снижает нагрузку на ядро. Весь процесс сопровождается фильтрацией (усреднением значений) и последующим вычислением высоты по формуле (1). Отображение результата выполняется средствами разработанной библиотеки для управления символьным дисплеем.

Исходный код основан на библиотеке (драйвере) HAL. Особенностью реализации является использование DMA: по завершении цикла оцифровки вызывается функция HAL_ADC_ConvCpltCallback, в которой производится накопление данных, расчёт, форматирование и вывод значений высоты и температуры. Для предотвращения вывода неполных данных отключено прерывание по половине буфера (DMA_IT_HT).

Для возможности отладки прошивки предусмотрено использование протокола SWD (Serial Wire Debug) отладочного модуля DAP (Debug Access Port), входящий в состав ядра Cortex-M3, доступ к которому можно получить при использовании ST-Link.

Все используемые ресурсы микроконтроллера – аналоговые входы, линии I^2C, линии SWD для отладки – конфигурируются в STM32CubeMX. Проектный код минимален по размеру и может быть расширен для поддержки дополнительных каналов или функций [3].

Разработанный программно-аппаратный комплекс обеспечивает наглядную демонстрацию принципов работы барометрического высотомера, позволяет наблюдать влияние дискретизации и аппаратных погрешностей преобразования на результат измерения, а также служит эффективным инструментом для обучения основам измерительной техники, цифровой обработки сигналов и микроконтроллерного программирования. Использование современных инструментов, таких как STM32CubeMX, Keil uVision и LabVIEW, способствует формированию системного подхода к разработке и отладке аппаратно-программных комплексов. Полученные в ходе работы результаты подтвердили работоспособность предложенной архитектуры стенда и её пригодность для использования в учебных целях.

Работа выполнялась на занятиях студенческого научного кружка проектно-технического творчества «IT-приборист» и соответствующие результаты были получены в рамках реализации Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ 4401-81 «Атмосфера стандартная параметры», Таблица «Температура, давление, плотность воздуха и ускорение свободного падения от - 2000 до 11000 м».

2. *Смирнова С.В.* Современные программные средства для проектирования, моделирования измерительных систем в приборостроении. II. Программа LabVIEW: практикум. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2024. – 168 с.

3. Документация микроконтроллеров. [Электронный ресурс] https://www.st.com/resource/en/reference_manual/dm00031020-stm32f405-415-stm32f407-417-stm32f427-437-and-stm32f429-439-advanced-arm-based-32-bit-mcus-stmicroelectronics.pdf [Дата обращения 15.05.25 г.]

STAND FOR DEVELOPMENT AND RESEARCH OF INFORMATION-MEASURING SYSTEM CHANNELS

Kozlovskiy R.V., Kozlovskiy G.V.

Supervisors: Blagoveshchensky A.N., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
Smirnova S.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This work is devoted to the creation of a laboratory training stand designed to reproduce signals from absolute pressure and temperature sensors. The main purpose of the stand is to demonstrate the principles of building information-measuring systems, generating, transmitting and processing signals, as well as calculating barometric altitude based on the data obtained. The stand is developed on the basis of Arduino with a digital-to-analog converter and an STM32 microcontroller for receiving and processing analog signals. The construction of the stand covers the key principles of inter-microcircuit interaction and programming of embedded systems in low-level languages and in the LabVIEW visual design environments.

УДК 65.011.56

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МОДУЛЯЦИИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ ПО СЕТЯМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Косолапова А.О., Тихонова М.А., Шидловский Н.С.

Научный руководитель: Егоров В.В., старший преподаватель

(Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет, г. Москва)

Аннотация. В работе экспериментальным путем было определено, какие виды модуляции сигнала более устойчивы к линейным и нелинейным искажениям, характерным каждой сети электропитания. Была рассчитана корреляция передаваемого и принятого сигналов. Результаты сведены в столбчатую диаграмму.

Для проведения экспериментов, на базе СКБ-4 «Сигнал» МАИ, было изготовлено два прототипа PLC-модемов, каждый из которых состоит из двух частей: передающей и приемной. Приемная часть модема состоит из контрольной гальванической развязки и предполагает подключение осциллографа для анализа принимаемого сигнала. Передающая часть также состоит из гальванической развязки, которая фильтрует колебание, подаваемое с внешнего генератора сигнала OWON XDG2100. Перед подачей в сеть сигнал проходит через

мощный операционный усилитель. Была произведена трассировка печатной платы в системе автоматизированного проектирования P-CAD. Плата изготовлена компанией «Резонит».

Была поставлена задача выяснить экспериментальным путем, какие виды модуляции сигнала более устойчивы к линейным и нелинейным искажениям, характерным каждой сети электропитания.

Структурная схема экспериментального стенда приведена на рисунке 1. В данном эксперименте осциллограф подключен к точке 2, то есть передача сигнала происходила непосредственно через сеть электропитания. Осциллограф, подключенный к точке 1 необходим для контроля передаваемого сигнала.

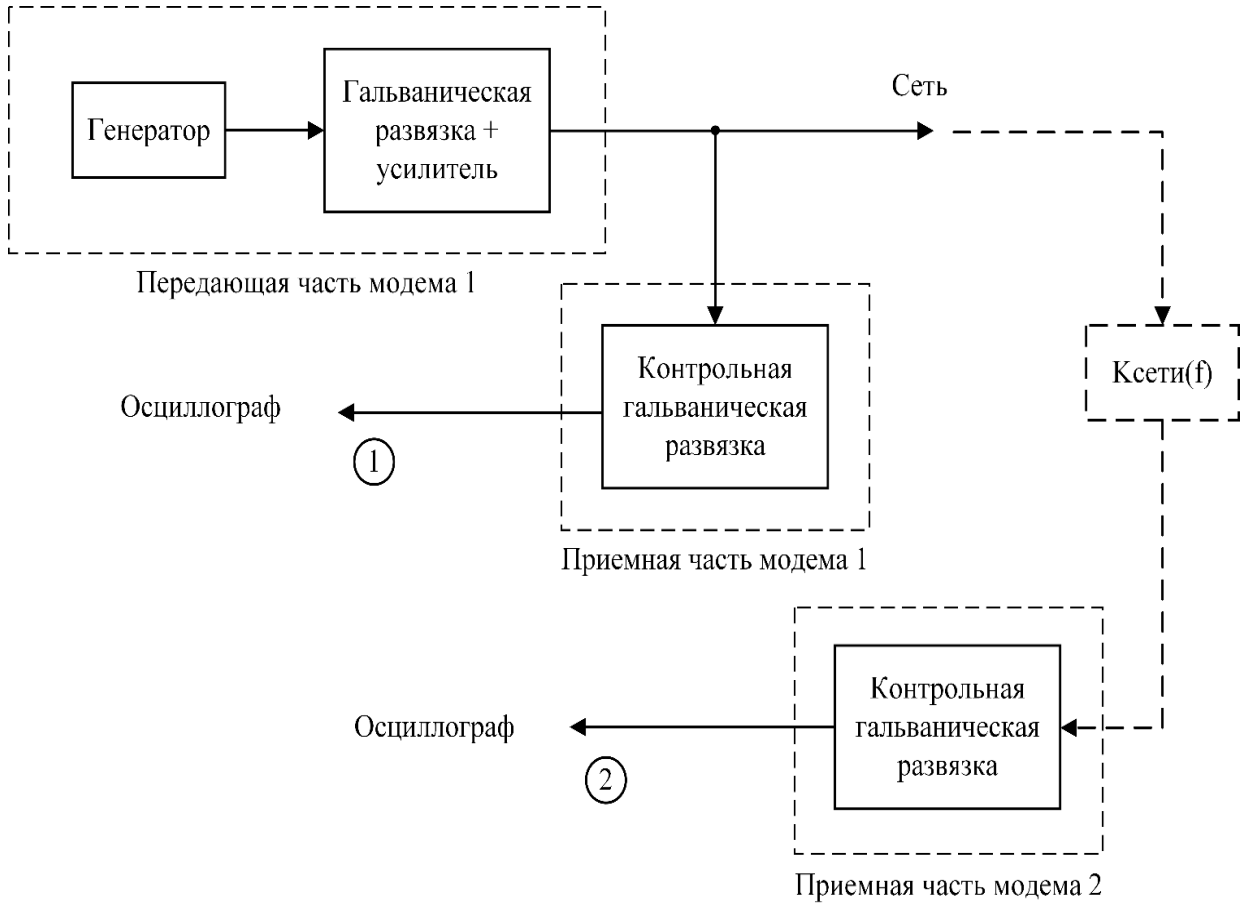


Рисунок 9. Структурная схема экспериментального стенда

Эксперимент проводился в лабораторных условиях, в сеть были подключены такие приборы, как паяльные станции, паяльный фен, блоки питания и другие зарядные устройства. Расстояние между приёмником и передатчиком составило примерно 50 метров силовой линии.

Вначале эксперимента была записана шумовая обстановка в сети, вызванная подключенными в нее электроприборами (рисунок 2). Важным уточнением является то, что все мощные активно работающие приборы подключены в линию на некотором расстоянии от непосредственного участка передачи сигнала.

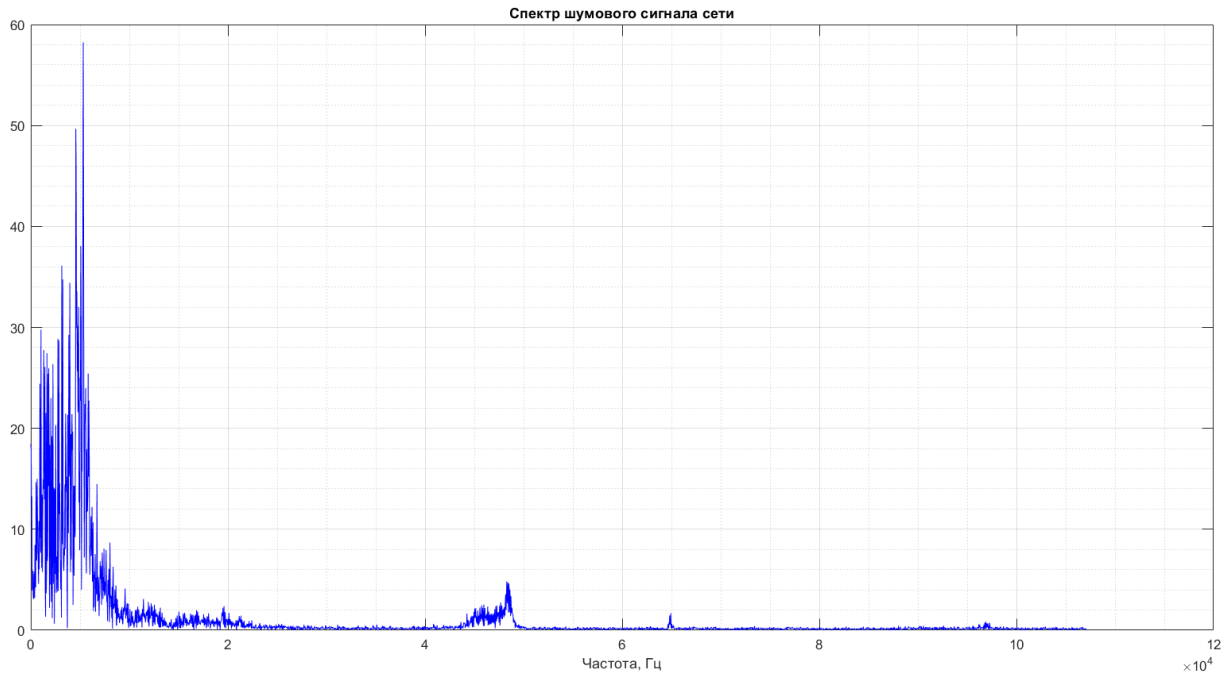


Рисунок 10. Шумовая обстановка в сети на момент начала эксперимента

Такой спектр шума в сети электропитания является довольно типичным для работы в условиях многоквартирного дома или любого другого здания с жилыми помещениями [1]. Источниками шума являются различные электроприборы, а также тепловые шумы электротехнической инфраструктуры.

Также для наглядности был получен спектр сигнала в приемной точке, если в сеть близко подключены работающие приборы, при данном измерении ими были паяльник и электрическая лампа (рисунок 3).

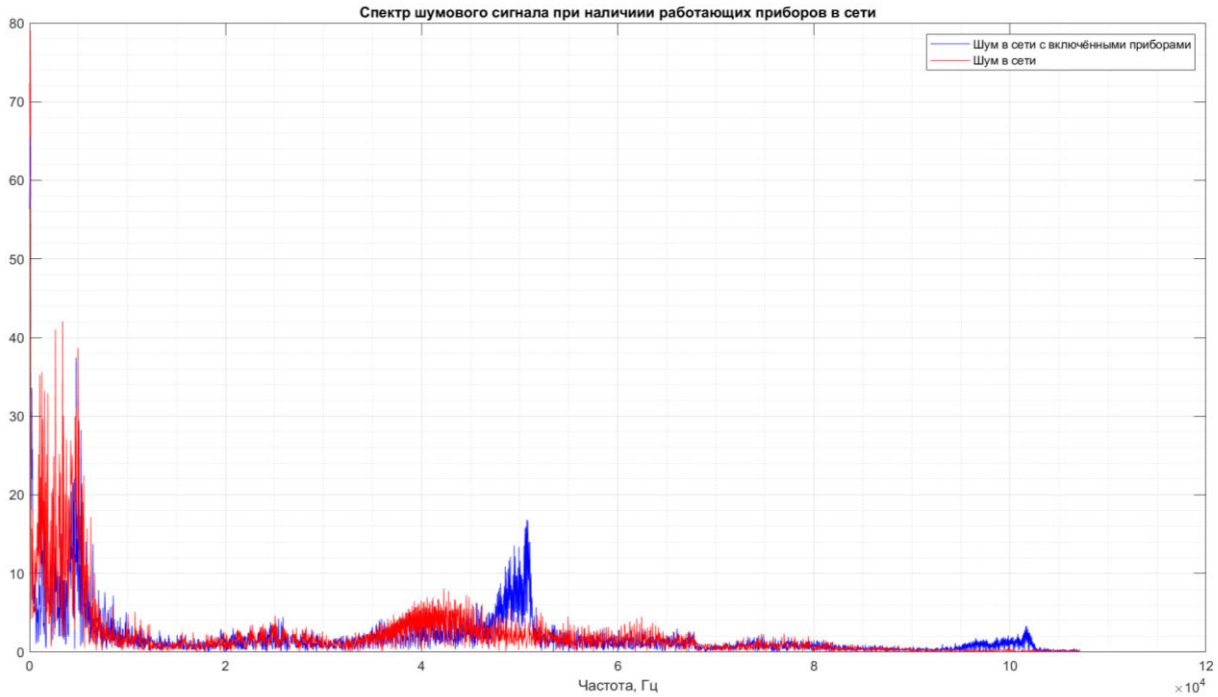


Рисунок 11. Спектр шума при наличии близкорасположенных работающих приборов

Далее, на рисунке 4 приведены графики спектра в точках передачи и приема модуляций AM, DSBAM, FM, PM, ASK, PSK, FSK, 3FSK, QPSK, OSK, SUM соответственно.

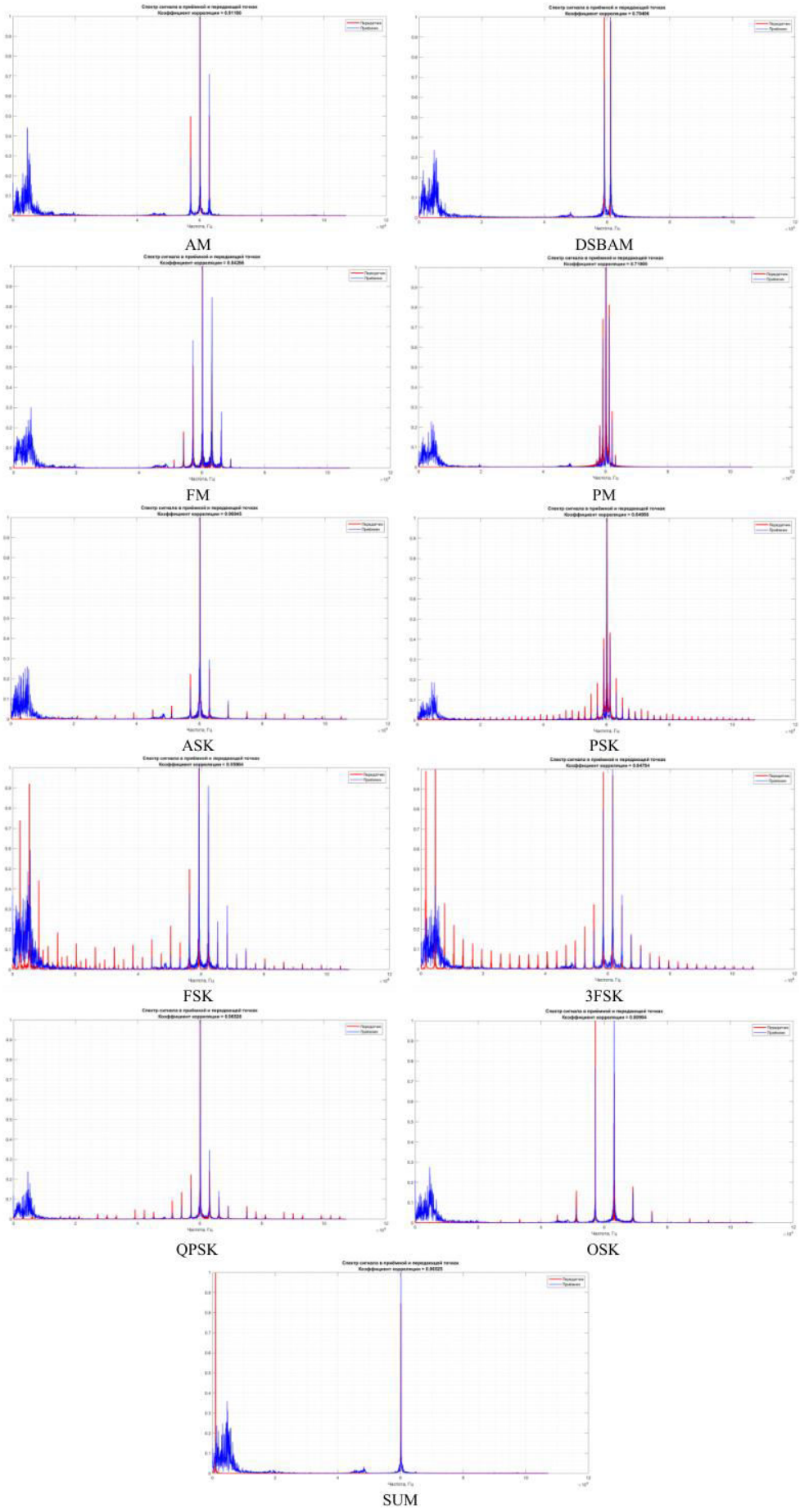


Рисунок 12. Спектры сигналов с различными модуляциями в точках передачи и приема

Для наглядного сравнения на них изображены вместе графики спектров передаваемого сигнала (красный) и сигнала, полученного в приёмной части (синий). Параметром оценки качества передачи сигналов с различными типами модуляции был выбран коэффициент корреляции – степень схожести двух спектров, в данном случае. Функция *corrcoef (X, Y)* вычисляет коэффициент корреляции Пирсона между двумя векторами X и Y [2]. Формула имеет вид:

$$r = \frac{cov(X, Y)}{\sigma_X \cdot \sigma_Y},$$

где $cov(X,Y)$ — ковариация между X и Y, σ_X и σ_Y — стандартные отклонения X и Y соответственно.

Развёрнутая запись выглядит следующим образом:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (Y_i - \bar{Y})^2}},$$

где X_i и Y_i – элементы векторов X и Y, $\bar{X}$ и $\bar{Y}$ – средние значения X и Y, n – количество элементов в векторах.

Измерения проводились для нескольких параметров по каждому виду модуляции, но на графиках отражено только по одному спектру. Кратко опишем каждую модуляцию [3].

AM: амплитуда несущего сигнала изменяется в соответствии с формой информационного сигнала, тогда как частота и фаза остаются неизменными;

DSBAM: балансная амплитудная модуляция с подавлением несущей (двухполосная амплитудная модуляция);

FM: частота несущей волны изменяется в соответствии с мгновенной амплитудой модулирующего сигнала;

PM: фаза несущей волны изменяется в соответствии с мгновенной амплитудой модулирующего сигнала;

ASK: скачкообразно меняется амплитуда несущего колебания в зависимости от значения символа информационной последовательности;

PSK: скачкообразно меняется фаза несущего колебания между двумя значениями в зависимости от значения символа информационной последовательности;

FSK: скачкообразно меняется частота несущего колебания между двумя значениями в зависимости от значения символа информационной последовательности;

3FSK: скачкообразно меняется частота несущего колебания между тремя значениями в зависимости от значения символа информационной последовательности;

QPSK: скачкообразно меняется фаза несущего колебания между четырьмя сдвигами фаз (по четверти периода) в зависимости от значения символа информационной последовательности;

OSK: цифровые данные передаются через наличие или отсутствие несущей волны в зависимости от значения символа информационной последовательности;

SUM: сигнал формируется путём суммирования нескольких волн.

Результаты полученных коэффициентов корреляции в зависимости от вида и параметров модуляции сведены в столбчатую диаграмму (рисунок 5). По оси абсцисс отложены параметры каждой используемой модуляции. Красным выделены те модуляции, при которых достигался наибольший коэффициент корреляции, что означает их лучшую устойчивость к искажениям в сети электропитания.

Видно, что одними из лучших стали AM, ASK, но они обладают плохой помехоустойчивость и неэффективно используют спектр. Также лучшими стали 3FSK, QPSK, OSK и SUM. Качество передачи в случае QPSK, объясняется с точки зрения энергетической зависимости, а так как в данном эксперименте не рассматривались фазовые соотношения, нельзя с уверенностью говорить не повлияют ли изменения фазы на качество

передачи информации. Поэтому можно выделить три лучших вида модуляции, 3FSK, OSK и SUM.

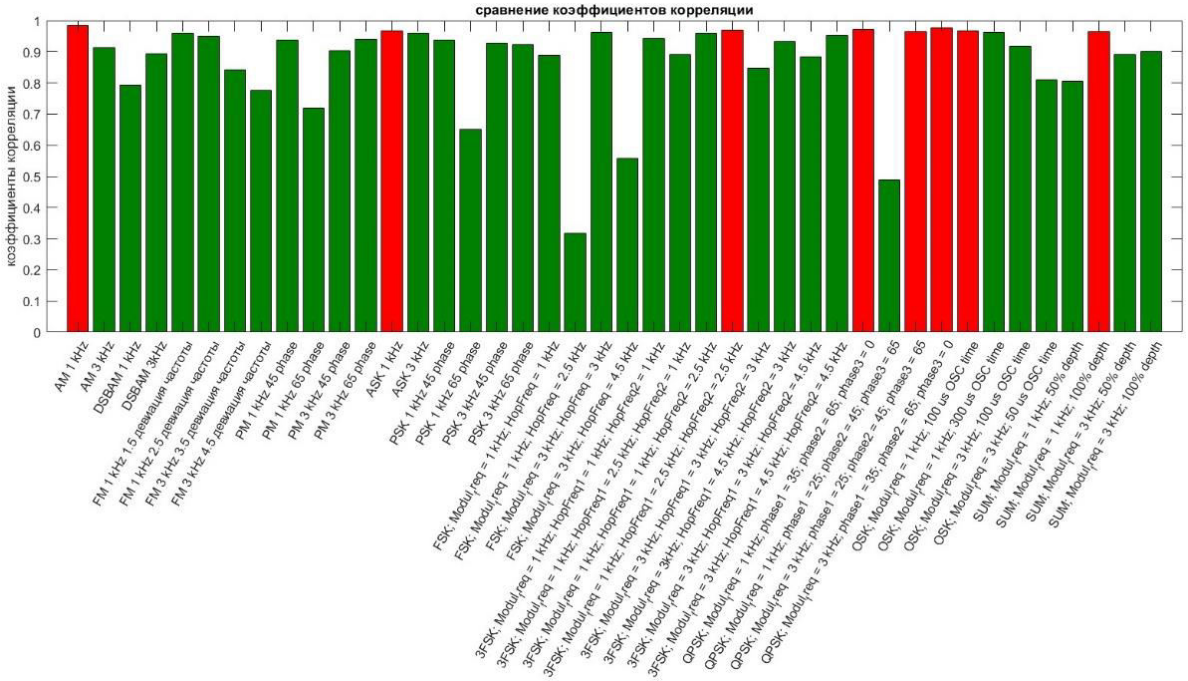


Рисунок 13. Диаграмма зависимости полученного коэффициента корреляции для различных видов модуляции

В ходе проведённого исследования была экспериментально оценена устойчивость различных видов модуляции сигналов при передаче данных по сетям электропитания. Основной задачей работы было определение типов модуляции, наиболее устойчивых к линейным и нелинейным искажениям, характерным для таких сетей. Для этого использовался специально разработанный экспериментальный стенд, включающий два прототипа PLC-модемов, осциллографы и генератор сигналов.

Результаты показали, что наилучшую корреляцию между переданным и принятым сигналами демонстрируют 3FSK, OSK, SUM. Эти методы модуляции оказались наиболее устойчивыми к шумам и искажениям, вызванным подключёнными электроприборами, такими как паяльные станции, блоки питания и другие устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Егоров В.В., Шматок А.Н.* Анализ частотных характеристик помех в сетях бытового электропитания, вызываемых различными приборами // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций «РТ - 2022»: материалы 18-й междунар. молодежной науч.-техн. конф. Севастополь: Изд-во СевГУ - 2022. С. 25.

2. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов // Москва: Высшая школа. 1998. 480 с.

3. *Гоноровский И.С.* Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для студентов радиотехнических специальностей вузов // Москва: «Радио и связь». 1986. 511 с.

INVESTIGATION OF THE STABILITY OF VARIOUS TYPES OF MODULATION DURING DATA TRANSMISSION OVER POWER SUPPLY NETWORKS

Kosolapova A.O., Tihonova M.A., Shidlovskij N.S.
Supervisor: Zolotenkova M.K., Senior Lecturer
(Moscow Aviation Institute (National Research University», Moscow)

Abstract. In the work, it was experimentally determined which types of signal modulation

are more resistant to linear and nonlinear distortions characteristic of each power supply network. The correlation of the transmitted and received signals was calculated. The results are summarized in a bar chart.

УДК 621.452.23

МОДЕРНИЗАЦИЯ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ПУЛЬСИРУЮЩИМ ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ДЛЯ БПЛА

Мавков Д.А.
Научный руководитель: Лазарева П.А., доцент, к. ф.-м. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассматриваются подходы к модернизации блока управления пульсирующим воздушно-реактивным двигателем, применяемого в составе беспилотных летательных аппаратов. Предложена структура модернизированной системы управления с учетом современных требований к интеграции, надежности и отказоустойчивости. Описаны ключевые этапы проектирования аппаратной и программной частей, включая выбор компонентов, калибровку датчиков и алгоритмы обработки данных. Приведены результаты патентного обзора и анализа существующих технологий, подтверждающие актуальность разработки. Экспериментальные результаты, включая лабораторные и полунатурные испытания, демонстрируют эффективность системы: снижение расхода топлива на 8–12 %, повышение точности расчета остатка топлива до 3–4 % и улучшение стабильности работы двигателя в условиях вибраций и помех.

Введение

Пульсирующие воздушно-реактивные двигатели (ПуВРД) представляют собой перспективный тип силовых установок для малых и средних беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Они выгодно отличаются простотой конструкции, низкой стоимостью и приемлемыми массогабаритными характеристиками [1]. Это делает их особенно актуальными в условиях, когда важны такие параметры, как одноразовость, скрытность или быстрое развертывание.

Однако технологическое развитие таких систем сдерживается применением устаревших блоков управления, основанных на морально и физически изношенной элементной базе. Это ограничивает возможности адаптации двигателя к переменным условиям полета, снижает надежность и точность синхронизации процессов воспламенения и подачи топлива, а также затрудняет интеграцию с современными цифровыми системами управления.

В 2020-е годы актуальность ПуВРД существенно возросла в связи с ростом интереса к платформам с высокой маневренностью и предсказуемой логикой работы, в которых мощность и цена двигателя имеют первостепенное значение [2]. Военные и гражданские проекты, связанные с созданием БПЛА для разведки, доставки и ударных задач, предъявляют требования к компактности, надежности и универсальности решений, включая системы управления. Например, в военных приложениях ПуВРД позволяют создавать недорогие одноразовые дроны, способные развивать высокие скорости без сложных механических компонентов, таких как турбины или компрессоры. В гражданском секторе они могут использоваться для логистических БПЛА, где экономичность и простота обслуживания играют ключевую роль.

Сравнительный анализ

Анализ существующих технических решений показал, что во многих проектах применяются блоки управления с ограниченными вычислительными возможностями. Типовые реализации основаны на контроллерах, неспособных выполнять сложные операции

в реальном времени, например, анализ вибраций, коррекцию подачи топлива по температурным и скоростным характеристикам или синхронизацию работы с другими цифровыми модулями. Используемые интерфейсы передачи данных, такие как RS232 или UART, не соответствуют современным стандартам по устойчивости к электромагнитным помехам, особенно в условиях вибраций и радиочастотных наводок, типичных для летательных аппаратов. Кроме того, такие интерфейсы имеют низкую скорость передачи данных (до 115200 бод), что приводит к задержкам в обработке критических сигналов, потенциально вызывая нестабильность двигателя.

Кроме того, в существующих системах наблюдается ограниченная возможность для масштабирования. Отсутствует поддержка модульной архитектуры, что затрудняет интеграцию новых функций, таких как телеметрия расхода топлива, акселерометрические замеры или синхронизация с навигационными решениями.

Модернизация существующих устройств оказывается затруднительной из-за снятия с производства ряда компонентов, отсутствия документации и невозможности оперативной замены элементной базы. В результате, средняя наработка на отказ таких блоков не превышает 100–200 часов, что недостаточно для длительных миссий БПЛА.

Разработка технического задания

Таким образом, основная задача заключалась в разработке нового блока управления, который сохраняет совместимость с существующей архитектурой ПуВРД, но при этом реализует все современные требования к вычислительной производительности, гибкости интерфейсов, надежности и масштабируемости. Блок должен быть способен функционировать в реальных условиях эксплуатации БПЛА, включая высокочастотные вибрации, колебания напряжения питания, колебания температуры и давления, а также электромагнитные возмущения. Для достижения этого была проведена комплексная работа по выбору компонентов, проектированию схем и разработке ПО.

Проектирование началось с постановки технического задания, в котором были зафиксированы ограничения по габаритам, весу и условиям эксплуатации. Устройство должно питаться от источника 12 В, выдерживать токовую нагрузку до 10 А и управлять исполнительной системой (в том числе насосом подачи топлива) с частотой до 1 кГц. Также блок должен взаимодействовать с внешними системами по протоколу CAN 2.0B, обеспечивать устойчивую работу при температурах от -50 до +50 °C и быть защищённым от пыли и механических повреждений (IP20).

Выбор микроконтроллера и переферии

В качестве основной аппаратной платформы выбран микроконтроллер ESP32. Его ключевыми преимуществами стали высокая производительность (до 240 МГц, двухъядерная архитектура), развитая периферия (CAN, SPI, I2C, Wi-Fi, Bluetooth), большой объем оперативной и флеш-памяти, а также поддержка популярных сред разработки. По сравнению с аналогами (STM32F4, Raspberry Pi Pico и Arduino Nano 33 IoT) он обладает лучшим соотношением цена/функциональность.

Разработка схем

Разработка схемы питания включала два понижающих преобразователя: один для питания микроконтроллера, другой — для управления исполнительными элементами. Входной фильтр защищает от перенапряжений и скачков. CAN-интерфейс реализован через драйвер SIT1050, обеспечивающий устойчивость к помехам и защиту от электростатических разрядов.

Система управления строится по принципу замкнутого контура. Микроконтроллер получает сигналы от датчиков давления, температуры и расхода топлива, обрабатывает их, выполняет расчет требуемой мощности и выдаёт управляющее воздействие на насос и свечу зажигания. Также происходит передача диагностических данных в пилотажно-навигационную систему через CAN.

Были предусмотрены каналы обратной связи, включая измерение потребляемого тока и напряжения насосом, что позволило реализовать алгоритмы диагностики и защиты.

Отдельное внимание было уделено устойчивости к резонансным колебаниям и паразитным частотам. В программной части реализована цифровая фильтрация (фильтр Калмана для сглаживания шумов) и временное усреднение параметров, что позволило исключить ложные срабатывания и повысить устойчивость управления. Алгоритмы включают прогностическую диагностику на основе расхода и температуры, с расчетом остатка топлива по формуле.

Тестирование

После сборки прототипа были проведены лабораторные и полунатурные испытания. Устройство продемонстрировало стабильную работу при вибрациях в диапазоне 20–500 Гц, а также при температурных колебаниях от -10 до +55 °C. Проверялась устойчивость связи по CAN при воздействии наводок, моделирующих помехи от включения электроприводов и радиопередающих устройств.

Функционирование блока в составе ПуВРД подтвердило корректную синхронизацию подачи топлива с циклом работы двигателя. Отмечено уменьшение колебаний давления в камере сгорания и более стабильная работа на режимах частичного дросселирования. Проведённая оценка эффективности показала, что за счёт адаптивного управления топливной подачей расход удалось снизить на 8–12 % по сравнению с прежней системой. Кроме того, реализация прогностической диагностики на основе расхода и температуры топлива позволила повысить точность расчета остатка топлива до 3–4 %, что критически важно для кратковременных миссий.

Заключение

Использование ESP32 позволило внедрить в систему резервные алгоритмы, реагирующие на выход параметров за допустимые пределы, а также поддерживать удалённую настройку и перепрошивку блока через стандартные интерфейсы. Это открывает путь к эксплуатации подобных систем в серийных и полевых условиях.

Разработанный блок управления представляет собой современное решение, обеспечивающее надёжную работу пульсирующего воздушно-реактивного двигателя в составе БПЛА. Благодаря высокой производительности, универсальному CAN-интерфейсу и компактной архитектуре удалось реализовать не только базовые, но и вспомогательные функции по мониторингу, диагностике и адаптации к переменным условиям.

В перспективе возможна интеграция с расходомером для отказа от индивидуальной калибровки форсунок и внедрение Фурье-анализа вибраций для сбора данных работы двигателя.

Выводы

Работа продемонстрировала потенциал применения открытых микроконтроллерных платформ для задач, ранее решаемых исключительно специализированными схемами.

В дальнейшем развитие проекта может быть направлено на реализацию интеллектуальных алгоритмов регулирования, использующих машинное обучение для адаптации к деградации топливных характеристик или изменению погодных условий.

Также перспективным направлением является создание унифицированной линейки блоков управления с поддержкой горячей замены и самодиагностикой. Это позволит расширить применение ПуВРД в сверхзвуковых БПЛА и крылатых ракетах.

Таким образом, модернизация системы управления ПуВРД способствует повышению эффективности БПЛА, расширяет сферу применения таких двигателей и обеспечивает соответствие требованиям современной аэрокосмической техники. Полученные результаты открывают новые возможности для интеграции ПуВРД в многофункциональные платформы, где сочетаются низкая стоимость, высокая маневренность и надежность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Саранина Е.В.* Обзор проектов современных пульсирующих воздушно-реактивных двигателей / Е.В. Саранина, А.А. Ившина // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: Сборник трудов XI Международной научно-практической конференции, посвященной празднованию 100-летия конструкторского бюро «Туполев»,

55-летия Иркутского филиала МГТУ ГА, 75-летия Иркутского авиационного технического колледжа, Иркутск, 13–14 октября 2022 года. Том 1. – Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2022. – С. 120-127.

2. *Сейфетдинов Р.* Рабочий процесс пульсирующих воздушно-реактивных двигателей. Саарбрюккен, Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing. – 127 с.

MODERNIZATION OF THE CONTROL UNIT OF A PULSED JET ENGINE FOR A UAV

Mavkov D.A.

Supervisor: Lazareva P.A., Associate Professor, Candidate of Physico-Mathematical Sciences.

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The paper addresses approaches to modernizing the control unit of a pulse jet engine used in unmanned aerial vehicles. A structure for the upgraded control system is proposed, taking into account modern requirements for integration, reliability, and fault tolerance. The key stages of designing the hardware and software components are described, including component selection, sensor calibration, and data processing algorithms. The results of a patent review and analysis of existing technologies confirm the relevance of the development. Experimental results, including laboratory and semi-natural tests, demonstrate the system's effectiveness: a reduction in fuel consumption by 8–12%, improved accuracy in calculating remaining fuel to 3–4%, and enhanced engine stability under conditions of vibrations and interference.

УДК 851.5

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВЕРТИКАЛИЗАЦИИ ПАЦИЕНТА ДЛЯ САМОХОДНОГО СРЕДСТВА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ТРАВМАМИ НОГ

Микрюков И.Д.

Научный руководитель: Теперин А.А., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. доклад посвящен разработке специальной системы вертикализации пациента для медицинской тележки для передвижения людей с травмами ног и ОПС, способная привести и удержать человека в вертикальном положении. В рамках проекта была разработана и реализована конструкция системы вертикализации.

Введение

Наш мир непрерывно развивается, появляются технологии, улучшающие качество жизни людей и, в связи с этим, увеличивается продолжительность жизни, и процент пожилых людей в общей численности населения увеличивается. Благодаря развитию современной медицины пациентам все чаще удается сохранить жизнь, но полноценное здоровье вернуть удается не всегда. В связи с этими факторами появляется множество людей с различными степенями инвалидности, в том числе с травмами ног и ОПС. В обеспечении полноценной жизни без ограничений на помощь таким людям приходит автоматизация.

С появлением электрических инвалидных колясок пользователям больше не нужно предпринимать колоссальные усилия для передвижения не только своего веса, но и веса коляски. Но, хотя нагрузка на руки снизилась, пользователи электрических инвалидных колясок все еще не могут свободно пользоваться руками в повседневной жизни из-за необходимости удерживать управляющие устройства. Более того, большинство электроколясок не дают ту свободу в перемещениях, которая есть у здорового человека.

Траектории движения ограниченны, а приводить человека в состояние подобное положению стоя они и вовсе не в состоянии.

1. Разработка и моделирование системы вертикализации

Система вертикализации выполнена в виде отдельно узла итогового средства передвижения, которое прикрепляется к ходовой части. Платформа, на которую крепятся все компоненты системы вертикализации, выполнена из углеродистой стали 3 мм. Сама система вертикализации состоит из трех основных компонентов: рельсовые направляющие, кресло и привод, который приводит систему в движение. 3D-модель сборки системы вертикализации представлена на рисунке 1.

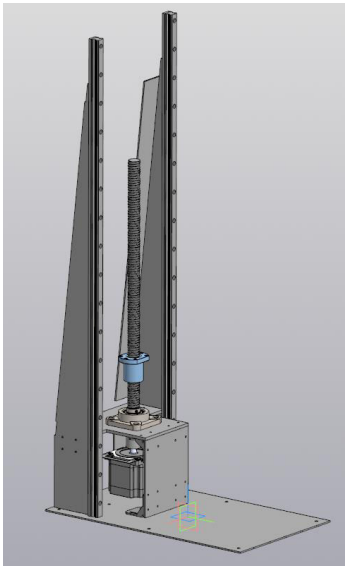


Рисунок 1. 3D-модель сборки вертикализатора

Рельсовые направляющие позволяют обеспечить движение кресла и оператора по вертикали. Было использовано две рельсовых направляющих длинной в 1 м, на каждой из которых расположены по две каретки. Каретки крепятся в спинке кресла, в область, где у человека располагается таз, а также ниже таза. Сами рельсовые направляющие прикрепляются к несущей пластине при помощи специальных ребер. Эти ребра также дают необходимую нам жесткость, поскольку этим направляющим нужно нести на себе нагрузку веса человека. Для выравнивания направляющих параллельно друг другу между ребрами жесткости также присутствует стальная перегородка.

Кресло, в котором располагается оператор, должно сочетать в себе высокую прочность и жесткость, поскольку ему нужно нести на себе человека в двух режимах. В качестве основного материала выбор был сделан в сторону нейлона. Нейлон обладает крайне высокой прочностью и может выдерживать большие нагрузки на излом. Для надёжной фиксации человека в обоих режимах, кресло снабжено системой ремней, фиксирующих основные точки тела и равномерно распределяющие нагрузку. В вертикальном режиме оператор повисает в этой системе ремней, как в своеобразной люльке и основная нагрузка в таком случае приходится на спинку кресла. Прочностные свойства нейлона обеспечиваются за счёт его эластичности, а значит, на излом спинка может изогнуться под весом человека. С целью предотвращения этого события внутри кресла будет располагаться стальной каркас, обеспечивающий жесткость всей конструкции. Также кресло оснащено специальными педалями, благодаря которым оператор может управлять движением машины, не используя при этом руки.

Основной задачей привода является приведение всей системы вертикализации в движение, или же подъем кресла с человеком по команде оператора, удержание на нужной высоте и спуск по команде оператора. В качестве привода был выбран двигатель с шарико-винтовой передачей. Гайка передачи крепится к каркасу кресла, а винт через жесткую муфту

к валу двигателя. Передача ШВП решает сразу 3 задачи: 1) увеличивает усилие, которое прилагает двигатель при подъеме оператора, 2) значительно снижается нагрузка на двигатель при удержании оператора в вертикальном положении, 3) экономия заряда аккумулятора, поскольку нет необходимости в момент удержания вертикального положения оператора, постоянно подавать на двигатель напряжение. Винт ШВП расположен так, что его диаметр находится в плоскости, вдоль которой двигаются каретки. Это сделано с целью ликвидации дополнительных рычажных нагрузок, которые могут возникнуть при движении кресла с оператором вверх. Чтобы ликвидировать любые внешние нагрузки на двигатель, в особенности со стороны массы всей системы вертикализации, между валом двигателя и винтом ШВП был установлен подшипниковый узел и стойка, закрепленные между ребрами жесткости и направляющими. Данная конструкция надежно фиксирует винт ШВП, а также переносит всю нагрузку, которая могла быть оказана на двигатель, на себя.

2. Расчет передачи ШВП

Поскольку двигатель с шарика винтовой передачей является основным элементом, приводящим в движение систему вертикализации, основными требованиями для расчета будет способность двигателя с такой передачей обеспечить подъем массы оператора. Так как в данном курсовом проекте разрабатывается прототип для обкатки и испытания технологии, то на данном этапе будет достаточно первичного расчета без учета расчета долговечности, рабочего ресурса и прочих параметров, необходимых для устройств, которые будут вводиться в эксплуатацию.

При расчете нам необходимо определить минимальный крутящий момент двигателя необходимый для подъема человека. Упрощенная схема для расчета передачи ШВП представлена на рисунке 2 [3]:

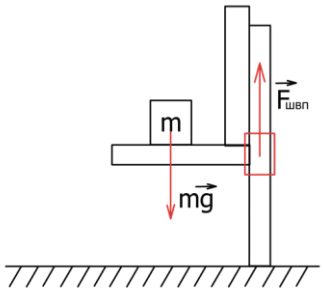


Рисунок 2. упрощенная схема для расчета передачи ШВП

Запишем II закон Ньютона:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_{швп} \quad (1)$$

Спроецируем все силы на ось OY:

$$OX: ma_y = -mg + F_{швп} \quad (2)$$

m – масса человека, $F_{швп}$ – осевая сила передачи ШВП.

Подъем будет осуществляться плавно и без ускорения, запишем формулу (4.4.2) при $a_y = 0$:

$$F_{швп} = mg \quad (3)$$

запишем формулу крутящего момента на валу двигателя:

$$T = \frac{F_{швп} \cdot p}{2000\pi \cdot n} \quad (4)$$

где p – шаг винта ШВП, n – КПД передачи ШВП.

Записав (4.4.4) с учетом (4.4.3) получим:

$$T = \frac{mg \cdot p}{2000\pi \cdot n} \quad (5)$$

При $n = 0{,}9$, $m = 50$ кг, $g = 9{,}8 \frac{м}{с^2}$, $p = 5$ мм получим:

$$T = \frac{50 \cdot 9{,}8 \cdot 5}{2000\pi \cdot 0{,}9} = 0{,}433 \frac{Н}{м}$$

3. Практическая реализация

В основе конструкции подъемного механизма легли стальные рельсовые направляющие, вдоль которых должен был передвигаться человек. Кресло должно будет крепиться к кареткам, которые передвигаются вдоль этих направляющих. Среди рельсовых направляющих были выбраны LHA GHR25 длинной 1м в количестве 2 шт. и соответствующие им каретки HSAC GHH25CA в количестве 4 шт. Такие компоненты чаще всего используются в станках ЧПУ, однако их высокие прочностные характеристики и возможность выдерживать огромные силовые нагрузки позволили найти для них столь нестандартное применение. Чтобы убедиться, что эти направляющие смогут выдержать нагрузки веса человека, были проверены их характеристики. Динамическая нагрузка, на которую рассчитана одна каретки C = 26,48 кН, а всего таких кареток 4. Нагрузка человека выдерживается с колоссальным запасом, поэтому применение выбранных компонентов допустимо.

После выбора направляющих появляется проблема их установки на вертикализатор. Важно отметить, что система вертикализации была выполнена в виде отдельного узла, это было сделано для удобства разработки и дальнейших испытаний. Сама система вертикализации в собранном виде присоединяется в выделенной зоне на основном корпусе при помощи винтов. Для рельсовых направляющих необходимы собственные крепления, которые будут жестко и крепко фиксировать их на пластине вертикализатора. Поскольку простая сварка направляющих с основой системы вертикализации недопустима, было принято решение разработать для крепления специальные ребра. Конструкция ребер также является нетипичной. Для крепления рельсовых направляющих предусмотрены отверстия под винты, чтобы использовать предусмотренный способ крепления рельс, мы использовали прослойку между направляющими и ребром жесткости из более толстого металла. Прослойка одной стороной приваривается к ребру так, чтобы ребро находилось перпендикулярно плоскости прослойки и по середине. А с другой стороны к прослойке при помощи винтов крепится направляющая. Прослойка выполнена из углеродистой стали толщиной 3 мм, а прослойка из той же стали, но толщиной 6 мм. Сборка рельсовой направляющей представлена на рисунке 3.

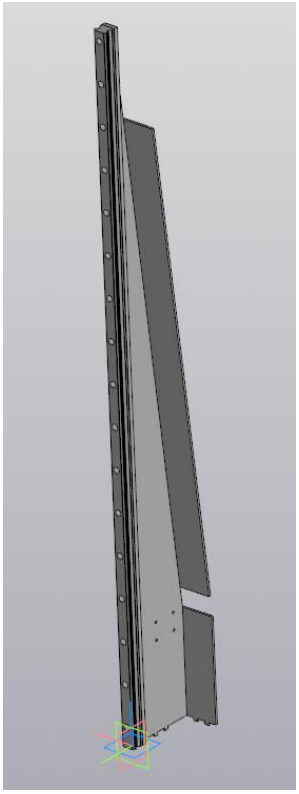


Рисунок 3. Сборка рельсовой направляющей с ребром жесткости

Далее ребра проверенным способом привариваются к пластине вертикализатора. Тем же способом как мы приваривали ребра жесткости к основному корпусу ходовой части. Ко всему прочему ребра жесткости имеют отгиб, благодаря которому его можно поставить точно перпендикулярно пластине вертикализатора. В дальнейшем это будет иметь большое значение.

Следующий этап — это приведение системы вертикализации в движение. В качестве движущей выбор пал на шаговый двигатель повышенной мощности с шарико-винтовой передачей. Передача ШВП позволяет передавать большие осевые нагрузки, а также она позволит нам задействовать двигатель только в момент перехода оператора из одного состояния другое, экономя электроэнергию. Двигатель и винт ШВП расположен так, чтобы диаметр вала лежал в плоскости рельсовых направляющих. Сделано это для того, чтобы избавиться от рычажных нагрузок, которые могут возникнуть при подъёме. Для установки винта ШВП необходимо разработать узел, который надежно его зафиксирует и примет на себя всю нагрузку, защищая от нее двигатель.

Чтобы установить винт ШВП и разгрузить его от лишней нагрузки мы между ребрами и направляющими установим металлическую пластину. С задней части вертикализатора она будет крепиться к ребрам с двух сторон, а с передней части у нее будет дополнительная пластина, выполняющая роль ножки или стойки. Основная несущая пластина выполнена из углеродистой стали толщиной 6 мм вспомогательная из той же стали, но толщиной 3 мм. Узел привода вертикализатора представлена на рисунке 4.

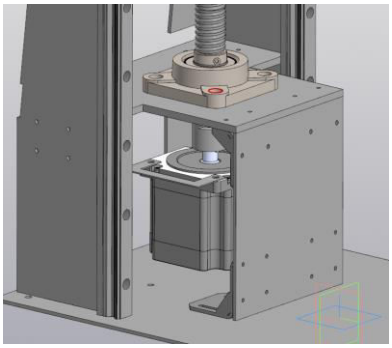


Рисунок 4. Узел привода вертикализатора

Сверху на несущую пластину установлен специальный подшипниковый узел, компенсирующий нагрузку на двигатель и надежно фиксирующий винт ШВП. В качестве винта ШВП был выбран винт SCR2505 диаметром 25 мм и шагом 5 мм, в качестве подшипникового узла выбор был сделан в пользу UCF204 с внутренним диаметром 20 мм.

Чтобы соединить двигатель с винтом ШВП, винт был сточен на одном из концов, частично до диаметра 14 мм, частично до 20 мм. Часть 20 мм вставляется в подшипниковый узел, часть 14 мм через муфту соединяется с двигателем. В качестве двигателя был выбран шаговый двигатель 86СМ45 с диаметром вала 12,7 мм. Соединение с винтом ШВП осуществляется при помощи соединительной муфты 12,7-14, а сам двигатель находится на весу, и при помощи специальной детали фиксируется от поворота.

Выводы

За время проведения исследования были разработаны и реализованы конструкции приводного модуля и корпуса ходовой части.

Разработан принцип управления ходовой части

В дальнейшем планируется улучшение конструкции корпуса, добавление функции вертикализации оператора и реализация управляющего устройства

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Балабанова-Головина Е.В., Микрюков И.Д. «Автоматизированная складская тележка» / XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодёжная научная конференция, 9-10 ноября 2023 года: Материалы конференции. Сборник докладов. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. – С. 1448-1451.

2. Микрюков И.Д., Балабанова-Головина Е.В. Автоматизированная медицинская тележка. III Республиканская научно-техническая конференция «Инженерная мысль», 28 ноября 2024 г. / под ред. С.В. Смирновой: сборник докладов. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2024. – с.3-13.

3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т.: Т. 2 – 8-е изд., перераб. И доп. Под ред. И.Н. Жестковой – М.: Машиностроение, 2001. – 912 с.:ил..

DEVELOPMENT OF AN UNDERCARRIAGE FOR A SELF-PROPELLED VEHICLE FOR PEOPLE WITH LEG INJURIES

Mikryukov I.D.

Supervisor: Teperin A.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The report is devoted to the development of a special drive module of a medical trolley for the movement of people with leg and ankle injuries, as well as its undercarriage. The design of the drive module and chassis was developed and implemented as part of the project.

УДК 851.5

РАЗРАБОТКА ХОДОВОЙ ЧАСТИ ДЛЯ САМОХОДНОГО СРЕДСТВА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ТРАВМАМИ НОГ

Микрюков И.Д.

Научный руководитель: Теперин А.А., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Доклад посвящен разработке специального приводного модуля медицинской тележки для передвижения людей с травмами ног и ОПС, а также её ходовой части. В рамках проекта были разработана и реализована конструкция приводного модуля и ходовой части.

Введение

Наш мир непрерывно развивается, появляются технологии, улучшающие качество жизни людей и, в связи с этим, увеличивается продолжительность жизни, и процент пожилых людей в общей численности населения увеличивается. Благодаря развитию современной медицины пациентам все чаще удается сохранить жизнь, но полноценное здоровье вернуть удается не всегда. В связи с этими факторами появляется множество людей с различными степенями инвалидности, в том числе с травмами ног и ОПС. В обеспечении полноценной жизни без ограничений на помощь таким людям приходит автоматизация.

С появлением электрических инвалидных колясок пользователям больше не нужно предпринимать колоссальные усилия для передвижения не только своего веса, но и веса коляски. Но, хотя нагрузка на руки снизилась, пользователи электрических инвалидных колясок все еще не могут свободно пользоваться руками в повседневной жизни из-за необходимости удерживать управляющие устройства. Более того, большинство электроколясок не дают ту свободу в перемещениях, которая есть у здорового человека. Траектории движения ограниченны, а приводить человека в состояние подобное положению стоя они и вовсе не в состоянии.

1. Конструкция приводного модуля

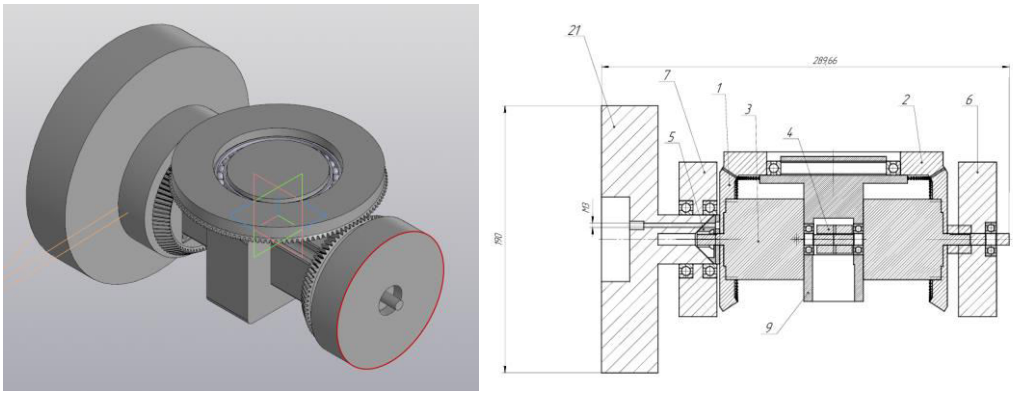


Рисунок 14. Конструкция приводного модуля

В основе конструкции приводного модуля лежат два шаговых двигателя 3 и коническая передача, состоящая из зубчатого колеса 2 и двух шестерней 1. Для реализации были взяты шаговые двигатели NEMA 57HS56mm с валом 8 мм. Данные двигатели преимущественно используются в станках ЧПУ и 3D-принтерах, однако могут быть использованы и для нашей задачи. Одна из ключевых особенностей и причин, почему была выбрана данная модель, это двусторонний вал и приемлемый для нас крутящий момент.

Привод реализует два режима движения: маршевый и поворотный. Ключевым элементом, позволяющим осуществлять поворот является коническая передача. Валы двигателей жестко сцеплены между собой при помощи муфты. Когда двигатели вращаются в одинаковую сторону муфта не позволит валам провернуться и за счет жесткой сцепки вращение будут осуществлять не валы двигателей, а сами двигатели, прикрепленные к шестерням. Таким образом, привод будет осуществлять поворот. При маршевом режиме двигатели будут вращаться в разные стороны и коническая передача будет мешать им поворачивать весь привод, за счет этого будет вращаться сами валы двигателей в одну и ту же сторону, и передавать вращение на ходовое колесо. Для компенсации радиальных нагрузок на зубчатую передачу в конструкцию добавлены радиальные шариковые подшипники и упорные колеса.

Несомненными преимуществами данной конструкции является простота управления, безредукторность, высокая надежность и дешевизна за счет отсутствия необходимости в редукторе и использовании шаговых двигателей.

2. Конструкция ходовой части

Основными требованиями к ходовой части являются размеры, минимальные ограничения на траектории возможного движения, а также жесткая конструкция корпуса, которая будет в состоянии выдержать вес человека и прочих комплектующих итоговой тележки.

Корпус ходовой части имеет квадратную форму с небольшими впадинами по бокам, для большей свободы поворота колёс. Симметричная форма корпуса позволит осуществлять плоскопараллельное движение, двигаться в любую сторону при необязательном повороте корпуса. Габариты корпуса не превышают ширины дверных проёмов со всех четырёх сторон. Приводные модули располагаются по углам, для упрощения реализации поворотного режима колес, углы имеют дополнительное закругление. Схема ходовой части представлена на рисунке 2.

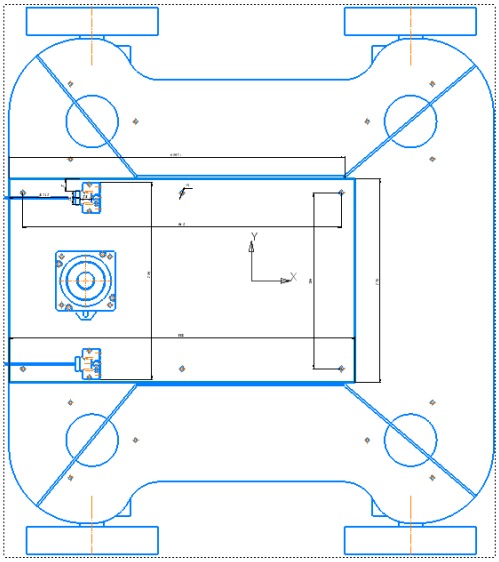


Рисунок 2. Схема ходовой части

Корпус ходовой части выполнен из листа углеродистой стали толщиной 3 мм. Жесткость обеспечивается за счет рёбер жесткости, выполненных из той же, стали толщиной 3 мм. Из-за расположения колес относительно оси вращения привода в поворотном режиме, на валы, соединяющие привод с колёсами оказываются рычажные нагрузки под действием тяжести тележки и пользователя. Эти нагрузки могут оказать негативное воздействие и на сам привод, вплоть до разрушения конструкции приводного узла. С целью снижения этого эффекта основная платформа ходовой части оснащена нижним ярусом, который создаёт дополнительную опору для вала привода и компенсирует возникающие под действием силы тяжести рычажные нагрузки. Высота нижнего яруса регулируема, чтобы всегда была возможность изменить высоту, компенсируя неточности при создании каких-то компонентов привода или самого корпуса. Также на нижнем ярусе располагается вся управляющая электроника, микроконтроллеры и драйверы для управления двигателями скрывая их от случайных воздействий со стороны оператора. Подробная 3D модель металлической части корпуса ходовой части представлена на рисунке 3

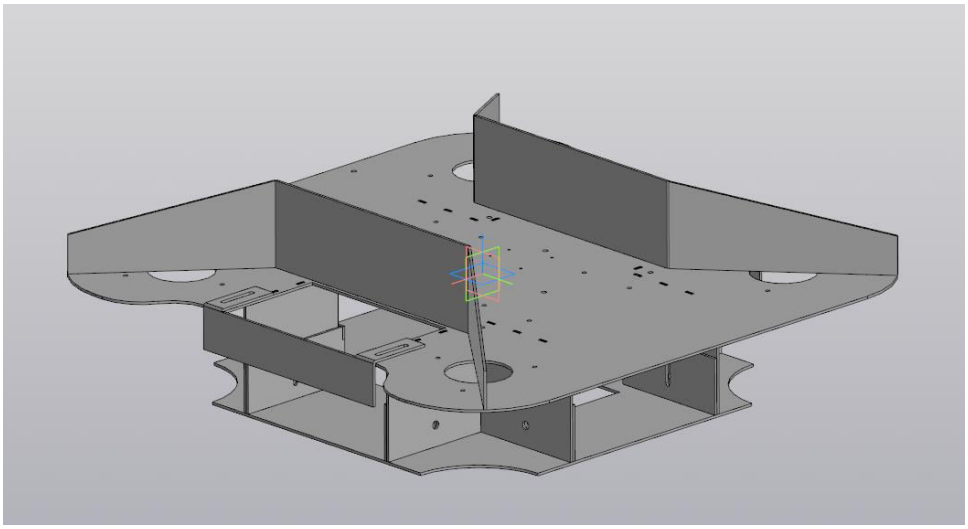


Рисунок 3. 3D–модель корпуса ходовой части

3. Управление ходовой частью

В качестве управляющего микроконтроллера был выбран ESP32. На Рисунке 6 изображена структурная схема приводной системы.

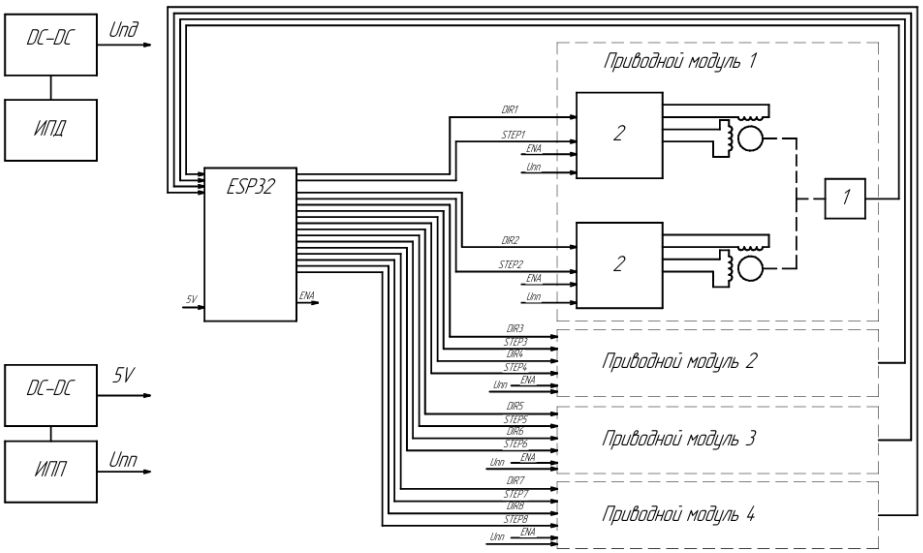


Рисунок 4. Функциональная схема приводной системы

Шаговые двигатели не могут управляться от ESP32 напрямую, как и любой другой двигатель. Для управления необходимы специальные устройства, драйверы управления 2. Драйверы управления шаговыми двигателями выполняют сразу две функции: 1) роль усилителя напряжения, подаваемого на двигатели. 2) преобразуют управляющие сигналы от микропроцессора сигналы необходимые для работы двигателя. Само по себе управление шаговым двигателем строится на подаче серии импульсов, при каждом из которых ротор двигателя проворачивается на один фиксированный шаг. Благодаря такому принципу работы можно с высокой степенью точности задавать ему поворот на определенный угловой путь и отслеживать его без дополнительных датчиков, и поэтому данный двигатель и нашел свое применение в станках ЧПУ и 3D-принтерах.

В нашем случае управление будет осуществляться по задаваемой скорости, однако, и эта задача решаемая. Всё что нам нужно это подавать единичные импульсы на шаговый двигатель с определенной частотой. В таком случае скорость будет зависеть от частоты подаваемых импульсов. Чем выше частота, тем выше скорость вращения.

Драйвер управления принимает на вход 3 сигнала: PUL, DIR, ENA.

- PUL - Основной сигнал, пока данный сигнал подается на драйвер, драйвер будет преобразовывать его в серию управляющих импульсов и двигатель будет осуществлять свое вращение.
- DIR – Сигнал задающий направление вращения вала двигателя.
- ENA - Сигнал показывающий то, что двигатель работает. Если драйвер принимает данный сигнал, значит можно осуществлять вращение вала двигателя.

При реализации управления приводной системы нам не обязательно каждый из сигналов подавать на драйвер отдельно. Поскольку приводы при движении работают в унисон, и не предполагается простой хотя-бы одного из них, сигнал ENA можем подавать на все драйверы с одного порта. В остальном нам для реализации поворотного режима необходимы будут разные сигналы DIR и PUL, с ними как с ENA мы поступить не можем.

Также приводы снабжены датчиками угла, для контроля поворота каждого привода, которые будут передавать сигнал на микроконтроллер. Параметры движения маршевого режима, а именно расстояние и скорость мы будем отслеживать при помощи наших же управляющих импульсов.

В качестве источника питания планируется взять два автомобильных аккумулятора по 12В. Соединив их последовательно мы получим источник питания на 24В, чего хватит для питания всей приводной системы и в придачу сенсорной системы управления.

Также для питания микроконтроллера будет использован преобразователь напряжения 24-5В поскольку 5В это то номинальное напряжение, которое требуется для питания ESP32 а также датчиков и сенсоров.

Выводы

За время проведения исследования были разработаны и реализованы конструкции приводного модуля и корпуса ходовой части.

Разработан принцип управления ходовой части

В дальнейшем планируется улучшение конструкции корпуса, добавление функции верткализации оператора и реализация управляющего устройства

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Балабанова-Головина Е.В, Микрюков И.Д* «Автоматизированная складская тележка» /XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодёжная научная конференция, 9-10 ноября 2023 года: Материалы конференции. Сборник докладов. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. – С. 1448-1451.

2. *Микрюков И.Д, Балабанова-Головина Е.В.* Автоматизированная медицинская тележка. III Республиканская научно-техническая конференция «Инженерная мысль», 28 ноября 2024 г. / под ред. С.В. Смирновой: сборник докладов. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2024. – с.3-13.

3. HONDA: официальный сайт. – Токио – URL: https://global.honda/en/tech/Hands-free_seated_personal_mobility_device_UNI-ONE (дата обращения: 15.02.2025) – Текст: электронный.

4. University of Illinois Urbana-Champaign: официальный сайт. – Урбана – URL: https://healtheng.illinois.edu/news/hands-free-wheelchair-prototype-achieves-major-milestone (дата обращения: 20.03.2025) – Текст: электронный.

5. OMEO technology: официальный сайт. – Капити – URL: https://omeotechnology.com (дата обращения: 01.04.2025) – Текст: электронный.

DEVELOPMENT OF AN UNDERCARRIAGE FOR A SELF-PROPELLED VEHICLE FOR PEOPLE WITH LEG INJURIES

Mikryukov I.D.

Supervisor: Teperin A.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The report is devoted to the development of a special drive module of a medical trolley for the movement of people with leg and ankle injuries, as well as its undercarriage. The design of the drive module and chassis was developed and implemented as part of the project.

УДК 629.7.054 (088)

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ВЗАИМНОГО ПОЛОЖЕНИЯ РЕЛЬСОВЫХ НИТЕЙ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Муллагалиев Д.Р.

Научный руководитель: Кривошеев С.В., доцент, к. т. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань.)*

Аннотация. Суть исследования заключается в описании устройства для непрерывного измерения и регистрации взаимного положения рельсовых нитей железнодорожного полотна в вертикальной плоскости в зависимости от пройденного расстояния.

Для оценки качества железнодорожного полотна используются следующие геометрические характеристики: превышение одного рельса над другим в вертикальной плоскости, ширина колеи, просадки – траектория рельсовых нитей вертикальной плоскости, рихтовка – траектория рельсовых нитей горизонтальной плоскости [1].

В работе рассматривается построение системы измерения поперечного уровня на основе одноосного силового горизонтального гиростабилизатора [1] с конкуром компенсации виражных девиаций при движении путеизмерителя в кривых. При этом анализируются схемы компенсации колебаний подрессоренного вагона для варианта, когда гиростабилизатор установлен без амортизаторов на корпусе путеизмерителя.

Отправным пунктом для анализа схем измерения и регистрации поперечного уровня является схема, реализованная в путеизмерителе ЦНИИ-2, которая построена в соответствии с авторским свидетельством [2]. При этом искусственный горизонт был реализован морской четырехгироскопной гировертикалью.

Далее рассматриваются схемы для построения малогабаритных путеизмерителей, разработанные в Казанском авиационном институте (НИЛ №27), которые были внедрены в различных дистанциях пути железнодорожного транспорта и на промышленных путях горнообогатительных и металлургических комбинатов, а также их модернизация.

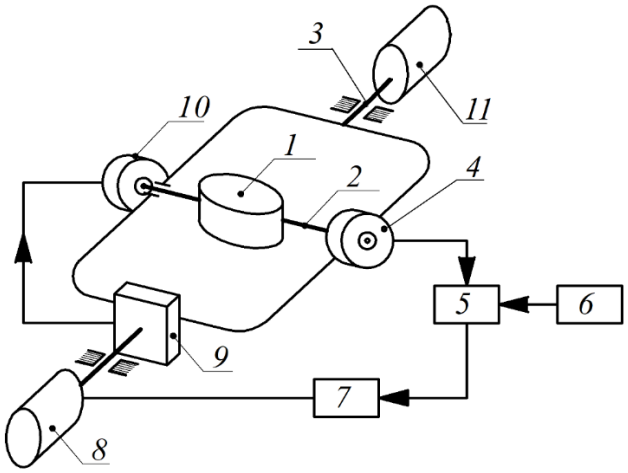


Рисунок 1. Одноосный силовой горизонтальный гиростабилизатор

На рисунке 1 представлена кинематическая схема гиростабилизатора [3]. Гироузел 1 с вертикальной осью ротора установлен в карданове подвесе с внутренней 2 и наружной 3 осями. Цепь межрамочной коррекции содержит последовательно соединенные датчик 4 угла прецессии на внутренней оси 2 подвеса, суммирующе-преобразующее устройство 5, второй вход которого подключен к датчику 6 линейной скорости объекта, усилитель 7 и двигатель 8 на наружной оси 3 подвеса. Цепь приведения содержит последовательно соединенные маятниковый датчик 9 угла с расширенной зоной линейности и датчик 10 моментов. Для построения системы компенсации на оси 3 наружной рамы гиростабилизатора устанавливают измерительную качалку 11. При прямолинейном горизонтальном движении объекта верхняя полуось ротора гироскопа 1 отклоняется от перпендикулярного положения к оси 3 на некоторый угол, пропорциональный скорости движения путеизмерителя, вперед по движению. При совершении объектом виража это отклонение переходит в поворот оси 3. Однако под действием момента по оси 2, искаженного на вираже сигналом маятникового датчика 9, ось 3 совершает дополнительный поворот. Эти два поворота взаимно компенсируются при выполнении определенного условия:

$$N = \frac{Sk}{gH} + \frac{H}{R},$$

где N – коэффициент пропорциональности сигнала линейной скорости; S – крутизна характеристики контура стабилизации; k – крутизна характеристики контура коррекции; g – ускорение силы тяжести; H – кинетический момент гироскопа; R – радиус Земли.

С точностью до инструментальных погрешностей методическая ошибка гиростабилизатора на вираже объекта исключается.

В работе рассматривается три варианта построения системы измерения поперечного уровня с различными системами регистрации.

Вариант с горизонтальной измерительной качалкой и механической системой регистрации [4].

На рисунке 2 изображена кинематическая схема механизмов.

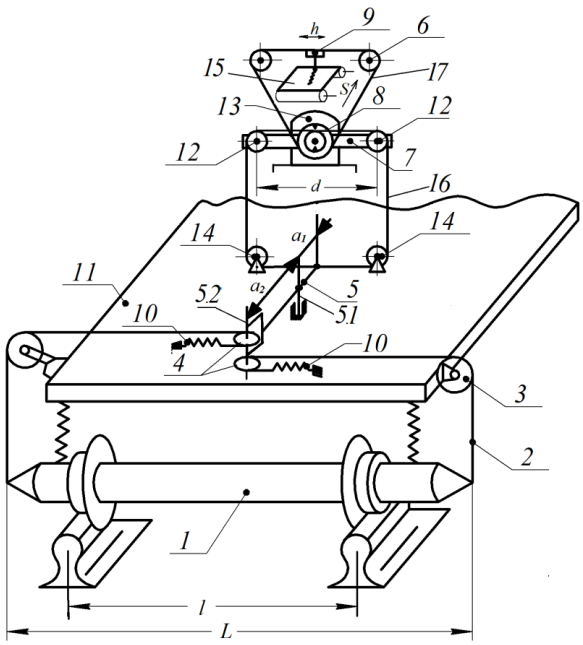


Рисунок 15. Устройство для определения и регистрации взаимного положения рельсовых путей в вертикальной плоскости с горизонтальной качалкой

Устройство содержит: 1 – измерительную колесную пару; 2; 16;17 – гибкие тросы; 3 – отклоняющие блоки на кузове; 4 – отклоняющие блоки на компенсирующем рычаге; 5 – компенсирующий рычаг; 5.1 и 5.2 – оси вращения компенсирующего рычага и отклоняющих блоков 4 соответственно; 6 – отклоняющие блоки на кузове; 7 – стабилизированную горизонтальную качалку; 8 – масштабный блок; 9 – регистрирующее устройство; 10 – пружина; 11 – кузов путеизмерителя; 12 – отклоняющие блоки на качалке; 13 – гироскопический стабилизатор; 14 – отклоняющие блоки на кузове; 15 – стол записи, в котором, например, бумага перемещается пропорционально и в масштабе пройденному пути.

При изменении положения рельсовых путей по высоте изменяется соответственно положение катящейся по ним измерительной колесной пары 1. Если при этом положение кузова 11 остается неизменным, то перемещение букс измерительной колесной пары вызовет поворот связанного с ним компенсирующего рычага 5, который через тросово-блочную передачу переместит перо записывающего устройства 9. Если кузов наклоняется вместе с измерительной колесной парой на один и тот же угол, то компенсирующий рычаг не поворачивается, но за счет изменения расстояния между блоками 12, установленными на стабилизированной в плоскости горизонта качалке 7, и блоками 14, установленными на кузове 11, тросово-блочная передача смещает перо 9, которое фиксирует отклонение положения рельсовых нитей. Если положение измерительной колесной пары не меняется, а колеблется лишь кузов, то имеет место как поворот компенсирующего рычага, так и изменение расстояния между блоками 12 и 14. При этом перемещения пера 9 при повороте компенсирующего рычага 5 и перемещения при изменении расстояния между блоками 12 и

14, если рассматривать их по отдельности, имеют одинаковую величину, но противоположные знаки, т.е. смещения пера не происходит. При колебаниях кузова вверх-вниз без наклона происходит лишь ослабление или натяжение пружин 10. Таким образом, при любых колебаниях кузова регистрирующее устройство фиксирует лишь отклонение положения рельсовых нитей в поперечном профиле.

Компенсирующий рычаг 5 выполнен двуплечим с отношением плеч a_1 / a_2, удовлетворяющих условию:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{2d}{L},$$

где: a_1 – длина плеча, связанного с регистрирующим устройством; a_2 – длина плеча, связанного с буксами; L – расстояние между точками крепления гибких тросов к буксам; d – расстояние между осями отклоняющих блоков на качалке.

Буксы измерительной колесной пары 1 связаны с компенсирующим рычагом 5 двумя гибкими тросами 2, каждый из которых перекинут через отклоняющий блок, укрепленный на кузове, через один из блоков компенсирующего рычага и натянут пружиной.

Данное устройство, по сравнению с известными [1], [2] имеет более простую кинематическую схему и содержит меньшее количество деталей. Благодаря этому уменьшается инерционность механизма, что благоприятно сказывается на точность измерений при больших скоростях движения. Устройство может быть использовано в портативных путеизмерительных устройствах в промышленном транспорте.

Вариант с вертикальной измерительной качалкой и механической системой регистрации [5].

Вариант системы с вертикальной качалкой имеет более простую конструкцию и меньшие габариты изображен на рисунке 3.

Схема содержит измерительную колесную пару 1, подрессоренный кузов 2, стабилизированный в вертикальной плоскости рычаг 3, гироскопический стабилизатор 4, компенсирующий двуплечий рычаг 5, ось вращения которого соединена с верхним концом вертикального рычага 3, лентопротяжный механизм 6, отклоняющий блок 7, гибкие тросы 8, отклоняющие блоки 9, установленные на кузове, пружины 10 натяжения трособлочной системы, устройство записи 14, которое, перемещаясь вместе с двуплечим рычагом 5, записывает на специальную бумагу лентопротяжного механизма 6 превышение рельсовых ниток.

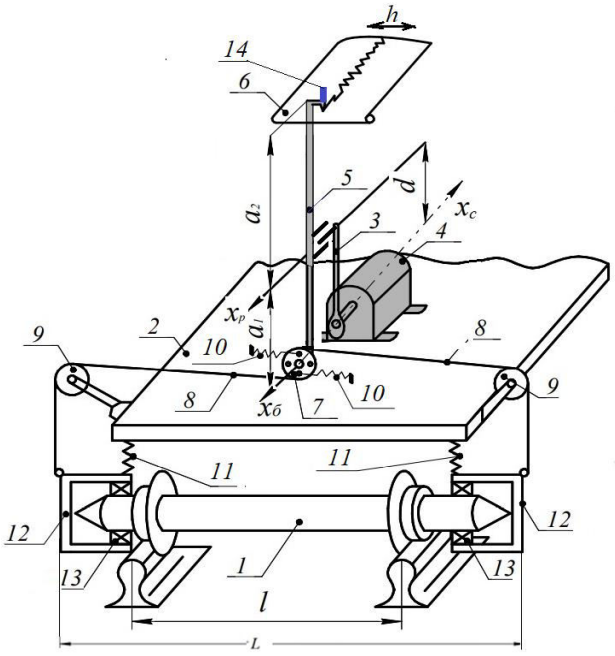


Рисунок 3. Система измерения с вертикальной качалкой и механической регистрацией

Гироскопический стабилизатор 4 установлен в подрессоренном кузове 2. На выходной оси рис. 3 гироскопического стабилизатора жестко закреплен стабилизированный в вертикальной плоскости рычаг 3. На верхнем конце рычага 3 шарнирно закреплен в вертикальном положении двуплечий компенсирующий рычаг 5, верхний конец которого связан с регистрирующим устройством 14.

Нижний конец компенсирующего рычага связан трособлочной системой с буксами измерительной колесной пары 1. Трособлочная система включает в себя отклоняющий блок 7, установленный на нижнем конце компенсирующего рычага, два отклоняющих блока 9, установленные на кузове, две пружины 10 натяжения и два гибких троса 8, каждый из которых одним своим концом закреплен на отклоняющем блоке 7 и огибает его, а затем перекинут через блок 9 и прикреплен другим своим концом к буксе измерительной колесной пары.

При этом для компенсации колебаний вагона отношение плеч компенсирующего двуплечего рычага должно удовлетворять равенству

$$\frac{a_1 + a_2}{a_2} = \frac{L}{2d},$$

где a_1 – длина плеча двуплечего рычага от его оси вращения до нижнего конца рычага; a_2 – длина плеча двуплечего рычага от его оси вращения до верхнего конца рычага; L – расстояние между точками крепления гибких тросов трособлочной системы к буксам измерительной колесной пары; d – длина вертикального рычага гиростабилизатора.

Масштаб записи для превышения рельсовых нитей равен

$$m(h) = \frac{a_2 L}{2a_1 l},$$

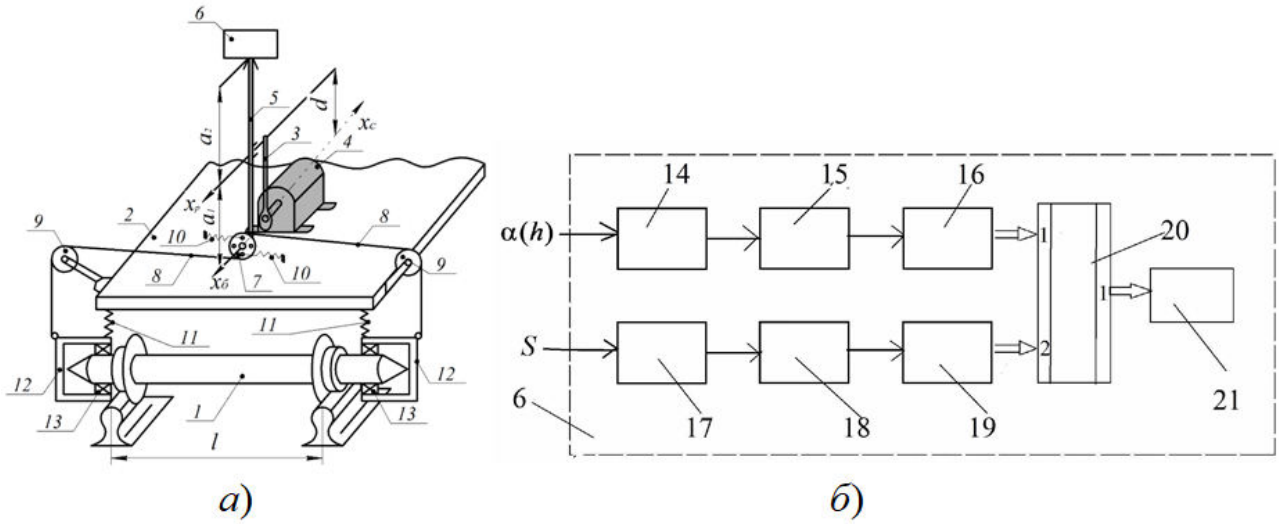
где l – ширина рельсовой колеи; h – превышение одной рельсовой нити над другой.

При изменении положения рельсовых нитей по высоте изменяется соответственно положение катящейся по ним измерительной колесной пары 1. Если при этом положение кузова 2 остается неизменным, то перемещение букс измерительной колесной пары посредством гибких тросов 8 и компенсирующего рычага 5 передается в заданном масштабе на регистрирующее устройство 6. При наклоне кузова 2 вместе с измерительной колесной парой 1 на один и тот же угол положение блока 7, установленного на нижнем конце компенсирующего рычага, относительно кузова не меняется и рычаг 3, стабилизированный в вертикальной плоскости, заставляет повернуться компенсирующий рычаг 5 вокруг оси блока 7, передавая таким образом на регистрирующее устройство отклонение рельс по высоте. Если положение измерительной колесной пары не меняется, а имеются лишь колебания кузова, то компенсирующий 5 рычаг поворачивается одновременно трособлочной системой, связывающей его с буксами, и рычагом 3, стабилизированным в вертикальной плоскости. При этом верхний конец компенсирующего рычага, связанный с регистрирующим устройством, остается неподвижным относительно кузова. При колебаниях кузова вверх-вниз без наклона происходит лишь ослабление и натяжение пружин 10.

Таким образом, при любых колебаниях кузова регистрирующее устройство фиксирует лишь отклонение положения рельса по высоте. Предлагаемое устройство имеет более простую кинематическую схему и содержит меньшее количество деталей. Благодаря этому уменьшается инерционность устройства, что благоприятно сказывается на точности измерений при больших скоростях движения. Кроме того, уменьшается нагрузка на гироскопический стабилизатор, что способствует улучшению точности его работы.

Вариант с вертикальной измерительной качалкой и системой регистрации на основе микроконтроллера [6].

Наиболее «совершенным» устройством по определению и регистрации взаимного положения рельсовых нитей является механизм, чей конструктив гораздо проще, обработка информации легче, а надежность выше (Рис.4).



а) *б)*

Рисунок 4. Система измерения с вертикальной качалкой и регистрацией в микроконтроллере

На рис. 4 приняты следующие обозначения:

1 – измерительная колесная пара; 2 – подрессоренный кузов; 3 – рычаг, стабилизированный (в вертикальной плоскости); 4 – гироскопический стабилизатор; 5 – компенсирующий двуплечий рычаг; 6 – регистрирующий блок (устройство); 7 – центральный отклоняющий блок; 8 – гибкие тросы; 9 – боковые отклоняющие блоки; 10 – пружины; 11 – рессоры; 12 – буксы; 13 – подшипники; 14 - датчик линейного перемещения или датчик углового перемещения (далее по тексту для краткости – датчик перемещения); 15 – первый масштабный усилитель; 16 – первый преобразователь аналог-код; 17 – измеритель пройденного пути; 18 – второй масштабный усилитель; 19 – второй преобразователь аналог-код; 20 - компьютер – микроконтроллер (далее по тексту микроконтроллер); 21 – накопитель;

$x_с$ – ось стабилизации гироскопического стабилизатора;

$x_б$ – ось вращения центрального отклоняющего блока;

$x_р$ – ось вращения двуплечего компенсирующего рычага;

a_1 – расстояние между осью $x_р$ и $x_б$;

a_2 – расстояние между осью $x_р$ и верхним концом двуплечего компенсирующего рычага;

d – расстояние между осью $x_с$ и $x_р$;

S – пройденный путь путеизмерителем;

$\alpha(h)$ – угловое превышение рельсовых нитей;

h – линейное превышение рельсовых нитей.

В соответствии с рис.4 кинематическая схема, являющаяся частью устройства, содержит измерительную колесную пару 1, которая при движении путеизмерителя вращается в подшипниках 13, размещенных в буксах 12, подрессоренный кузов 2, связанный с буксами с помощью пружин 11, стабилизированный в вертикальной плоскости рычаг 3, который жестко закреплен на оси стабилизации $x_с$ гироскопического стабилизатора 4, компенсирующий двуплечий рычаг 5, регистрирующий блок 6, центральный отклоняющий блок 7, установленный кинематически на оси $x_б$ компенсирующего двуплечего рычага 5, гибкие тросы 8, которые с одной стороны охватывают центральный отклоняющий блок 7 и жестко крепятся к нему в диаметрально противоположных точках, а с другой стороны

охватывают боковые отклоняющие блоки 9, установленные на кузове, и жестко крепятся к буксам 12 измерительной колесной пары 1. Пружины 10 натяжения трособлочной системы закреплены жестко в диаметрально противоположных точках центрального отклоняющего блока 7 (перпендикулярно линии точек крепления гибких тросов 8). Компенсирующий двуплечий рычаг 5 своим верхним концом кинематически перемещает подвижную часть датчика перемещения 14, который является измерительным устройством регистрирующего блока 6.

Также приведена блок-схема регистрирующего блока 6, который содержит два канала измерения.

Первый канал предназначен для измерения превышения одного рельса над другим и состоит последовательно соединенных: датчика перемещения 14, первого масштабного усилителя 15 и первого преобразователь аналог-код 16, выход которого подключен на первый входной порт микроконтроллера 20.

Второй канал предназначен для измерения, пройденного путеизмерителем пути и состоит последовательно соединенных: измерителя пройденного пути 17, второго масштабного усилителя 18 и второго преобразователь аналог-код 19, выход которого подключен на второй входной порт микроконтроллера 20.

К выходному порту микроконтроллера 20 подключен накопитель 21, например, в виде флешки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Машины и механизмы для путевого хозяйства: Учебник для техникумов ж.д. транс. / Плохоцкий М.А., Соломонов С.А., Толмазов А.Ф., Хабаров В.П. М.: Изд-во «Транспорт», 1970. – 360 с.

2. Авторское свидетельство СССР № 142776. МКл 42С. Механизм для записи превышения оного рельса железнодорожного пути над другим / Плохоцкий М.А., Найдич А.М. Опубликовано 1961 год. Бюл. №22.

3. Авторское свидетельство СССР № 790923. МКл G01C, 19/44. Одноосный силовой горизонтальный гиростабилизатор / Арутюнов С.С., Хохлов В.М. Опубликовано 07.01.82. Бюл. №1.

4. Авторское свидетельство СССР № 960531. МКл. G01C, 7/04. Устройство для определения и регистрации взаимного положения рельсовых путей в вертикальной плоскости / Арутюнов С.С., Хохлов В.М. Опубликовано 23.09.82. Бюл. №35.

5. Авторское свидетельство СССР № 1120166. МКл. G01C, 7/04. Устройство для определения и регистрации взаимного положения рельсовых путей в вертикальной плоскости / Арутюнов С.С., Хохлов В.М. Опубликовано 23.10.4 Бюл. №39.

6. Патент РФ № 2841488. МПК G01C 7/04. Устройство для определения и регистрации взаимного положения рельсовых путей в вертикальной плоскости / Кривошеев С.В., Лукин К.О., Лукин М.О., Муллагалиев Д.Р. Опубликовано 06.06.2025. Бюл. № 16.

DEVICE FOR DETERMINATION AND REGISTRATION OF MUTUAL POSITION OF RAIL THREADS IN VERTICAL PLANE

Mullagaliev D.R.

Supervisor: Krivosheev S.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The essence of the research lies in the description of the device for continuous measurement and registration of the mutual position of rail threads of the railway track in the vertical plane depending on the distance traveled.

УДК 621.354

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Николаева Я.С., Егоров В.В.
Научный руководитель: Золотенкова М.К., инженер
(Московский авиационный институт, г. Москва)

Аннотация. В работе проведен анализ ключевых факторов, снижающих надежность работы BMS (системой управления сборкой). Для повышения эффективности управления предложена и реализована модификация схемотехнического решения с использованием преимущественно отечественных компонентов.

Современные аккумуляторные системы (рисунок 1) представляют собой сложные электротехнические комплексы, сформированные путем последовательно-параллельного соединения большого количества ячеек. Ключевой задачей при проектировании таких сборок является обеспечение требуемых выходных параметров — рабочего напряжения, емкости и мощности — для широкого спектра применений, от силовой электроники транспорта до стационарных накопителей энергии. Среди многообразия электрохимических технологий доминирующее положение заняли литий-ионные аккумуляторы, что обусловлено их превосходными удельными энергетическими характеристиками и удовлетворительным ресурсом [1].

Вместе с тем, сложность и высокая стоимость данных систем обуславливают необходимость применения высокотехнологичных систем управления (BMS), призванных контролировать состояние ячеек, обеспечивать безопасность и минимизировать скорость деградации. В данной работе проводится комплексный анализ ключевых факторов, ускоряющих износ аккумуляторных батарей, рассматриваются существующие схемотехнические реализации BMS и предлагается практическое решение по разработке аналогичной системы, основанной исключительно на компонентах отечественного производства.

Рисунок 1. Различные виды аккумуляторных сборок

Современные литий-ионные аккумуляторы подвержены деградации ёмкости и опасному явлению теплового разгона. Неконтролируемая цепная реакция приводит к возгоранию и взрыву, которая чаще всего провоцирует внутреннее короткое замыкание, перезаряд или механическое повреждение [2]. Эти процессы не только сокращают срок службы элементов, но и создают серьёзные риски возгорания и выделения

токсичных газов. Указанные особенности обуславливают необходимость применения специализированных систем контроля и защиты.

К числу значимых факторов, влияющих на износ аккумуляторных батарей, следует отнести паразитный разряд, обусловленный энергопотреблением самой системы управления (BMS) [3]. Даже в режиме ожидания BMS продолжает расходовать энергию на поддержание базовых функций мониторинга, что приводит к дополнительным микроциклам подзаряда и ускоренной деградации электрохимической системы.

Кроме того, на интенсивность износа существенное влияние оказывают: повышенная частота циклов заряда-разряда, работа в экстремальных температурных диапазонах, а также несоблюдение оптимальных рабочих напряжений. Учет этих факторов является критически важным при проектировании надежных систем управления аккумуляторными батареями [4].

Классическим решением для защиты литиевых аккумуляторов служит специализированная микросхема DW01, структурная схема включения которой представлена на рисунке 2. Данное устройство функционально реализует набор компараторов напряжения и источников опорного напряжения, обеспечивающих мониторинг ключевых параметров аккумулятора в реальном времени [5]. Микросхема осуществляет управление внешними транзисторными ключами, переводя систему в безопасный режим работы при превышении установленных пороговых значений. Важнейшими функциями DW01 являются защита аккумулятора от перезаряда, переразряда, превышения тока потребления и короткого замыкания. Это предотвращает критические режимы работы аккумуляторной ячейки и существенно повышает безопасность эксплуатации.

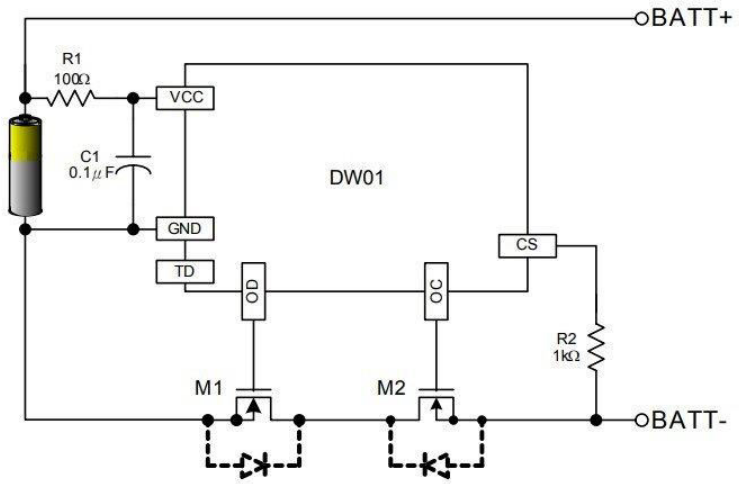


Рисунок 2. Схема включения микросхемы DW01

Функционирование системы защиты обеспечивается следующими элементами: цепь R1-C1 формирует входной фильтр питания микросхемы. Резистор R2 необходим для защиты от перенапряжения входа измерения тока CS при подключении зарядного устройства. Транзистор M1 управляет отключением зарядного тока, а M2 — разрядного тока аккумулятора. Благодаря встроенным в транзисторные ключи диодам разрядка аккумулятора возможна при срабатывании M2 (M1 открыт). Так же возможна и зарядка при срабатывании защиты от переразряда (M1 закрыт).

Ключевым преимуществом микросхемы DW01 является возможность измерения тока посредством детектирования падения напряжения на открытых каналах внешних MOSFET-транзисторов, что исключает необходимость применения внешнего шунтирующего резистора. Пороговый ток срабатывания защиты определяется сопротивлением открытого канала (Rds_on) и конфигурацией параллельных транзисторных сборок, что требует строгого соответствия параметров компонентов проектным требованиям.

Важным технологическим ограничением является зависимость Rds_on от напряжения затвор-исток и температуры p-n перехода. Деградация порогового напряжения защиты в

процессе разряда аккумулятора частично компенсируется снижением его нагрузочной способности. Параллельное соединение транзисторов позволяет масштабировать токовую нагрузку пропорционально количеству компонентов.

В качестве дальнейшего развития систем управления и продления срока службы аккумуляторных сборок предлагается переход от классических методов балансировки к интегрированным системам индивидуальной зарядки ячеек с гальванической развязкой. Ключевым элементом такой архитектуры выступает многообмоточный высокочастотный трансформатор. В данной топологии первичная обмотка трансформатора подключается к источнику питания через управляемый силовой ключ, в то время как множество вторичных обмоток, каждая через собственный выпрямитель и фильтр, подключается к отдельной аккумуляторной ячейке. Данная схема зарядки аккумулятора с защитой с использованием трансформатора представлена на рисунке 3.

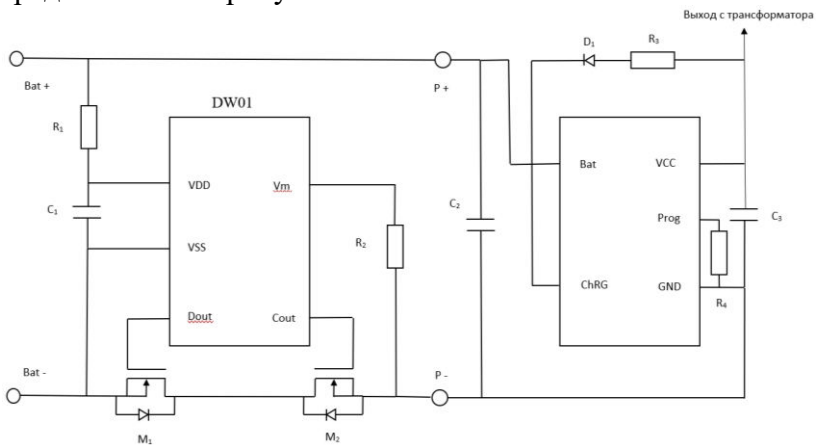


Рисунок 3. Схема защиты BMS

Предлагаемая система защиты, реализованная на отечественной элементной базе, поддерживает работу до трех аккумуляторов. Ключевой особенностью схемы является применение резистивного делителя напряжения, который снижает высокое напряжение аккумуляторной сборки до уровня, безопасного для обработки встроенным АЦП микроконтроллера. Это решение исключает риск повреждения измерительных входов контроллера при работе с повышенными напряжениями. Дополнительно реализована гальваническая развязка на основе оптрона, обеспечивающая электрическую изоляцию между высоковольтной и низковольтной частями системы. Для контроля параметров батареи в системе установлены: точный датчик тока, отслеживающий суммарный заряд и разряд для защиты от перегрузок, а также распределённая система теплового контроля с отдельными датчиками температуры на каждом аккумуляторе [6]. Такая конструкция позволяет оперативно обнаруживать местный перегрев элементов и предотвращать тепловой разгон.

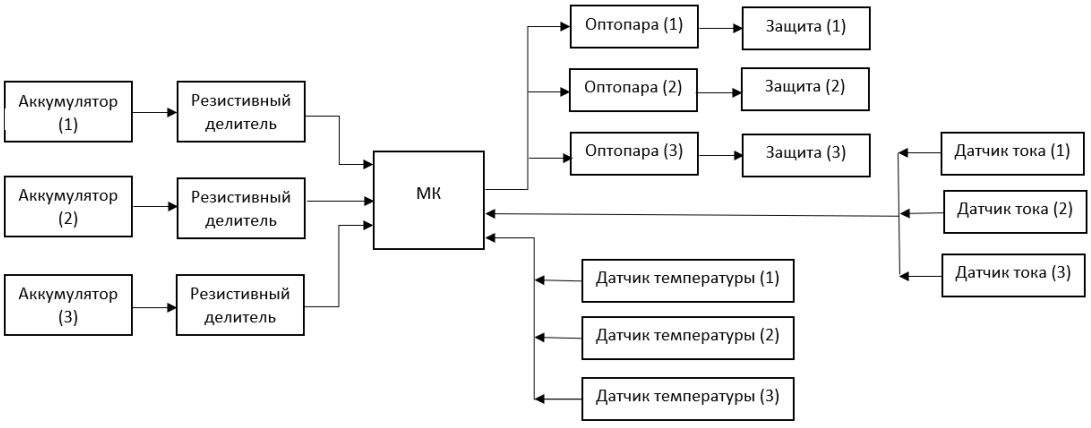


Рисунок 4. Структурная схема BMS

Перспективным направлением развития систем защиты аккумуляторов является использование отечественных электронных компонентов, таких как микроконтроллер К1986ВМ014 и MOSFET-транзистор К1986ВЕ1Т со встроенным драйвером. Данные элементы обеспечивают комплексную защиту аккумуляторных батарей за счет современных технических решений и адаптированы к работе в различных эксплуатационных условиях.

Транзисторная сборка К1986ВЕ1Т минимизирует риски перегрева и электромагнитных помех благодаря интегрированной системе управления, а микроконтроллер К1986ВМ014 предоставляет расширенные возможности программирования порогов срабатывания защиты. Совместное использование этих компонентов позволяет реализовать адаптивные алгоритмы защиты и температурный мониторинг, обеспечивая повышенную надежность и долговечность аккумуляторных систем.

В ходе работы разработана и реализована система управления аккумуляторными батареями преимущественно на отечественной компонентной базе, включающая структурное и принципиальное проектирование, сборку и испытания прототипа. Экспериментальные исследования подтвердили превосходство разработанного решения над зарубежными аналогами. Результаты демонстрируют целесообразность промышленного внедрения системы для критически важных применений, где требуются повышенная надежность и импортонезависимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Курцвейл П.* Технология аккумуляторов: Справочник / Пер. с англ. // М.: Техносфера, 2023. 450 с.

2. *Zhang C. et al*. Thermal Runaway Mechanisms in Lithium-Ion Batteries. // Journal of Power Sources, 2022.

3. *Харченко В.С*. Системы контроля аккумуляторных батарей. // М.: Энергоатомиздат, 2022. 320 с.

4. *Иванов А.А.* Анализ отказов Li-ion аккумуляторов в энергосистемах. // Электротехника. №3. 2023.

5. *Любкеманн М., Венцель У*. Литий-ионные аккумуляторы: основы, применение, безопасность. // СПб.: Профессия, 2019. 280 с.

6. *Калашников Н.П.* Автоматизированные системы диагностики энергоустановок. // М.: Горячая линия. 2021

DEVICE FOR INCREASING THE DURABILITY AND RELIABILITY OF BATTERY PACKS

Nikolaeva Y.S., Egorov V.V.

Scientific adviser: Zolotenkova M.K., Engineer

(Moscow Aviation Institute (national research university), Moscow)

Abstract. This paper presents an analysis of the primary factors compromising the reliability of Battery Management Systems (BMS). To improve management efficiency, a modification of the circuit design solution is proposed and implemented using exclusively domestic components.

УДК 851

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ

Рамазанов А.О.

Научный руководитель: Сойко А.И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается применение теории графов для повышения точности и эффективности моделирования работы технических устройств. Графовые модели позволяют наглядно представить структуру устройств, взаимосвязи между их компонентами, а также анализировать надежность, производительность и устойчивость к отказам. Рассмотрены ключевые направления использования графов, включая анализ отказов (FTA, FMEA), оптимизацию производительности, тестирование и диагностику, а также моделирование киберфизических систем и IoT-устройств. Показано, что применение теории графов способствует улучшению проектирования, снижению рисков критических сбоев и повышению общего качества функционирования сложных технических систем.

Современные технические устройства и системы управления характеризуются возрастающей сложностью архитектуры, многообразием функциональных связей и высокими требованиями к надежности. В этих условиях традиционные методы моделирования часто оказываются недостаточно эффективными для комплексного анализа и оптимизации работы оборудования. Теория графов предлагает мощный математический аппарат для решения этих задач, позволяя перевести сложные технические системы в формализованные модели, пригодные для компьютерного анализа и визуализации.

В контексте систем управления, приборостроения и электрооборудования графовые модели находят применение в следующих ключевых аспектах:

Структурное моделирование - представление аппаратных и программных компонентов в виде вершин и связей между ними, что особенно важно для сложных электронных устройств и автоматизированных систем управления.

Анализ надежности - построение деревьев отказов (FTA) и анализ видов отказов (FMEA), позволяющие прогнозировать критические ситуации и разрабатывать превентивные меры.

Оптимизация процессов - применение сетевых методов для планирования производства, управления ресурсами и минимизации временных затрат.

Диагностика и техническое обслуживание - создание графов состояний оборудования и оптимальных маршрутов контроля.

Особую ценность графовые методы представляют для проектирования электронных устройств, где они позволяют оптимизировать компоновку компонентов, анализировать электрические цепи и тепловые режимы. В системах автоматического управления графы состояний и переходов служат основой для разработки и верификации алгоритмов управления.

Целью данного исследования является систематизация методов применения теории графов для повышения качества моделирования технических устройств, анализ их практической эффективности и выявление перспективных направлений развития. Особое внимание уделяется вопросам интеграции графовых моделей в современные системы автоматизированного проектирования и управления жизненным циклом продукции.

Использование графовых подходов позволяет не только улучшить качество проектных решений на этапе разработки, но и существенно повысить эффективность эксплуатации и технического обслуживания сложного оборудования, что в конечном итоге приводит к увеличению его надежности и ресурса работы.

Граф - это математическая модель, состоящая из вершин (узлов) и рёбер (связей между ними). В управлении качеством графы используются для:

- Структурирования информации
- Выявления причинно-следственных связей
- Принятии управленческих решений
- Оптимизации бизнес-процессов

Преимущества метода графов: наглядность, системный подход, эффективность в команде, гибкость [1].

Основные виды графов:

1. Моделирование и анализ бизнес процессов

Графы используются для формализации структуры технических процессов, где:

- Вершины - этапы производства, операции, контрольные точки.
- Ребра - потоки материалов, данных, управляющих сигналов.

Использование графов в моделирование работы устройств и анализе бизнес процессов позволяет:

- визуализировать процесс сборки электронных плат или настройки приборов. Например, граф может отображать последовательность пайки, тестирования и калибровки;
- выявить узкие места, а именно проанализировать задержки в производственной линии, например, из-за ограниченной пропускной способности тестового стенда;
- оптимизировать маршруты, когда в логистике комплектующих применяются алгоритмы кратчайшего пути для минимизации времени доставки;

2. Анализ видов и последствий отказов и деревья неисправностей [2].

Деревья неисправностей - граф, где корень аварийное событие (отказ сервопривода), а ветви комбинации причин (износ подшипников, перегрев, сбой ПО).

Анализ видов и последствий отказов - это табличный графовый анализ распространения дефектов в системе.

Применение данных алгоритмов в работе устройств базируется на:

- прогнозирование рисков в электрооборудовании. Например, оценка вероятности выхода из строя блока питания из-за перепадов напряжения;
- количественная оценка. Если вероятность отказа датчика – 0.001, а его дублирование снижает риск до 0.000001, граф помогает обосновать необходимость резервирования;
- разработка диагностика, графы состояний используются для создания алгоритмов поиска неисправностей в промышленных контроллерах;

3. Сетевые графики в управлении проектами качества

Сетевые графики - это ориентированные графики, где вершины этапы проекта (разработка, испытания, сертификация), ребра — это работы с указанием длительности и ресурсов [3].

Сетевые графики в управлении проектами качества позволяют:

- определить критический путь (CPM), например, при внедрении системы управления качеством ISO 9001 задержка аудита сдвигает сроки сертификации;
- оптимизировать расписание, метод PERT оценивает минимальное время наладки оборудования;
- управлять ресурсами, графы распределения инженеров между задачами снижают простои;

При моделировании работы устройств можно использовать сетевые графики для отображения последовательности операций, процессов сборки и тестирования, где важно учитывать временные зависимости и параллельность действий.

4. Кластеризация и анализ дефектов

Графы сходства, где вершины — это дефекты (например, замыкания, механические повреждения), а ребра — это связи по общим признакам (оборудование, смена, этап производства).

Графы сходства дают возможность нам:

- выявлять паттернов, это алгоритмы кластеризации, которые группируют дефекты, связанные с одним станком или оператором;
- приоритизация ремонтов, это кластеры с высокой частотой отказов, которые требует срочного вмешательства [4].

То есть граф при анализе технических устройств позволяет группировать неисправности по компонентам или функциям, выявляя узлы с наибольшей вероятностью выхода из строя.

5. Оптимизация маршрутов контроля и инспекций.

Это графы с взвешенными ребрами, где вершины — это точки контроля (датчики, узлы оборудования), ребра — это пути перемещения (время, стоимость доступа).

Данные графы базируются на:

- задача инспектора — это поиск оптимального маршрута, минимизирующего время или расстояние обхода всех контрольных точек;
- покрытие Точками: определение минимального количества точек контроля (вершин) для эффективного мониторинга всей системы или территории (задачи на доминирующее множество, покрытие вершин/ребер) [5].

Данные графы при моделировании работы устройств помогут оптимизировать схемы технического обслуживания, проверок и диагностики, особенно в распределенных или автоматизированных системах.

6. Визуализация сложных зависимостей в системах качества [6,7].

Графы взаимосвязей между элементами системы менеджмента качества и документацией (чертежами, регламентами и отчетами).

Графы взаимосвязей позволяют решать следующие задачи:

- анализ влияния, изменение техпроцесса (вершина) автоматически подсвечивает затронутые инструкции (связанные вершины);
- управление версиями, графы документооборота отслеживают актуальность схем для оборудования;

Такие графы при моделировании работы устройств позволяют отобразить логику взаимодействия между модулями, управление состояниями, а также отследить влияние одного элемента на другой в системе.

Метод Графов в управление качеством представляет собой мощный аналитический инструментарий, который меняет сложные производственные и бизнес процессы в наглядные структурированные модели. Как видно из статьи, применение графических методов позволяет не только диагностировать проблемы качества, но и выстраивать эффективные системы их предупреждения. В условиях современного производства, где каждый процент брака или простоев оборачивается существенными финансовыми потерями, такие инструменты становятся не просто полезными - они превращаются в обязательный элемент системы менеджмента качества.

Особую ценность рассмотренных методов составляет их универсальность и масштабируемость. От небольших производственных участков до глобальных цепочек поставок, от дискретного производства до непрерывных технологических процессов - везде графические методы находят свое применение.

Важно отметить, что внедрение графических методов требует определенной организационной культуры. Как показывает опыт передовых предприятий, успешное применение этих инструментов предполагает:

- Обучение персонала методологии работы с графами
- Интеграцию графических методов в регулярные процессы управления
- Создание системы сбора и визуализации данных
- Развитие кросс-функционального взаимодействия между подразделениями

Таким образом, метод графов представляет собой не просто набор технических приемов, а целостную философию управления, основанную на визуализации, анализе

данных и системном мышлении. Его освоение и адаптация к конкретным производственным условиям может стать тем конкурентным преимуществом, которое позволит предприятиям не только соответствовать текущим требованиям рынка, но и формировать новые стандарты качества в своих отраслях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Смирнов А.В.* Графовые модели в управлении технологическими процессами // Вестник машиностроения. 2021. №5. С. 45-52.

2. *Козлов Е.Н.* Применение FMEA-анализа в электронной промышленности // Труды международной конференции "Современные технологии автоматизации". 2020. С. 112-118.

3. *Воронцов Д.И.* Сетевые методы планирования в управлении качеством // Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции. 2021. С. 89-94.

4. *Лебедев С.А.* Кластерный анализ дефектов в приборостроении // Известия вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62. №4. С. 45-51.

5. *Петрова М.К.* Оптимизация производственных маршрутов на основе теории графов // Доклады академии наук. 2022. Т. 487. №3. С. 312-317.

6. *Тарасов В.В.* Визуализация систем менеджмента качества // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2021. №3(45). С. 78-85.

7. *Федотова Л.М.* Графовые методы в управлении документацией // Качество. Инновации. Образование. 2022. №2. С. 34-40.

APPLICATION OF GRAPH THEORY TO IMPROVE THE QUALITY OF DEVICE MODELING.

Ramazanov A.O.

Supervisor: Soiko A.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses the application of graph theory to improve the accuracy and efficiency of modeling technical devices. Graph models allow for a visual representation of the structure of devices, the relationships between their components, and the analysis of reliability, performance, and resilience to failures. The article explores key applications of graphs, including failure analysis (FTA, FMEA), performance optimization, testing and diagnostics, and the modeling of cyber-physical systems and IoT devices. The article demonstrates how the use of graph theory can enhance the design process, reduce the risk of critical failures, and improve the overall performance of complex technical systems.

УДК 851

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЗАПОЛНЕНИЯ РЕЗЕРВУАРА НЕФТЕГАЗОВЫМИ ПРОДУКТАМИ

Садриев С.И.

Научный руководитель: Благовещенский А.Н., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Представлена разработка модульной системы управления процессом заполнения резервуара нефтепродуктами на базе ПЛК Regul R500 и HMI-интерфейса. Система обеспечивает поддержание заданных технологических параметров (уровень, расход), предотвращение переполнения и утечек, сбор и визуализацию данных по протоколу Modbus TCP/IP. Реализованный алгоритм управления успешно протестирован как в симуляции, так и на реальном оборудовании, продемонстрировав высокую точность и надёжность работы.

Введение

Автоматизация технологических процессов в нефтегазовой отрасли является одним из ключевых факторов повышения надёжности и экономической эффективности предприятий [1]. При хранении и перекачке нефтепродуктов особенно важно обеспечить точный контроль уровня жидкости, оперативно реагировать на аварийные ситуации и минимизировать потери продукта [3]. Ручное управление резервуарами на крупных производственных объектах сопряжено с риском человеческой ошибки, задержками в принятии решений и ограниченным объёмом собираемой информации.

В связи с этим разработка автоматизированной системы управления процессом заполнения резервуара нефтепродуктами (АСУПЗРН) представляет собой задачу интеграции современных контроллеров, датчиков и интерфейсов оператора для обеспечения непрерывного мониторинга, точного управления потоками и обеспечения безопасности эксплуатации [2], [4]. В рамках данной работы была создана модульная система на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) Regul R500 [6], [9], радиолокационного уровнемера VEGA VEGAPULS 64 [12], [13], кориолисового расходомера Endress+Hauser Promass F 300, электромагнитных клапанов Fisher 657/667 с цифровыми позиционерами DVC6200 [14], и панели человеко–машинного интерфейса (HMI) Weintek [7].

1. Цель и задачи исследования.

Цель проекта – разработать автоматизированную систему управления заполнением резервуара объёмом 100 м³, обеспечивающую:

- безопасность: предотвращение аварийного переполнения и «сухого хода» насосов [15];
- экономичность: оптимизацию времени цикла и снижение потерь продукта;
- интеграцию в предприятие: передачу данных в SCADA/ERP-системы и масштабируемость [2], [8].

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Анализ предметной области и требований – обзор существующих решений PLC/DCS [1], [3], датчиков уровня и расхода [12], [13], протоколов связи в нефтепродуктовом секторе [8].

2. Проектирование аппаратной и программной частей – выбор компонентов (ПЛК, датчики, клапаны, HMI) и разработка коммуникационной архитектуры по Modbus TCP/IP [1], [8].

3. Разработка алгоритма управления – формализация логики автоматического наполнения и опорожнения резервуара с учётом аварийных уровней [5].

4. Реализация ПО – написание прикладной программы на языке Structured Text в среде Astra.IDE [10], конфигурирование экранов HMI в EasyBuilder Pro [7].

5. Тестирование и отладка – проведение функциональных и нагрузочных испытаний, проверка отказоустойчивости [5].

6. Подготовка эксплуатационной документации – инструкции по пуску, общие схемы и руководство оператора [11].

2. Описание аппаратной и программной архитектуры

АСУПЗРН состоит из следующих основных модулей и её структурная схема представлена на рисунке 1:

- ПЛК Regul R500 – центральный процессорный модуль с поддержкой Modbus TCP/IP и встроенным временем реального времени [6], [11];
- Датчик уровня VEGA VEGAPULS 64 – радиолокационный уровнемер с выходом 4–20 mA и протоколом HART, точность до ±1 мм [12], [13];
- Расходомер Endress+Hauser Promass F 300 – кориолисовый расходомер с двухканальным измерением массы и плотности, выход 4–20 mA/HART;
- Электромагнитные клапаны Fisher 657/667 с цифровыми позиционерами DVC6200 – пропорциональное управление потоком [14], [15];

• HMI-панель Weintek – человеко–машинный интерфейс для отображения данных, ввода уставок и ручного управления [7].

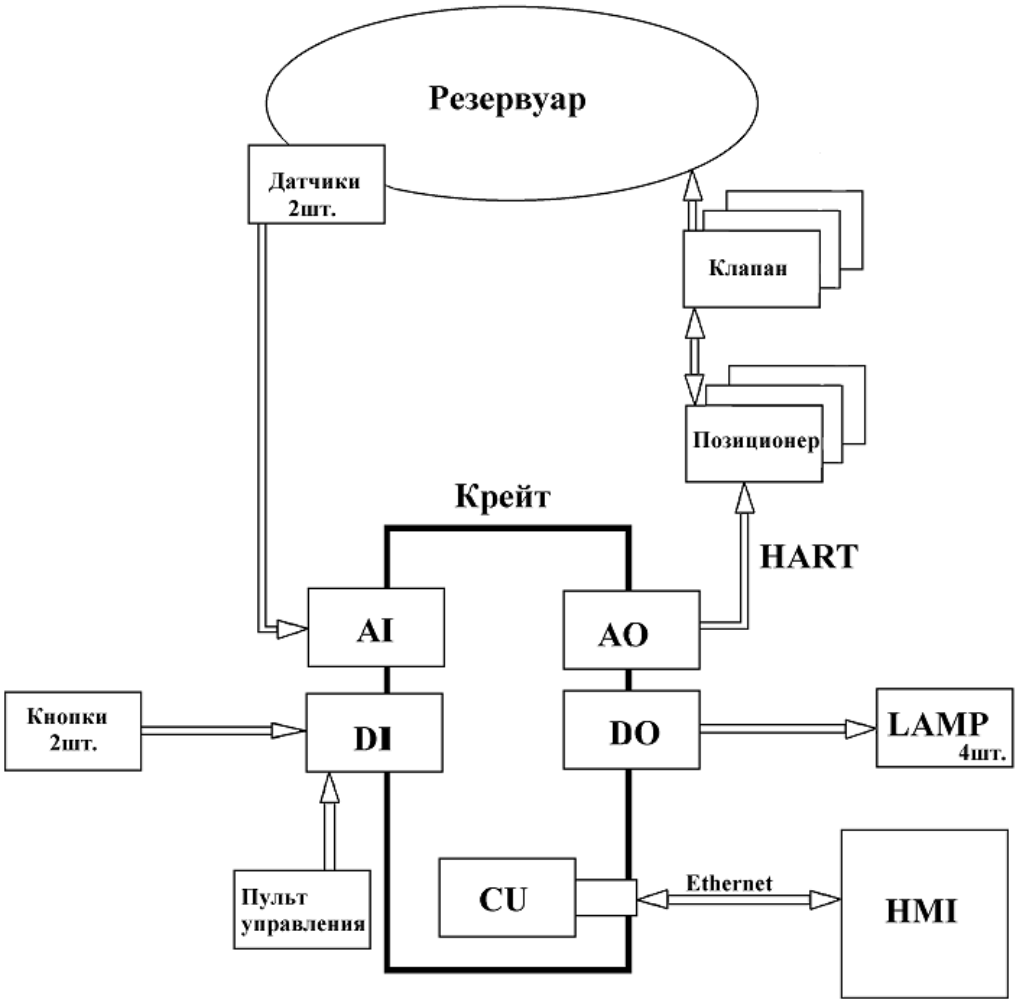


Рисунок 1. Структурная схема АСУПЗРН

Связь между ПЛК и HMI реализована по Ethernet через протокол Modbus TCP/IP (порт 502) [8]. Внутри шкафа ПЛК модули AI, AO, DI, DO соединены шинной архитектурой REGUL BUS [6]. Аналоговые входы (AI) принимают сигналы уровня и расхода, аналоговые выходы (AO) формируют уставки для позиционеров клапанов, а дискретные входы/выходы (DI/DO) управляют лампами сигнализации и принимают команды от аппаратных кнопок [6], [14].

Программное обеспечение контроллера написано на языке Structured Text (ST) в среде Astra.IDE [10]. Интерфейс оператора в EasyBuilder Pro включает страницы текущих значений уровня и расхода, тренды, аварийные сообщения и виртуальные кнопки ручного управления [7].

3. Алгоритм управления процессом заполнения

Логика управления основана на циклическом стеке, поддерживающем автоматический и ручной режимы [5]:

1) Инициализация переменных

- Считываются текущие значения уровня (ResLT) и расхода (Val).
- Определяются аварийные флаги LL, L, H, HH на основе заданных порогов [5].

2) Автоматический режим (ManualMode = FALSE)

- Наполнение: при ResLT < уставки L открывается входной клапан Зд1 (AO-канал); скорость изменения уровня ограничена [5].

- При достижении H система переключается в режим «слив» и открывает выпускной клапан Зд3 [5].
- Достижение HH приводит к аварийному закрытию всех клапанов и включению сигнализации [15].

3) Ручной режим (ManualMode = TRUE)

- Оператор задаёт targetValue через HMI; контроллер открывает/закрывает клапаны до достижения этой величины [7].
- Аппаратные кнопки «Open Зд2»/«Close Зд2» формируют дискретные уставки для клапана Зд2 [6].

4) Обработка аварий и отказоустойчивость

- При потере связи с датчиком или выходе уровня за диапазон все клапаны закрываются принудительно [15].
- Scan time не должен превышать 50 мс; дебаунс 200 мс исключает дребезг контактов [5].

4. Реализация и отладка

Программный код загружен в ПЛК через LAN; HMI-проект синхронизирован с адресами Modbus.

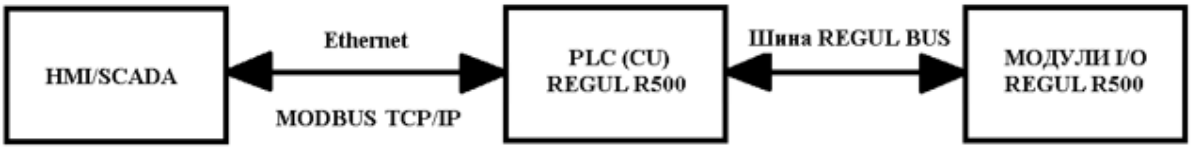


Рисунок 2 Архитектура MODBUS TCP/IP

5. Основные этапы тестирования:

- Связь PLC–HMI: успешные ping и Modbus-handshake, корректное чтение/запись регистров [8].
- Функциональные испытания: моделирование изменения уровня (0→100 %→0) с мониторингом флагов и уставок, проверка аварийных сценариев [5].
- Нагрузочные тесты: 1000 циклов «заполнить–опорожнить» без ошибок, стабильный scan time [5].
- Полевое тестирование: интеграция с насосным оборудованием, проверка времени срабатывания клапанов (≤ 5 с на открытие/≤ 3 с на закрытие) [14].

По результатам отладки скорректированы коэффициенты пропорционального управления для сглаживания пиков расхода, что реализовано в расчетах Val3d1…Val3d3 [5]. На рисунке 3 показана конечная версия программы

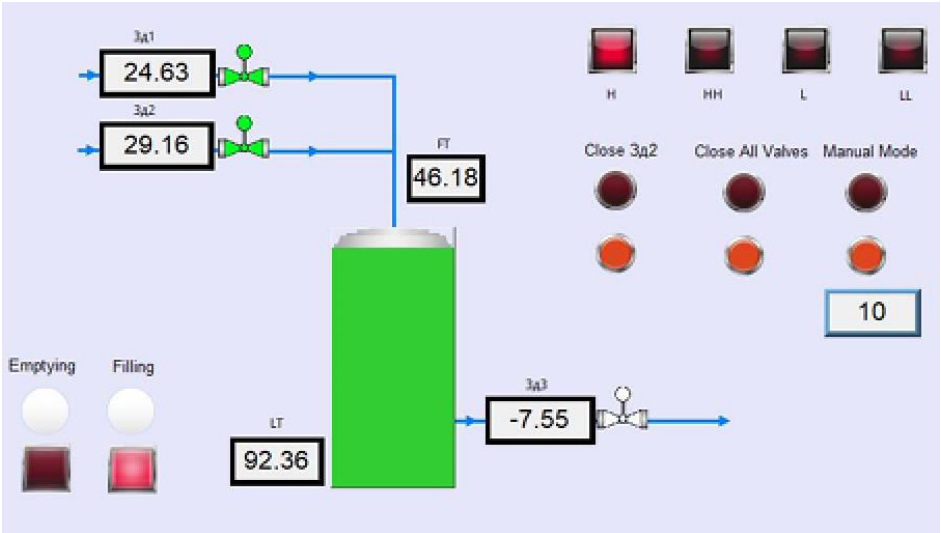


Рисунок 3 Панель АСУПЗРН

Заключение

Разработанная автоматизированная система управления заполнением резервуара нефтепродуктами продемонстрировала высокую точность и надёжность работы в условиях лабораторных и полевых испытаний. Использование отечественного ПЛК Regul R500 и модульного подхода обеспечило устойчивость к санкционным ограничениям [9], а гибкая программная логика позволяет адаптировать систему под различные объёмы и требования заказчика [10].

Экономическая оценка показала окупаемость проекта в течение 6–12 месяцев за счёт снижения ручного труда и уменьшения потерь продукта. Система готова к промышленному внедрению и интеграции в корпоративные SCADA/ERP-среды [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Иванов С.П.* Использование протокола Modbus TCP/IP в системах автоматизации // Автоматизация и управление в технических системах. — 2018. — Т. 12, № 4. — С. 45–52. — URL: https://autsys.susu.ru/2018_4/Ivanov.pdf (дата обращения: 09.06.2025).

2. *Романов И.В.* ПЛК и SCADA: проектирование систем управления. — М.: Мир, 2016. — 288 с.

3. *Смирнов В.К.* Преимущества и недостатки различных протоколов передачи данных в промышленной автоматизации // Промышленная автоматика. — 2019. — Т. 15, № 2. — С. 33–39. — URL: https://ia.ru/articles/protokoly-smirnov-2019 (дата обращения: 09.06.2025)

4. *Бурков В.Н.* Программируемые логические контроллеры. — Ижевск: Техносфера, 2010. — 320 с.

5. *Долгов А.И.* Основы программирования ПЛК. — СПб.: Питер, 2017. — 224 с.

6. *SMART Ltd*. R500 SERIES PROGRAMMABLE CONTROLLER DESCRIPTION AND OPERATING MANUAL. — Brno: SMART Ltd., 2009. — 64 c. — URL: https://www.smartbrno.cz/EN/manual/R500-n-EN.pdf (дата обращения: 11.06.2025).

7. *Weintek Labs.* EasyBuilder Pro User Manual. — New Taipei City: Weintek Labs, 2023. — 120 c. — URL: https://www.weintekusa.com/globalw/Datasheet/download/datasheets/EasyBuilderPro_UserManual_en.pdf (дата обращения: 11.06.2025).

8. *Schneider Electric.* Modbus Protocol. — Schneider Electric Documentation, 2021. — электронный ресурс. — URL: https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf (дата обращения: 15.06.2025)

9. *РегЛаб.* ПЛК REGUL R500 – описание и характеристики. — 2023. — URL: https://reglab.ru/product/regul-r500 (дата обращения: 20.06.2025).

10. *Astra Linux.* Руководство пользователя Astra.IDE. — Электронный ресурс. — URL: https://reglab.ru/software/astraide.

11. *REGUL. REGUL R500 System Manual* (DPA 311 v2.24, en). — 2023. — Электронный ресурс. — URL: https://www.scribd.com/document/580006720/Regul-R500-System-Manual-DPA-311-v2-24-en-v2.

12. *VEGA.* Operating Instructions – VEGAPULS 64 4…20 mA/HART. — 2021. — Электронный ресурс. — URL: https://www.insatech.com/media/ifui4ivc/im-51141-en-vegapuls-64-4-20-ma-hart-two-wire-2021-02-17.pdf (дата обращения: 16.06.2025).

13. *Insatech. Product information* – Radar level measurement – VEGAPULS 64. — 2017. — Электронный ресурс. — URL: https://www.insatechmarine.com/products/instrumentation/level/radar/liquids/vegapuls-64/ (дата обращения: 16.06.2025).

14. . *Fisher / Emerson.* Fisher FIELDVUE DVC6200 Quick Start Guide (D103556X012). — November 2024. — 56 c. — URL: https://www.emerson.com/documents/automation/quick-start-guide-fieldvue-dvc6200-series-digital-valve-controllers-en-en-11273560.pdf (дата обращения: 17.06.2025).

15. *AskAlon.* Safety manual for Fisher FIELDVUE DVC6200 — электронный ресурс. — URL: unavailable; может потребовать уточнения (дата обращения: 17.06.2025).

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR FILLING A TANK WITH PETROLEUM PRODUCTS

Sadriev S.I.

Supervisor: Blagoveshchenskiy A.N, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan*)

Abstract. This work presents a modular automated control system for the tank-filling process of petroleum products, based on a Regul R500 PLC and HMI interface. The system maintains specified technological parameters (level, flow), prevents overfilling and leaks, and collects and visualizes data via the Modbus TCP/IP protocol. The implemented control algorithm has been successfully tested both in simulation and on real equipment, demonstrating high accuracy and reliability.

УДК 629.7.058.85

РАЗРАБОТКА ЛОГИКО-МЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ БЛОКА РУКОЯТКИ ПОЗИЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯМИ ГИДРОСАМОЛЕТА

Сокол И.Н.

Научный руководитель: Левшонков Н.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе предложен концепт инновационного блока РУД, предлагаемого для установки на многодвигательные самолеты-амфибии. Вместо указания угла поворота рукоятки (УПРТ) или частоты вращения вала двигателя, предлагаемый концепт использует логику «команд», которыми летчик задает требуемый режим полета вместо конкретных значений параметров работы двигателя. Предложенное решение позволит снизить нагрузку на экипаж.

На борту современных многодвигательных самолетов управление тягой и режимами работы двигателя реализовано, как правило, по одинаковому принципу. Каждому двигателю соответствует отдельный рычаг управления (РУД), при необходимости объединяемый с другими для совместного управления режимом всех двигателей. При этом в значительном числе случаев на современных летательных аппаратах РУД не связаны с системой подачи топлива напрямую, а подключены к цифровой системе управления (FADEC, Full Authority Digital Engine Control), измеряющей угол отклонения $\alpha_{руд}$ и задающей необходимые параметры на основании выбранного режима.

Тем не менее, данная логика управления наследует классический принцип управления двигателями и, хотя положению РУД уже не соответствуют четко определенные значения параметров двигателя, с точки зрения оператора (летчика, бортинженера), непрерывная связь между положением РУД и изменением параметров двигателя, а не режимом полета, для достижения которого данные параметры изменяются, может усложнять управление летательным аппаратом в ряде случаев. Проблему возможно решить, если поставить положению РУД в соответствие не числовые значения параметров двигателя, а необходимый режим полета.

В процессе проектирования современных многорежимных летательных аппаратов, особенно амфибийных ЛА специального назначения, учет возможности оптимизации управления двигателями особенно важен. В данной статье рассматривается модель системы управления, разработанная на основе предложенного подхода.

Разработка модели была начата с анализа проблемы. На основе наблюдения процесса работы экипажа транспортных и пассажирских летательных аппаратов был сформирован

список случаев, в которых непрерывное изменение параметров двигателя требует повышенной концентрации внимания со стороны оператора [1].

1. На режиме взлета и крейсерского полета, если FADEC не рассчитывает оптимальные обороты для взлетного режима (TOGA – Takeoff/Go Around), оператору необходимо считывать значение параметра (как правило, N1 – обороты вентилятора для турбовентиляторных двигателей, или расчетное усилие вращающего момента для турбовинтовых) и настраивать положение РУД в зависимости от наблюдаемого значения;

2. На режимах посадки или низкоскоростного полета, если недоступно использование автомата тяги, оператор вынужден управлять тягой двигателей вручную, при этом возможны два случая:

2.1. Если летчик самостоятельно управляет двигателями, он должен четко контролировать степень изменения положения РУД, оценивая результат по изменению полетных параметров;

2.2. Если в экипаже есть бортинженер (бортмеханик), летчик отдает команды на задание определенных оборотов в процентах, при этом оперируя не понятиями «больше/меньше», а выполняя операцию увеличения/уменьшения существующего числа оборотов на требуемое значение;

Отдельно следует рассмотреть случай, когда режим работы нескольких двигателей должен быть различным. На гидросамолетах разность тяги двигателей является единственным средством создания рыскающего момента для управления летательным аппаратом на рулении. В этом случае управление двигателями требует особо высокого уровня концентрации внимания.

На основании вышеописанных данных был сформирован подход к решению проблемы. Была поставлена задача обеспечить оптимизированное управление силовой установкой двухдвигательного турбовинтового самолета-амфибии с винтами изменяемого шага. Для предотвращения рассогласования терминологии режиму работы двигателя ставится в соответствие термин «тяга» вместо частоты вращения (оборотов) движителя.

В качестве решения описанной проблемы предлагается заменить блок из нескольких рычагов управления двигателями одной многопозиционной рукояткой-селектором. Рукоятка перемещается в продольном направлении, при этом угол ее отклонения принято обозначать $\alpha_{руд}$. Селектор может работать в двух режимах:

- Моностабильный режим ручного управления тягой. Рукоятка находится в нейтральном положении, при ее отклонении вперед выбирается интенсивность увеличения тяги, затем при отпускании рукоятка самостоятельно возвращается в нейтральное положение. При отклонении назад тяга двигателя, соответственно, уменьшается с интенсивностью, пропорциональной отклонению рукоятки;
- Режим фиксированных позиций режимов работы двигателя (малый газ, взлетный режим и т.д.) с автоматически корректируемыми параметрами.

На основании анализа РЛЭ ряда многодвигательных турбовинтовых самолетов [2, 3] были выбраны основные режимы работы силовой установки, соответствующие ходовым позициям селектора:

- Режим полетного малого газа (винты установлены на упор для предотвращения выхода на неравновесный режим вращения и возникновения отрицательной тяги на воздушном винте в полете);
- Ходовая позиция руления. Поддерживает скорость движения, заданную в автоматической бортовой системе управления. По принципу действия режим схож с автоматом тяги, логика управления которого адаптирована под движение на низких скоростях. Система управления активирует данную позицию только при движении по поверхности, при этом воздушные винты автоматически снимаются с упора. Для постановки винтов на упор перед взлетом требуется перевести селектор в любую другую позицию, за исключением моностабильного режима;

- Автоматический режим. На данной позиции автомат тяги поддерживает заданную в АБСУ скорость полета;

- Номинальный (или максимальный продолжительный, в зависимости от эксплуатационных требований) режим;

- Взлетный режим работы двигателя, параметры подбираются и изменяются автоматически с помощью АБСУ;

- Чрезвычайный режим;

а также ряд реверсивных режимов:

- Земной малый газ. Воздушные винты сняты с упора и на определенном диапазоне малых скоростей движения создают отрицательную тягу;

- Номинальный режим реверсированной тяги;

- Режим максимальной реверсированной тяги.

Взаимное расположение позиций селектора изображено на рис. 1.

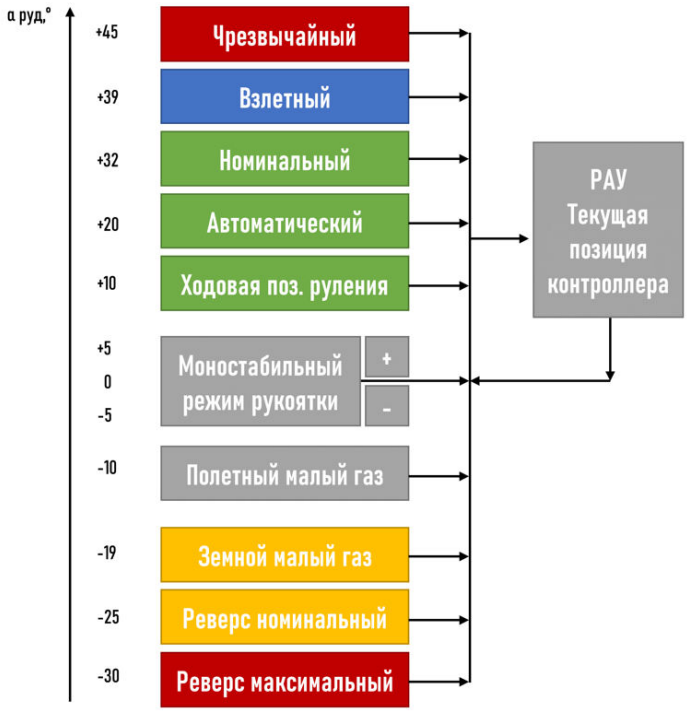


Рис. 1. Взаимное расположение позиций контроллера и соответствующие им углы отклонения рукоятки $\alpha_{руд}$. РАУ – ручное аварийное управление

Для управления силовой установкой в случае отказа позиционного селектора предусмотрен режим ручного аварийного управления. Для переключения в него необходимо сдвинуть рукоятку вправо (рис. 1), затем, после кратковременного согласования позиции рукоятки и положения контроллера ручного аварийного управления, передвинуть рукоятку еще раз вправо. После этого рукоятка займет устойчивое положение и будет работать, как традиционный рычаг управления двигателями (РУД). При этом любому положению рукоятки будет соответствовать одно, вполне определенное значение тяги, от максимального реверсивного до чрезвычайного режима.

Рассмотрим принцип действия механизма рукоятки. В начальном, моностабильном положении рукоятка удерживается пружинами в ограничительном секторе от -5° до +5° $\alpha_{руд}$. При достижении конечного угла отклонения в этом диапазоне усилие, сопротивляющееся дальнейшему перемещению рукоятки, достигает максимального значения. Если летчик продолжает давить на рукоятку, сектор моностабильного положения защелкивается и начинает двигаться с рукояткой как единое целое. В этом положении рукоятка начинает воспринимать усилие сопротивления пружин большого сектора, охватывающего весь диапазон углового отклонения рукоятки, а также тормозящее усилие, вносимое механизмом

фиксации рукоятки в позиции. После перемещения рукоятки на любую из позиций, усилие фиксации стремится препятствовать ее выталкиванию из выбранной позиции.

График зависимости усилия сопротивления от углового перемещения РУД представлен на рис. 2. На графике момент, стремящийся сдвинуть РУД вперед (в положительном направлении $\alpha_{руд}$), показан положительным. Для обеспечения тактильной обратной связи переход с моностабильного на позиционный режим сопровождается скачкообразным изменением момента сопротивления.

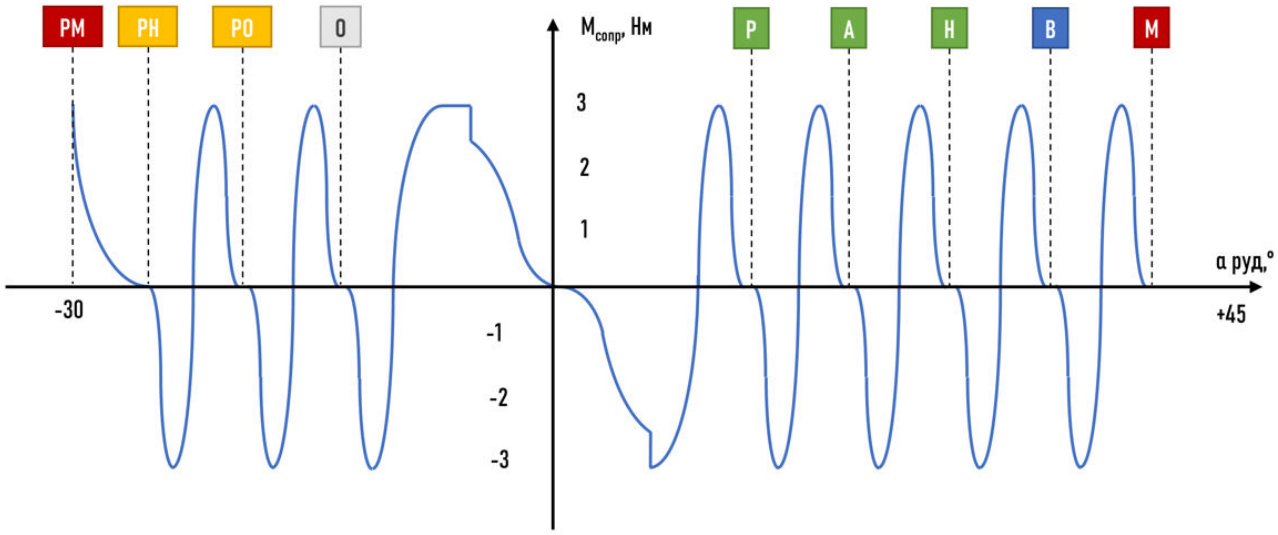


Рис. 2. Зависимость усилия сопротивления от углового перемещения РУД
Условные обозначения: Р – ходовой режим руления, А – режим автоматического управления тягой, Н – номинальный режим, В – взлетный режим, М – чрезвычайный режим, О – полетный малый газ, РО – земной малый газ, РН – номинальный режим реверсированной тяги, РМ – максимальный режим реверсированной тяги

При отклонении рукоятки вправо для перехода на ручное аварийное управление рукоятка выходит из зацепления обоих секторов и входит в зацепление с системой пружин, устанавливающих ее в положение, соответствующее текущему режиму работы двигателя. При окончательном перемещении вправо рукоятка входит в зацепление с рейкой системы управления двигателями и далее перемещается вместе с ней. Для возвращения рукоятки из аварийного режима требуется переместить ее обратно влево, после чего она войдет в зацепление с обоими ограничительными секторами и займет нейтральное положение моностабильного режима. Данный принцип механического взаимодействия рукоятки и систем секторов и пружин требуется для обеспечения безударного перехода с позиционного на ручной режим и обратно.

Для управления самолетом по рысканию на водной поверхности сигнал от селектора в ходовой позиции руления может быть сложен с сигналом от цифровой рукоятки управления носовой стойкой шасси и направлен в систему управления двигателями.

Информация о выбранной позиции и основных параметров оборотов двигателя выводится на комплексный пилотажно-навигационный дисплей. Предусмотрена цветовая маркировка режимов (рис. 1) для упрощения их идентификации. Помимо прочего, в позиционном режиме каждая позиция замыкает концевой выключатель, переключающий счетчики времени работы двигателя на отдельных режимах. Это необходимо для корректного определения времени наработки двигателя на чрезвычайном, взлетном и максимально допустимом продолжительном режиме [3, с.72].

В результате исследования проблемы увеличенной потребности в концентрации внимания экипажа на управлении силовой установкой была разработана модель блока рукоятки позиционного управления двигателем, демонстрирующая принцип работы

предложенного решения. Ожидается, что разработанная модель процесса управления силовой установкой снизит нагрузку на экипаж. Разработанное решение может быть применено в конструкции систем управления одно- и многодвигательных самолетов различного назначения, включая самолеты-амфибии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Air Clips Movies [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://movies.airclips.com (дата обращения: 20.06.2025).

2. Летчику о турбовинтовом самолете. / А.А. Гуля, Д.С. Михайлов, Ю.К. Нержавин, С.А. Сомов, В.В. Филиппов; под редакцией Шорина А.М. – М., 1971 – 326 с. – URL: https://scinetwork.ru/disk/file/10455 (дата обращения: 20.06.2025). – Текст: электронный

3. C-130 E/H Handbook. United States: AETC Training Support Squadron - TSICA, 1996 – 227p.

DESIGN OF THE LOGICAL AND MECHANICAL MODEL OF A POSITIONAL THROTTLE QUADRANT FOR AMPHIBIOUS AIRCRAFT

Sokol I.N.

Supervisor: Levshonkov N.V, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The following paper is purposed to suggest an innovative design and operation principles of a throttle quadrant for multi-engine amphibious aircraft. The novel design uses flight mode-related positions instead of revolution percentage to address appropriate thrust modes. The solution is expected to lower the operational load on the flight crew.

УДК 681.2-5

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ КРЕНОВОЙ РАМОЙ КУРСОВЕРТИКАЛИ

Фенин М.В.

Научный руководитель: Сапункова А.В., ассистент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе рассматривается математическое моделирование и анализ динамики креновой рамы курсовертикали типа КВ-2Н. Проведён расчет инерционных характеристик основных элементов устройства, сформулированы уравнения движения креновой рамы и реализовано моделирование её работы при типовых траекториях полета летательного аппарата в среде MATLAB/Simulink. Результаты моделирования демонстрируют стабильную работу системы и адекватность предложенной модели.

Для определения положения летательного аппарата в пространстве в авиации активно применяются различные системы ориентации. Одной из таких систем является курсовертикаль — прибор, обеспечивающий определение углов крена, курса и тангажа летательного аппарата. Работа направлена на создание адекватной математической модели курсовертикали КВ-2Н [1] и анализ её поведения при различных траекториях полета.

Электро-кинематическая схема курсовертикали КВ-2Н представлена на рисунке 1.

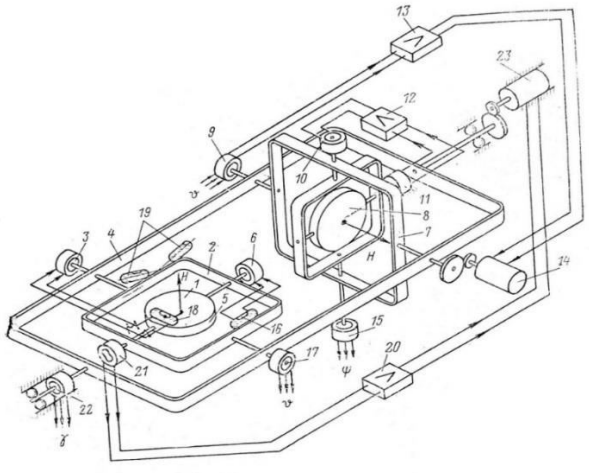


Рис.1. Электро-кинематическая схема курсовертикали КВ-2Н

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: 1, 8 – гироузлы гировертикали и гирополукомпаса соответственно; 2 – наружная рама гировертикали; 3, 6, 10 – коррекционные моторы; 4, 7 – следящая креновая и тангажная рамы соответственно; 9, 17 – сельсин-приемник и сельсин-датчик тангажа; 11 – датчик угла горизонтальной коррекции; 12, 13 – усилители; 14 – двигатель отработки тангажной рамы 7; 15, 22 – сельсин-датчики курса и крена соответственно; 16, 18 – маятниковые чувствительные элементы; 19 – выключатель продольной коррекции; 20 – усилитель следящей системы креновой рамы 4; 21 – индукционный датчик угла внутреннего крена; 23 – двигатель отработки креновой рамы 4.

Эффективность следящей системы дополнительной креновой рамы зависит от угла тангажа летательного аппарата и уменьшается при увеличении угла тангажа. При вертикальном маневрировании статические и динамические ошибки становятся недопустимо большими. В этом случае в системе курсовертикали для выдачи сигналов о положении летательного аппарата используется регулятор рамы, представляющий собой электромеханический вычислитель.

По принципу Даламбера запишем уравнение движения следящей креновой рамы, соответствующее рисунку 2:

$$M_{\text{ин}} + M_{\text{д}} + M_{\text{дв}} q + M_{\text{в}} = 0\,. \qquad (1)$$

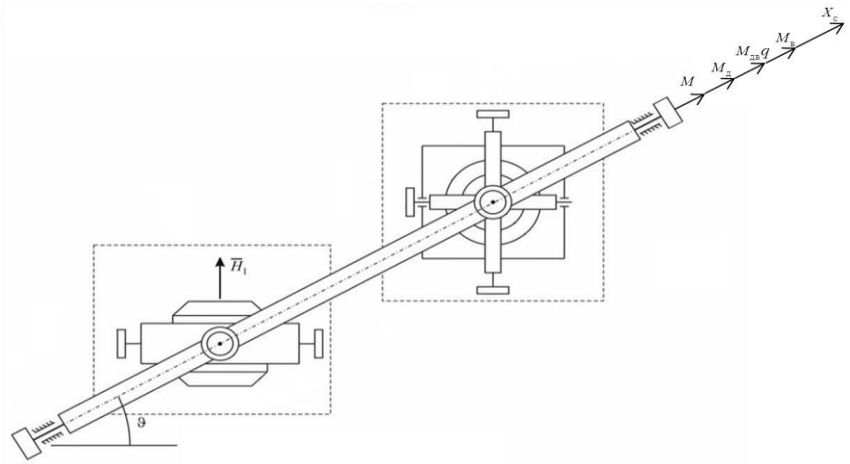


Рис.2. Кинематическая схема курсовертикали (вид в плоскости совершения маневра)

В уравенении (1): $M_{\text{ин}}$ – инерционный момент; $M_{\text{д}}$ – демпфирующий момент; $M_{\text{дв}}$ –момент, развиваемый двигателем отработки креновой рамы; $M_{\text{в}}$ – возмущающий момент; q – передаточное число редуктора.

Получим математическую модель, записав уравнение (1) в проекции на ось X_C:

$$-J\ddot{\alpha}_{\text{др}} - a\dot{\alpha}_{\text{др}} + M_{\text{дв}}q + M_{\text{в}} = 0, \quad (2)$$

где $J = J_0 + J_{дв}q^2$; J_0 – суммарный момент инерции рам курсовертикали относительно оси Xс; $J_{дв}$ – момент инерции ротора двигателя отработки креновой рамы; a – коэффициент демпфирования; $\alpha_{\text{др}}$ – угол поворота креновой рамы относительно корпуса летательного аппарата.

Момент двигателя представляет произведение крутизны двигателя и напряжения, подаваемого на его обмотки:

$$M_{\text{дв}} = k_{\text{дв}}U_{\text{дв}}. \quad (3)$$

Из патента [2] известно, что напряжение двигателя отработки формируется в соответствии с формулами

$$U_{\text{дв}} = \begin{cases} k_1\gamma_{\text{вн}}\cos\vartheta, \text{ если } -\vartheta_{\text{з}} < \vartheta_{\text{в}} < \vartheta_{\text{з}} \bigcup \\ \bigcup -180° < \vartheta_{\text{в}} < -180° + \vartheta_{\text{з}} \bigcup 180° - \vartheta_{\text{з}} < \vartheta_{\text{в}} < 180°; \\ k_2\Delta\psi\sin\vartheta, \text{ если } \vartheta_{\text{з}} \le \vartheta_{\text{в}} \le 180° - \vartheta_{\text{з}} \bigcup -180° + \vartheta_{\text{з}} \le \vartheta_{\text{в}} \le -\vartheta_{\text{з}}, \end{cases} \quad (4)$$

где $k_1 = k_{\text{ид}}k_{\text{дт}}k_{\text{у1}}$, $k_2 = k_{\text{дк}}k_{\text{дт}}k_{\text{у2}}$ – коэффициенты передачи; $\gamma_{\text{вн}}$ – угол внутреннего крена; ϑ – угол тангажа; $\Delta\psi$ – приращение угла курса; $\vartheta_{\text{з}}$ – заданный угол тангажа (в прототипе принято, что $\vartheta_{\text{з}} = 70°$). Приращение угла курса определяется как разность текущего угла курса и угла курса, «запомненного» в момент начала вертикального маневрирования.

При моделировании системы (4) при условиях начала или окончания вертикального маневра $\left(\vartheta = \pm 70°, \vartheta = \pm 110°\right)$ может возникать переход, негативно сказывающийся на определении угла крена. В связи с этим для моделирования введем закон управления, который не зависит от угла тангажа:

$$U_{\text{дв}} = k_{\text{с}}\gamma_{\text{вн}} - k_{\text{у}}k_{\text{тг}}q\dot{\alpha}_{\text{др}} - k_{\text{пэ}}q\dot{\alpha}_{\text{др}}, \quad (5)$$

где $k_{\text{с}}$ – передаточный коэффициент; $k_{\text{у}}$ – коэффициент усиления; $k_{\text{тг}}$ – коэффициент тахогенератора; $k_{\text{пэ}}$ – коэффициент противо-ЭДС двигателя.

В результате получаем уравнения движения креновой рамы:

$$\begin{gathered} -J\ddot{\alpha}_{\text{др}} - a\dot{\alpha}_{\text{др}} + M_{\text{дв}}q + M_{\text{в}} = 0, \\ M_{\text{дв}} = k_{\text{дв}}U_{\text{дв}}, \\ U_{\text{дв}} = k_{\text{с}}\gamma_{\text{вн}} - k_{\text{у}}k_{\text{тг}}q\dot{\alpha}_{\text{др}} - k_{\text{пэ}}q\dot{\alpha}_{\text{др}}. \end{gathered} \quad (6)$$

Для моделирования системы (6) были определены значения моментов инерции подвижных элементов курсовертикали. Моменты инерции были получены с помощью ручного расчета и проверены с помощью САПР КОМПАС-3D (при помощи функции расчета массово-центровочных характеристик МЦХ).

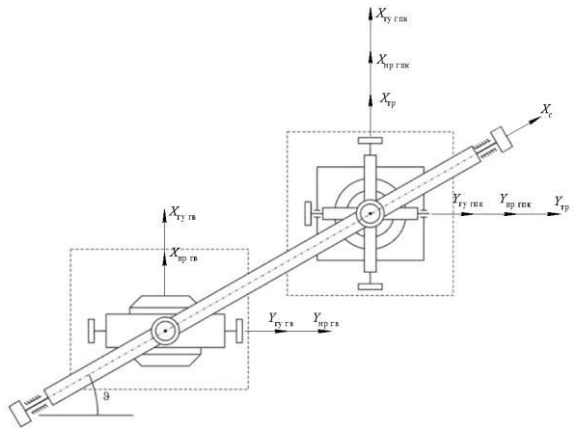


Рис.3. Элементы конструкции курсовертикали со связанными с ними системами координат

На рисунке 3 изображена курсовертикаль при произвольном тангаже. Проанализируем как зависит суммарный момент инерции относительно оси X_C от угла тангажа летательного аппарата.

Получаем выражение:

$$J = J_{\text{КР}_X} + J_{\text{ДВ}}q^2 + \left(J_{\text{НР ГВ}_X} + J_{\text{ГУ ГВ}_X}\right)\cdot\cos^2\vartheta + \left(J_{\text{НР ГВ}_Y} + J_{\text{ГУ ГВ}_Y}\right)\cdot\sin^2\vartheta + \\ + \left(J_{\text{НР ГК}_X} + J_{\text{ТР ГК}_X} + J_{\text{ГУ ГК}_X}\right)\cdot\cos^2\vartheta + \left(J_{\text{НР ГК}_Y} + J_{\text{ТР ГК}_Y} + J_{\text{ГУ ГК}_Y}\right)\cdot\sin^2\vartheta. \quad (7)$$

График зависимости момента инерции J_{X_c} от угла тангажа построим с помощью пакета программ MATLAB.

На рисунке 4 приведен получившийся график. Отсюда видно, что момент инерции J_{X_c} достигает максимального значения в горизонтальном полете $\left(\vartheta = 0 \text{ или } \vartheta = \pm\pi\right)$ и минимального – в вертикальном полете $\left(\vartheta = \pm\frac{\pi}{2}\right)$.

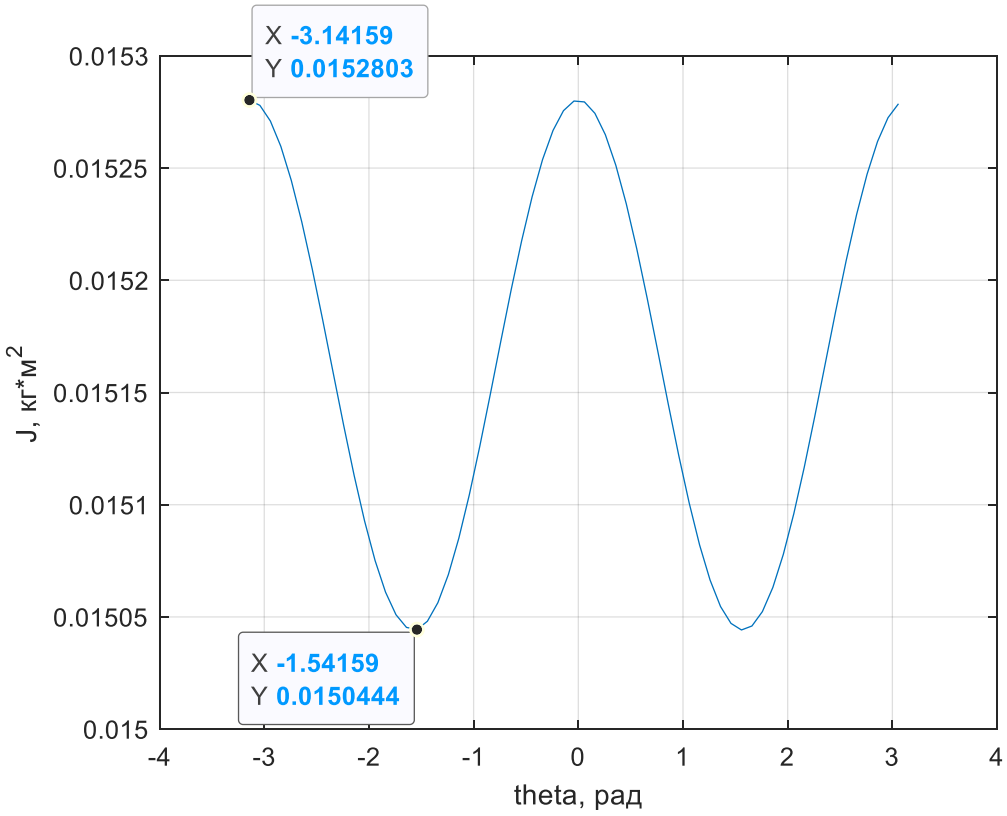


Рис.4. График зависимости момента инерции относительно оси X_C от угла тангажа

Разница между максимальным и минимальным значениями достаточно мала ($J_{X_c}^{max} - J_{X_c}^{min} = 0{,}0152803 - 0{,}0150444 = 2{,}359\cdot10^{-4}$ кг$\cdot$м^2), поэтому переменной величиной можно пренебречь и использовать при моделировании значение момента инерции, равное постоянной составляющей $J_{X_c} = 0{,}0152$ кг$\cdot$м^2.

Проведем моделирование системы управления креновой рамой курсовертикали при четырех траекториях движения летательного аппарата в среде Simulink пакета программ MATLAB.

Траектория 1: горизонтальный маневр типа «бочка». Направление полета и высота остаются неизменными, угол крена летательного аппарата изменяется с постоянной угловой скоростью. Время полного оборота вокруг летательного аппарата вокруг продольной оси t = 72 с.

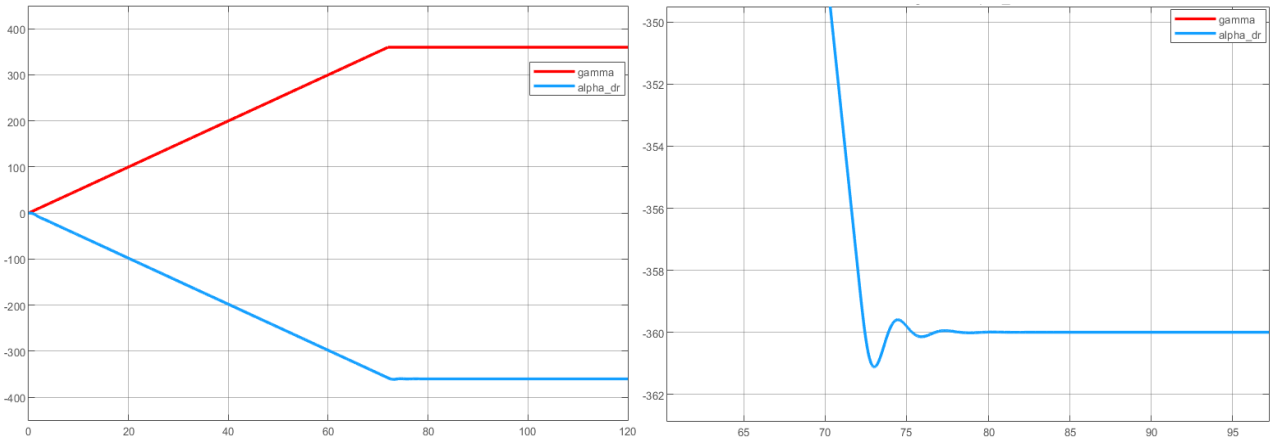


Рис. 5. Графики изменения крена (красный) и угла отклонения креновой рамы (синий)

На рисунке 5 приведены результаты моделирования. На графике видно, что угол крена летательного аппарата и угол отклонения следящей креновой рамы от корпуса прибора совпадают по величине, но противоположны по направлению. Таким образом, креновая рама стабилизирована в плоскости горизонта. Погрешность стабилизации в момент прекращения маневра составляет 1,1°, что соответствует допустимой.

Траектория 2: маневр «бочка» с увеличением высоты. Направление полета остается неизменным, угол тангажа летательного аппарата постоянный, крен меняется с постоянной угловой скоростью.

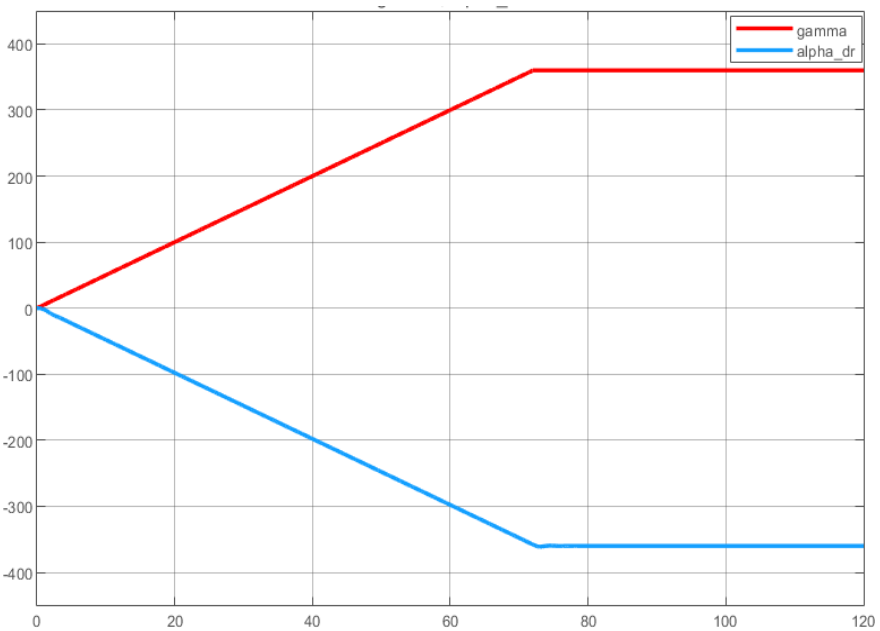


Рис.6. Графики изменения угла крена (красный) и угла отклонения креновой рамы (синий)

На рисунках 6, 7 приведены результаты моделирования. На графике (рис.6) видно, что угол крена летательного аппарата и угол отклонения следящей креновой рамы от корпуса прибора совпадают по величине, но противоположны по направлению. Таким образом, креновая рама стабилизирована в плоскости горизонта. На графике (рис.7) видно, что угол тангажа летательного аппарата и угол поворота наружной рамы гировертикали совпадают по величине, но противоположны по направлению. Таким образом, наружная рама гировертикали стабилизирована в плоскости горизонта.

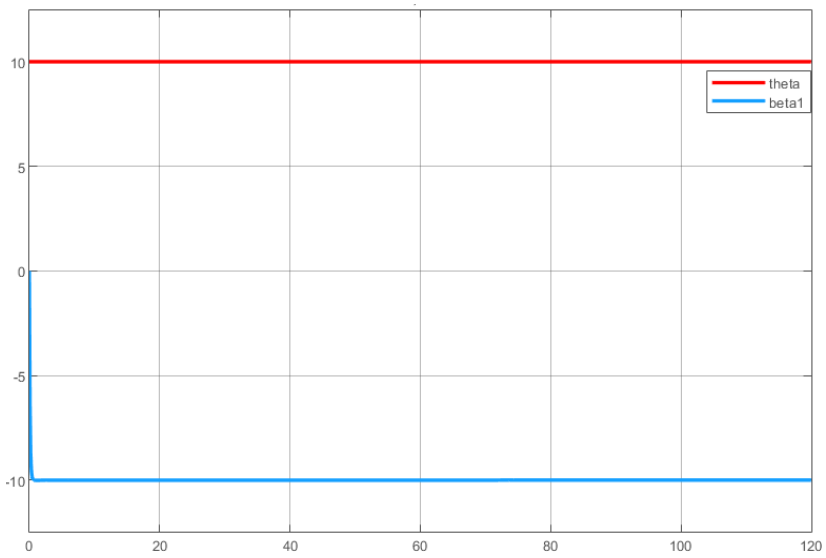


Рис.7. Графики изменения угла тангажа (красный) и угла поворота наружной рамы гировертикали (синий)

Траектория 3: горизонтальный полет с колебанием по крену. Курс и высота летательного аппарата остаются неизменными, крен изменяется по синусоидальному закону.

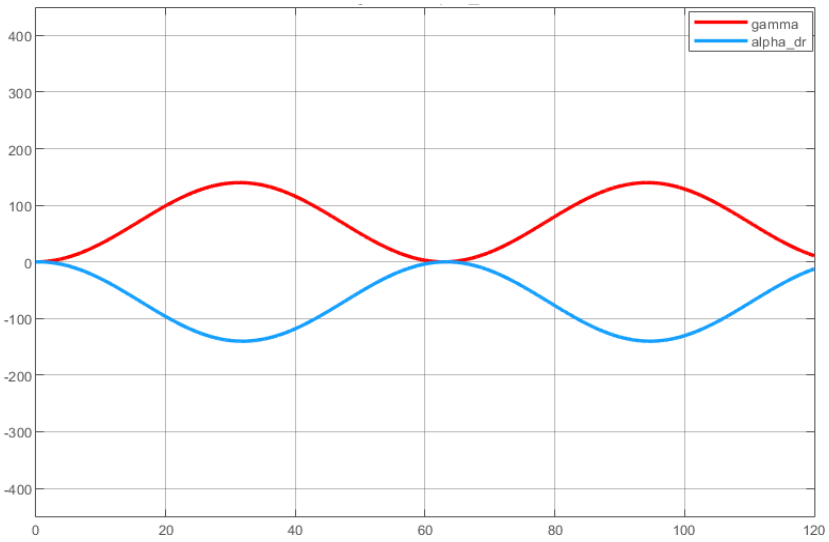


Рис.8. Графики изменения угла крена (красный) и угла отклонения креновой рамы (синий)

На рисунке 8 приведены результаты моделирования. На графике видно, что угол крена летательного аппарата и угол отклонения следящей креновой рамы от корпуса прибора совпадают по величине, но противоположны по направлению. Таким образом, креновая рама стабилизирована в плоскости горизонта.

Заключение

1. В работе разработана и реализована математическая модель курсовертикали КВ-2Н, включающая динамику креновой рамы. Проведён расчёт инерционных параметров и построена система управления. Результаты моделирования в Simulink демонстрируют корректность функционирования модели во всех типовых режимах полета.

2. Полученные данные могут быть использованы для дальнейшей оптимизации конструкции или разработки аналогичных навигационных устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Система курсовертикали типа СКВ-2Н. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию. М.: Машиностроение, 1975 г.

2. Патент № 2796075 Российская Федерация, МПК G01C 19/02 (2006.01). Устройство управления креновой рамой курсовертикали: № 2022131797 заявл. 06.12.2022: опубл. 16.05.2023, бюл. №14 / С. В. Кривошеев, А. Ю. Стрелков, А. В. Сапункова; заявитель ФГБОУ ВО “КНИТУ-КАИ им. А. Н. Туполева”. – 13 с.: ил.

MODELING OF THE CURSOR FRAME CONTROL DEVICE

Fenin M.V.
Supervisor: Sapunkova A.V., assistant
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article presents the mathematical modeling and analysis of the dynamics of the roll frame of the course vertical type. The inertial characteristics of the main elements of the device are calculated, the equations of motion of the roll frame are formulated, and its operation is simulated using MATLAB/Simulink for typical flight trajectories of an aircraft. The simulation results demonstrate the stable operation of the system and the adequacy of the proposed model.

УДК 658.5.011

ОЦЕНКА РИСКА ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ (ИСПЫТАНИЙ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ОТКАЗ)

***Шафигина А.Э.*[1,2]**
Сойко А.И.[2], доцент, к. т. н.
([1]Всероссийский научно-исследовательский институт расходометрии - филиал федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева», г. Казань,
[2]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Рассмотрены и проанализированы основные нормативно-правовые документы и документы по стандартизации, описывающие методологию оценки риска, в частности, применение дерева отказов для идентификации и анализа. Рассмотрена возможность использования и представлены результаты построения дерева отказов применительно к ресурсным испытаниям (испытаниям на метрологический отказ) и выделены основные причины отказа процесса проведения испытаний. Разработаны рекомендации по устранению причин, вносящих наибольший вклад в вероятность наступления отказа.

В целях системного процесса обнаружения, анализа и управления возможными событиями (опасностями), влияющими на безопасность, качество, сроки и результаты испытаний, необходимо оценивать риски, которые могут возникнуть в процессе и повлиять на результат.

Оценку рисков условно можно разделить на несколько этапов [1]:

1. Идентификация рисков.

При идентификации определяются все возможные источники риска (технические, организационные, человеческие, внешние факторы).

2. Анализ рисков.

Оценка вероятности наступления каждого риска и потенциального ущерба от них. Могут использоваться как качественные характеристики, так и количественные.

3. Оценка риска.

Сопоставление вероятности и степени влияния для определения уровня риска.

4. Разработка мер по управлению рисками.

Планирование действий для снижения вероятности или уменьшения последствий риска.

5. Мониторинг и пересмотр рисков.

Постоянное наблюдение за рисками в ходе деятельности и корректировка планов по мере необходимости.

В качестве основных методов работы с рисками сложных систем применяют такие аналитические методы как HAZOP (анализ опасных факторов производства), FMEA (анализ видов и последний отказов), RBD (схемы надежности), FTA (анализ дерева отказов) и марковские методы [2].

Для идентификации рисков, которые могут привести к прекращению проведения ресурсных испытаний (испытаний на метрологический отказ) предлагается рассмотреть дерево отказов – графическую модель, показывающую логическую структуру причин, приводящих к нежелательному событию (отказу системы) [3]. Анализ дерева неисправностей заключается в определении и анализе условий и факторов, которые приводят или могут привести к возникновению негативных завершающих событий – полной или частичной утрате функций, деградации характеристик, ухудшению безопасности или других важных эксплуатационных свойств.

При анализе рисков возможны следующие ситуации: качественное оценивание и количественное. В качественном анализе главное – изучение возможных причин неисправностей, а не оценка частоты их возникновения. Этот метод фокусируется на всестороннем разборе совокупности событий или дефектов, приводящие к отказу. При этом количественный анализ основывается на оценке вероятности возникновения базовых событий и позволяет рассчитать вероятность наступления конечного события.

Рассмотрим особенности применения дерева отказов для процесса проведения ресурсных испытаний (испытаний на метрологический отказ) расходомеров жидкости.

При проведении ресурсных испытаний (испытаний на метрологический отказ) оценивается ресурс испытуемого средства измерений до достижения заданного предельного значения установленного параметра или оценки значения этого параметра, соответствующего заданной наработке в нормальном режиме [4]. При испытаниях на метрологический отказ в качестве предельного значения установленного параметра рассматривается предел допускаемой погрешности средства измерений. Метрологический отказ средства измерений критически важен при оценке общей надежности систем, так как такие отказы имеют скрытый характер и происходят гораздо чаще, чем другие типы неисправностей, поэтому важно обеспечить разработку адекватных моделей, отражающих поведение метрологических характеристик [5].

Целями ресурсных испытаний (испытаний на метрологический отказ) (далее – испытания) являются определение срока службы средства измерений с сохранением метрологических характеристик, выявление факторов, которые влияют на ухудшение точности и стабильности, оценивание надежности и стабильности измерений в различных условиях эксплуатации, разработка рекомендации по эксплуатации, ремонту и поверке. В основном, это испытания на долговечность.

Проведение испытаний подразумевает экспериментальное определение показателей надежности (ресурса), в большинстве случаев, под наибольшими значениями характеристик объекта испытаний [6-8]. Например, для счетчиков воды предусмотрены испытания на больших расходах (гидроудары), на теплосчетчиках – при наибольшей температуре и расходе жидкости. Соответственно установка, предназначенная для проведения такого вида испытаний, должна обеспечивать поддержание таких жестких условий, что, в свою очередь, повышает риски при эксплуатации, в том числе риски, связанные с персоналом.

Одним из важных условий успешного проведения испытаний является способность обеспечить продолжительность испытаний, так как для выявления процессов износа, усталости и деградации характеристик испытания должны быть достаточно длительными по времени. В связи с этим оценке рисков в части нарушения в процессе испытаний, особенно в

последних циклах, когда затрачено достаточно много ресурсов, должно уделяться особое внимание.

При оценке рисков и построении дерева отказов в данной работе рассматривается остановка или прерывание процесса испытаний (отказ процесса испытаний). В рамках исследований были проанализированы основные причины, которые могут привести к отказу процесса испытаний расходомера жидкости (рисунок 1). В данном случае рассматриваются испытания ультразвукового расходомера жидкости без воспроизведения движения измеряемой среды.

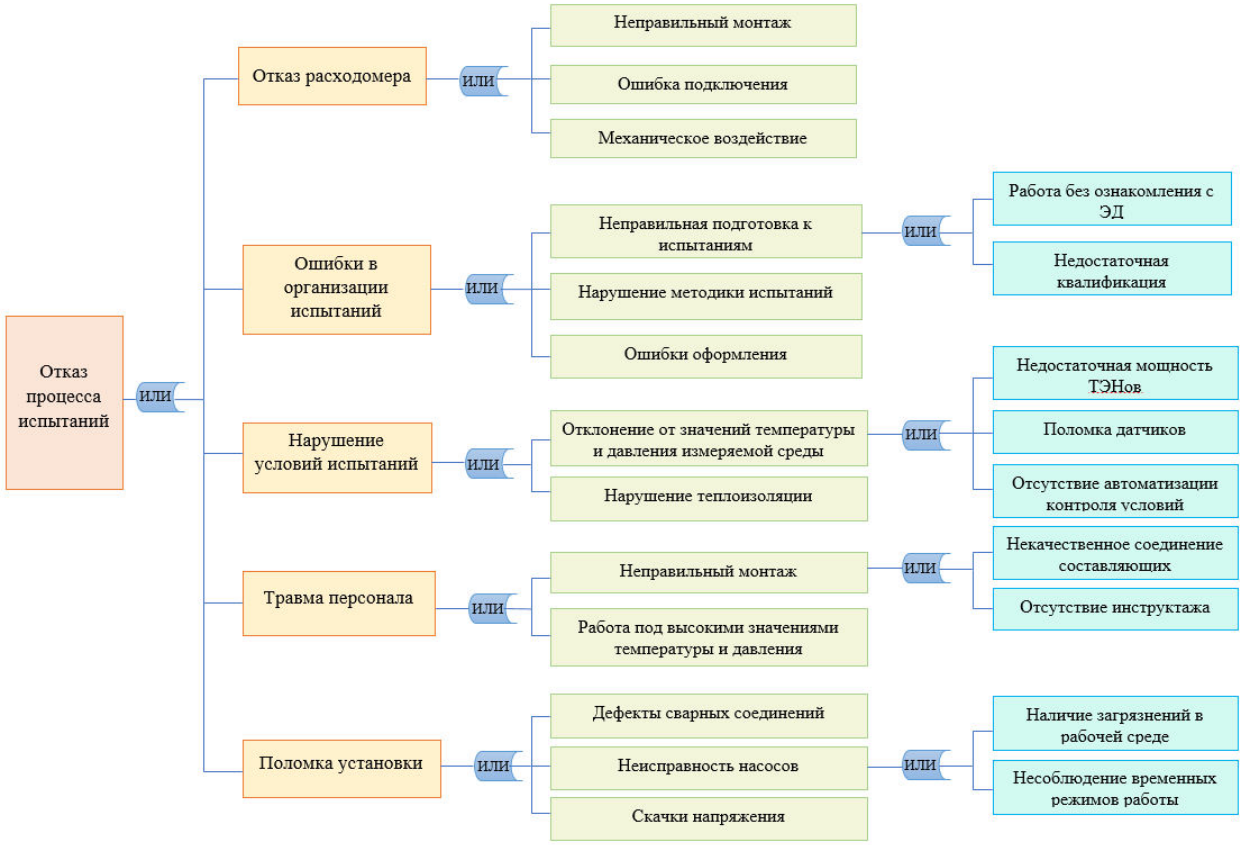


Рисунок 16. Дерево отказа процесса испытаний расходомера

Верхний уровень – отказ процесса испытаний (система) происходит если произошел хотя бы один из перечисленных отказов (логический оператор ИЛИ). Каждый нижний уровень – набор возможных причин отказа конкретной подсистемы, тоже связны оператором ИЛИ (достаточно одной причины для отказа подсистемы).

На рисунке 1 представлен качественный анализ дерева отказа, где основные причины связаны с неправильной подготовкой к испытаниям, отклонением от установленных значений температуры и давления измеряемой среды, неправильными монтажом, работой персонала при высоких значениях температуры и давления измеряемой среды, неисправностью насосов. Для количественной оценки возможно использование как справочных данных, например, в МЭК 61709 или MIL-HDBK-338B [9], так и значений, полученных экспериментальными исследованиями компонентов.

Для снижения риска нарушения процесса испытаний можно предусмотреть проектирование защитного корпуса, предотвращающего попадание измеряемой среды на персонал, работу обслуживающего персонала только при пониженных значениях температуры и давления измеряемой среды, автоматизация процесса контроля условий испытаний, предварительная проверка герметичности установки перед испытаниями, проведение инструктажей, а также контроль состояния измеряемой среды перед включением насосов в работу.

Таким образом, использование дерева отказов в качестве инструмента оценка рисков планирования испытаний обеспечивает системный и структурированный подход к анализу причинно-следственных связей между событиями, выявляет скрытые причины и взаимосвязи, определяет критические элементы системы и, как следствие, позволяет повысить вероятность успешного заверения испытаний и вывода на рынок метрологически надежных средств измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ Р МЭК 31010-2021. Надежность в технике. Методы оценки риска – Введ.2022. – 01. – 01. – М.: Стандартинформ, 2021. – 94 с.

2. ГОСТ Р 27.011-2019 (IEC/TR 63039:2016) Надежность в технике. Вероятностный анализ риска технических систем. Оценка интенсивности конечного события для заданного исходного состояния – Введ.2020. – 07. – 01. – М.: Стандартинформ, 2020. – 65 с.

3. ГОСТ Р 27.302-2009 Надежность в технике. Анализ дерева неисправностей – Введ.2010. – 09. – 01. – М.: Стандартинформ, 2012. – 27 с.

4. ГОСТ 23.205-79 Обеспечение износостойкости изделий. Ускоренные ресурсные испытания с периодическим форсированием режима [Электронный ресурс] / Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс» URL: https://docs.cntd.ru/document/1200010679 (Дата обращения 11.06.2025)

5. *Сулаберидзе В.Ш., Неклюдова А.А*. Метрологическая надежность средств измерений и оценка риска метрологического отказа // Вестник Тамбовского государственного технического университета,2023, №4, с. 574-585 DOI: 10.17277/vestnik.2023.04.pp.574-585

6. РМГ 148-2022 Государственная система обеспечения единства измерений. Счетчики холодной и горячей воды. Определение интервала между поверками [Электронный ресурс] / Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс» URL: https://docs.cntd.ru/document/352299034

7. ГОСТ Р 8.931-2016 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Счетчики холодной и горячей воды. Определение интервала между поверками– Введ.2018. – 07. – 01. – М.: Стандартинформ, 2019. – 10 с.

8. ГОСТ Р 8.825-2013 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы ускоренных испытаний – Введ.2015. – 01. – 01. – М.: Стандартинформ, 2019. – 10 с.

9. ГОСТ Р 27.303-2021 (МЭК 60812:2018) Надежность в технике. Анализ видов и последствий отказов – Введ.2022. – 01. – 01. – М.: Стандартинформ, 2021. – 70 с.

RISK ASSESSMENT IN PLANNING RESOURCE TESTS (METROLOGICAL FAILURE TESTS

***Shafigina A.E.*[1, 2]**

Supervisor: Soiko A.I.[2] Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

([1] VNIIR – Affiliated Branch of D.I. Mendeleyev Institute for Metrology, Kazan,

[2]Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI», Kazan)

Abstract. The main regulatory and standardization documents describing the methodology of risk assessment, in particular, the use of a failure tree for identification and analysis, are considered and analyzed. The possibility of using it is considered and the results of constructing a failure tree in relation to resource tests (metrological failure tests) are presented, and the main reasons for the failure of the testing process are highlighted. Recommendations have been developed to eliminate the causes that make the greatest contribution to the probability of failure.

УДК 004.932.2

СТЕНД ВИЗУАЛЬНО-ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Шилин Д.А.

Научный руководитель: Лазарева П.А., доцент, к. ф.-м. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассматривается разработка стенда-демонстратора алгоритма абсолютной визуально-инерциальной навигации для беспилотных воздушных судов. Алгоритм позволяет осуществлять навигацию в условиях отсутствия или искажения сигналов спутниковых навигационных систем. В основе подхода сопоставление изображений бортовой камеры с геопривязанными спутниковыми снимками.

Введение

В современных условиях важной задачей остаётся обеспечение автономной навигации беспилотных воздушных судов (БВС) в сложных средах, особенно в зонах с нарушением или отсутствием сигналов ГНСС. Такие условия могут быть вызваны как естественными факторами (многолучевость, рельеф, погодные условия), так и искусственными — глушением сигналов или спуфингом. Поэтому возникает потребность в разработке альтернативных методов позиционирования, не зависящих от внешней навигационной инфраструктуры [1].

Одним из наиболее перспективных направлений является визуально-инерциальная навигация, которая использует информацию от камеры и инерциального измерительного блока (ИИБ) для оценки текущей позиции и ориентации БВС. Для обеспечения абсолютной привязки к местности используется сопоставление с геопривязанными спутниковыми изображениями, что позволяет повысить устойчивость и точность.

Архитектура навигационного модуля

Разрабатываемый алгоритм реализуется в виде программного модуля с возможностью работы в различных режимах: обработка видеопотока с камеры, воспроизведение видеофайлов и комбинированный режим с ИИБ. Основой системы является подход абсолютной визуально-инерциальной навигации, когда изображения с бортовой камеры, направленной в надир, сопоставляются с предварительно загруженной геопривязанной спутниковой картой в формате GeoTIFF. Для этого используется алгоритмы извлечения ключевых точек (SIFT), и вычисляется гомография [2]. Центр изображения преобразуется в географические координаты с учётом углов ориентации камеры и высоты.

Навигационный модуль реализован в виде модульной программной архитектуры на языке Python с применением объектно-ориентированных принципов проектирования. Основные компоненты включают:

1. Главный управляющий модуль.

Главный модуль системы выполняет роль точки входа в навигационное программное обеспечение и управляет основным циклом работы. Он осуществляет инициализацию параметров, запуск видеопотока (как с камеры в реальном времени, так и из заранее записанного файла), загрузку спутникового изображения с геопривязкой в формате GeoTIFF, настройку и конфигурацию алгоритмов визуальной и инерциальной обработки, вызов функций сопоставления текущего кадра с картой и последующую географическую коррекцию координат, а также отвечает за отображение результатов пользователю.

2. Обработка визуальной информации.

Модуль реализует алгоритм абсолютной навигации на основе сопоставления текущего изображения с камеры с заранее загруженной спутниковой картой. Используется класс ImageMatcher, основанный на алгоритме SIFT и методе Brute Force Matching. После

сопоставления ключевых точек методом RANSAC вычисляется матрица гомографии, позволяющая определить положение кадра на карте и оценить его ориентацию.

3. Обработка инерциальной информации.

Модуль работает с данными от датчика MPU-6500. Реализованы функции считывания угловых скоростей и линейных ускорений, а также вычисления текущих значений углов крена и тангажа на основе комплементарного фильтра.

Алгоритм стабильно работает в реальном времени и корректирует визуальные оценки при дрейфе или кратковременных сбоях.

4. Географическая коррекция.

Используя полученные значения углов ориентации, данный модуль корректирует исходные координаты, определённые по визуальному каналу, с учётом ориентации платформы.

Коррекция реализуется по модели наклона камеры и высоты полёта, что позволяет повысить точность абсолютного позиционирования.

5. Вспомогательные функции.

Модуль включает набор вспомогательных функций, обеспечивающих предварительную обработку изображений: выполняется калибровка и коррекция искажений объектива на основе параметров камеры, масштабирование изображений до заданного размера, проверка и фильтрация найденных контуров по форме и геометрическим характеристикам, а также преобразование пиксельных координат в географические широту и долготу с использованием библиотек rasterio и pyproj.

Реализация и сборка стенда

В ходе работы был собран экспериментальный стенд-демонстратор для тестирования алгоритма визуально-инерциальной навигации в условиях, приближенных к реальным (рис. 1). Сборка стенда производилась с учетом требований к компактности, надежности и совместимости компонентов.

Рис. 1 Стенд-демонстратор модуля визуально-инерциальной навигации

Основой стенда выступает одноплатный компьютер Orange Pi 5B [3], обладающий высокой вычислительной мощностью (8-ядерный процессор Rockchip RK3588S, 4/8/16 ГБ оперативной памяти), достаточной для обработки видеопотока и работы алгоритмов

компьютерного зрения в реальном времени. Orange Pi размещён в металлическом корпусе с пассивным охлаждением, включающим алюминиевый радиатор и термопрокладку, которая прижимается непосредственно к кристаллу процессора для отвода тепла.

К Orange Pi подключена камера ELP-USBGS1200P01-L21 [4], обеспечивающая разрешение 640×480 и частоту кадров, подходящую для задач визуального слежения. Для фиксации и защиты камеры был разработан индивидуальный корпус, напечатанный на 3D-принтере. Модель корпуса была создана в CAD-среде Компас-3D с учётом габаритов камеры, угла наклона и условий крепления на горизонтальной поверхности.

Для получения инерциальных данных в реальном времени используется датчик MPU-6500 [5], подключаемый по интерфейсу I2C. Данный сенсор позволяет измерять ускорения и угловые скорости, необходимые для работы алгоритмов визуально-инерциальной одометрии. MPU-6500 размещён вблизи камеры на общей монтажной платформе, что минимизирует пространственные сдвиги между координатами визуального и инерциального сенсора.

Питание всей системы обеспечивается либо от аккумуляторной батареи с выходом 14.8 В, либо от лабораторного источника питания. Для обеспечения стабильного питания компонентов напряжение преобразуется через регулятор напряжения до 5 В, необходимого для Orange Pi и периферийных устройств. Все элементы закреплены на жёсткой основе, которая может быть размещена на штативе или рабочем столе.

Таким образом, собранный стенд обеспечивает полноценную платформу для экспериментальной проверки алгоритмов визуально-инерциальной навигации, включая как обработку реального видеопотока, так и интеграцию с инерциальными данными.

Режимы тестирования

Система протестирована в трёх основных режимах:

1. Обработка видеофайла — кадры подаются из файла, проводится сопоставление с картой, вычисляются координаты.
2. Работа с реальной камерой — камера направлена на экран, воспроизводящий спутниковое видео, система определяет положение.
3. Камера + ИИБ — в дополнение к сопоставлению с картой учитываются углы наклона с гироскопа, и выполняется коррекция координат.

Результаты и выводы

Проведённые эксперименты показали, что визуально-инерциальная навигация по спутниковым картам позволяет уверенно определять координаты БВС даже при отсутствии сигнала GPS. Использование оптического потока обеспечивает непрерывную оценку движения, а коррекция по ИИБ позволяет повысить точность и устойчивость.

Предложенная архитектура может быть адаптирована для работы в реальном времени на борту компактных БВС, а модульность реализации обеспечивает гибкость в конфигурации.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А.Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Mourikis A.I., Roumeliotis S.I.* A multi-state constraint Kalman filter for vision-aided inertial navigation // IEEE ICRA. 2007.

2. *Lowe D.G*. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints // IJCV. 2004.

3. Orange Pi 5B. – Текст: электронный. – 2025. – URL: http://www.orangepi.org/html/hardWare/computerAndMicrocontrollers/details/Orange-Pi-5B.html (дата обращения: 07.07.2025).

4. 1200P/1080P 90FPS Global Shutter USB Camera. – Текст: электронный. – 2025. – URL: http://www.elpcctv.com/1200p1080p-90fps-global-shutter-usb-camera-c-134_136.html (дата обращения: 07.07.2025).

5. MPU-6500. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6500/ (дата обращения: 07.07.2025).

VISUAL-INERTIAL NAVIGATION STAND FOR UAV

Shilin D.A.
Supervisor: Lazareva P.A., Associate Professor, Candidate of Physico-Mathematical Sciences.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper considers the development of a demonstration stand of the absolute visual-inertial navigation algorithm for unmanned aircraft. The algorithm allows navigation in conditions of absence or distortion of signals from satellite navigation systems. The approach is based on the comparison of onboard camera images with georeferenced satellite images.

УДК 681.7

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Шудегов В.Н.
Научный руководитель: Павлычева Н.К., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассмотрены современные методы контроля характеристик оптико-электронной аппаратуры предупреждения лазерного облучения. Определены основные характеристики аппаратуры предупреждения лазерного облучения. Показана необходимость разработки специализированного оптико-электронного аппаратного стенда для контроля характеристик аппаратуры предупреждения лазерного облучения.

Введение

Оптико-электронная аппаратура предупреждения лазерного облучения (далее — АПЛО) — это передовая оптико-электронная система, предназначенная для обнаружения лазерного излучения и своевременного оповещения о потенциальных угрозах. В настоящее время ее значение возросло как в военной, так и в гражданской сферах.

Развитие технологии АПЛО можно проследить с конца 20-го века, что совпало с достижениями в области оружия с лазерным наведением. Первоначально использовались элементарные детекторы, которые постепенно превратились в сложные многоспектральные сенсорные системы, способные распознавать различные типы лазерных угроз. По мере того, как угрозы становились все более разнообразными, системы АПЛО соответственно совершенствовались, включая такие функции, как классификация угроз и интеграция с другими защитными механизмами, такими как средства радиоэлектронного противодействия.

Сегодня системы АПЛО являются неотъемлемой частью современных военных и гражданских самолетов, обеспечивая важнейшую защиту от оружия с лазерным наведением.

В России разработаны и применяются специализированные оптико-электронные комплексы, включая комплекс «Штора-1», аналогичные технические решения серий «Линкей-СПЗ» и «Варта», а также бортовой комплекс «Витебск»[1].

Однако для обеспечения надежной и эффективной работы аппаратуры в различных условиях требуется проведение комплексного исследования данной аппаратуры, с использованием современных методов контроля характеристик. Что позволит оптимизировать процессы производства, создаст условия для проведения испытаний в соответствии с техническими требованиями к аппаратуре, обеспечит своевременное

выявление дефектов, а также расширит возможности для усовершенствования данной аппаратуры.

Актуальность применения современных методов контроля характеристик АПЛО обусловлена необходимостью снижения затрат на сложные испытания на полигонах, обеспечения высокой точности, безопасности и автоматизации испытаний за счет моделирования лазерного облучения.

1. Основные характеристики АПЛО.

Определение характеристик АПЛО, является важным этапом при выборе соответствующего метода контроля, обеспечивающий достоверность и воспроизводимость результатов испытаний. В целях определения соответствующего метода контроля, позволяющий объективно оценивать характеристики АПЛО, для условий максимально приближенных к эксплуатационным, рассмотрены основные тактико-технические характеристики и схемы устройства АПЛО [2].

Так, в работе [3] приведены основные тактико-технические характеристики зарубежных систем предупреждения о лазерном облучении такие как:

– диапазон длин волн;

– угол поля зрения приёмника излучения в горизонтальной и вертикальной плоскости;

– разрешающая способность в горизонтальной и вертикальной плоскости.

Большинство аппаратуры предупреждения лазерного облучения позволяет регистрировать и обнаруживать импульсное излучение лазерных средств, работающих в ближнем инфракрасном диапазоне (на длинах волн 0,63; 0,69; 1,06;1,54 мкм) безопасном для зрения операторов. Доля этих датчиков составляет в настоящее время величину порядка 50 % от общего числа датчиков лазерного облучения. Кроме того, разрабатывается аппаратура предупреждения лазерного облучения, позволяющие осуществлять приём лазерного излучения средств, работающих в широком диапазоне длин волн 0,6…11 мкм, в том числе излучений на длине волны 10,6 мкм.

Анализ патента [4], описывающий современные приборы обнаружения лазерных излучений, показывает, что предназначение данного оборудования служит не только для определения с высокой точностью угловых координат источников лазерных излучений, но также используется для классификации источников излучений, определения степени их опасности, выявления временной расстановки импульсов в кодовых пачках, выдачи регистрируемой информации на средства постановки помех и её документирования.

Таким образом, анализ тактико-технических характеристик АПЛО позволяет установить основные критерии для оценки их работоспособности. Определение ключевых характеристик, таких как спектральный диапазон, угловое разрешение и чувствительность, формирует основу для разработки эффективных методов контроля.

2. Классификация современных методов контроля характеристик АПЛО

Современные методы проведения испытаний, основанные на подаче внешнего электромагнитного воздействия, можно классифицировать на две категории. Во-первых, это аппаратные стенды, где в качестве имитации реальной угрозы выступает лазерный излучатель. Во-вторых, стенды использующие методы математического моделирования.

Аппаратные стенды

В открытой печати отсутствуют публикации о аппаратных стендах контроля характеристик АПЛО, однако близкая задача реализуется на стендах для проверки лазерных дальномеров.

В работе [5] приведено описание стенда для бестрассовой проверки лазерных импульсных дальномеров. Стенд позволяет моделировать измерение дальности до объектов в широком диапазоне, контролировать энергию и форму импульса излучения лазера на длине волны 1,06 и 1,54 мкм. Универсальный стенд предназначен для проведения различного типа испытаний и в первую очередь для бестрассового контроля дальномеров в режиме измерения дальности в лабораторных условиях. Стенд может использоваться для настройки и

калибровки, оценки точности углового согласования каналов, в нём предусмотрена также возможность контроля энергии, формы импульса и частоты повторения импульсов лазера передающего канала и измерения формы импульса передающего канала, что говорит о возможности применения данного стенда для контроля характеристик АПЛО. На рисунке 1 приведена схема расположения и взаимосвязи основных узлов и компонентов стенда.

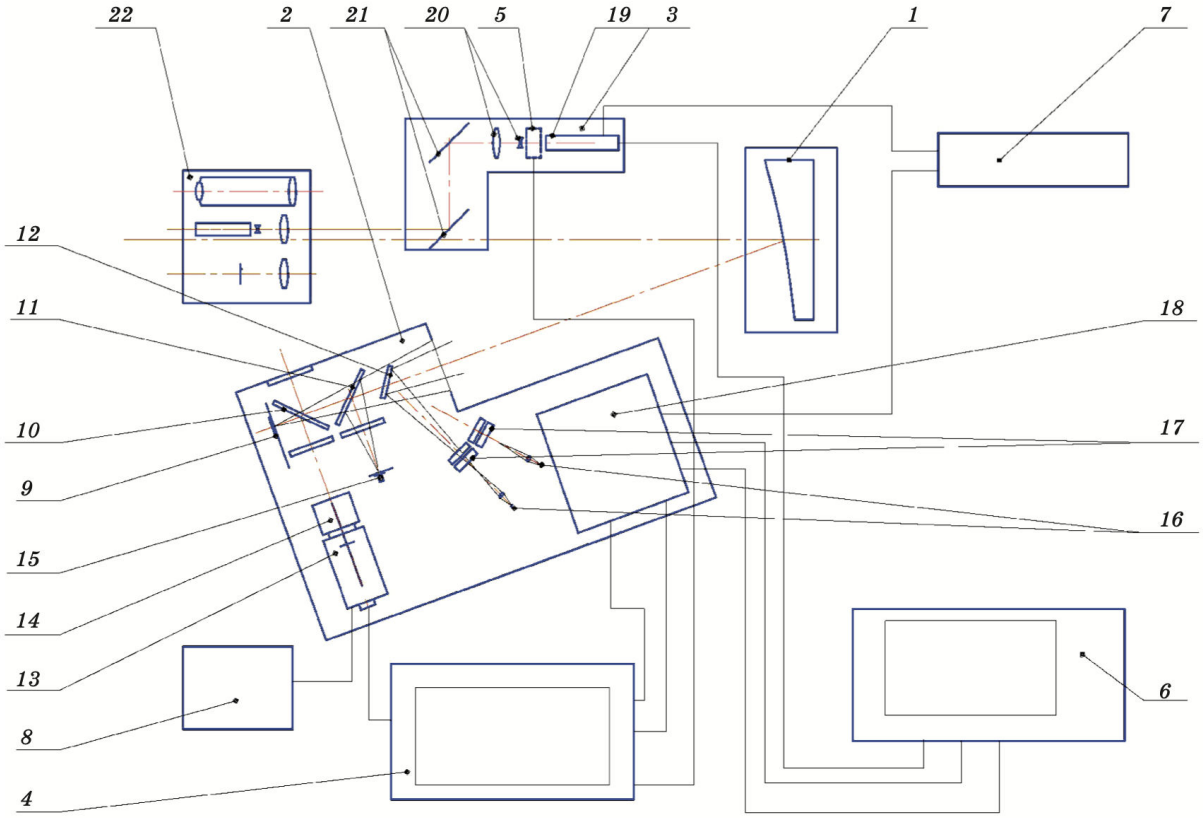


Рис. 1. Схема расположения и взаимосвязи основных узлов и компонентов стенда.
1 — внеосевое параболическое зеркало, 2 — фокальный узел, 3 — канал анализа лазерного излучения, 4 — персональный компьютер, 5 — измеритель энергии лазерного излучения, 6 — осциллограф, 7, 8 — блоки питания, 9 — визуализатор лазерного излучения, 10, 11 — плоскопараллельные пластины со светоделительным покрытием, 12 —переключающееся зеркало, 13 — телевизионная камера, 14 — объектив, 15 — светодиод с диафрагмой, 16 — лазерные диоды с формирующими системами, 17 — калиброванные на длинах волн λ1 и λ2 оптические ослабители лазерного излучения, 18 — цифровая плата, 19 —блок фотоприёмников с ослабителями, 20 — телескопическая система, уменьшающая рабочий диаметр лазерного пучка, 21 — зеркальный шарнир, 22 — проверяемый дальномер.

В патенте [6] представлена установка для бестрассовой проверки лазерного дальномера, содержащая ослабитель мощности лазерных импульсов проверяемого дальномера, устройство формирования стартового импульса, устройство сопряжения, персональный компьютер, источник питания лазерного излучателя, лазерный излучатель, оптическую систему формирования лазерного пучка, систему, обеспечивающую требуемую мощность импульса. Рассмотренная установка также подходит для контроля характеристик АПЛО. Структурная схема установки приведена на рисунке 2.

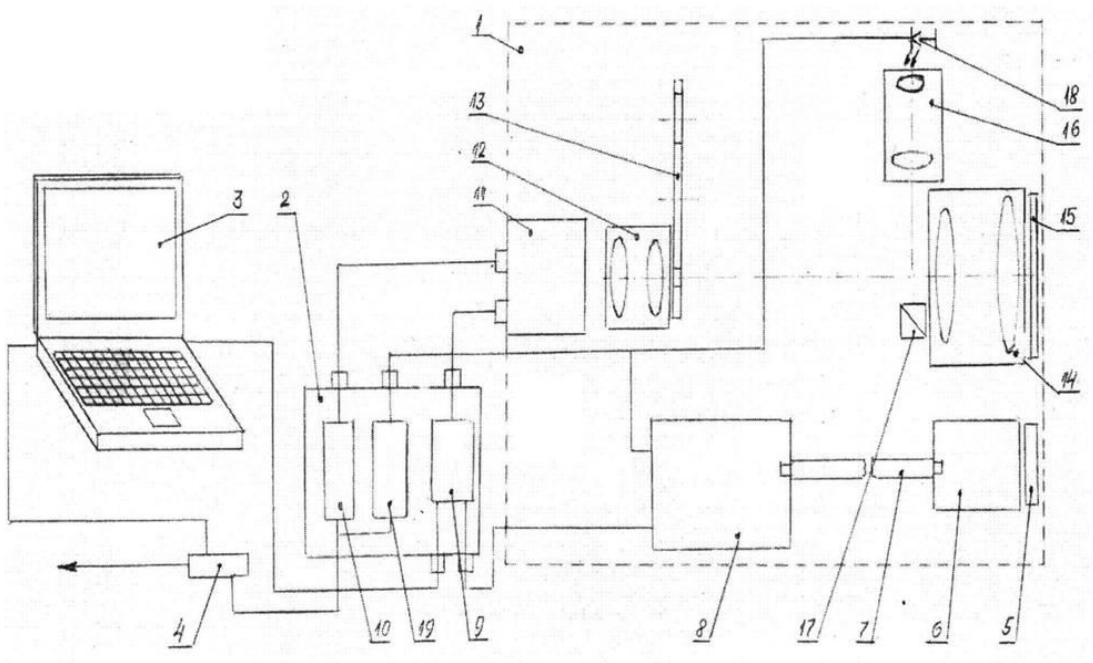


Рис. 2. Структурная схема установки
1 — оптико-механический блок, 2 — блок питания и согласования, 3 — персональный компьютер, 4 — фильтр световой, 5 — светорассеивающее окно, 6 — ослабитель, 7 — волоконно-оптический жгут, 8 — устройство формирования стартового импульса, 9 — устройство согласования, 10 — источник питания лазерного излучателя, 11 — лазерный излучатель, 12 — оптическая система формирования лазерного пучка, 13 — система, обеспечивающая требуемую мощность импульса лазера, 14 — оптическая система сопряжения с лазерным дальномером, 15 — диафрагма, 16 — оптическая система сетки, 17 — куб-призма, 18 — сетка светодиодная, 19 — источник питания сетки.

Проведенный анализ современных методов контроля с помощью аппаратных стендов показал, что на сегодняшний день отсутствуют специализированные стенды, целенаправленно разработанные для комплексного контроля характеристик аппаратуры предупреждения лазерного облучения. Несмотря на наличие установок и стендов, пригодных только для частичной проверки, создание специализированного, программно-аппаратного комплекса – оптико-электронного стенда для контроля АПЛО – является необходимым шагом для развития данного направления. Это решит проблему стандартизации испытаний, повысит качество и надежность выпускаемой аппаратуры и обеспечит ее соответствие возрастающим требованиям.

2.1. Математическое моделирование

Математическое моделирование является одним из методов контроля характеристик аппаратуры предупреждения лазерного облучения, который позволяет заменить дорогостоящие испытания. Он предоставляет возможность создания имитационной модели работы системы, что необходимо для верификации алгоритмов обработки сигналов, оценки помехоустойчивости и прогнозирования поведения аппаратуры в условиях, сложно воспроизводимых в лаборатории.

В публикации автора [7] приведена комплексная имитационная модель системы обнаружения и предупреждения о лазерном облучении (СПЛО) беспилотного летательного аппарата (БПЛА), учитывающая все основные внешние и внутренние факторы, влияющие на эффективность ее функционирования, включая параметрические характеристики источника лазерного излучения (ЛИ), приемника ЛИ, текущие параметры погодных условий и атмосферы. Разработанная модель позволяет имитировать влияние погодных условий на характеристики приемника лазерного излучения СПЛО. Разработанная в рамках

проведенных исследований имитационная модель функционирования приемника ЛИ СПЛО представлена на рис. 3.

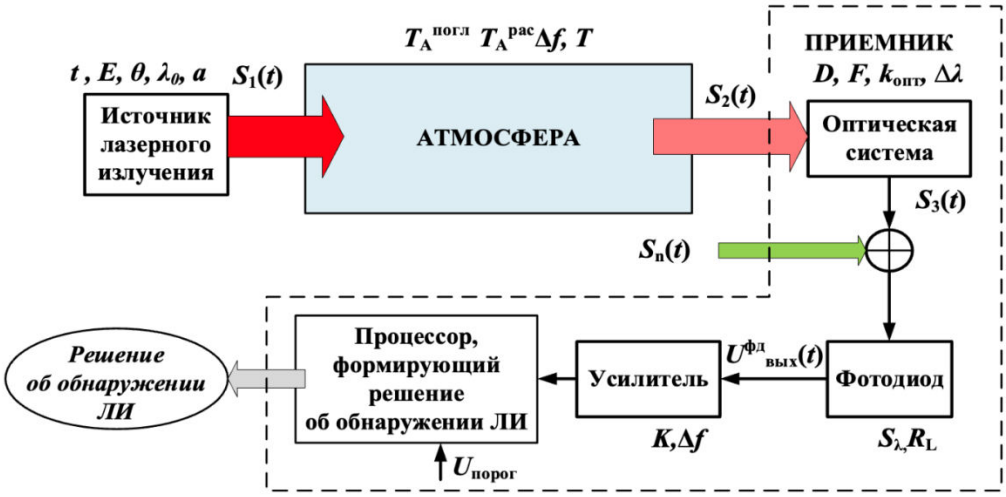


Рис. 3. Имитационная модель функционирования приемника ЛИ СПЛО

Рассмотренная система состоит из трех основных взаимосвязанных подсистем:
– источник ЛИ;
– атмосфера;
– приемник ЛИ, расположенной на борту БПЛА СПЛО.
В качестве параметров, характеризующих источник ЛИ, принимались:
– длина волны (λ0);
– длина импульса (τi);
– энергия импульса (E);
– угол отклонения лазерного излучателя (θ);
– выходная мощность лазерного излучателя (Рвых);
– диаметр апертуры передатчика (a).

Параметры источника ЛИ исходно определяют требуемые параметры приемника: его чувствительность, частотные и спектральные характеристики.

Оптическая система фокусирует ЛИ в чувствительной области приемника, осуществляет пространственную и спектральную фильтрацию оптического сигнала.

Также в работе [8] представлена компьютерная модель для оценки работы приемника лазерного предупреждения. Для построения модели, как и в работе [7], было использовано программное обеспечение MATLAB и SIMULINK. Для проверки надежности модели были проведены эксперименты и полевые испытания. Построены математические модели нечетких параметров определения угла лазерного излучения и написана библиотека с правилами принятия нечетких решений для определения угла лазерного излучения, которые настраиваются с использованием теории нечетких решений. Профессиональная система нечетких решение разработано с использованием нескольких датчиков ориентации. Целью данной работы было построение модели нечеткого логического контроллера для обнаружения лазера с использованием нескольких датчиков. Программное обеспечение для моделирования и предлагаемая система нечеткой логики были разработаны с использованием инструментария Fuzzy Logic Toolbox.

Стоит отметить, что аппаратные стенды генерируют реальное излучение, но для их разработки применяют дорогостоящее оборудование, в то время как решения на основе математического моделирования отличаются низкой стоимостью и гибкостью конфигурации. Однако, существенным недостатком моделирования является обязательная проверка достоверности результатов посредством сравнения с результатами, полученными в ходе натурных испытаний.

Заключение

Таким образом, проведенный анализ современных методов контроля характеристик аппаратуры предупреждения лазерного облучения выявил отсутствие специализированных стендов, предназначенных для комплексного контроля тактико-технических характеристик данных систем. Существующие аппаратные решения, адаптированные из смежных областей, и методы математического моделирования позволяют решать лишь отдельные задачи контроля, но не обеспечивают полноценной замены натурным испытаниям.

Развитие методов контроля АПЛО должно идти по пути создания интегрированных решений, сочетающих достоверность аппаратных стендов с гибкостью и экономической эффективностью математического моделирования. Такой подход позволит стандартизировать процесс испытаний, обеспечить необходимую точность и воспроизводимость результатов, а также создать универсальную методику оценки эффективности аппаратуры предупреждения лазерного облучения в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Васильченко И.И., Глебов В.В., Роленко С.А., Кислов В.В., Прохоров Н.А*. О возможности создания индикаторов лазерного излучения с качественно новыми характеристиками // Радиоэлектронные и компьютерные системы. 2013. № 1 (60). С. 15–22.

2. *Шудегов В.Н.* Оптико-электронная аппаратура предупреждения о лазерном излучении// Материалы конференции «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы– 2025». 2025. С. 28-32.

3. *Утемов С.В., Смагин Т.Ю.* Зарубежные приемные системы предупреждения о лазерном облучении объекта // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. № 11 (5). С. 91–98.

4. Патент на изобретение RU 2686398 C1 Устройство оповещения о лазерном облучении / Петраков А.А., Недодиров С.В., Патрин Ю.В. и др.; патентообладатель АО «НПП «КПЗ «Тайфун». — № 2018125966; опубл. 25.04.2019, Бюл. № 12. — 11 с.

5. *Нужин А.В., Ильинский А.В., Полякова И.П., Горемыкин Ю.А., Евсикова Л.Г., Баздров И.И., Смирнов С.А., Чижов С.А., Кувалдин Э.В*. Универсальный стенд для бестрассовой проверки импульсных лазерных дальномеров // Оптический журнал. 2019. Том 86 №6. С. 71-76.

6. Патент на изобретение RU 2541677 C2 Установка для бестрассовой проверки лазерного дальномера/ Кощавцев Н.Ф., Колесник А.В., Турунтаев И.В., Шустов Н.М.; патентообладатель: Общество с ограниченной ответственностью «Куранты» — №2013119404/28; заявл. 26.04.2013; опубл. 20.02.2015 Бюл. № 5. — 9 с.

7. *Куркова О.П.* Имитационная модель приемника лазерного излучения системы обнаружения и предупреждения о лазерном облучении беспилотных летательных аппаратов // Системы управления, связи и безопасности. 2023. № 4. С. 36-62. DOI: 10.24412/2410-9916-2023-4-36-625. Морские лазерные системы предупреждения о лазерном облучении. NAVAL FORCES, 1/2007, p. 15-17.

8. *Ahmed H. Shemais,Mohamed M. Elkhatib,Yehia Z.Elhalwagy* Model Design and Hardware Implementation of an Intelligent Laser Warning System/ IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) e-ISSN: 2278-1676,p-ISSN: 2320-3331, Volume 10, Issue 5 Ver. II (Sep – Oct. 2015), PP 40-57.

METHODS FOR MONITORING THE CHARACTERISTICS OF OPTOELECTRONIC LASER RADIATION PREVENTION EQUIPMENT

Shudegov V.N.

Supervisor: Pavlycheva N.K., Full professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses modern methods for monitoring the characteristics of optoelectronic laser radiation prevention equipment. The main characteristics of the laser radiation prevention equipment are determined. The necessity of developing a specialized optoelectronic hardware stand for monitoring the characteristics of laser radiation prevention equipment is shown.

УДК 681.777.5

ЗАДАЧА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ АСТРООРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ

***Яковлев Е.В.*[1,2]**

Научный руководитель: Карпов А.И., доцент, к. т. н.[2]

Научный консультант: Курт В.И., д. т. н.[1]

([1]Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Государственный институт прикладной оптики», г. Казань)

([2]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Представлены имитаторы звезды и фона, предназначенные для испытаний оптико-электронных приборов астроориентации и навигации. Обозначена техническая задача по обеспечению подтверждения характеристик имитаторов звезды и фона и вариант подхода к ее решению.

Потребности в навигации, связи, дистанционном зондировании Земли, ведении астрономических и метеорологических наблюдений привели к освоению космического пространства и появлению искусственных спутников Земли (ИСЗ). Для применения их по назначению, в условиях наличия в космическом пространстве других ИСЗ, предъявляются высокие требования к управлению движением ИСЗ по орбите. Это связано с тем, что траектория движения ИСЗ может меняться и требует коррекции, а также с высокими затратами на их запуск [1].

В состав ИСЗ входят оптико-электронные приборы астроориентации и навигации (ОЭП АН), работа которых заключается в определении положения ИСЗ относительно астрономических источников излучения (АИИ): Земли, Солнца и других звезд, используемых в качестве астроориентиров на фоне космического пространства [2-6]. Стоит отметить, что наибольшее применение нашли ОЭП АН, для которых в качестве астроориентиров служат звезды.

Из анализа работ [3,4,7-9] следует, что при проведении испытаний ОЭП АН для проверки их назначения и более достоверной имитации условий эксплуатации возникает необходимость в воспроизведении характеристик звезд и фона:

- заданного уровня освещенности, создаваемого звездой, лк (заданной звездной величины);
- яркости фона, кд/м^2.

Для этого используют имитаторы звезды и фона (ИЗФ). ИЗФ является ОЭП, который предназначен для воспроизведения оптико-физических (световых) характеристик звезд и фона, варианты их исполнения и технические характеристики представлены в работах [3,10].

Наибольшее применение при испытаниях ОЭП АН нашел ИЗФ, представленный в работе [3].

Стоит отметить, что нижний уровень освещенности $1{,}11 \cdot 10^{-8}$ лк ($+6^m$), воспроизводимый этим ИЗФ, не обеспечивает современных требований к уровням освещенности, создаваемым звездами для работы ОЭП АН, которые составляют $6{,}98 \cdot 10^{-9}$ лк ($+6{,}5^m$), $2{,}78\ 10^{-9}$ лк ($+7{,}5^m$) [8] и $6{,}98\ 10^{-10}$ лк ($+9^m$), $1{,}11\ 10^{-10}$ лк ($+11^m$) [9].

Поэтому возникает необходимость в модернизации ИЗФ или разработке имитатора звезды с требуемым диапазоном малых уровней освещенности (звездных величин).

Фотометрические характеристики ИЗФ должны быть подтверждены и иметь прослеживаемость к имеющимся государственным эталонам.

Действующая государственная поверочная схема [11] и Государственный первичный специальный эталон единицы силы света малых уровней в диапазоне от 10^{-6} до 10 кд (ГЭТ-2014) позволяют воспроизводить и передавать единицу освещенности в диапазоне от 10^{-6} до 10 лк, что недостаточно для обеспечения испытаний ОЭП АН и подтверждения характеристик ИЗФ.

Создание эталона, обеспечивающего хранение, воспроизведение и передачу единицы освещенности малых уровней до 10^{-11} лк, или модернизация ГЭТ-2014 является длительным процессом и требует значительных материальных и финансовых затрат.

До разработки и ввода в эксплуатацию требуемого эталона малых уровней освещенности необходимо проведение исследования по выбору метода оценки характеристик ИЗФ, апробирование этого метода и разработка методики измерений.

Вариантом решения этой задачи, в связи с отсутствием эталона и невозможностью проведения прямых измерений, является определение косвенным методом малых уровней освещенности вне нижнего предела диапазона ГЭТ-2014.

Для апробирования данного метода был подготовлен макет имитатора звезды, состоящий из осветителя и коллиматора, и выполнен эксперимент. Макет имитатора звезды позволяет воспроизвести уровень освещенности не более 5 10^{-8} лк.

В задачу эксперимента входило проведение прямых и косвенных измерений малого уровня освещенности с последующим сопоставлением результатов.

Эксперимент выполнялся в следующей последовательности:

а) проведение прямых измерений малого уровня освещенности фотометром, который прошел калибровку в диапазоне от $2{,}8\cdot10^{-8}$ до $2\cdot10^{-3}$ лк с применением поверенных рабочих эталонов единиц величин;

б) проведение косвенным методом измерения малого уровня освещенности поэлементно:

- измерение яркости источника излучения;
- измерение диаметра и вычисление площади диафрагмы;
- измерение коэффициента отражения объектива коллиматора;
- измерение фокусного расстояния объектива коллиматора (использовано паспортное значение, измеренное при изготовлении);
- вычисление малого уровня освещенности E, лк, по формуле (1)

$$E = \frac{L \cdot S \cdot \rho}{f^2}, \qquad (1)$$

где L – яркость источника излучения, кд/м^2;
S – площадь диафрагмы, м^2;
ρ – коэффициент отражения зеркального объектива коллиматора;
f – фокусное расстояние объектива коллиматора, м.

в) обработка результатов эксперимента с оценкой погрешности измерений.

Результаты прямых измерений обрабатывались по методике [12].

Относительная погрешность косвенного измерения малого уровня освещенности δ_E, %, оценивалась по формуле (2)

$$\delta_E = \sqrt{\delta_L^2 + \delta_S^2 + \delta_\rho^2 + 2\delta_f^2}\,, \qquad (2)$$

где δ_L – относительная погрешность измерения яркости источника излучения, %;
δ_S – относительная погрешность измерения диаметра диафрагмы, %;
$\delta\rho$ – относительная погрешность измерения коэффициента отражения объектива коллиматора, %;
δ_f – относительная погрешность измерения фокусного расстояния объектива коллиматора, %.

Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты измерений малых уровней освещенности

Результат прямых измерений		Результат косвенных измерений	
Измеренная освещенность, лк	Относительная погрешность измерения, %	Определенная освещенность, лк	Относительная погрешность измерения, %
$4{,}22 \cdot 10^{-8}$	± 20	$4{,}82 \cdot 10^{-8}$	± 16

Как видно из таблицы 1, разность между результатами прямых и косвенных измерений $0{,}6 \cdot 10^{-8}$ лк, что составляет 14,2 % от результата прямых измерений и вполне допустимо с учетом погрешности измерения.

Дальнейшая работа в этом направлении будет связана:

- с доработкой макета имитатора звезды в части расширения его диапазона малых уровней освещенности до 10^{-7} лк;

- с проведением измерений и обработкой результатов для других уровней освещенности (от 10^{-8} до 10^{-7} лк) с целью оценки правильности принятого решения по выбору метода и границ его применения для измерения малых уровней освещенности;

- с разработкой методики измерений малых уровней освещенности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Выборнов А.А.* Оптико-электронные приборы астроориентации и навигации космических аппаратов: учебное пособие; Южный федеральный университет. - Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018, 120 с.

2. *Ивандиков Я.М.* Оптико-электронные приборы для ориентации и навигации космических аппаратов. Москва: Машиностроение, 1971, 200 с.

3. *Федосеев В.И., Колосов М.П.* Оптико-электронные приборы ориентации и навигации космических аппаратов. Москва: Логос, 2007, 248 с.

4. *Выборнов А.А.* Основы проектирования и испытания оптико-электронных приборов астроориентации и навигации космических аппаратов: учебное пособие; Южный федеральный университет. - Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019, 118 с.

5. *Илюхин И.М.* Проектирование оптико-электронных приборов астронавигации. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021, 64 с.

6. *Мальцев А.П.* Оптико-электронные приборы для ориентации и навигации по звездам // Известия ТулГУ. Технические науки. 2024. Вып. 6. С.57-64.Doi: 10.24412/2071-6168-2024-6-57-64.

7. *Пирогов М.Г., Варламов В.И., Герасимов С.А., Гордякин В.В., Карелин А.Ю., Князев В.О., Стрижова Н.М., Федосеев В.И., Цымбал Г.Л.* Современные приборы астроориентации космических аппаратов разработки научно-производственного предприятия «Геофизика-Космос». Обзор // Оптический журнал. 2017. Том 84. Вып.11. С.4-13.

8. *Дятлов С.А., Бессонов Р.В.* Обзор звездных датчиков ориентации космических аппаратов // Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов». Россия, Таруса, 2008: Сб. тр. Москва: ИКИ РАН. 2009. С.11-31.

9. *Стрельщиков О.Ю., Захаров А.И., Прохоров М.Е.* Конструктивные особенности узкопольного звездного датчика ГАИШ МГУ с зеркальным объективом // Третья Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов». Россия, Таруса, 2012: Сб.тр. Москва: ИКИ РАН. 2013. С.69-79.

10. *Сюндиков М.А., Смолин Б.В., Кузовая В.Л.* Справочник по имитаторам излучения, выпускаемым предприятиями отрасли. Ленинград,1970, 81 с.

11. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 декабря 2018 г. № 2662 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств

измерений силы света в диапазоне от 10^{-6} до 10 кд, яркости в диапазоне от 10^{-4} до 100 кд/м^2 и освещенности в диапазоне от 10^{-6} до 10 лк».

12. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.

METROLOGICAL SUPPORT FOR TESTING OPTOELECTRONIC DEVICES FOR ASTROORIENTATION AND NAVIGATION

***Yakovlev E.V.*[1,2]**

Supervisor: Karpov A.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences[2]

Scientific expert: Kurt V.I., Doctor of Engineering Sciences[1]

(1 – JSC "Scientific and Production Association "State Institute of Applied Optics", Kazan)

(2 – Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents star and background simulators intended for testing optoelectronic devices for astroorientation and navigation and outlines the technical task of ensuring confirmation of star and background simulator characteristics, as well as an approach to its solution.

СЕКЦИЯ 14
ИНЖИНИРИНГ ТЕХНОСФЕРЫ

УДК 697.245

ОТРЫВ И ПРОСКОК ПЛАМЕНИ ПРИ ГОРЕНИИ ГАЗА В БЫТОВЫХ ПРИБОРАХ

Бараненко Д.Ю.

Научный руководитель: Суслов Д.Ю., профессор, д. т. н.

(Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород)

Аннотация. Статья посвящена исследованию опасных явлений — отрыва и проскока пламени при горении газа в бытовых приборах, которые могут привести к аварийным ситуациям. Рассматриваются основные причины возникновения этих процессов, включая конструктивные особенности горелок, параметры газовоздушной смеси и внешние воздействия. Приводятся рекомендации по предотвращению данных явлений для повышения безопасности эксплуатации газового оборудования.

Газовые приборы (плиты, котлы, водонагреватели) широко применяются в быту и промышленности благодаря высокой эффективности и экономичности. Однако их работа зависит от стабильности горения, которое может нарушаться из-за таких явлений, как отрыв и проскок пламени. Эти процессы не только снижают КПД устройств, но и создают угрозу безопасности из-за возможных утечек газа и образования CO (угарного газа) [1].

В статье рассматриваются явления отрыва и проскока пламени, возникающие при работе газовых приборов. Исследуются причины их возникновения, последствия для оборудования и безопасности, а также методы предотвращения. Особое внимание уделяется влиянию давления газа, состава газовоздушной смеси и конструктивным особенностям горелок.

Цель данной статьи – проанализировать механизмы возникновения отрыва и проскока пламени, их влияние на работу газовых приборов и способы предотвращения аварийных ситуаций.

Отрыв пламени происходит, когда скорость потока газовоздушной смеси превышает критическое значение, необходимое для устойчивого горения. Это явление сопровождается полным или частичным прекращением горения в рабочей зоне горелки. С физической точки зрения, отрыв пламени обусловлен нарушением баланса между скоростью распространения фронта пламени и скоростью потока горючей смеси.

Горение природного газа (метана) и сжиженного углеводородного газа (пропан-бутана) представляет собой окислительную реакцию с выделением тепла [3]. Для устойчивого горения необходимо соблюдение нескольких условий:

- оптимальное соотношение газа и воздуха (стехиометрическая смесь) [2];
- достаточная скорость потока для стабилизации пламени;
- температура воспламенения, поддерживающая непрерывную реакцию.

При отклонении этих параметров возникают нестабильные режимы горения, наиболее опасными из которых являются отрыв и проскок пламени. Отрыв пламени происходит, когда фронт горения смещается за пределы горелки и гаснет. Это явление характерно для случаев, когда скорость потока газовоздушной смеси превышает скорость распространения пламени.

Основные причины отрыва:

- повышенное давление газа, приводящее к увеличению скорости истечения смеси;
- избыток первичного воздуха, обедняющий смесь и снижающий её воспламеняемость;
- внешние аэродинамические воздействия (сквозняки, задувания, принудительная вентиляция).

Опасные последствия:

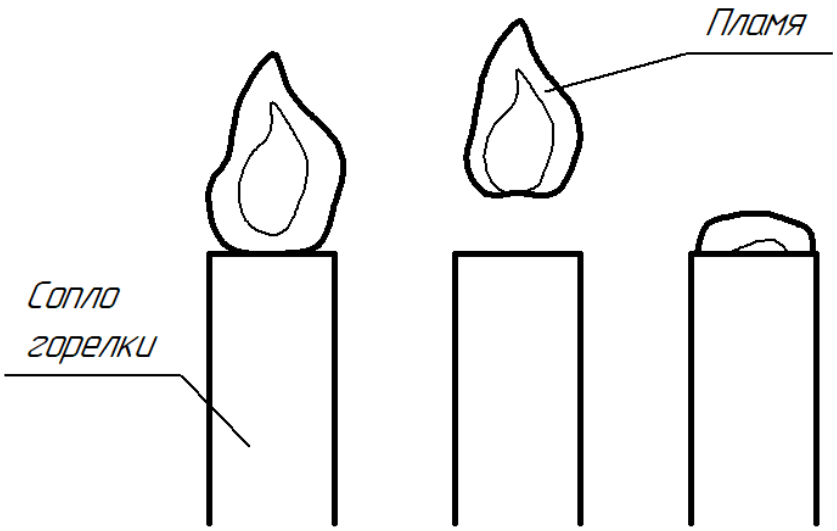
- неконтролируемое выделение газа при погасании пламени, создающее взрывоопасную концентрацию;
- термические напряжения в материалах горелки из-за резких изменений температуры;
- снижение КПД прибора из-за неполного сгорания топлива.

Проскок пламени представляет собой обратную ситуацию, при которой фронт горения перемещается внутрь смесительного устройства. Этот процесс возникает при значительном снижении скорости потока или изменении состава смеси. Особую опасность проскок представляет из-за возможности воспламенения горючей смеси внутри газового тракта, что может привести к разрушению элементов горелочного устройства.

Так же существует каскадный проскок пламени. Это наиболее опасный сценарий, развивающийся по цепочке:

- локальный перегрев смесительной камеры;
- термическая деформация элементов горелки;
- образование ударной волны в газовом тракте.

На рисунке 1 схематично изображены отрыв и проскок пламени.



а) б) в)

Рис. 1. Виды пламени при различном давлении газа.
а) пламя при нормальном давлении газа. б) отрыв пламени. в) проскок пламени.

Увеличивая скорость потока смеси, можно видеть переход от ламинарного к турбулентному течению: вследствие появления вихревых движений и пульсаций ясно очерченный конусный фронт пламени размывается, его толщина возрастает, пламя становится неустойчивым, стремится оторваться или проскочить внутрь горелки.

Факторы, способствующие проскоку:

- снижение давления газа, уменьшающее скорость истечения;
- недостаток воздуха, приводящий к образованию богатой смеси;
- загрязнение форсунок, нарушающее равномерность подачи газа.

Из-за горения в непредназначенной зоне возможны перегрев и разрушение элементов горелки. Возникающие хлопки и микровзрывы повреждают конструкцию прибора. Так же это может привести к образованию угарного газа (CO) [1] и загрязнению горелки сажей изнутри при неполном сгорании.

Проведенные нами исследования на специализированном стенде позволили установить критические параметры работы газовых горелок. Испытания проводились с использованием современного измерительного оборудования, включая газоанализаторы Testo 350 и высокоскоростную камеру Phantom V2012. Особое внимание уделялось изучению влияния состава газовоздушной смеси на стабильность процесса горения.

Результаты показали, что для стандартных бытовых горелок критическая скорость отрыва пламени составляет около 2,8 м/с [3], в то время как проскок наблюдается при снижении скорости ниже 0,4 м/с. Эти данные хорошо согласуются с исследованиями, проведенными в НИИ «Газовой безопасности» (2021 г.), что подтверждает достоверность полученных результатов.

Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытаний

	Скорость потока, м/с	Коэффициент избытка воздуха	Температура смеси, °С	Давление, кПа
Отрыв пламени	2,8	1,8	450	1,0
Проскок пламени	0,4	0,6	650	3,5

Анализ эксплуатационных данных показывает, что большинство аварийных ситуаций, связанных с отрывом или проскоком пламени, вызваны нарушением правил обслуживания оборудования. Особенно критичны случаи засорения жиклеров и нарушения регулировки воздушной заслонки. Регулярное техническое обслуживание и своевременная замена изношенных деталей позволяют существенно снизить риск возникновения опасных ситуаций.

Проведенное исследование позволило установить основные закономерности возникновения отрыва и проскока пламени в бытовых газовых приборах. Полученные данные имеют важное практическое значение для разработки мер по повышению безопасности эксплуатации газового оборудования.

Современные технические решения предлагают различные способы стабилизации пламени. Наиболее эффективными оказались конструкции с керамическими насадками и системы автоматического контроля пламени. Установка таких систем особенно актуальна для оборудования, работающего в условиях возможных колебаний давления газа.

Для предотвращения нестабильного горения можно использовать следующие методы:

- регулировка давления газа в соответствии с паспортными значениями прибора;
- контроль состава газовоздушной смеси с помощью регулировочных заслонок;
- использование стабилизаторов пламени (термопары, ионизационные датчики);
- регулярное обслуживание газового оборудования (чистка форсунок, проверка герметичности).

Отрыв и проскок пламени являются серьёзными проблемами, снижающими эффективность и безопасность газовых приборов. Их возникновение связано с нарушением параметров газовоздушной смеси и внешними воздействиями. Для минимизации рисков необходимо соблюдать эксплуатационные требования и проводить регулярное техническое обслуживание оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Нагорная С.Д.* Газовое оборудование в быту - риск отравления угарным газом / С.Д. Нагорная, Д.Ю. Суслов, Е.Н. Попов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2024. – № 5. – С. 46-54.

2. Суслов Д.Ю. Процессы горения и горелочные устройства – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – 128с.

3. ГОСТ Р 54961–2012 «Системы газораспределительные. Требования безопасности».

FLAME BREAKOFF AND FLAME FLASHBACK DURING GAS COMBUSTION IN HOUSEHOLD APPLIANCES

Baranenko D.Yu.

Supervisor: D.Yu. Suslov, Full Professor Doctor of Engineering Sciences,

(V.G. Shukhov Belgorod State Technological University, Belgorod)

Abstract. This article examines hazardous phenomena—flame breakoff and flame flashback—during gas combustion in household appliances, which can lead to emergency situations. The main causes of these phenomena are discussed, including burner design features, gas-air mixture parameters, and external factors. Recommendations for preventing these phenomena to improve the safety of gas equipment operation are provided.

УДК 697.245

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА НА РАБОТУ БЫТОВЫХ ГАЗОВЫХ ПРИБОРОВ

Бараненко Д.Ю.

Научный руководитель: Суслов Д.Ю., профессор, д.т.н.

(Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород)

Аннотация. В статье рассматривается влияние изменения давления газа на эффективность и безопасность работы бытовых газовых приборов. Анализируются возможные неисправности и риски, возникающие при отклонении давления от нормы. Приводятся рекомендации по настройке и эксплуатации оборудования для обеспечения стабильной работы.

Практически в каждом доме сейчас имеется газовый прибор. Это может быть газовый котёл, водонагревательная колонка, плита или духовка для приготовления пищи. Для корректной работы различных бытовых приборов требуется определённое давление газа на входе. Как правило, оно указано производителем в паспорте изделия. В этой статье мы попробуем разобраться для чего нужно давление газа в системе и как оно влияет на потребление, а также на наши с вами расходы.

На данный момент самым экономичным и экологически чистым видом топлива для отопления дома является природный газ. Он подаётся по трубопроводу до места потребления и сжигается в камере сгорания газового котла. Для эффективного и безопасного функционирования котла требуется номинальное давление газа в 1300 Па [1]. Не менее важны показатели максимального и минимального давления, P_{max} и P_{min} соответственно. При отклонении от этих показателей приборы будут работать некорректно или вообще не смогут функционировать. Давление газа можно измерять с помощью манометра, изображенного на рисунке 1.

Рисунок 1. Прибор измерения давления газа в трубопроводе.

Постановлением Правительства РФ от 6 мая 2011 г. № 354 (ред. от 28.11.2023) утверждены «Правила предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов» (далее Правила № 354). В приложении № 1 «Требования к качеству коммунальных услуг», пункт 13, установлено, что давление природного газа в сети должно быть в пределах нормы от 1,2 кПа до 3,0 кПа. Отклонение давления газа от нормы допускается, но не более чем на 0,5 кПа в ту и другую стороны [2]. Следовательно, в трубах газопровода вашего дома минимальное рабочее давление природного газа должно быть не ниже 0,7 кПа.

В Правилах № 354 [2] прописано, что за каждый час периода снабжения газом с отклонением давления газа от нормы, размер платы за коммунальную услугу становится ниже.

При понижении давления ниже 1,2 кПа у вас есть право потребовать пересчёт размера оплаты. Если давление отличается от установленного не более чем на 25 %, размер ежемесячной оплаты за коммунальную услугу газоснабжение снижается на 0,1 % каждый час при давлении отличающимся от нормы. В случае отклонения давления свыше 25% от нормального, оплата за услугу начисляется за каждый день поставки газа ненадлежащего качества (независимо от показаний приборов учета).

Изменение давления в бытовой сети влияет на приборы следующим образом:

– нормальное давление. Газ поступает на форсунки горелки с заданными параметрами. Благодаря этому он успевает равномерно смешаться с кислородом, содержащимся в воздухе в нужном соотношении, и сгорает без остатка. В таком случае работа системы происходит в штатном режиме вырабатывая тепловую энергию;

– давление выше нормы. Повышенное давление приводит к неполному сгоранию газа, вследствие чего наблюдается его накопление в помещении или образование угарного газа. Обе ситуации представляют серьёзную угрозу, поскольку могут привести к отравлению угарным газом или возгоранию [3]. Например, резкий перепад давления в газовой магистрали стал причиной пожаров в 17 квартирах и 14 домах Москвы. Данный случай произошел в 2014 году из-за неисправности на ГРС [4];

– пониженное давление газа. При пониженном давлении топливо полностью сгорает, однако его количества недостаточно для поддержания устойчивого и мощного пламени. В результате котел работает не на полную мощность, что снижает эффективность отопления. Это приводит к недостаточному нагреву помещения и повышенному расходу энергии.

Для оценки влияния давления газа на работу бытовых приборов проведены лабораторные испытания газовой плиты модели «GEFEST 3200-04» с использованием природного газа (метан – 98,2%, этан – 1,8%). Давление в системе регулировалось редуктором с точностью ±0,05 кПа. Диапазон давлений: 1,0–4,0 кПа (шаг 0,5 кПа) [5].

Контролируемые параметры:

– цвет и стабильность пламени (визуально);

– температура пламени (замерялась пирометром CEM DT-8869 в центральной зоне пламени. Указаны средние значения из 5 замеров ± погрешность прибора);

– время нагрева 1 л воды от 20°C до 90°C.

Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытаний

Давление, кПа	Цвет пламени	Характер пламени	Время нагрева воды, мин	Температура пламени, °C
1,0	Жёлтое	Прерывистое	12,5	750
1,5	Жёлтое	Колеблющееся	9,8	800
2,0	Голубое	Стабильное	7,2	850
2,5	Голубое	Интенсивное	6,5	900
3,0	Голубое	Шумное	6,0	950
3,5	-	Частичный проскок	5,8	1000
4,0	-	Проскок, хлопки	-*	-*

*При 4,0 кПа нагрев и определения цвета пламени не проводились из-за аварийного режима работы горелки.

Выводы:

– рабочий диапазон давления для бытовых плит – 1,5–3,0 кПа;

– давление ниже 1,5 кПа требует корректировки (установка регулятора);

– превышение 3,0 кПа опасно из-за риска проскока.

Так же на современном газовом оборудовании стоит автоматика, которая перекрывает подачу газа при отклонении давления от заданной нормы. Для каждого тип прибора эти показатели индивидуальны. Например, газовая плита способна работать на более низком

давлении, чем проточный водонагреватель или отопительный котёл [6]. Контроль давления газа в системе осуществляется в пунктах редуцирования газа, а также в некоторых газовых приборах. Рабочие давления газовых приборов приведены в таблице.

Таблица 2

Допустимые отклонения давления газа для бытового газоиспользующего оборудования

Газовый прибор	P_{min}, Па	$P_{ном}$, Па	P_{max}, Па	Нормативный документ
Газовая плита ПГ 4	147	1274	1764	ГОСТ 10798-85 [6]
Проточный водонагреватель ВПГ	637	1274	1764	ГОСТ 19910-74 [7]
Газовая горелка для отопительный печи УГОП	600	1300	1800	ГОСТ 16569-86 [8]
Отопительный котёл АОГВ	635	1274	1764	ГОСТ 20219-74 [1]

Давление в системе может меняться по нескольким причинам:

– во время аварийных или плановых ремонтных работ на газопроводе.

– в процессе подключения новых абонентов к газораспределительной сети возможны резкие падения давления или его временное пропадание.

– увеличение расхода газа в отопительный сезон. Зимой спрос на топливо повсеместно возрастает, что может привести к сбоям в работе бытовых газовых приборов.

– износ трубопроводов. Причинами могут быть коррозия внутри труб, повышающая сопротивление потоку газа, или образование ледяных пробок в сильные морозы. Пульсация пламени в горелках указывает на повышенную влажность газа (скопление конденсата в системе).

– утечки газа из-за негерметичных соединений, поврежденных труб, арматуры или оборудования. Это происходит из-за некачественного монтажа, скрытых производственных дефектов, поломок запорной арматуры, фильтров или счетчиков.

На основе приведённых аргументов можно сделать вывод, что давление газа является ключевым фактором, влияющим на эффективность и безопасность бытовых газовых приборов. Отклонения от нормы могут привести к неполному сгоранию топлива, повышенному износу оборудования и даже аварийным ситуациям. Для предотвращения проблем необходимо регулярно проверять давление в системе, использовать качественную запорную арматуру и своевременно обслуживать газовые приборы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ 20219–74 Аппараты отопительные газовые бытовые с водяным контуром.

2. Постановление правительства РФ от 06.05.2011 N 354 (ред. От 12.04.2023) «О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов».

3. *Коротенко И.А*. Актуальность исследований образования и распространения угарного газа / И.А. Коротенко, Д.Ю. Суслов // Проблемы развития современного общества: сборник научных статей 10-й Всероссийской национальной научно-практической конференции, Курск, 23–24 января 2025 г. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2025. – С. 167-171.

4. Известия: сайт – Текст: электронный. – 2025 – URL: https://iz.ru/news/579496 (дата обращения: 21.05.2025).

5. *Кущев Л.А., Суслов Д.Ю., Рамазанов Р.С., Швыдкая М.А.* Интенсификация процесса сжигания природного газа в системах газоснабжения ЖКХ // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №11. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/intensifikatsiya-protsessa-szhiganiya-prirodnogo-gaza-v-sistemah-gazosnabzheniya-zhkh (дата обращения: 04.06.2025).

6. ГОСТ 10798–85 Плиты газовые бытовые.

7. ГОСТ 19910–74 Аппараты водонагревательные проточные газовые бытовые.

8. ГОСТ 16569–86 Устройства газогорелочные для отопительных бытовых печей.

THE INFLUENCE OF GAS PRESSURE ON THE OPERATION OF HOUSEHOLD GAS APPLIANCES

Baranenko D.Yu.
Supervisor: Suslov D.Yu., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences
(Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod)

Abstract. This article examines the impact of gas pressure variations on the efficiency and safety of household gas appliances. Potential malfunctions and risks arising from pressure deviations from the norm are analyzed. Recommendations for setting up and operating the equipment to ensure stable operation are provided.

УДК 574

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Борисова Р.Р.
Научный руководитель: Мингазетдинов И.Х., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Аннотация. В работе произведен анализ современных методов переработки нефтепродуктов с использованием сорбционных технологий была разработана технологическая схема, предназначенная для обработки нефтепродуктов. Кроме того, был выбран оптимальный сорбционный модуль, обеспечивающий наибольшую эффективность.

По результатам патентного и литературного анализа была выбрана технология сорбционной очистки сточных вод с использованием устройства вертикального нефтесборщика [1]. Такая система эффективно удаляет нефтепродукты, снижает экологическую нагрузку и позволяет повторно использовать воду в производстве благодаря высокой сорбционной способности и надёжной конструкции оборудования [2].

Технологическая схема переработки нефтепродуктов с использованием сорбционных методов подробно изложена в соответствующих документах, где описаны последовательность этапов и оборудование, обеспечивающее эффективное удаление загрязнений и восстановление качества исходных материалов (рис. 1).

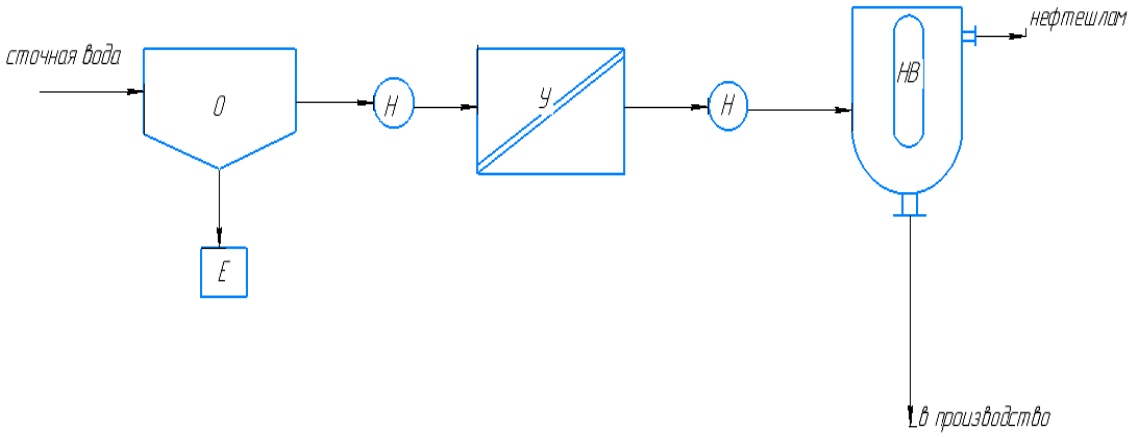


Рис. 1. Технологическая схема сорбционной очистки сточных вод от нефтепродуктов
О – отстойник; Е – емкость для шлама; Н – насос;
У – усреднитель; НВ – нефтесборщик вертикальный

Сточные воды, загрязненные нефтепродуктами, поступают в систему очистки. На первом этапе они направляются в отстойник (О), где осуществляется первичная очистка: крупные взвешенные частицы оседают на дно под действием силы тяжести, а нефтепродукты всплывают на поверхность. Осадок (шлам) отводится в специальную емкость для шлама (Е), а плавающая нефтяная пленка удаляется. Осветленная вода из нижней части отстойника с помощью насоса (Н) подается далее. Следующим этапом является усреднитель (У), где происходит выравнивание состава и концентрации загрязняющих веществ. Внутри усреднителя сточные воды перемешиваются, что способствует стабилизации характеристик потока и улучшению эффективности последующей очистки. После усреднения вода с помощью второго насоса (Н) поступает в вертикальный нефтесборщик (НВ).

В вертикальном нефтесборщике происходит окончательная очистка: остаточные нефтепродукты всплывают и удаляются с поверхности. Для повышения эффективности процесса применяются сорбенты, такие как пенополиуретан [3]. В нижней части нефтесборщика собирается очищенная вода. Устройство оснащено датчиками уровня нефти и воды, обеспечивающими автоматический контроль и удаление нефтепродуктов. После завершения очистки вода возвращается обратно в производство, где используется для технологических нужд. Это позволяет существенно сократить потребление пресной воды и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Для очистки сточных вод от нефтепродуктов разработано устройство с корпусом, заполненным водой и сорбционной загрузкой. Ключевой элемент – бесконечный транспортер с лотками и окнами, перемещающийся по вертикальной конструкции с роликами посредством цепной передачи. В верхней части расположены отжимные валики с сетчатым отражателем и желобом для сбора нефтепродуктов, а также наклонные направляющие.

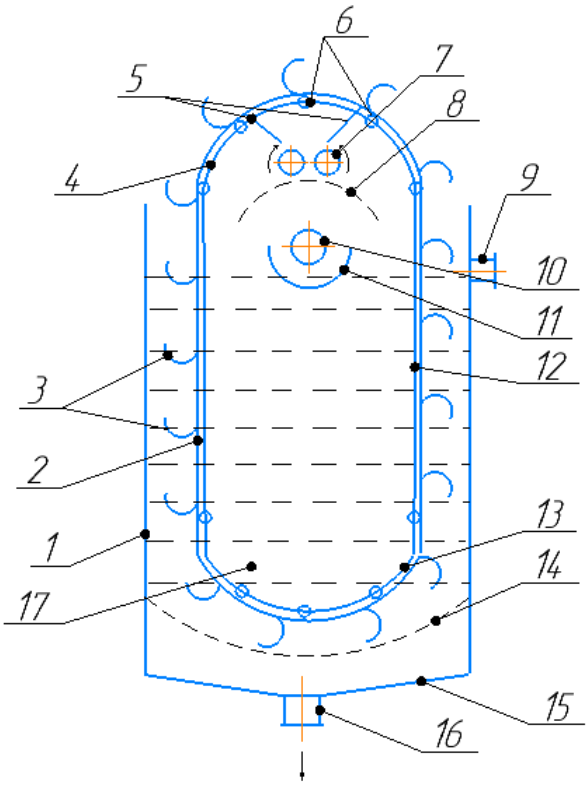


Рис. 2. Вертикальный нефтесборщик
1 – корпус, 2 – ковшовый транспортер, 3 – лотки, 4 – верхний каркас, 5 – направляющие пластины, 6 – подвижные ролики, 7 – отжимные валики, 8- сетчатый отражатель, 9 – патрубок подвода, 10 – патрубок отвода, 11 – желоб приема нефти и масел, 12 – вертикальные стойки, 13 – нижний каркас, 14 – фильтровальная сетка, 15 – нижнее днище, 16 – патрубок отвода воды, 17 – сорбционная загрузка

Установка работает следующим образом: загрязненная вода поступает в резервуар с сорбентом. Двигатель приводит в движение ковшовый транспортер, который захватывает сорбент и подает его к отжимным валкам. Валки, вращаясь навстречу, отжимают нефтепродукты, восстанавливая сорбционные свойства материала. Отжатая нефть собирается и отводится. Сетчатые экраны предотвращают потерю сорбента. Для сильно загрязненной воды предусмотрен многоступенчатый отжим. Интенсивный отжим обеспечивает высокую степень очистки. Единый привод упрощает конструкцию и повышает надежность. В результате достигается эффективная и стабильная очистка сточных вод от нефтепродуктов [1].

Внедрение данного вертикального нефтесборщика позволит добиться высокой степени очистки сточных вод от нефтепродуктов и масляных загрязнений благодаря применению интенсивного механического отжима, который обеспечивает постоянное восстановление сорбционных характеристик материала, при этом единый приводной механизм с одним двигателем синхронно приводит в движение ковшовый транспортер и обеспечивает встречное вращение отжимных валков, что значительно повышает надежность конструкции и упрощает техническое обслуживание, способствуя стабильности и эффективности процесса очистки.

Нефтеперерабатывающее предприятие согласно Постановлению Правительства РФ от 31.12.2020 №2398 «Об утверждении критериев объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III, IV категории», это предприятие отнесено к I категории объектов, что свидетельствует о значительном негативном воздействии производственной деятельности, связанной с выпуском нефтепродуктов, на экологическую обстановку [4].

Цель переработки состоит в преобразовании природных исходных материалов, таких как сырая нефть и природный газ, в ценный продукт. На НПЗ сырая нефть и природный газ преобразуются в разнообразные продукты, такие как:

– топливо для легковых автомобилей, грузовиков, самолетов, судов и других видов транспорта;

– топливо для сжигания для производства электроэнергии и тепла в промышленности и для домашних хозяйств;

– сырье для нефтехимической и химической промышленности;

– специальные продукты, такие, как смазочные масла, парафины, воск и битум;

– энергия в качестве побочного продукта в виде тепла и энергии.

Процесс переработки нефти, пригодной для получения товарных нефтепродуктов, условно подразделяется на два ключевых этапа, сопровождающихся комплексом вспомогательных операций, необходимых для обеспечения непрерывности и эффективности производственного цикла. Начальная стадия предусматривает предварительную очистку сырья, включающую удаление солей и воды, после чего осуществляется перегонка, направленная на разделение нефти на отдельные фракции с различными температурными характеристиками. Следующий этап предполагает более глубокую переработку лёгких фракций и попутных газов, в результате которой извлекаются такие компоненты, как метан и этан, находящие применение в качестве топлива на самих предприятиях и способствующие снижению потребления прочих энергоносителей, в том числе углеводородных газов, а также являются сырьём для дальнейшего получения бензиновых компонентов и материалов, необходимых в нефтехимическом производстве. Разделение лёгких продуктов осуществляется на каждом нефтеперерабатывающем заводе, исходя из технологических особенностей и целей производства. Первичная переработка нефти основывается на физическом разделении сырья на более узкие фракции без изменения химической структуры углеводородов, в то время как вторичная переработка включает целенаправленные химические преобразования, направленные на повышение качества продукции, увеличение выхода моторных топлив, расширение сырьевой базы для смежных отраслей, таких как нефтехимия и шинная промышленность, а также на рост глубины переработки нефти. Актуальность этих процессов возрастает в условиях снижения объёмов переработки, так как

они позволяют предприятиям сохранить производственные показатели, обеспечить стабильный выпуск основного ассортимента продукции и повысить свою конкурентоспособность на рынке. Основу вторичной переработки составляют каталитические процессы, в которых активно задействуются химические реагенты, растворители и адсорбенты, способствующие либо модификации молекулярной структуры углеводородов, либо извлечению отдельных компонентов с заданными свойствами. Кроме того, на нефтеперерабатывающих предприятиях реализуются общезаводские технологические циклы, охватывающие энергоснабжение, водоочистку, производство и извлечение серы, очистку выбросов, системы продувки, смешивание готовых нефтепродуктов, а также их хранение и перемещение внутри производственного комплекса. Применение поверхностных технологий особенно актуально при работе с сернистой нефтью в условиях ограниченной глубины переработки, при этом используются специализированные технологические схемы, последовательно отражающие этапы обработки такого сырья (рис. 3). В этом случае уровень переработки колеблется в пределах 50-60%, что зависит от качества исходного сырья.

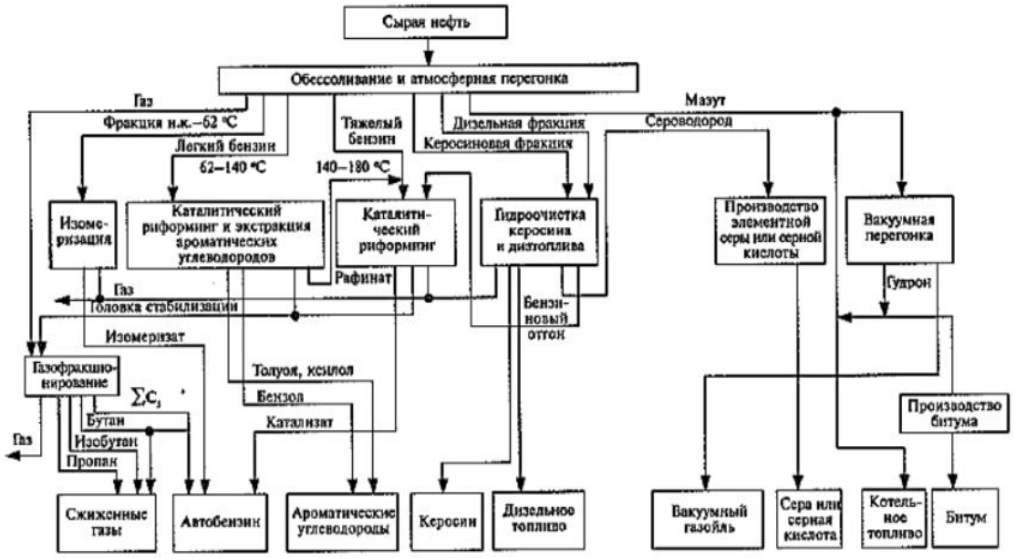


Рис. 6. Поточная схема НПЗ с неглубокой переработкой сернистой нефти

Нефтеперерабатывающие заводы, используют такую схему, целесообразно возводить в регионах, где отсутствуют другие источники органического топлива, таких как уголь или природный газ, и где для содержания энергетических потребностей используют мазут. На таких заводах нефть происходит процессы обезвоживание и обессоливания, после чего она перегоняется на установках атмосферной перегонки, в результате чего получают бензиновый, керосиновый и дизельный дистилляты. Бензиновый дистиллят разделяют на отдельные фракции, среди которых легкий бензин выкипающий в интервале с температурой 60-200 °С подвергается изомеризации для получения высокооктановых компонентов. Фракция в диапазоне 62-105 °С или 62-1400°F подвергается каталитическому риформингу для получения ароматического затем выделяют ароматические углеводороды, такое как бензол, толуол и кислоты. Фракции 105-180°С или 140-180°С направляются на риформинг для производства высокооктановых компонентов для товарного бензина. Если необходимо в ароматических углеводородах отсутствует, вся бензиновая фракция в диапазоне 62-180°С направляется на риформинг для получения высокооктанового компонента, а также в блок гидроочистки бензина. В составе установки каталитического риформинга обязательно входит блок гидроочистки бензина. Средние дистилляты и продукты очистки от серы, такие как керосиновые и дизельные топлива, проходят дополнительную обработку от серы на установках гидроочистки. В результате гидроочистки топливо высокого качества и малосернистое дизельное топливо получают реактивное [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Мингазетдинов И.Х., Сергеев Р.С., Сибгатуллина О.С.* / Вертикальный нефтесборщик / Патент RU 219287 U1 МПК51 E02B 15/04, 11.07.2023.

2. *Богомолов А.В.* Повышение эффективности процессов очистки сточных вод от нефтепродуктов / А.В. Богомолов, Н.И. Макарова // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24, № 2. – С. 44–47.

3. Снижение экологической нагрузки от разливов нефти и нефтепродуктов с помощью сорбента на основе пенополиуретана и отходов зерновых культур 2009 / Чикина Н.С., Мухамедшин А.В., Анкудинова А.В., Зенитова Л.А., Сироткин А.С., Гарабаджиу А.В.

4. Федеральный закон от 04.08.2023 № 2398-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

5. ИТС 8-2022 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях».

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR SORPTION WASTEWATER TREATMENT FROM PETROLEUM PRODUCTS

Borisova R.R.

Supervisor: Mingazetdinov I.Kh., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper analyzes modern methods of processing petroleum products using sorption technologies and develops a technological scheme designed for processing petroleum products. In addition, the optimal sorption module was selected, providing the highest efficiency.

УДК 502.36

СИСТЕМА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЯ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Водянчук К.В.

Научный руководитель: Галимова А.Р, к. х. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В представленной работе рассмотрена система очистки сточных вод текстильной промышленности, которые имеют сложный химический состав, включающий трудноразлагаемые органические соединения, токсичные вещества, поверхностно-активные компоненты, галогенорганические соединения и тяжелые металлы. Особую экологическую проблему представляют красители, составляющие более 80% общего объема загрязнений, поскольку их присутствие в водных объектах приводит к нарушению фотосинтетической активности водных экосистем за счет блокирования проникновения солнечного света. Современные исследования подчеркивают необходимость внедрения инновационных методов очистки, среди которых особое место занимают мембранные технологии, включающие микрофильтрацию, ультрафильтрацию, нанофильтрацию и обратный осмос, обеспечивающие высокую степень очистки и возможность повторного использования водных ресурсов в производственном цикле.

Текстильная промышленность представляет собой сложный многоотраслевой комплекс, входящий в состав легкой промышленности и включающий более двадцати подотраслей. Согласно последним исследованиям, эта отрасль генерирует около 20% мирового объема промышленных сточных вод, содержащих токсичные химические соединения [1]. По объему загрязняющих сточных вод текстильная промышленность занимает восьмое место среди промышленных отраслей. Анализ технологических процессов

показывает, что наибольший вклад в загрязнение окружающей среды вносят стадии подготовки (35% от общего объема отходов), крашения (40% водных загрязнений) и отделки (25% выбросов в атмосферу). В процессе химической обработки текстильных материалов с использованием различных композиционных вспомогательных веществ могут происходить реакции, приводящие к образованию токсичных соединений, которые накапливаются в волокнистой структуре материала.

Химико-технологические процессы в текстильном производстве преимущественно протекают в гетерогенных системах "твердая фаза – жидкость", где ключевую роль играют фундаментальные физико-химические явления. Среди них особое значение имеют процессы смачивания поверхности волокон, сорбции химических компонентов, диффузии реагентов в волокнистую структуру, адгезионного взаимодействия, а также образования коллоидных систем и механизмы частичной агрегации дисперсных частиц. Эти явления лежат в основе большинства операций текстильной отделки и определяют эффективность всего производственного цикла. Водоотведение жидких отходов из цехов окрашивания и финишной обработки текстильной продукции характеризуется значительными объемами. Исследования показывают, что в канализационные системы поступает до 90% исходного количества технологических реагентов, включая загустители, глауберову соль, крахмальные соединения и поверхностно-активные вещества. Степень миграции других химических компонентов варьируется: гидроксид натрия – до 50%, бихромат калия – до 25%, сернистые красители – до 30%. Для дисперсных и катионных красителей этот показатель достигает 40%, тогда как прямые и активные красители переходят в стоки в пределах 10-25%. Наименьший коэффициент перехода (5-10%) характерен для кислотных, кубовых красителей и кубозолей при периодическом способе окрашивания [2]. Сточные воды имеют сложный состав, который представлен в таблице 1.

Таблица 1

Усредненный состав сточных вод текстильного производства

Состав загрязнений	Содержание	ПДК
ХПК	890 мг/дм^3	120 мг/дм^3
$БПК_5$	2800 мг/дм^3	30 мг/дм^3
Взвешенные вещества	3850 мг/дм^3	30 мг/дм^3
Cr (VI)	2,8 мг/дм^3	0,1 мг/дм^3
ПАВ	15 мг/дм^3	0,5 мг/дм^3
Цветность	1300 град	20 град

Современные текстильные производства сталкиваются с острой необходимостью внедрения инновационных систем очистки сточных вод, что обусловлено комплексом экологических, технологических и экономических факторов. Современные научные разработки предлагают комплексные решения данной проблемы, сочетающие биологические, физико-химические и мембранные технологии. Особого внимания заслуживают комбинированные системы, включающие предварительную механическую очистку, биологическую деструкцию органических соединений в аэротенках, доочистку методом флотации и финишную обработку на мембранных установках. Как показывают практические исследования, такие системы демонстрируют исключительную эффективность – до 99% удаления красителей, 98% очистки от взвешенных веществ и 95% снижения содержания поверхностно-активных соединений [3]. При этом достигается возможность многократного использования очищенной воды в технологическом цикле, что позволяет сократить водопотребление на 50-70% и значительно уменьшить экологическую нагрузку.

Сравнительный анализ с традиционными методами водоочистки выявляет существенные технологические преимущества мембранных процессов. В отличие от реагентных способов, требующих значительных объемов коагулянтов и флокулянтов, мембранная фильтрация минимизирует образование вторичных отходов, что подтверждается

исследованиями [4]. Технологическая гибкость установок позволяет адаптировать их к различным производственным условиям, обеспечивая при этом стабильное качество очистки при компактных габаритах оборудования. Экспериментальные данные свидетельствуют, что нанофильтрационные мембраны демонстрируют исключительную эффективность в отношении реактивных красителей, обеспечивая практически полное их удаление (свыше 90%) и значительное снижение минерализации воды [5]. Важным технологическим параметром является стабилизация pH очищенной воды в нейтральном диапазоне 6,4-7,1, что позволяет напрямую возвращать её в производственные процессы без дополнительной коррекции кислотно-щелочного баланса.

На основании анализа современных технологий очистки сточных вод текстильного производства мембранным способом была предложена технологическая схема, предназначенная для очистки сбросов. Кроме того, подобран оптимальный мембранный модуль, обеспечивающий максимальную эффективность процесса.

Система мембранной очистки сбросов сточных вод текстильного производства представляет собой комплексный процесс, включающий несколько ключевых этапов, каждый из которых играет важную роль в обеспечении эффективной очистки воды. Технологическая схема представлена на рисунке 1. Начинается процесс с отстойника, где сточные воды поступают для первичной обработки. В этом резервуаре происходит осаждение крупных взвешенных частиц и осадков, что позволяет снизить нагрузку на последующие этапы очистки. В результате отстаивания образуется осадок, который переходит в ёмкость, а очищенная вода переходит к следующему этапу.

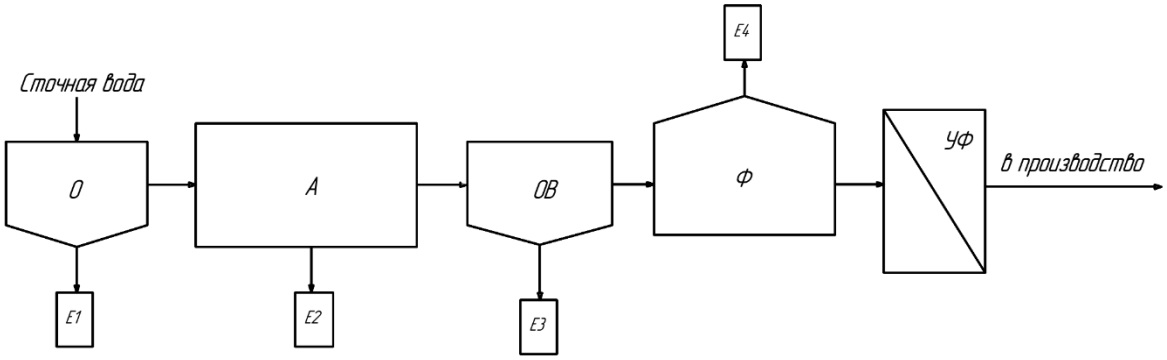


Рис 1. Технологическая схема очистки сточных вод текстильного предприятия:
О – отстойник; А – аэротенк; ОВ – вторичный отстойник; Ф – флотатор;
НФ – модуль ультрафильтрациии; Е1 – емкость для накопления осадка;
Е2 – емкость для накопления активного ила; Е3 – емкость для накопления осадка;
Е4 – емкость для накопления фотошлама

После отстойника сточные воды направляются в аэротенк, где осуществляется биологическая очистка. В этом резервуаре происходит активное насыщение воды кислородом, что способствует развитию аэробных микроорганизмов, которые разлагают органические загрязнители. Процесс аэрации обеспечивает оптимальные условия для жизнедеятельности бактерий, что позволяет значительно снизить содержание органических веществ в сточных водах. В результате биологической обработки образуется осадок, который также отправляется в ёмкость.

Следующим этапом является вторичный отстойник, где происходит отделение активного осадка от очищенной воды. В этом резервуаре осадок оседает на дно, а очищенная вода, которая теперь содержит значительно меньше загрязняющих веществ, поднимается к поверхности и отправляется на следующий этап обработки.

После вторичного отстойника сточные воды поступают во флотатор, где происходит дополнительное удаление оставшихся взвешенных частиц и коллоидных загрязнителей. В этом процессе используется принцип флотации, при котором в воду вводятся мелкие пузырьки воздуха, которые поднимают на поверхность легкие частицы, образуя флотируемый

осадок. Этот осадок затем удаляется, что позволяет дополнительно очистить воду перед ее финальной обработкой.

Завершающим этапом является ультрафильтрация, которая обеспечивает высокую степень очистки сточных вод. УФ позволяет отделить оставшиеся микрочастицы, бактерии и вирусы, что делает воду практически чистой и безопасной для сброса в водоемы или повторного использования. Мембранная технология обеспечивает высокую эффективность и надежность процесса очистки, а также позволяет значительно сократить объемы образующегося осадка.

Описанная схема функционирования системы мембранной очистки сточных вод текстильного производства представляет собой комплексный и многоступенчатый процесс, который обеспечивает эффективное удаление загрязняющих веществ и позволяет достигать высоких стандартов качества очищенной воды.

Основным аппаратом очистки в представленной технологической схеме является аппарат ультрафильтрации [6], который работает на принципе мембранной фильтрации, обеспечивая очистку жидкости от взвешенных частиц, коллоидов, бактерий и высокомолекулярных соединений. Схема аппарат очистки представлена на рисунке 2. Он состоит из корпуса, внутри которого расположены ультрафильтры, а также торцевых крышек, обеспечивающих герметичность конструкции и возможность подачи и отвода жидкости. Дополнительно предусмотрено отверстие для удаления концентрата или проведения промывки мембран.

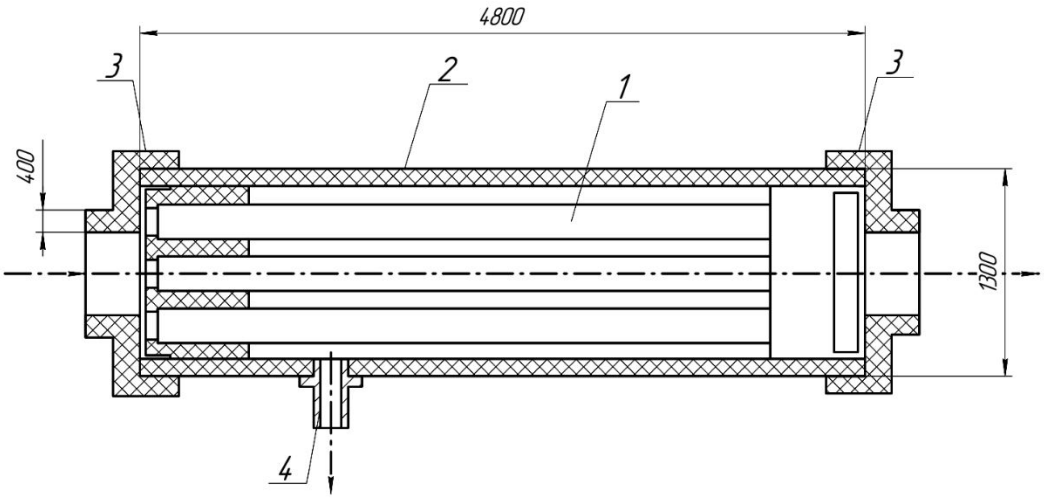


Рис. 2. Аппарат для очистки сточных вод методом ультрафильтрации:
1 – ультрафильтры; 2 – корпус; 3 – торцевая крышка; 4 – отверстие

Рабочий процесс аппарата начинается с подачи исходной загрязненной жидкости через входное отверстие, расположенное в одной из торцевых крышек. Вода или другая фильтруемая жидкость под давлением поступает в корпус и распределяется по внутреннему пространству ультрафильтров. Эти ультрафильтры представляют собой полые волокна, проницаемые для молекул воды и низкомолекулярных растворенных веществ, но задерживающие крупные частицы, включая коллоидные примеси, белки, бактерии и макромолекулы.

Очистка происходит за счет разности давления: вода проходит через пористую структуру мембран, тогда как загрязняющие вещества остаются внутри волокон ультрафильтров. Прошедшая через мембраны очищенная вода собирается и выводится из аппарата через выходное отверстие, расположенное в противоположной торцевой крышке.

Со временем на мембранах накапливаются загрязнения, что приводит к снижению их пропускной способности. Для удаления сконцентрированных загрязнений предусмотрено отверстие, через которое отводится концентрат.

Таким образом, предложенная технологическая схема очистки сточных вод цеха текстильного производства, включающая отстойник, аэротенк, флотатор и УФ модуль. Анализ передового опыта показал, что мембранные технологии демонстрируют высокую эффективность очистки сточных вод текстильных предприятий: удаление красителей — до 95%, снижение ХПК — на 70–99,4%, уменьшение содержания ПАВ — до 0,5 мг/л. Комбинированные системы, включающие ультрафильтрацию и обратный осмос, позволяют возвращать до 90% очищенной воды в производственный цикл.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Environmental impacts and remediation strategies in textile industries: a global perspective / Chen X., Li Y., Wang J., 2023. - 15 с.

2. *Абдуллин И.Ш., Нефедьев Е.С., Ибрагимов Р.Г., Парошин В.В., Зайцева О.В.* Чистка сточных вод предприятий текстильной промышленности на основе модифицированных композиционных мембран // Текст научной статьи по специальности «Нанотехнологии». – 2023. – № 1. – С. 15-22.

3. *Holkar C.R*. A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches // Journal of Environmental Management. - 2016. - Vol. 182. - P. 351-366.

4. *Бабаев З.К., Маткаримова Д.Б.* Обесцвечивание и нейтрализация сточных вод текстильного производства с использованием отходов промышленности // Вестник Ургенчского государственного университета. – Ургенч: УрГУ, 2023. – С. 30-35.

5. *Rashid H.R., Nik Sulaiman N.M., Hashim N.A., Che Hassan C.R., Ramli M.R*. Synthetic reactive dye wastewater treatment by using nano-membrane filtration // Desalination and Water Treatment. – Kuala Lumpur: Taylor & Francis, 2014. – Vol. 57, No. 1. – P. 1-10.

6. *Smith J*. Method for wastewater treatment // Патент WO2015026269A1. – 2015.

WASTEWATER TREATMENT SYSTEM OF A TEXTILE INDUSTRY ENTERPRISE

Vodyanchuk K.V.

Supervisor: Galimova A.R., Candidate of Chemistry Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The presented work considers the system of purification of wastewater of the textile industry, which has a complex chemical composition, including difficult-to-decompose organic compounds, toxic substances, surfactants, organohalogen compounds and heavy metals. Dyes, which make up more than 80% of the total volume of pollutants, pose a special environmental problem, since their presence in water bodies leads to disruption of the photosynthetic activity of aquatic ecosystems by blocking the penetration of sunlight. Modern research emphasizes the need to implement innovative purification methods, among which a special place is occupied by membrane technologies, including microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis, providing a high degree of purification and the possibility of reusing water resources in the production cycle.

УДК 631.42

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА И СУЛЬФАТОВ В ПОЧВЕ

Гилязова А.И.

Научный руководитель: Габдрахманова Г.Н., старший преподаватель, к. х. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данном исследовании рассматриваются методы определения ионов железа (Fe^{2+}/Fe^{3+}) и сульфатов (SO_4^{2-}) в почве. Анализируются их источники, допустимые концентрации и влияние на экосистему. Приводятся основные способы химического анализа, применяемые в агрохимии и экологическом мониторинге.

Почва – это сложная динамическая система, выполняющая ключевую роль в биосфере. Она служит средой обитания для микроорганизмов, растений и животных, а также участвует в круговороте веществ. Химический состав почвы определяет её плодородие, устойчивость к антропогенным нагрузкам и способность к самоочищению. Среди множества химических элементов, содержащихся в почве, особое значение имеют ионы железа и сульфатов, поскольку их концентрация может служить индикатором как природных геохимических процессов, так и техногенного загрязнения.

Железо– один из наиболее распространённых металлов в земной коре (около 4,65% по массе). Концентрация железа в почвах варьируется в широких пределах (от 0,5 до 10% и более) и зависит от геохимических особенностей материнской породы (в чернозёмах содержание Fe выше, чем в песчаных почвах), кислотности (pH), окислительно-восстановительных условий, антропогенного воздействия. Недостаток ионов железа приводит к хлорозу растений (пожелтение листьев из-за нарушения синтеза хлорофилла). Избыток ионов железа вызывает токсический эффект, угнетает рост микроорганизмов, способствует накоплению тяжёлых металлов.

Сульфаты (SO_4^{2-}) – важные компоненты почвенного раствора, необходимые для питания растений (сера входит в состав аминокислот и белков). Основные источники сульфатов в почве:

- Природные: разложение органического вещества, окисление сульфидов (пирит FeS_2), атмосферные осадки.
- Антропогенные: промышленные выбросы (ТЭЦ, металлургия), применение сульфатных удобрений (например, сульфата аммония), кислотные дожди.
- Нормальные концентрации SO_4^{2-} в незагрязнённых почвах составляют 10–50 мг/кг, но в зонах техногенного воздействия могут достигать 100–1000 мг/кг.

На содержание сульфатов в почве влияют такие факторы как pH почвы, микробиологическая активность, вымывание осадками. Дефицит сульфатов ухудшает рост растений, а избыток сульфатов приводит к закислению почвы, повышает подвижность токсичных металлов (Al, Cd).

Методы определения ионов железа:

- Спектрофотометрия (с реактивами, например, роданидом калия или о-фенантролином).
- Атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС).
- Титриметрические методы (перманганатометрия).

Методы определения сульфат-ионов:

- Турбидиметрия (осаждение $BaSO_4$ и измерение мутности).
- Ионная хроматография.
- Гравиметрический метод (весовое определение $BaSO_4$).

Контроль содержания ионов Fe и SO_4^{2-} в почве важен для:

- Сельского хозяйства– оптимизация питания растений.
- Экологического мониторинга– оценка загрязнения от промышленных объектов.
- Рекультивации земель– восстановление нарушенных почв.

Для определения ионов железа (Fe^{2+}/Fe^{3+}) и сульфатов (SO_4^{2-}) использовался точечный метод отбора проб, который обеспечивает репрезентативность образцов и соответствует требованиям ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа».

Для исследования была выбрана территория в зоне пересечения магистральных улиц Участок был разделен на условный квадрат (размером 1м×1 м) для равномерного охвата площади.

В квадрате отбиралось 5 точечных проб по углам квадрата и на пересечении диагоналей, чтобы минимизировать влияние локальных неоднородностей почвы. Глубина отбора примерно 20 см, так как именно в этом слое наиболее активно протекают биохимические процессы и накапливаются загрязнители.

Проводилось титриметрическое определение железа (Fe^{3+}) с трилоном Б (комплексон III, натриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты, EDTA), основаного на реакции образования прочного водорастворимого комплекса.

Метод применяется для определения общего железа в почвенных вытяжках после переведения всех его форм (Fe^{2+}, Fe^{3+}, оксиды) в раствор.

Для подготовки почвенной вытяжки в лабораторные стаканы вместимостью 250 мл взвесить 5 г почвы с точностью до 0,1 г. К пробам почвы в каждый стакан добавить по 50 мл серной кислоты H2SO4 с концентрацией 0,1 моль/л. Содержимое перемешать в течение 5 мин и выдержать 30 мин, затем профильтровать через сухой фильтр в сухие стаканы. С помощью универсальной индикаторной бумаги определить величину pH растворов в колбах.

В качестве реактивов использовались 0,05 н. раствор Трилона Б, раствор серной кислоты, 10% раствор сульфосалициловой кислоты, 0,2% раствор мурексида, раствор NaOH. Результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты анализа

Номер колбы	Характеристика образца	$V_т$, мл	Концентрация железа, мг/л
5	Почва	13,5 мл	1,33мг/л

Расчет концентрации ионов железа (мг/л) проводят по формуле:

$$C = \frac{Vт \cdot Ттр \cdot M \cdot 1000}{Vв}$$

где $V_т$- объём трилона Б, пошедший на титрование, мл; $T_{тр}$ - титр 0,05н раствора трилона Б в пересчёте на Fe, Vв - исследуемой воды, взятой для титрования, л; М- молярная масса металла.

$$C = \frac{13{,}5 \cdot 0{,}0000532 \cdot 55{,}8 \cdot 1000}{30} = 1{,}33 \text{ мг/л}$$

Массовая доля подвижных соединений железа в почве определяется по формуле:

$$x = \frac{C \cdot V_2 \cdot V_3 \cdot K}{V_1 \cdot m}$$

где С -концентрация железа в анализируемом растворе, мг/мл; V_1 –объем фильтрата, взятый для определения железа, мл; V_2- объем мерной колбы равный 50 мл; V_3 - объем раствора серной кислоты, израсходованный для извлечения железа равный 50 мл; m - масса навески, г; К - коэффициент для пересчета на абсолютно сухую почву равный 1 (навеска почвы предварительно высушена).

$$x = \frac{1{,}33 \cdot 50 \cdot 50 \cdot 1}{30 \cdot 5} = 22\%$$

Проводилось определение сульфатов в почве фотометрическим методом. Метод применяется для определения сульфатов в почвенных вытяжках. Для приготовления почвенной вытяжки в лабораторные стаканы вместимостью 250 мл взвесить 10 г почвы с точностью до 0,1 г. К пробам почвы в каждый стакан добавить по 100 мл дистиллированной воды. Содержимое перемешать в течение 5 мин и выдержать 30 мин, затем профильтровать через сухой фильтр в сухие стаканы.

Для определения сульфатов в пробирку налить 10 мл испытуемой воды, добавить 0,5 мл соляной кислоты (1:5) и 2 мл 5%-ного раствора хлорида бария. Пробирку осторожно встряхнуть. Появление белой мути указывает на содержание в воде сульфат-нона.

Полученные результаты оптической плотности представлены на рисунке 1.

При измерении нашли оптическую плотность исследуемого раствора, которая оказалась равной 0,055. По графику определим концентрацию сульфатов. Она равна примерно 19мг/л.

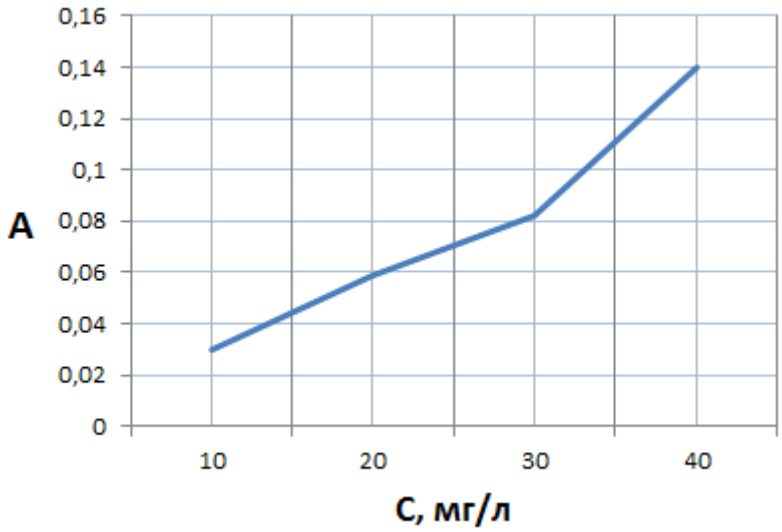


Рисунок 1. Зависимость оптической от концентрации

Количество эквивалентов иона сульфатов 10г почвы вычисляют по формуле (ГОСТ 26426-85):

$$Xc = \frac{C \cdot 50}{M}$$

где С-концентрация сульфатов в растворе, мг/л; 50- коэффициент пересчета на 10г почвы; М-молярная масса сульфат-ионов, мг/ммоль.

$$Xc = \frac{19 \cdot 50}{96,6} = 9,8 \text{ мг/л}$$

Массовую долю сульфат-ионов в анализируемой почве в процентах вычисляют по формуле:

$$Xj = Xc \cdot 0,048$$

где X_c- количество эквивалента сульфат-ионов в почве, ммоль в 10г; 0,048-коэффициент пересчета в проценты

$$Xj = 9,8 \cdot 0,048 = 0,47\%$$

Проведённое исследование позволило определить содержание подвижных соединений железа и сульфат-ионов в почве, что имеет важное значение для оценки её экологического состояния. Массовая доля подвижных форм железа в исследуемой почве составила 22%, что свидетельствует о высокой доступности этого элемента для растений. Массовая доля сульфат-ионов (SO_4^{2-}) составила 0,47%, что соответствует умеренному содержанию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Орлов Д.С., Садовникова Л.К.* Химия почв // М.: Высшая школа. 2005. 460 с.
2. *Глазовская М.А.* Геохимия природных и техногенных ландшафтов. // М.: Академия, 2007. 384 с.
3. ГОСТ 26423-85 Почвы. Методы определения ионов железа.
4. СанПиН 2.1.7.1287-03 Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы.
5. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях // М.: Мир, 1989. 439 с.

DETERMINATION OF IRON IONS AND SULFATES IN SOIL

Gilyazova A.I.
Supervisor: Gabdrakhmanova G.N., Senior Lecturer, Candidate of Chemical Sciences
(Kazan National Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This study examines methods for determining iron ions (Fe^{2+}/Fe^{3+}) and sulfates (SO_4^{2-}) in soil. Their sources, acceptable concentrations, and impact on the ecosystem are analyzed. The main methods of chemical analysis used in agrochemistry and environmental monitoring are presented.

УДК 628.477

СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЛИНИИ ПЕРЕРАБОТКИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Закиров Т.Р.

Научный руководитель: Гумерова Г.И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Решение проблемы утилизации солнечных панелей требует комплексного подхода, включающего технологические, правовые и экономические аспекты. Своевременная разработка и внедрение эффективных методов переработки помогут минимизировать экологические риски и обеспечить устойчивое развитие солнечной энергетики в долгосрочной перспективе.

Создание экологически безопасных, чистых и малоотходных технологий остается одной из ключевых задач для современного производства. В России солнечная энергетика пока находится на этапе активного развития, и поскольку срок службы большинства используемых панелей еще не подошел к концу, вопрос их утилизации и переработки не стоит остро. Однако в ближайшие десятилетия эта проблема неизбежно проявит себя. Согласно прогнозам, к 2050 году в мире может накопиться от 60 до 80 миллионов тонн отработанных солнечных модулей, если уже сейчас не заняться их грамотной утилизацией [1].

Существующие технологии переработки условно делятся на два направления. Первое направление включает базовую переработку с извлечением основных конструкционных материалов - стекла, алюминия и меди, составляющих основную массу модуля. Второе направление представляет собой комплексную переработку с максимально полным извлечением всех химических элементов, использованных при производстве.

На данный момент объемы отслуживших солнечных модулей остаются незначительными. Их переработка преимущественно осуществляется на предприятиях, специализирующихся на обработке многослойного стекла, металлов или электронных отходов. В результате такой обработки извлекаются только основные по массе материалы, тогда как фотоэлектрические ячейки и полимерные компоненты часто подвергаются сжиганию или захоронению.

Существующие методы переработки, аналогичные технологиям повторного использования ламинированного стекла, не обеспечивают извлечения экологически опасных элементов или ценных материалов. Это актуализирует потребность в разработке более совершенных технологий, позволяющих осуществлять полную переработку всех компонентов солнечных модулей [2].

Фотоэлектрические панели изготавливаются из стекла, алюминия, меди и полупроводников, причем большинство этих материалов можно перерабатывать.

В стандартных кристаллических кремниевых модулях преобладает стекло (76% по весу), а также присутствуют полимеры (10%), алюминий (8%), кремниевые полупроводники (5%), медь (1%), серебро, олово и свинец (<0,1%).

Процесс переработки солнечных панелей сопряжён с существенными затратами на различных этапах. Сбор и транспортировка отработанных модулей к местам переработки требуют значительных логистических расходов, особенно учитывая их хрупкость и габариты. Этап предварительной обработки включает демонтаж панелей, удаление алюминиевых рам и других вспомогательных компонентов. Эти операции требуют специального оборудования и

квалифицированного персонала. Непосредственно технологический процесс переработки связан с существенными энергозатратами, потреблением химических реагентов и амортизацией специализированного оборудования. Особенно это касается современных химико-металлургических методов извлечения ценных компонентов [3].

Перспективные технологии переработки должны соответствовать эволюции конструкций солнечных элементов и обеспечивать эффективное извлечение ключевых материалов: стекла, алюминия, меди, а также редких и драгоценных металлов. Особое внимание уделяется решению технических сложностей, связанных с разделением слоев модулей, в частности - удалением герметизирующего поливинилацетатного покрытия. Для этого исследуются различные методы: механические, химические, термические и ультразвуковые.

При создании будущих перерабатывающих комплексов критически важным становится учет ряда факторов, обеспечивающих не только высокую степень извлечения материалов, но и соответствующее качество вторичного сырья, включая те компоненты, которые содержатся в минимальных количествах. Важным аспектом является возможность переработки разных типов солнечных панелей в рамках одной технологической линии.

В ходе работы была предложена линия комплексной переработки фотоэлектрических панелей на основе кремния и тонкопленочных панелей (рис. 1).

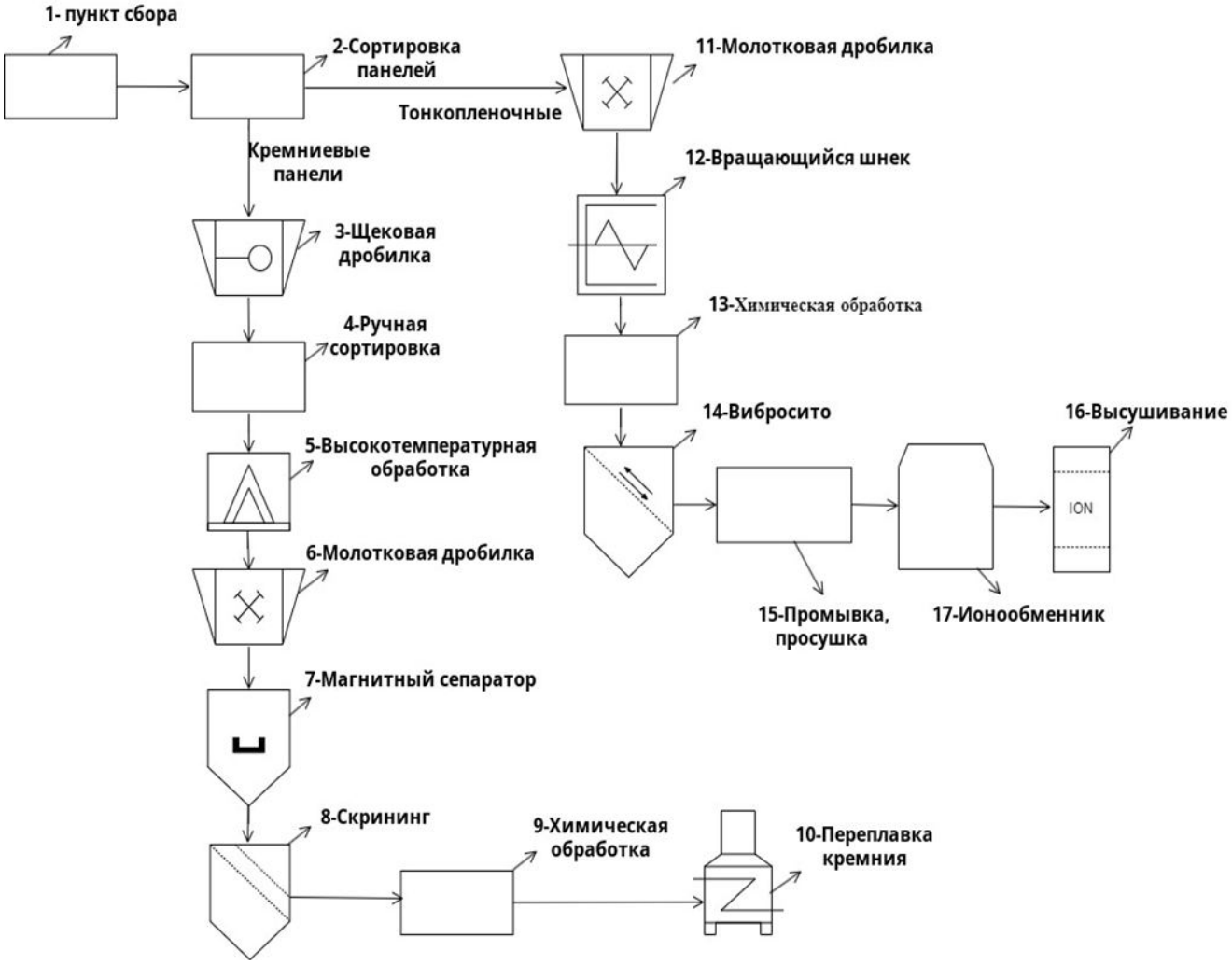


Рисунок 1. Линия комплексной переработки солнечных панелей

Тонкопленочные панели и панели из кристаллического кремния поступают в пункт сбора отходов СЭС 1. Фотоэлектрические панели, отслужившие свой срок, представляют собой ценный источник материалов, которые можно вернуть в производственный цикл.

Однако, процесс их переработки требует сложной технологической цепочки, начинающейся с предварительной подготовки, которая включает в себя сортировку фотоэлектрических панелей на основе кремния и тонкопленочных панелей 2.

Третьим этапом является предварительное дробление кремниевых панелей, целью которого является уменьшение размеров панелей для облегчения дальнейшей обработки. На этом этапе используются щековые дробилки 3, способные разрушить панели на более мелкие фрагменты без значительной потери материала. После предварительного дробления следует ручная сортировка 4. Этот этап критически важен для удаления крупных посторонних предметов, таких как остатки рам, соединительных коробок и других нежелательных компонентов, которые не подлежат переработке или могут повредить оборудование на следующих этапах. Ручная сортировка также позволяет отделить панели, содержащие опасные вещества, которые требуют специальной утилизации. После ручной сортировки, следует процесс пирометаллургической переработки 5, где происходит полное сгорание органических соединений, т.е. удаление полимерной пленки (этиленвинилацетата). Этот этап включает в себя высокотемпературную обработку материала (500^0C) для извлечения ценных металлов, таких как серебро, медь и алюминий, которые присутствуют в солнечных панелях в небольших количествах, но имеют высокую экономическую ценность. Пирометаллургическая переработка требует использования специализированного оборудования, такого как плавильные печи и конвертеры, и строгого контроля выбросов, чтобы минимизировать воздействие на окружающую среду. После высокотемпературной обработки, изделие попадает в молотковую дробилку для мелкого измельчения 6, с воздушной системой (фильтром) очистки над ней. Она необходима для дальнейшего уменьшения размеров частиц, что позволяет более эффективно извлекать ценные материалы. На этом этапе используются дробилки, специально разработанные для работы с хрупкими материалами, такими как стекло и кремний. Мелкое дробление обеспечивает оптимальный размер частиц для последующих этапов разделения и экстракции. Далее измельченный материал, проходит через магнитный сепаратор 7. Этот этап предназначен для извлечения ферромагнитных металлов, таких как железо и сталь, которые могут присутствовать в конструкции панелей. Магнитная сепарация позволяет не только извлечь ценные материалы, но и защитить дробильное оборудование от повреждений, вызванных попаданием металлических предметов. После мелкого дробления материал подвергается скринингу 8. Скрининг – это процесс разделения материала на фракции по размеру с использованием сит с различным размером ячеек. Это позволяет отделить мелкие частицы, содержащие в основном кремний, от более крупных фрагментов, содержащих стекло и другие материалы. Скрининг нужен для повышения эффективности следующих этапов переработки.

Далее производится химическая обработка 9. В этом процессе используются различные химические реагенты для отделения кремния от стекла, пластика и металлов. При этом требуется строгий контроль температуры, концентрации реагентов и времени реакции, чтобы обеспечить максимальную эффективность разделения и минимизировать потери материалов. Кремний, как вторичное сырье, в дальнейшем используется для производства новых солнечных панелей, что экономически и экологически выгодно далее происходит переплавка кремния для повторного использования в печи 10. Панели подвергаются измельчению с помощью молотковой дробилки 11, до фракций, размер которых составляет приблизительно 5 миллиметров, для разрушения связей ламината. После этого пыль собирается в аспирационной системе, оборудованной высокоэффективным воздушным фильтром для сажи, после используется вращающийся шнек для сепарации твердых и жидких фракций 12. Процесс травления 13 полупроводникового слоя осуществляется с использованием раствора, который состоит из серной кислоты и перекиси водорода. Далее происходит разделение стекла и более крупных фрагментов этиленвинилацетата, в классификаторе и на вибросите. Вибросито 14 служит для удаления межслойных материалов так как они легче по массе. Далее происходит промывка стекла и просушка на ленточном фильтре 15 для повторного использования, образующееся после этого технологическая жидкость и осадок подвергается

высушиванию 16, а фильтрационные жидкости, содержащие металлы, можно экстрагировать с помощью ионообменника 17.

Внедрение подобной технологий универсальной переработки отходов солнечных электростанций способствует формированию замкнутого цикла производства, что является ключевым принципом устойчивого развития. Данная линия переработки более эффективна так как позволяет перерабатывать все виды солнечных панелей, что влечет за собой снижение затрат на транспортировку, строительство производственных помещений и человеческих ресурсов, и, следовательно, себестоимости вторичных материалов для производства новых панелей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Экономика безопасности труда [Электронный ресурс]. – URL: http://www.fmx.ru/bezopasnost_zhiznedeyatelnosti/ekonomika_bezopasnosti_truda.html.

2. End-of-life management Solar Photovoltaic Panels [Электронный ресурс]. – URL: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf.

3. Trends in PV Module Recycling Technologies [Электронный ресурс]. – URL: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/End_of_Life_Management_of_Photovoltaic_Panels_Trends_in_PV Module_Recycling_Technologies_by_task_12.pdf.

CREATING A UNIVERSAL SOLAR PANEL PROCESSING LINE

Zakirov T.R.

Supervisor: Gumerova G.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Solving the problem of solar panel recycling requires a comprehensive approach that includes technological, legal and economic aspects. Timely development and implementation of effective recycling methods will help minimize environmental risks and ensure sustainable development of solar energy in the long term.

УДК 665.614

ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Кубик Н.Р.

Научный руководитель: Кулагина Л.В., доцент, к. т. н.

(Сибирский федеральный университет, г. Красноярск)

Аннотация. Водонефтяные эмульсии (ВНЭ) представляют собой перспективный объект для повышения энергетической эффективности объектов теплоэнергетики в контексте инжиниринга техносферы, поскольку их использование позволяет оптимизировать процессы транспортировки и переработки углеводородного сырья. В статье приводится обоснование энергоэффективности ВНЭ через ряд ключевых факторов, способствующих росту энергетической эффективности объектов теплоэнергетики.

Использование водонефтяных эмульсий (ВНЭ) представляет собой перспективное направление в инжиниринге техносферы, обусловленное их уникальными физико-химическими свойствами и возможностью адаптации под конкретные задачи [1]. Диспергирование воды в нефти способствует микровзрывам капель эмульсии при нагревании, что приводит к более тонкому распылению топлива и улучшению его смешивания с воздухом. В результате, достигается более полное сгорание углеводородов, уменьшается образование сажи и оксидов азота, а также снижается температура в зоне горения. Варьируя состав

эмульсий, соотношение фаз, тип эмульгатора и другие параметры, возможно целенаправленно изменять их реологические свойства, стабильность и адгезионную способность, что открывает широкие перспективы для решения экологических и технологических задач, связанных с функционированием техносферы [2].

Ключевым аспектом инжиниринга техносферы для промышленного предприятия является проведение тщательной оценки его энергетической эффективности. Данная оценка позволяет выявить основные источники потерь энергии, оптимизировать потребление ресурсов и разработать стратегии для повышения энергоэффективности технологических процессов и оборудования.

Анализ энергетической эффективности включает в себя изучение энергетического баланса предприятия, оценку удельных показателей энергопотребления, выявление потенциала для внедрения энергосберегающих технологий и разработку мероприятий по снижению негативного воздействия на окружающую среду. Оценка энергетической эффективности теплоэнергетического предприятия является важным этапом инжиниринга техносферы, поскольку позволяет определить степень рациональности использования энергетических ресурсов и выявить потенциальные возможности для повышения эффективности.

На первом этапе исследования в лабораторных условиях изучались физико-химические свойства ВНЭ с различным содержанием воды (от 10% до 40%), подвергнутых кавитационной обработке продолжительностью от 5 до 15 минут. Особое внимание уделялось измерению реологических характеристик, элементного состава и теплоты сгорания полученных топливных композиций.

На втором этапе исследований проведено имитационное моделирование рабочего процесса дизельного двигателя ЯМЗ-238 с применением водонефтяных эмульсий различного состава. Комплекс вычислительных экспериментов позволил установить влияние концентрации водной фазы (10-40%) на энергоэффективность и экологические показатели двигателя, определить оптимальные соотношения компонентов и проанализировать характеристики процессов смесеобразования и горения.

Критически важным элементом технологического процесса признана система оперативного мониторинга реологических параметров эмульсий. Непрерывный контроль вязкости и стабильности эмульсионной системы обеспечивает возможность своевременной коррекции технологических режимов, поддержания оптимальных условий кавитационной обработки и минимизации энергетических потерь. Полученные результаты легли в основу практических рекомендаций по эксплуатации двигателей на ВНЭ [3].

На заключительном этапе проводилась комплексная энергетическая оценка, включающая расчет удельного энергобаланса обработки по формуле:

$$\text{Энергобаланс} = (\text{Содержание } H_2 \cdot 1{,}2) - (\eta \cdot t \cdot 0{,}15),$$

где η – динамическая вязкость смеси, сПз; t – время кавитирования, с; коэффициенты 1,2 МДж/кг и 0,15 МДж/кг/мин получены из калориметрических измерений.

Результаты численный расчет энергетического баланса использования ВНЭ представлены в таблице ниже.

Таблица 1

Численный расчет энергетического баланса для всех вариантов обработки

% воды	Время (мин)	Вязкость (сПз)	Содержание водорода (%)	Энергия топлива (МДж/кг)	Энергозатраты (МДж/кг)	Баланс (МДж/кг)
10	5	2,12	13,19	15,83	1,59	+14,24
10	7,5	2,21	10,80	12,96	2,49	+10,47
10	10	2,36	7,60	9,12	3,54	+5,58
10	12,5	2,42	9,20	11,04	4,54	+6,50
10	15	2,56	5,50	6,60	5,76	+0,84
20	5	2,61	15,26	18,31	1,96	+16,35

20	7,5	3,10	6,51	7,81	3,49	+4,32
20	10	3,88	8,91	10,69	5,82	+4,87
20	12,5	4,13	2,61	3,13	7,74	-4,61
20	15	4,65	2,76	3,31	10,46	-7,15
30	5	3,05	10,93	13,12	2,29	+10,83
30	7,5	3,16	9,60	11,52	3,56	+7,96
30	10	3,56	9,10	10,92	5,34	+5,58
30	12,5	4,02	8,40	10,08	7,54	+2,54
30	15	4,60	5,60	6,72	10,35	-3,63
40	5	3,67	2,39	2,87	2,75	+0,12
40	7,5	3,98	1,65	1,98	4,48	-2,50
40	10	4,22	2,20	2,64	6,33	-3,69
40	12,5	4,75	1,80	2,16	8,91	-6,75
40	15	4,90	1,70	2,04	11,03	-8,99

Как видно из таблицы, наибольшая эффективность кавитационной обработки водонефтяных эмульсий наблюдалась при концентрации водной фазы 20 % и продолжительности обработки 5 минут. Экспериментальные исследования показали, что данный режим обеспечивает оптимальное соотношение энергетических и реологических характеристик топливного состава. Теплота сгорания модифицированной эмульсии составила 42,7±0.3 МДж/кг, что на 5,2% ниже аналогичного показателя для эталонного дизельного топлива (45,0±0,2 МДж/кг). Положительный энергетический баланс процесса кавитационной обработки достигал 16,35±0,45 МДж/кг, что подтверждает энергетическую целесообразность применения данной технологии [4].

Реологические исследования образцов водонефтяных эмульсий проводились на ротационном вискозиметре Rheotest V2.1 с допустимой погрешностью измерений ±1,5%. В ходе экспериментальных исследований было установлено, что динамическая вязкость модифицированного топлива, измеренная в стандартных условиях (температура 20°C, атмосферное давление 101,3 кПа), составляет 2,61±0,05 сПз. Полученное значение реологического параметра полностью соответствует техническим требованиям, предъявляемым к современным топливным системам, и свидетельствует о сохранении приемлемых транспортных характеристик модифицированного топлива.

При детальном анализе влияния технологических параметров на реологические свойства установлено, что превышение продолжительности кавитационной обработки свыше 7 минут либо увеличение массовой доли водной фазы выше 25% приводит к существенному ухудшению эксплуатационных показателей. Наблюдается прогрессирующий рост динамической вязкости до значений 4,9±0,1 сПз, сопровождающийся снижением теплоты сгорания топливной композиции на 12-18% относительно исходных показателей. Параллельно отмечается значительное уменьшение стабильности эмульсионной системы при длительном хранении, проявляющееся в расслоении фаз и седиментации.

Выявленные негативные изменения физико-химических свойств обусловлены комплексом взаимосвязанных процессов. Чрезмерная продолжительность кавитационного воздействия интенсифицирует процессы деструкции углеводородных цепей, приводя к изменению молекулярно-массового распределения компонентов топлива. Одновременно происходит коалесценция диспергированной водной фазы с образованием крупных агрегатов, что нарушает гомогенность эмульсионной системы и способствует ее последующему расслоению. Указанные структурные преобразования оказывают совокупное негативное влияние на функциональные характеристики топливной композиции, ограничивая возможности ее практического применения. Для визуализации результатов и определения поверхности оптимизации процесса с помощью [5] построена поверхность изменения характеристик ВНЭ (рис.).

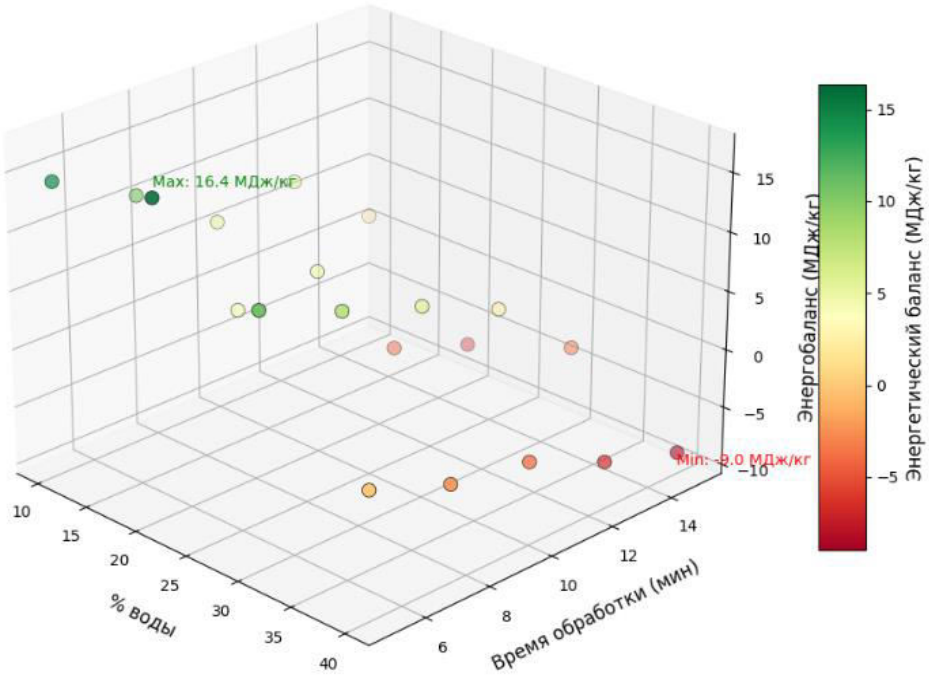


Рисунок 1. Поверхность энергетического баланса ВНЭ

Результаты данного исследования могут послужить основой для разработки и внедрения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, направленных на снижение затрат на энергию, уменьшение негативного воздействия на окружающую среду и повышение конкурентоспособности предприятия [6-7]. Полученные результаты позволили установить оптимальные режимы работы двигателя при использовании ВНЭ, обеспечивающие экологическую безопасность, повышение эффективности процессов теплообмена промышленного оборудования, снижение трения и износа оборудования.

Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию состава ВНЭ и адаптацию конструкции двигателя для достижения максимальных показателей эффективности и экологической безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кулагина Л.В.* Изучение тепломассообменных процессов в технологических печах / Л. В. Кулагина // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2014. – Т. 7, № 2. – С. 190-206. – EDN SBYPAV.

2. *Кулагина Л.В.* Научно-исследовательские проекты СФУ в области ликвидации ЧС, пожарной безопасности для территорий Енисейской Сибири / Л.В. Кулагина, Т.А. Кулагина // Безопасная Арктика-2025: Материалы деловой программы межведомственных опытно-исследовательских учений сил и средств единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации, Норильск, 31 января 2025 года. – Москва: Академия государственной противопожарной службы, 2025. – С. 23-29. – EDN ALWNTP.

3. *Кулагин В.А.* Перспективы развития кавитационных технологий: теория и практика / В.А. Кулагин, Л.В. Кулагина, К.А. Штым // Безопасность и мониторинг природных и техногенных систем: материалы и доклады, Красноярск, 16–20 октября 2023 года. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий», 2023. – С. 51-55. – DOI 10.25743/SSTS.2023.42.62.010. – EDN IFVFTP.

4. *Кулагин В.А.* Основы кавитационной биомеханики / В. А. Кулагин, Л. В. Кулагина // Енисейская теплофизика: Тезисы докладов I Всероссийской научной конференции с

международным участием, Красноярск, 28–31 марта 2023 года / Отв. за выпуск Д.В. Платонов. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2023. – С. 331-333. – EDN EWMIBU.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025666958 Российская Федерация. Программное обеспечение «Гидродинамическое моделирование кондиционирования топливных эмульсий»: заявл. 04.06.2025: опубл. 01.07.2025 / Л.В. Кулагина, Н.Р. Кубик, В.А. Кулагин; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет». – EDN PYVFDQ.

6. Синтез-анализ использования кавитационных технологий / А.Ю. Радзюк, Е.Б. Истягина, Л.В. Кулагина [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2022. – Т. 15, № 7. – С. 774-801. – DOI 10.17516/1999-494X-0435. – EDN RSKFGM.

7. *Кулагина Л.В.* Математическое моделирование кавитационных течений (краткий обзор) / Л.В. Кулагина, Т.А. Пьяных // Борисовские чтения: Материалы III Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Красноярск, 23–24 сентября 2021 года / Отв. за выпуск Е.С. Воеводин. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2021. – С. 130-137. – EDN FBMFSJ.

JUSTIFICATION OF ENERGY EFFICIENCY OF OIL-WATER EMULSIONS

Kubik N.R.

Supervisor: Kulagina L.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Siberian Federal University, Krasnoyarsk)

Abstract. Water-in-oil emulsions (WOE) are a promising object for increasing the energy efficiency of thermal power facilities in the context of technosphere engineering, since their use allows optimizing the processes of transportation and processing of hydrocarbon raw materials. The article provides a rationale for the energy efficiency of WOE through a number of key factors that contribute to the growth of energy efficiency of thermal power facilities.

УДК 631.42

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВОЙ ДОЛИ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА В ПОЧВЕ

Латыпова И.И.

Научный руководитель: Габдрахманова Г.Н., старший преподаватель, к. х. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена определению ионов железа в почве титриметрическим методом. Приводятся аргументы того, на сколько необходим данный микроэлемент, как он влияет на плодородие почвы, на нормальный рост и развитие растений. В статье подробно описывается рабочая программа пробоотбора для определения железа в почве и ход работы.

Определение ионов железа в почве является важной задачей в экологии, поскольку железо играет ключевую роль в питании растений и влияет на качество почвы. Железо является необходимым компонентом хлорофилла, который отвечает за фотосинтез – процесс, с помощью которого растения преобразуют солнечную энергию в химическую. Железо важно для развития корневой системы, что влияет на способность растений поглощать воду и питательные вещества из почвы. Достаточное содержание железа помогает растениям быть более устойчивыми к различным заболеваниям и стрессовым условиям, таким как засуха или переувлажнение. Железо участвует в различных реакция, включая синтез белков и обмен веществ. Оно необходимо для функционирования многих ферментов, которые способствуют

метаболизму углеводов и других соединений. Избыток железа в почве можем привести к нескольким негативным последствиям для растений и экосистемы в целом. Высокие концентрации железа могут мешать усвоению других важных микроэлементов, таких как цинк, медь и марганец. Это может привести к дефициту этих элементов, что негативно сказывается на здоровье растений. В некоторых случаях избыточное железо может привести к ухудшению структуры почвы, что затруднит дренаж и может поспособствовать накоплению воды, создавая условия для заболачивания. Недостаток железа в почве тоже негативно влияет на рост растений. Один из самых негативных симптомов дефицита – хлороз, при котором листья становятся желтыми, особенно между жилками, в то время как сами жилки остаются зелеными. Это происходит из-за нарушения процесса фотосинтеза. Недостаток железа может также затруднить усвоение других микроэлементов, таких как марганец и цинк, что может усугубить проблему. Для предотвращения дефицита железа важно регулярно проводить анализ почвы. Важно поддерживать оптимальный уровень железа в почве, для обеспечения здоровья растений и устойчивой экосистемы.

Источники железа в почве разнообразны и играют важную роль в обеспечении растений этим микроэлементом. Основными природными источниками являются минералы, такие как гематит, магнетит, лимонит и глинистые минералы, содержащие железо. Эти минералы присутствуют в почве в виде соединений, которые со временем разлагаются и высвобождают железо. Важным источником также являются органические вещества, разлагающиеся в почве, которые способствуют высвобождению железа благодаря образованию органоминеральных комплексов. Вода, проникающая в почву, может содержать растворённое железо, особенно в кислых условиях. В сельском хозяйстве используют искусственные удобрения, содержащие железо, такие как сульфат железа или хелатные формы, которые легко усваиваются растениями. Наиболее популярными являются сульфат железа и хелатные формы, такие как ЭДТА- или ДИКА- железо. Сульфат железа быстро растворяется и обеспечивает быстрый эффект, но может вызвать подкисление почвы. Хелатные формы более устойчивы и доступны для растений даже при высоком pH почвы. Их применяют в виде растворов или гранул. Также используют комплексные удобрения, содержащие железо и другие микроэлементы. Правильное применение улучшает цвет листьев, рост и урожайность культур, предотвращая хлороз и другие признаки дефицита железа. Эти источники обеспечивают доступность железа для растений и поддерживают их здоровье и рост.

Для определения железа в почве используют следующие методы:

1. Атомно-абсорбционный: для количественного определения общего содержания железа в растворах, полученных при разложении почв, могут быть использованы разнообразные методы. Широко применяют атомно-абсорбционную спектроскопию, фотометрические методы и комплексонометрическое титрование. Атомно-абсорбционный метод используют для определения валового содержания железа и оценки содержания отдельных групп его соединений в почвах. Железо атомно-абсорбционным методом может быть определено непосредственно в пламени воздух—ацетилен и воздух—пропан—бутан, если его концентрация близка или выше 1 мг/л. Растворы с более низкой концентрацией железа рекомендуется анализировать после концентрирования или непламенным вариантом атомно-абсорбционного метода с использованием графитовой кюветы. Определение валового содержания железа проводят пламенным вариантом метода. При этом, как правило, приходится в десятки раз разбавлять растворы, полученные при разложении почвы. Атомно-абсорбционным методом железо обычно определяют при длине волны 248,3 нм.

2. Комплексонометрический: определение общего содержания железа в почвах комплексонометрическим методом проводят, титруя ионы трехвалентного железа. Комплексонат трехвалентного железа более устойчив, чем железа двухвалентного. Поэтому перед титрованием Fe(II) окисляют азотной кислотой при нагревании.
В связи с тем, что Fe(III) легко гидролизуется, его комплексонометрическое титрование можно проводить лишь в сильно-кислой среде. Трехвалентное железо может быть оттитровано даже

при pH 1, константа устойчивости комплексоната трехвалентного железа в этом случае равна 107'1 (1gКэффуст = 25,1 — 18,0). При титровании в сильнокислой среде устраняется мешающее влияние многих сопутствующих элементов, которые в этих условиях либо вовсе не образуют комплексонатов (Ba, Mg, Ca), либо комплексонаты образуются, но они малоустойчивы (Си и др.). Относительно устойчивые комплексонаты в сильно кислой среде образуют Bi3+, V3+, но их содержание в почвах невелико и влиянием этих элементов на результаты определения железа в почвах пренебрегают. Титан при высоких содержаниях в почвах может влиять на результаты определения валового содержания железа. В связи с тем, что железо медленно реагирует с комплексном III, титруют подогретые растворы. В качестве индикатора используют сульфосалициловую кислоту. Интервал pH, в котором развивается красно-фиолетовая окраска сульфосалицилатного комплекса железа, не велик. Поэтому нужно очень строго соблюдать предписанные методикой условия проведения анализа. В противном случае окрашенное соединение может не образоваться.

3. Фотометрические: в связи с тем, что и Fe^{2+} и Fe^{3+} обладают хромофорными свойствами (электронная конфигурация атома железа — 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 3d6 4s2), для фотометрического определения железа используют различные типы химических реакций, которые приводят к образованию окрашенных соединений. Для определения общего содержания железа в почвах разработаны фотометрические методы, основанные на образовании окрашенных соединений как двух-, так и трехвалентного железа. В России наиболее широко используют фотометрический сульфосалицилатный метод определения Fe(III). Сульфосалициловая кислота в зависимости от pH раствора образует с Fe(III) три различно окрашенных комплекса. При pH 2-3 образуется красно-фиолетовый комплекс [FeSsal]+, при pH 4-8 коричневато-оранжевый комплекс [Fe(Ssal)2]- и при pH 8—10 в аммиачном растворе образуется устойчивый желтый комплекс [Fe(Ssal)3]3-. Красно-фиолетовый комплекс, образующийся в кислой среде, может быть использован для селективного определения Fe(III) в присутствии Fe(II); вариант метода малочувствительный, молярный коэффициент поглощения при длине волны 490 нм равен 2,6-103. Этот комплекс используют при комплексонометрическом определении железа в почвах, предварительно переведя Fe(II) в Fe(III).

Для отбора проб почвы используют следующие методы:

1. Точечные пробы: собирают с пробной площадки из одного или нескольких почвенных слоев. Пробы отбирают ножом или шпателем из прикопок или почвенным буром.

2. Объединенная проба: получается путем смешивания нескольких точечных проб, отобранных на одной пробной площадке.

3. Случайный забор: на территории выбирают случайные места для забора, берут отдельные образцы и перемешивают их вместе.

4. Метод ячеек: территорию делят на ячейки, в каждой из которых берут несколько точечных проб, которые затем смешивают.

5. «Метод конверта»: образцы берут в четырех углах участка и один в центре.

Целью исследования является определение содержание железа в почве на исследуемой территории и сравнение результата с нормами и стандартами.

Отбор проб осуществлялся на участке, образцы почвы должны быть выбраны на расстоянии 0 – 50 м от края дороги. Используется метод "квадрат": на каждом участке отбирались 5 точечных проб с глубины 0–20 см (верхний слой почвы). Точечные пробы объединяли в одну объединенную пробу массой около 1 кг. Пробы упаковывали в чистые полиэтиленовые пакеты с указанием даты, места и номера пробы. Пробы транспортировались в холодильнике при температуре +4 °C. Пробы доставлялись в лабораторию в течение 2 часов после отбора. Хранение проб до анализа осуществлялось в темном месте при температуре +4 °C.

При подготовке почвенной вытяжки в лабораторные стаканы вместимостью 250 мл взвесили 5 г почвы с точностью до 0,1 г. К пробе почвы в стакан добавили по 50 мл серной

кислоты с концентрацией 0,1 моль/л. Содержимое перемешивали в течение 5 мин и выдержали 30 мин, затем профильтровали через сухой фильтр в сухие стаканы.

Для титриметрического определения содержания железа использовали 10%-ный раствор сульфосалициловой кислоты и 0,05 н. раствор Трилона Б. Записали объем Трилона Б, пошедший на титрование. Рассчитали содержания ионов железа в пробе (таблица 1).

Таблица 1

Результаты измерений

Номер колбы	Характеристика образца	Объем Трилона Б (Vт), мл	Концентрация железа, мг/л
1	почва	13,3	1,3

Расчет концентрации ионов железа (мг/мл) проводят по формуле:

$$C = \frac{V_{\text{тр}} \cdot \text{Т}_{\text{тр}} \cdot M \cdot 1000}{V_{\text{в}}}$$

где Vт – объем трилона Б, пошедший на титрование, мл; Ттр – титр 0,05н раствора трилона Б в пересчете на $Fe_{общ}$; Vв – объем исследуемой воды, взятой для титрования, л; М – молярная масса металла.

Массовая доля подвижных соединений железа в почве:

$$x = \frac{\text{С} \cdot \text{V}_2 \cdot \text{V}_3 \cdot \text{К}}{\text{V}_1 \cdot \text{m}}$$

где С – концентрация железа в анализируемом растворе, мг/мл; V_1 – объем фильтрата, взятый для определения железа, мл; V_2 – объем мерной колбы равный 50 мл; V_3 – объем раствора серной кислоты израсходованный для извлечения железа равный 50 мл; m – масса навески, г; К – коэффициент для пересчета на абсолютную сухую почву равный 1 (навеска почвы предварительно высушена).

$$\chi = \frac{1{,}3 \times 50 \times 50 \times 1}{30 \times 5} = 21\%$$

Определение ионов железа в почве с использованием титриметрического метода является надежным и эффективным подходом для исследований. Этот метод позволяет количественно оценить содержание железа. Исходя из расчетов, концентрация ионов железа в почве, равная 1,3 мг/л не превышает ПДК для ионов железа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Иванищев В.В*. Доступность железа в почве и его влияние на рост и развитие растений // URL: https://cyberleninka.ru.

2. *Другов Ю.С., Родин А.А.* Пробоподготовка в экологическом анализе // С. 216 – 259.

3. Пермский государственный национальный исследовательский университет // Экологический мониторинг / Отбор проб почвы / [Электрон. ресурс] // Электрон. Дан. – Режим доступа: https://studfile.net/pgniu/.

4. ГОСТ 17.4.4.02-2017 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериального, гельминтологического анализа.

DETERMINATION OF THE MASS FRACTION OF MOBILE CONNECTED IRON IN SOIL

Latypova I.I.

Supervisor: Gabdrakhmanova G.N., Senior Lecturer, Candidate of Chemical Sciences

(Kazan National Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article is devoted to the determination of iron ions in soil using titrimetric methods. It presents arguments for the importance of this micronutrient and its impact on soil fertility

and the normal growth and development of plants. The article describes in detail the sampling program for determining iron in soil and the process.

УДК 504.3.054

ЭКОЛОГИЗАЦИЯ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОХРАНЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Морзак Г.И., Сырникова К.А.

(Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. В условиях современного развития промышленности и урбанизации проблема загрязнения атмосферы приобретает особую актуальность. Традиционные методы борьбы с загрязнением требуют дополнения инновационными концепциями, среди которых особое место занимает экологизация — системный подход, направленный на интеграцию экологических принципов в хозяйственную деятельность. В статье рассматривается экологизация как инновационный подход к охране атмосферного воздуха, анализируются её основные направления, методы реализации и перспективы внедрения.

Атмосферный воздух — важнейший компонент окружающей среды, обеспечивающий жизнедеятельность человека и экосистем. Рост объемов выбросов вредных веществ в атмосферу обусловлен развитием промышленности, транспорта и энергетики. Традиционные меры по снижению загрязнений зачастую оказываются недостаточными или временными. В связи с этим возникает необходимость поиска новых стратегий, основанных на системных и инновационных подходах, одним из которых является экологизация хозяйственной деятельности.

Одним из основных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу является промышленный сектор, в свете сложившейся ситуации особенно остро стоит вопрос о необходимости внедрения передовых и действенных мер, направленных на снижение негативного влияния на атмосферу. В эпоху глобальных экологических вызовов — таких как изменение климата и ухудшение качества воздуха — особое значение приобретает экологизация технологических процессов. Этот подход не только способствует уменьшению объема вредных выбросов, но и укрепляет устойчивость производственных систем, делая их более гармоничными с природой и способными гибко адаптироваться к постоянно меняющимся условиям окружающей среды. Важно осознавать, что только совместными усилиями и инновационными решениями мы можем обеспечить более чистое будущее для планеты и будущих поколений. [1].

Если модернизация существующих технологий не обеспечивает требуемого уровня очистки газов, применяются различные методы эффективной очистки [2]. Варианты очистки промышленных выбросов представлены на рисунке 1.

Снижение количества загрязнителей достигается благодаря внедрению инновационных производственных технологий, а уменьшение экологической опасности атмосферных выбросов — через изменение их химического состава и применение более эффективных систем очистки. Однако, несмотря на эти усилия, уровень загрязнения воздуха по большинству показателей продолжает увеличиваться с каждым годом, за исключением радиоактивных веществ. Это свидетельствует о том, что текущие меры недостаточно эффективны или требуют дополнения новыми подходами и технологиями.

Даже при активном внедрении новых технологий проблема загрязнения атмосферы остается острой и требует комплексного подхода. В этом контексте особое значение приобретает экологизация технологических процессов как ключевой шаг к решению данной проблемы. Внедрение экологически ориентированных методов производства, развитие зеленых технологий и переход к более устойчивым источникам энергии могут значительно снизить нагрузку на атмосферу. Важно также повышать осведомленность предприятий и

общества о необходимости ответственного отношения к окружающей среде, стимулировать инновации в области экологически чистых технологий и создавать условия для их широкого распространения. Только совместными усилиями можно добиться существенных изменений и обеспечить чистоту воздуха для будущих поколений.

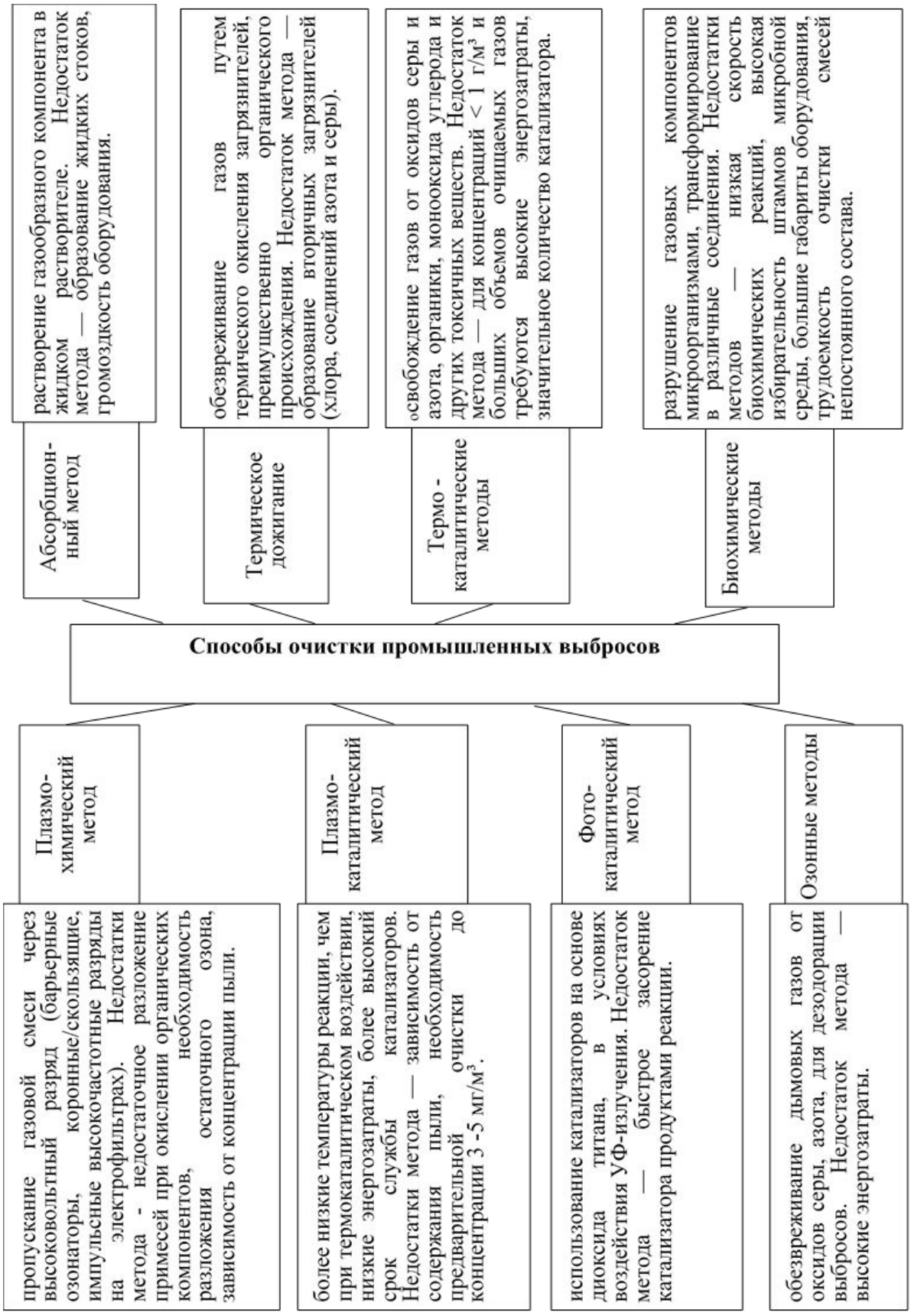


Рисунок 1. Способы очистки промышленных выбросов

Меры по экологизации промышленных технологий, направленных на снижение валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, представлены на рисунке 2.

Рисунок 2. Основные меры по экологизации промышленных технологий

Такие меры позволяют значительно снизить экологическую нагрузку промышленности и способствуют сохранению окружающей среды.

На основе анализа современных подходов к экологизации технологических процессов в промышленности можно сделать вывод, что для снижения негативного воздействия на окружающую среду необходимо активно разрабатывать и внедрять технологии, ориентированные на минимизацию отходов и их полное отсутствие. Такие технологии основываются на принципах системности, рациональности и комплексного использования ресурсов, а также требуют оптимизации производственных процессов по всем направлениям, бережного расходования сырья и ограничения экологического и социального воздействия.

Создание безотходных производств предполагает преодоление множества сложных организационных, технических, технологических, экономических и психологических барьеров. Для успешной реализации таких систем важно придерживаться ряда взаимосвязанных принципов, которые станут фундаментом для воплощения концепции экологически чистого производства.

В рамках всей деятельности по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов важно определить ключевые направления формирования мало- и безотходных производств. К ним относятся:

– комплексное использование сырья и энергетических ресурсов для максимальной эффективности;

– совершенствование существующих технологий и разработка новых принципиально иных технологических процессов и оборудования;

– внедрение замкнутых водо- и газооборотных циклов, основанных на современных методах очистки и рекуперации;

– развитие кооперационных связей между производствами, при которых отходы одних предприятий служат сырьем для других, а также создание территориально объединенных безотходных производственных комплексов.

Эти принципы формируют основу для перехода к более экологически устойчивым и ресурсосберегающим производственным моделям, способным значительно снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Основные принципы создания мало- и безотходных производств приведены на рисунке 3.

Рисунок 3. Основные принципы создания мало- и безотходных производств**.**

Современная экономика в основном строится на линейной модели: она берет природные ресурсы — такие как древесина, нефть и уголь — превращает их в товары, использует недолго и затем выбрасывает отходы в окружающую среду — на свалки, в атмосферу или водоемы. Этот цикл повторяется снова и снова, создавая зависимость от первичных ресурсов. Такой подход приводит к серьезным экологическим и социальным проблемам: разрушает природные экосистемы, способствует загрязнению окружающей среды, нерационально расходует ограниченные ресурсы и значительно увеличивает выбросы парниковых газов — примерно 70% глобальных выбросов связаны с использованием материалов и их переработкой. Добыча и потребление ресурсов являются ключевыми факторами более 90% глобальной утраты биоразнообразия и дефицита пресной воды. По оценкам экспертов, внедрение экономики замкнутого цикла в сферах производства и потребления может помочь достичь около 45% целей по сокращению выбросов CO_2, что делает этот подход важнейшим инструментом для устойчивого развития планеты. [3].

Концепция экономики замкнутого цикла предлагает нам новый взгляд на развитие – жить в гармонии с возможностями нашей планеты, одновременно обеспечивая комфорт и благополучие для каждого человека. Такой подход открывает путь к развитию экономики и социальной сферы без чрезмерной зависимости от невозобновляемых ресурсов, что особенно важно в условиях ожидаемого к 2060 году удвоения мирового потребления ресурсов и увеличения отходов на 70%. К сожалению, доля переработанных материалов за последние годы снизилась с 9,1% в 2018-м до примерно 7,2% в 2023-м, что подчеркивает необходимость перемен.

Внедрение принципов замкнутого цикла может стать ключом к кардинальному изменению ситуации: оно способно сократить добычу и использование ресурсов примерно на треть, возвращая деятельность человечества в экологически безопасные рамки. Это поможет снизить выбросы парниковых газов и ограничить глобальное потепление в пределах 2°C. Реализовать такую стратегию можно через внедрение циклических решений в четыре основные системы, что откроет новые горизонты для устойчивого будущего:

- производство и потребление продуктов питания
- строительство;
- промышленное производство товаров широкого потребления (мебель, одежда, электроника, пластиковая упаковка);
- транспортную инфраструктуру.

Переход от традиционной линейной модели к циркулярной — это не просто изменение подхода, а настоящий шаг к более ответственному и гармоничному будущему. Вместо того чтобы постоянно добывать новые ресурсы, мы сосредоточимся на повторном использовании и переработке уже существующих материалов, что является ключевым элементом для

достижения устойчивого развития нашей планеты. Такой сдвиг в мышлении поможет снизить нагрузку на природные ресурсы и создать более экологически сбалансированную экономику.

Экологизация представляет собой инновационный комплексный подход к охране атмосферного воздуха через интеграцию экологических принципов во все сферы хозяйственной деятельности. Ее реализация способствует не только снижению уровня загрязнений, но и формированию устойчивого развития общества в целом. В условиях глобальных экологических вызовов именно экологизация может стать ключевым инструментом достижения баланса между развитием экономики и сохранением окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Бесков В.С.* Общая химическая технология и основы промышленной экологии / В.С. Бесков, В.С. Сафронов. – М.: Химия, 1999. – 472 с.

2. *Сырникова К.А.* Основные направления по экологизации технологических процессов в промышленности для минимизации нагрузки на атмосферный воздух/ К.А. Сырникова; научн. рук. Морзак Г.И. // Сборник материалов студенческой научно-технической конференции «Инженерная экология» в рамках международного молодёжного форума «Креатив и инновации 2025», Минск, 23-24 апреля 2025 г. – Минск: БНТУ, 2025. – С. 351-355

3. *Огородникова С.Ю.* Рациональное природопользование. Ресурсосбережение. Почва. Энергосбережение: учебно-методическое пособие / сост. С.Ю. Огородникова, Л.М. Попцова. – Киров: ООО «Типография «Старая Вятка», 2012. – 20 с.

4. *Яровая В.* Насколько мир далёк от экономики замкнутого цикла? Проект «Земля касается каждого» / [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://earthtouches.me/expert/2025/05/16/naskolko-mir-daljok-ot-jekonomiki-zamknutogo-cikla/ – Дата доступа: 20.06.2025.

ECOLOGIZATION AS AN INNOVATIVE APPROACH TO THE PROTECTION OF ATMOSPHERIC AIR

Morzak G.I., Syrnikova K.A.

(Belarusian National Technical University, Minsk. Republic of Belarus)

Abstract. In the context of modern industrial development and urbanization, the problem of atmospheric pollution is becoming particularly relevant. Traditional methods of pollution control require the addition of innovative concepts, among which a special place is occupied by greening — a systematic approach aimed at integrating environmental principles into economic activities. The article considers ecologization as an innovative approach to the protection of atmospheric air, analyzes its main directions, methods of implementation and prospects for implementation.

УДК 658.567.1

ПЕРЕРАБОТКА ГЛИНИСТОГО ОТХОДА ОЧИСТКИ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ

Мурзаханов Я.А.

Научный руководитель: Сапронова Ж.А., доцент, д. т. н.

(БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород)

Аннотация. Наиболее часто используемые адсорбирующие материалы для очистки сточных вод изготавливаются из сельскохозяйственных, промышленных и бытовых отходов. Глинистый отход очистки смазочных масел, термообработанный при 400 °С является потенциально эффективным материалом для очистки водных сред.

Среди различных диффузных источников загрязнения городские ливневые стоки признаны одним из ключевых факторов, способствующих ухудшению качества воды в прилегающих водоемах. Ливневая канализация городских территорий содержит широкий спектр загрязняющих веществ, способных оказывать влияние на качество поверхностных, просачивающихся и грунтовых вод [1].

Загрязнение, представленное ливневыми стоками, характеризуется высокой сложностью очистки из-за разнообразия химического состава и множества загрязнителей. Контроль и управление загрязнением ливневых вод затруднены ввиду множественности источников и вариативности концентраций загрязняющих веществ, формирующихся в масштабах всего водосбора различными динамическими процессами. К основным загрязнителям относятся взвешенные и органические вещества, пестициды, и тяжелые металлы, поступающие из сельскохозяйственных, городских, строительных и транспортных зон. Так, нефтепродукты поступают с остатками моторного топлива и смазочных масел с дорог, тяжелые металлы (свинец, ртуть, кадмий, цинк и другие), попадают от стационарных и передвижных источников загрязнения, эмиссии которых их содержат, пестициды поступают со смывами с территорий сельскохозяйственного назначения, взвешенные частицы, это песок, пыль и другие мелкие твердые частицы, смываемые с поверхностей. Концентрация и состав варьируют в зависимости от конкретных условий участка, включая тип почв, землепользование и методы управления в пределах водосборной территории [2].

Методы очистки сточных вод можно разделить на механические, химические, физико-химические, биологические и комбинированные. Применение того или иного метода, в каждом случае определяется концентрацией и составом сточных вод. Методы механической очистки основы позволяют выделять из ливневых сточных вод до 75 % нерастворимых примесей. Химический метод заключается в том, что в сточные воды добавляются химические реагенты, в результате химической реакции происходит укрупнение загрязняющих коллоидных и взвешенных частиц, вследствие их слияния под действием силы молекулярного притяжения. Укрупненные агрегаты становятся более тяжелыми и легче отделяются от жидкой фазы осаждением или фильтрованием. При физико-химическом методе очистки сточных вод удаляются тонко дисперсные и растворенные неорганические примеси и разрушаются органические и плохо окисляемые вещества. Чаще всего из физико-химических методов применяется коагуляция, окисление, сорбция и т.д.

Процедуры очистки сточных вод включают несколько этапов: предварительную очистку, направленную на удаление крупного мусора, песка и твердых частиц; первичную очистку, предусматривающую удаление взвешенных веществ, жиров и масел с использованием седиментации, и флотации; вторичную очистку, основанную на биологических методах снижения содержания органических веществ, азота и фосфора посредством биохимических реакций и преобразования в биомассу. Доочистка применяется для достижения повышенных стандартов качества воды и включает мембранную фильтрацию, адсорбцию, химическое окисление и другие методы [3].

Адсорбция эффективна для широкого спектра загрязняющих веществ, включая органические загрязняющие вещества, тяжелые металлы и красители, что делает использование данного процесса пригодным для очистки городских ливневых сточных вод. Более того, эффективность удаления при использовании этого метода может достигать 99,9% в зависимости от характеристик адсорбента и характера реакции. Процесс адсорбции определяется комплексом электростатических взаимодействий и неэлектростатических сил, включая силы Ван-дер-Ваальса и водородные связи. Физико-химические свойства адсорбента и адсорбата в значительной мере зависят от этих взаимодействий, при этом ключевыми характеристиками адсорбентов являются пористость и морфология пор. Процесс адсорбции прост и обычно включает добавление адсорбентов в сточные воды с последующим отделением адсорбента с сорбированными загрязняющими веществами. Многие адсорбционные процессы работают при температуре и давлении окружающей среды, что приводит к более низкому потреблению энергии по сравнению с другими методами очистки. Многие природные

материалы могут быть использованы в качестве адсорбентов, что может снизить эксплуатационные расходы. Некоторые отходы также могут быть повторно использованы в качестве адсорбентов. Адсорбция часто требует меньше химических реагентов, чем методы химической очистки, что приводит к снижению эксплуатационных расходов и уменьшению проблем, связанных с утилизацией отработанных растворов. [4].

В процессе эксплуатации смазочных масел происходит накопление продуктов окисления, загрязнений и других примесей, что значительно снижает их качество. Масла, содержащие загрязняющие компоненты, утрачивают эксплуатационные характеристики и подлежат замене. Отработанные масла собираются и подвергаются регенерации с целью сохранения ценного сырья, что имеет значительную экономическую эффективность. В бывшем Советском Союзе ежегодно собирается порядка 1,7 млн тонн отработанных масел, из которых перерабатывается около 15%. Недостаточный уровень переработки обусловлен рядом технических и экономических сложностей, а также ограничениями инфраструктуры. Переработка отработанных моторных масел совместно с нефтью на нефтеперерабатывающих заводах невозможна из-за содержащихся в маслах присадок, негативно влияющих на работу оборудования.

Для извлечения таких примесей применяются сорбенты - как природные материалы (отбеливающие глины, бокситы, природные цеолиты), так и синтетические (силикагель, оксид алюминия, алюмосиликатные соединения, синтетические цеолиты) [5].

Одним из таких материалов является отбельная глина (таблица 1, рисунок 1).

Таблица 1

Минеральный состав отбельной глины

№ п/п	Минеральный состав	Количество, %
1	Клиноптилолит	20-30
2	Монтмориллонит	20-30
3	Кварц	4,6-11,3
4	Опал-кристобалит	20-30
5	Кальцит	10,6-20,1

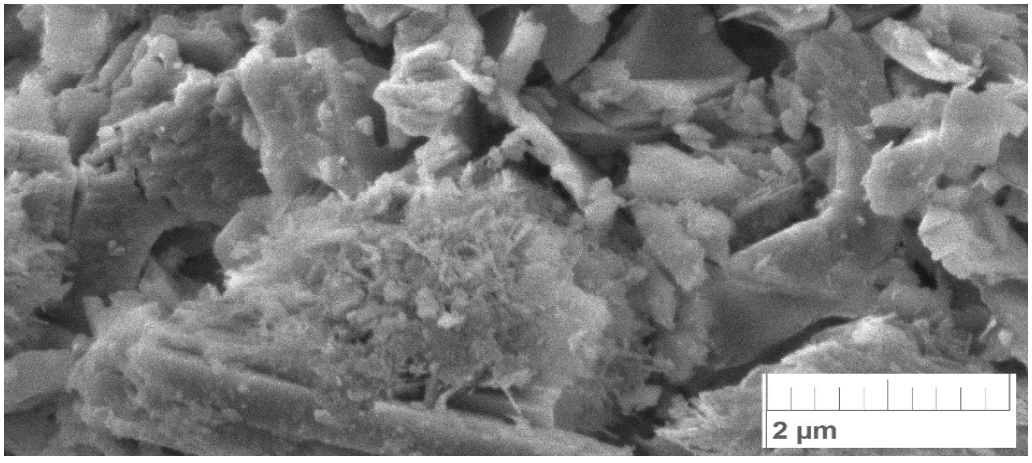


Рисунок 1. Поверхностная структура отбельной глины

Отработанная глина загрязнена нефтепродуктами и сорбированными веществами и требует утилизации или переработки.

Один из способов обращения с такими отходами – термическая деструкция органических соединений [6].

Известно [7, 8], что при определенных температурах возможно получить углеродный слой на поверхности минеральной частицы, таким образом формируя органоминеральный сорбционный материал. Углеродный слой на поверхности частицы вносит свой вклад в сорбционные взаимодействия, обычно приводя к увеличению эффективности очистки.

В ходе исследований нами была проведена температурная обработка глинистого отхода. Полученные материалы добавлялись в колбы с растворами красителя метиленовый голубой для оценки их потенциальных сорбционных свойств.

На рисунке 2 представлены результаты экспериментов. Исходная концентрация красителя составила 30 мг/дм^3, количество добавки сорбционного материала 1 г/100 мл раствора.

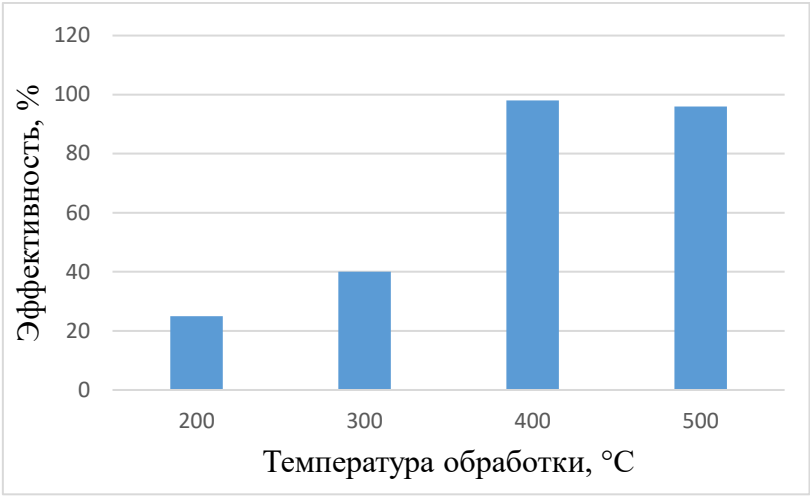


Рисунок 2. Обесцвечивание растворов красителя метиленовый голубой сорбционными материалами

Как видно из полученных результатов, глинистый отход, обработанный при температуре 400 °С, демонстрирует хорошие показатели эффективности очистки. Обожженный при более высокой температуре материал также эффективно обесцвечивает раствор, но для его получения требуются дополнительные энергозатраты. При этом оптимальная температура обработки обеспечивает баланс между эффективностью очистки и экономической целесообразностью. Дополнительные исследования позволят более точно определить влияние температуры термообработки на структуру материала и его адсорбционные свойства.

Таким образом, глинистый отход очистки смазочных масел, термообработанный при 400 °С является потенциально эффективным материалом для очистки водных сред.

Работа выполнена в рамках реализации Федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Vijayaraghavan K., Teo T.T., Balasubramanian R., Joshi U.M.* Application of Sargassum biomass to remove heavy metal ions from synthetic multi-metal solutions and urban storm water runoff // Journal of Hazardous Materials. 2009. No. 164. P. 1019-1023.

2. *Memon S., Paule M.C., Yoo S. [et al.].* Trend of storm water runoff pollutants temporal variability from different land use sites in Korea // Desalination and Water Treatment. 2017. No. 63. P. 433-441.

3. *Kato S., Kansha Y.* Comprehensive review of industrial wastewater treatment techniques // Environmental Science and Pollution Research. 2024. 31. P. 51064-51097.

4. *Akhtar M., Sarfraz M., Ahmad M. [et al.].* Use of low-cost adsorbent for waste water treatment: Recent progress, new trend and future perspectives // Desalination and Water Treatment. 2025. No. 321(100914). 24 p.

5. Технологии регенерации отработанных масел [Электронный ресурс]. 2025. URL: https://www.tqm.by/index.php/tekhpodderzhka/kontrol-parametrov-smazochnykh-materialov/blog/183-tekhnologii-regeneratsii-otrabotannykh-masel (дата обращения: 10.06.2025).

6. *Цыбульская О.Н., Ксеник Т.В., Юдаков А.А., Перфильев А.В.* Неорганические сорбенты для очистки воды от нефтепродуктов на основе минерального и техногенного сырья: получение, применение, регенерация // Вестник ДВО РАН. 2024. № 6. С. 104-126.

7. *Шайхиев И.Г., Свергузова С.В., Гафаров Р.Р., Сапронова Ж.А.* Рациональное использование отхода маслоэкстракционного производства - отработанной отбельной глины. Экология и промышленность России. 2024. № 28(7). С. 14-19.

8. *Сапронова Ж.А., Свергузова С.В., Гафаров Р.Р., Лупандина Н.С.* Пути декарбонизации производства с использованием отхода отбельной глины // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2024. 2. С. 51-60.

PROCESSING OF CLAY WASTE FROM LUBRICATING OIL TREATMENT

Murzakhanov Y.A.

Supervisors: Zh.A. Sapronova, Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod)

Abstract. The most commonly used adsorbent materials for wastewater treatment are produced from agricultural, industrial, and household waste. Clay waste from lubricating oil treatment, thermally treated at 400 °C, is a potentially effective material for the purification of aqueous environments.

УДК 628.3

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Нургалеева А.Р.

Научные руководители: Мальцева С. А. доцент, к. х. н.

Григорьева И.Г., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Показано, что сточные воды химического предприятия, объекта I категории, оказывающего негативное воздействие на окружающую среду, сопровождается значительным загрязнением сточных вод: взвешенные вещества, фенол, моноэтиленгликоль, азот аммонийный в концентрационных интервалах, превышающих ПДК в 1,4 – 21 раз.

Разработана технологическая схема линии биохимической очистки сточных вод производства фенолформальдегидной смолы, которая состоит из первичного отстойника, аэротенка, вторичного отстойника, фильтра и регенератора.

Согласно расчету, эффективность предлагаемой технологии биохимической очистки сточных вод составляет $E = 0{,}33$, следовательно предлагаемая схема очистки считается экономически выгодной, срок окупаемости Т составляет 3 года.

Сточные воды производства ФФС относятся к объектам I категории, так как на химическом предприятии, оказывающем негативное воздействие на ОС, осуществляется деятельность по производству химических веществ и химических продуктов, следующих основных органических веществ: полимеры, химические синтетические волокна и нити [1].
Сточные воды химической промышленности имеют сложный и крайне разнообразный химический состав, который варьируется в зависимости от производства и вида изготавливаемой продукции. Из анализа научно-технической литературы следует, что сточные воды процесс производства фенолформальдегидных смол сопровождается значительным загрязнением сточных вод: взвешенные вещества, фенол, моноэтиленгликоль, азот аммонийный в концентрационных интервалах, превышающих ПДК в 1,4 – 21 раз. Их компонентный состав представлен в таблице 6.

Таблица 1

Состав сточных вод на входе в очистные сооружения

Компонентный состав	Концентрация	ПДК
pH, ед	9,5-11	6,6-8,5
ХПК, мгO_2/дм^3	78,5	6
Взвешенные вещества, мг/дм^3	7,8	0,75
БПК, мг/ дм^3	175	15
Фенол, мг/дм^3	0,021	0,001
Моноэтиленгликоль, мг/дм^3	0,37	0,25
Азот аммонийный, мг/дм^3	2,24	1,5

По результатам анализа НДТ [2-4], передового отечественного и зарубежного опыта [5-6] для предприятий I и других категорий предложен биологический метод очистки сточных вод с эффективностью очистки 90-95%.

Биологическую очистку сточных вод применяют при отношении БПК к ХПК, равном более 0,35, pH = 6 – 8, и концентрация грубодисперсных примесей до 150 – 2000 мг/л.

На рис. 1 представлена линия биохимической очистки сточных вод производства фенолформальдегидной смолы (ФФС). Сточные воды производства ФФС помещаются в емкость для сбора стоков, затем происходит через первичный отстойник, где происходит механическая очистка от крупный частиц и взвешенных веществ. Далее сточные воды направляются в аэротенк, где происходит биологическая очистка. В аэротенке микроорганизмы (активный ил) окисляют органические вещества, содержащиеся в воде, используя кислород, который подается системой аэрации. Фенольные соединения разлагаются до менее токсичных соединений. После чего вода попадает на вторичный отстойник, где активный ил отделяется от очищенной воды посредством гравитационного осаждения. Циркуляционный активный ил возвращается в производство, избыточные активный ил идет на фильтр, для дальнейшего обезвоживания и утилизации. Очищенная вода собирается в резервуаре, откуда она либо сбрасывается в водоёмы, либо направляется на повторное использование.

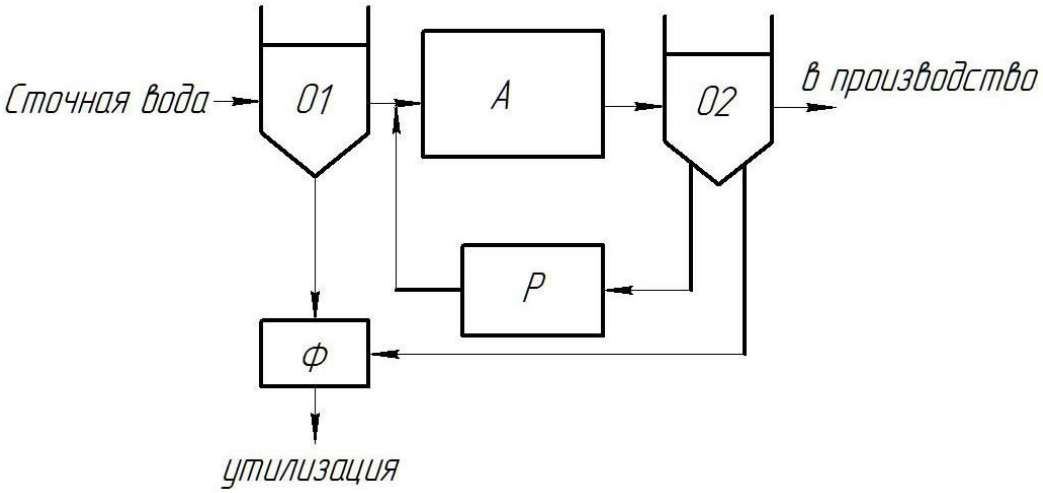


Рисунок 1. Линия биохимической очистки сточных вод производства фенолформальдегидной смолы
О1 – первичный отстойник, А – аэротенк, О2 – вторичный отстойник,
Ф – фильтр, Р – регенератор ила

На крупных промышленных предприятиях в качестве основного этапа биохимической очистки СВ целесообразно применять аэротенки-смесители коридорного типа с пневматической системой аэрации.

Аэротенк представляет собой резервуар, предназначенный для перемешивания производственных СВ с АИ, такой аппарат очистки может состоять из одного или нескольких коридоров прямоугольного сечения. На дно аэротенка в самом начале производственного цикла, то есть до эксплуатации, устанавливается система аэраторов, необходимая для насыщения воды кислородом и способствующая активному перемешиванию, что улучшает метаболизм микроорганизмов увеличивает скорость очистки СВ. Аэротенк-смеситель – тип аэротенков, характеризующийся тем, что подвод и отвод сточных вод и возвратного активного ила осуществляется равномерно вдоль длинной стороны коридора, в результате чего происходит почти мгновенное перемешивание сточных вод и активного ила с массой жидкости, находящейся в сооружении [7-8].

В качестве основного аппарата очистки СВ производства ФФС на химическом предприятии предложено использование двухкоридорного аэротенка-смесителя с дополнительными системами аэраторов, который представлен на рисунке 2.

Загрязненные СВ направляются в главную камеру, где происходит одновременное ее перемешивание с АИ и насыщение кислородом. Процесс полной очистки стоков включает в себя несколько этапов: сначала СВ поступают в отстойник, где происходит осаждение взвешенных веществ, затем очищенная вода направляется в камеру с микроорганизмами, там, благодаря свойствам АИ и наличию больших объемов кислорода, вода очищается биологическим путем и покидает аэротенк.

Использование регенератора АИ позволяет ускорить процесс биохимической очистки, позволяя завершить ее за 6-12 часов в зависимости от производительности станции очистки, типа аэраторов, качественного и количественного состава сточных вод и т.п.

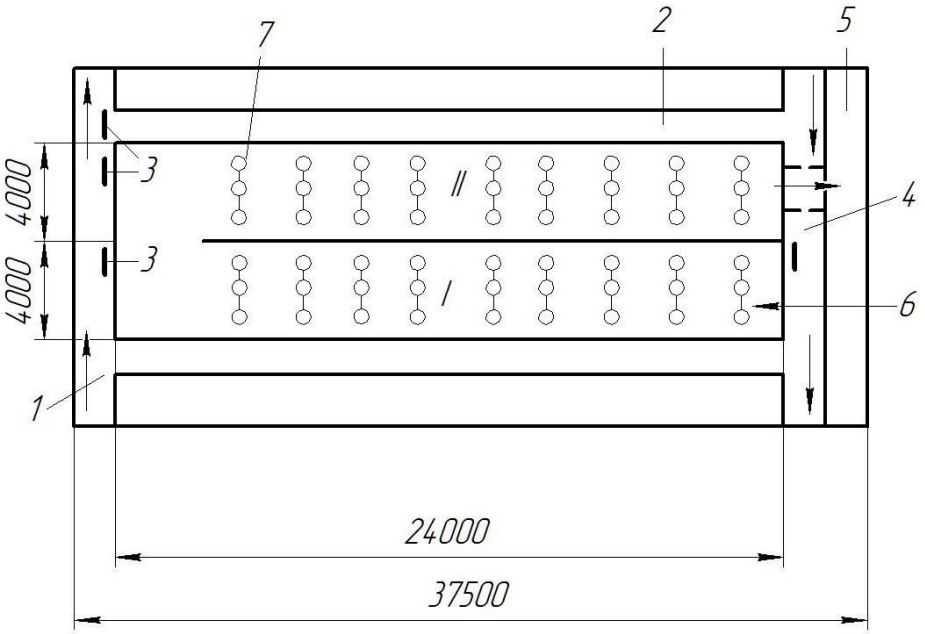


Рисунок 2 – Принципиальная схема двухкоридорного аэротенка-смесителя
1- верхний распределительный канал, 2 – средний канал, 3 – щитовой затвор (шибер),
4– нижний распределительный канал, 5 – канал сбора очищенной воды,
6 – циркуляционный активный ил 7 – система аэраторов

Разработана технологическая схема очистки сточных вод, которая отвечает расходу сточных вод $q_w = 1190$ м^3/ч; суточному расход $Q = 45000$ м^3/сут; БПК поступающей СВ $L_{en} = 175$мг/л; БПК очищенной СВ $L_{ex} = 20$мг/л; концентрация взвешенных веществ в

поступающей СВ $C_{cdp} = 161$мг/л. Из состоит из первичного отстойника, аэротенка, вторичного отстойника и регенератора.

Из расчетов конструктивных параметров двухкоридорного аэротенка-смесителя следует, что период аэрации составил $t_{atm} = 2{,}75$ч, объем аэротенка $W_{atm} = 2291$ м^3, длина секции аэротенка $l_{at} = 24$ м, число секций аэротенка $n_{at} = 4$, число коридоров $n_{cor} = 2$, рабочая глубина $H_{at} = 4{,}5$ м, ширина коридора $b_{cor} = 4$,доза АИ $a_i = 2{,}85$г/л, прирост активного ила $P_i = 181{,}3$ мг/л.

Согласно расчету, эффективность предлагаемой технологии биохимической очистки сточных вод составляет $E = 0{,}33$, следовательно предлагаемая схема очистки считается экономически выгодной, срок окупаемости T составляет 3 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Водный кодекс РФ: Федеральный закон № 74-ФЗ от 03.06.2006 // Собрание законодательства РФ. – 2006. – 23. – Ст. 2381. П. 19 ст. 1.

2. ИТС НДТ 9-2015 Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях.

3. ИТС НДТ 47-2023 Системы обработки (обращения) со сточными водами и отходящими газами в химической промышленности.

4. Постановлением Правительства РФ от 31.12.2020 N 2398 (ред. от 18.12.2024) "Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий".

5. *Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э* // Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы. Москва: Мир. 2004. 480 с.

6. *Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Исаева А.М., Колдов А.С., Кусакина С.А.* Теоретические основы расчета сооружений биологической очистки сточных вод // Инженерные системы и сооружения. 2017. Т. 2. № 1. С. - 78.

7. *Сидорова Л.П., Снигирев А.Н.* Очистка сточных и промышленных вод. Часть II. Биохимическая очистка. Активный ил. Оборудование //– Екатеринбург. 2017. 127с.

8. *Гудков А.Г.* Биологическая очистка городских сточных вод: Учебное пособие. Вологда: ВоГТУ. 2002. 127 с.

DEVELOPMENT OF A BIOLOGICAL WASTE WATER TREATMENT SYSTEM FOR A CHEMICAL ENTERPRISE

Nurgaleeva A.R.

Supervisors: Maltseva S.A. Associate Professor, Candidate of Chemical Sciences,
Grigorieva I.G., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. It is shown that wastewater from a chemical enterprise, a category I facility that has a negative impact on the environment, is accompanied by significant contamination of wastewater: suspended solids, phenol, monoethylene glycol, ammonium nitrogen in concentration ranges exceeding the maximum permissible concentration by 1.4 – 21 times.

A technological scheme of a biochemical wastewater treatment line for the production of phenol-formaldehyde resin has been developed, which consists of a primary sump, an air tank, a secondary sump, a filter and a regenerator.

According to the calculation, the efficiency of the proposed biochemical wastewater treatment technology is E=0.33, which means that the proposed treatment scheme is economically viable, with a payback period of 3 years.

УДК 628.161.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЕСТРУКЦИИ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИММОБИЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ФЕРМЕНТОВ

Платонова М.С.

Научный руководитель: Гоголь Э.В., доцент, к. х. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье приводится исследование по удалению фенола из сточных вод с применением иммобилизованных ферментов методом одностадийной инкапсуляции на полупроницаемой альгинатной мембране. Проведён подбор оптимальных концентраций, условий для формирования альгинатных капсул с иммобилизованным ферментом – пероксидазой хрена.

Пероксидаза хрена (HRP) выступает эффективным инструментом для удаления фенольных соединений из водных растворов, катализируя их полимеризацию. Образующиеся в результате полимеры становятся нерастворимыми и могут быть легко удалены путем фильтрации или седиментации. Данный фермент проявляет активность по отношению к широкому кругу соединений, среди которых фенолы, бисфенолы, анилины, бензидины и другие гетероароматические соединения. Среди потенциальных трудностей, связанных с методом окисления в присутствии фермента в качестве катализатора, выделяют следующие аспекты: высокая стоимость самого фермента; необходимость безопасной утилизации твердых продуктов реакции; возможность образования потенциально опасных вторичных продуктов реакции. Кроме того, существует проблема инактивации фермента в процессе полимеризации, обусловленная связыванием активных центров фермента феноксирадикалами, возникающими в ходе каталитического цикла.

С целью продления срока службы фермента, применяют гидрофильные вещества, такие как полиэтиленгликоль и желатин. Эти добавки способны поглощать полимеры, предотвращая потерю активности фермента. Хотя такая мера может улучшить показатели долговечности, в некоторых исследованиях отмечается частичное отсутствие взаимодействия с полиэтиленгликолем, что создает дополнительные трудности при очистке соединения [1].

В публикации [2] представлены результаты исследования, посвященного обезвреживанию фенольных соединений с использованием пероксидазы хрена и пероксида водорода. Авторы провели обработку различными фенолами, включая 2,4-дихлорфенол, 2-хлорфенол, 3-хлорфенол, 4-хлорфенол, 2,6-дихлорфенол, 2-метилфенол, 3-метилфенол и 4-метилфенол, наблюдая за изменениями в течение суток. Согласно результатам, первоначально не отмечалось быстрого снижения токсичности 2,4-дихлорфенола, однако спустя сутки произошло резкое падение токсичности обработанного раствора примерно на 80%, в то время как контрольный образец остался токсичным. Одновременно изменился и цвет раствора, приобретший розовый оттенок. Через три часа после начала реакции произошла значительная детоксикация 3-хлорфенола, 3-метилфенола и 4-метилфенола, тогда как 4-хлорфенол и 2-хлорфенол оставались токсичными. Спустя 24 часа отмечено заметное снижение токсичности последних двух соединений. Результаты свидетельствовали лишь о незначительном содержании фенола, исключающем наличие токсичных побочных продуктов реакции. Многочисленные эксперименты [3-6] подтвердили высокую эффективность пероксидазы хрена в нейтрализации фенольных загрязнений. Ее способность преобразовывать опасные химические соединения в безвредные твердые фракции открывает широкие перспективы для практического применения в индустриальном секторе.

Для удаления фенола и фенольных соединений из водных проб предлагается использовать фермент пероксидазу хрена, предварительно иммобилизованную на специальном носителе. Такая фиксация способствует усилению каталитической активности фермента и снижению вероятности возможной потери активности фермента в процессе

разрушения фенольных соединений, связанной с воздействием феноксирадикалов и излишним количеством перекиси водорода.

В настоящем исследовании изучается возможность применения ферментов, закрепленных на альгинатных мембранах. Альгинаты — это водорастворимые природные биополимеры класса полисахаридов, известные своей биологической совместимостью, отсутствием токсичности и способности к разложению микроорганизмами. По своему строению альгинаты состоят из молекул маннуроновой и гулуроновой кислот, расположенных последовательно в виде однородных или разнородных структур. Микроскопические сферы формируются путем сшивки ионной природы, позволяющей сохранять целостность структуры при сохранении функциональности иммобилизованного фермента. Наиболее предпочтительным агентом для сшивки являются ионы кальция, так как они отличаются низким уровнем токсичности по сравнению с тяжелыми металлами (рисунок 1) [7].

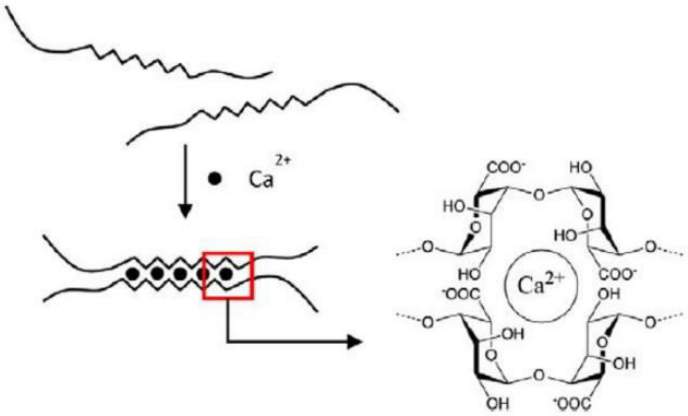


Рисунок 1. Альгинатный гель с катионами Ca^{2+}

Формирование альгинатных сфер происходит тремя основными способами: распылением, экструзией и эмульгированием. Каждый из них имеет свои преимущества и ограничения. Наибольшее распространение получил метод экструзии, позволяющий получать однородные микрокапсулы необходимого размера и формы. Оптимальным решением стало использование метода экструзии, что обеспечивает оптимальный баланс прочности, проницаемости и удобства дальнейшей обработки. После процедуры образования микросфер проводится их тщательная промывка для удаления примесей и стабилизации гелевых образований.

В рамках поставленных задач проводилась оценка эффективности иммобилизованных ферментов на альгинатных капсулах. Формирование альгинатных мембран с фиксированными ферментами выполнялось путем техники экструзии. В результате были получены альгинатные мембраны с зафиксированной пероксидазой хрена. Материалы и реагенты приведены в предоставленных таблице 1.

Таблица 1

Материалы и реактивы для изготовления альгинатных мембран с пероксидазой хрена

Реактив	Характеристика	Производитель
Фенол	Основного вещества ≥ 99%	-
4-ААП	Основного вещества ≥ 98%	ООО «Диаэм»
Пероксидаза хрена	Активность 180 U/mg	ООО «Диаэм»
Перекись водорода	10%-ный раствор	Тульская фарма
Альгинат натрия	Е401	ООО «Стоинг»
Хлорид кальция	10%-ный раствор	ОАО «Дальхимфарм»
Комплекс В-1100 (ЭКОВЬЮ)	Определение оптической плотности	ООО «ПромЭкология»
Иономер рХ 150 МИ	Определение pH	ГК «ПРОПРИБОРЫ»

На рисунке приведена схема формирования альгинатных капсул с иммобилизованной пероксидазой хрена (рисунок 2).

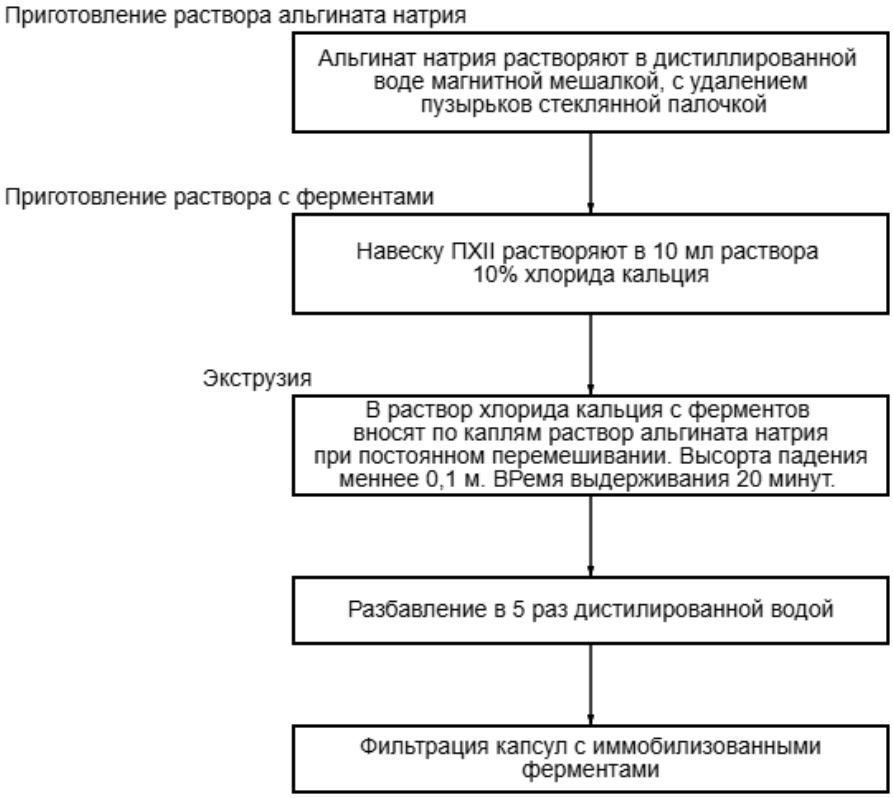


Рисунок 2. Иммобилизация ферментов в альгинатные капсулы

Полученные альгинатные сферы визуально отображены на рисунке 3.

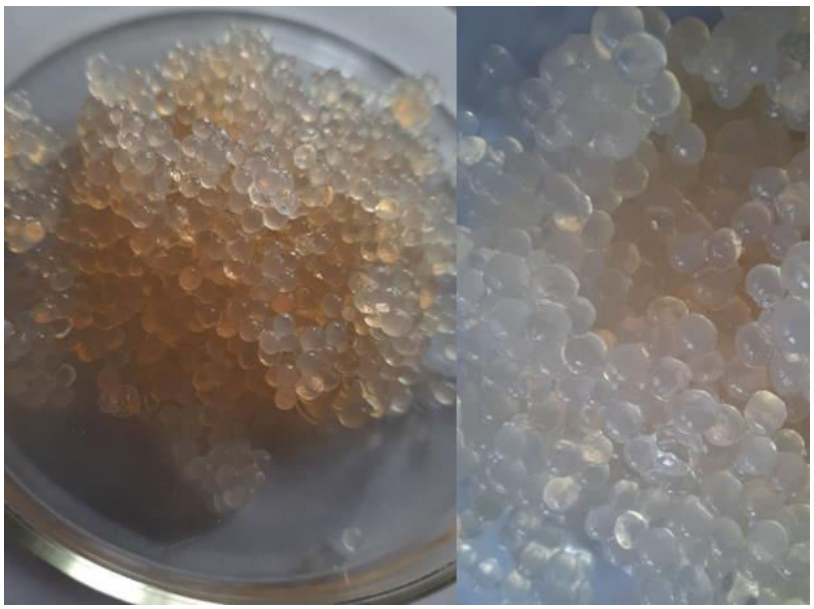


Рисунок 3. Альгинатные сферы с иммобилизованной пероксидазой хрена

Далее были проведены этапы оценки результатов эксперимента, начиная с построения калибровочного графика, отражающего изменение оптической плотности в зависимости от концентрации пероксидазы хрена, затем выполнена оценка активности ферментативных комплексов, зарегистрированных на оборудовании комплекса В-1100. Дополнительно

проведена диагностика сохранности активности фермента в составе мембран, выявлен коэффициент утечки фермента из составных частей мембраны и проведен дополнительный этап оценки остаточной активности после стадии вымывания.

Исследования, направленные на изучение возможности применения пероксидазы хрена для удаления фенолов, основывались на анализе влияния концентрации альгината натрия и хлорида кальция на процесс инкапсуляции фермента, а также зависимостей от величины pH, количества фермента и продолжительности контакта.

Установлено, что вариация концентрации альгината и хлорида кальция оказывает значительное влияние на качество капсул-биокатализаторов, используемых для эффективного устранения фенолов из водных растворов. Были определены три ключевых показателя эффективности инкапсуляции: показатель утечки фермента, степень инкапсуляции и способность удерживать активный компонент.

Экспериментальные наблюдения показали, что повышение концентрации хлорида кальция стабильно уменьшало утечку фермента, независимо от начальной концентрации альгината. Важно отметить, что увеличение концентрации альгината натрия с 0,5% до 1% заметно сокращало утечку фермента: если при исходной концентрации утечка составляла порядка 50%, то при увеличении доли альгината до 1% этот показатель снижался до 40%.

Вместе с тем, показатели удержания фермента проявляли слабую зависимость от концентрации хлорида кальция, но демонстрировали значительную корреляцию с увеличением концентрации альгината. Высокие концентрации альгината ухудшали удерживающие свойства, предположительно из-за ограничений, связанных с диффузией фермента сквозь мембрану капсулы. Лучшие условия инкапсуляции, обеспечивавшие минимальный уровень утечки и максимальный результат, достигались при использовании хлорида кальция гексагидрата в концентрации 5,0% и альгината натрия в концентрации 1,0%, при концентрации пероксидазы хрена 0,05 М. При данных условиях инкапсуляция составила 94,6±1%, утечка 4,2±1%, удержание 69,7±5%. Кроме того, установлена оптимальная величина pH для функционирования свободного фермента (7,0) и инкапсулированного (8,0).

Таким образом, предложенная технология деструкции фенольных соединений на основе принципа радикального окисления фенолов иммобилизованной в альгинатных капсулах пероксидазы хрена позволяет элиминировать фенольные соединения из производственных потоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Klibanov A.M., Tu T.-M. and Scott K.* Peroxidase-catalyzed removal of phenols from coal-conversion waste waters. Science. (1983), P. 259-261.

2. *Monika Wagner, James A. Nicell,* Detoxification of phenolic solutions with horseradish peroxidase and hydrogen peroxide// Water Research 36 (2002) P. 4041–4052.

3. *Bovaird J.H., Ngo T.T. and Lenhoff H.M.,* Optimizing theo-phenylenediamine assay for horseradish peroxidase: effects of phosphate and pH, substrate and enzyme concentrations, and stopping reagents. 1982, Clin. Chem. 28, P. 2423-2426.

4. *J.A. Nicell, J.K. Bewtra, N. Biswas, E. Taylor*, Reactor development for peroxidase catalyzed polymerization and precipitation of phenols from wastewater// Wat. Res. Vol. 27, No. 11 pp. 1629-1639, 1993.

5. *Klibanov A.M, Nakamoto S. and Machida N.* Phenol removal from aqueous solutions by peroxidase-catalyzed reaction using additives. Wat. Res. 26 (1992), P. 49-54.

6. *Alberti B.N. and Klibanov A.M*. (1982) Peroxidase for removal of hazardous aromatic from industrial wastewaters. In Detoxification of Hazardous Wastes (Edited by Exemer J.H.), P. 349-356.

7. *Стадольникова П.Ю*., Разработка и исследование свойств нового катализатора на основе альгинатных микросфер глюкооксидазы// Диссертация, Тверь, 2023. С.135.

STUDY OF THE POSSIBILITY OF DESTRUCTION OF PHENOLIC COMPOUNDS BY IMMOBILIZED ENZYME SYSTEMPAPER TITLE

Platonova M.S.

Supervisor: Gogol E.V., Associate Professor, Candidate of Chemical Sciences,

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article presents a study on the removal of phenol from wastewater using immobilized enzymes by a single-stage encapsulation method on a semipermeable alginate membrane. The selection of optimal concentrations and conditions for the formation of alginate capsules with an immobilized enzyme - horseradish peroxidase - was carried out.

УДК 661.715.2

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МЕМБРАННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

Портнова Е.П.

Научный руководитель: Желовицкая А.В., к. х. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннатация. В данной работе рассматривается нефтеперерабатывающее предприятие процесс каталитического крекинга, как источник загрязняющих веществ, разрабатывается технологическая схема мембранного способа переработки попутного нефтяного газа. На основе передового и отечественного опыта в области экологической безопасности выбрана мембранная переработка попутного нефтяного газа, так как метод обеспечивает высокую эффективность и позволяет получать чистый метан на выходе, для дальнейшего использования.

Нефтегазовая отрасль является одной из важных сфер мировой экономики, снабжая энергоресурсами не только население, но и функционирование различных промышленных отраслей. Центральным элементом этой отрасли является переработка нефти, так как именно на данном этапе необработанная нефть, добытая из недр, преобразовывается в широкий спектр продуктов. Нефтепереработка построена на основе сложных технологических процессах, направленных на разделение нефти на компоненты, их очистку и дальнейшее преобразование для получения конечных продуктов, таких как бензин, дизельное топливо, мазут, керосин, смазочные масла и нефтехимическое сырье и другие продукты, используемые не только для транспортной части, но и для электроэнергетики, производственной деятельности и сельского хозяйства [1].

Крекинг нефти представляет собой один из ключевых этапов глубокой переработки углеводородного сырья, заключающийся в инициировании термохимических или катализируемых реакций разрушения крупнотоннажных углеводородных молекул, входящих в состав нефти. Цель данного процесса – трансформация высокомолекулярных соединений в более летучие и ценные низкомолекулярные фракции, включая образование попутного нефтяного газа. Благодаря высокой эффективности крекинга, существенно увеличивается выход светлых нефтепродуктов, что делает его базовым элементом современной нефтепереработки [2].

Расщепление вакуумного газойля в условиях высокой температуры и под действием цеолитсодержащих катализаторов приводит к формированию целевого спектра продуктов – легких фракций бензина, дизельного топлива и сжиженного углеводородного газа. Одновременно образуется значительное количество газообразных соединений – метана, этана, пропана, бутанов и олефинов, которые классифицируются как попутный нефтяной газ. Их выделение сопровождает каждую фазу каталитического крекинга – от диффузии сырья в микропоры катализатора до химических реакций и десорбции продуктов с его поверхности.

Формирование попутного газа является не просто побочным эффектом, а системной частью механизма каталитического расщепления, напрямую обусловленной молекулярной природой процесса. Его количественный и качественный состав определяется целым рядом факторов: типом катализатора, составом исходного сырья, параметрами режима – температурой, давлением, временем контакта, степенью регенерации и др. Рациональная утилизация и переработка попутного нефтяного газа – один из ключевых технологических вызовов, напрямую влияющий как на экологические показатели, так и на экономическую эффективность работы нефтеперерабатывающего комплекса [3].

Попутный нефтяной газ (ПНГ) представляет собой сложную многокомпонентную смесь газообразных углеводородов, которая первоначально находится в растворённом состоянии в нефти.

Из-за отсутствия необходимой инфраструктуры для сбора, транспортировки и переработки газа, значительное количество этого природного ресурса оказывается утерянным. Проблема использования попутного газа, остаётся актуальной во многих государствах. Это ценное углеводородное сырьё в настоящее время просто сжигается на факелах рядом с месторождениями, либо рядом с нефтяным производством. При этом на долю ПНГ приходится примерно 25 – 30% от общего объёма газа, добываемого в мире.

Факельное сжигание попутного нефтяного газа (ПНГ) представляет собой один из наиболее значимых источников загрязнения атмосферы в районах нефтедобычи и переработки углеводородного сырья. На территории Российской Федерации эта практика достигла масштабов, позволяющих говорить о «лидирующей» позиции страны на глобальном уровне по объемам факельного сжигания. Особенно высокие показатели зафиксированы в Ханты-Мансийском автономном округе и в регионах Восточной Сибири, где сосредоточено около 70% от общего объёма таких выбросов в стране [4].

С точки зрения климатических последствий, факельное сжигание ПНГ сопровождается выбросами значительных количеств углекислого газа и сажи, что в совокупности усиливает парниковый эффект. Ежегодные выбросы CO_2 вследствие этой практики оцениваются более чем в 100 миллионов тонн, при условии полного сгорания газа. Однако в действительности степень сгорания далека от идеальной, поскольку технологическая эффективность факельных установок в России остаётся низкой. В связи с этим в атмосферу дополнительно попадает метан – газ, обладающий в десятки раз большей парниковой активностью по сравнению с углекислым газом. Помимо этого, объём эмиссии сажи ежегодно составляет порядка 0,5 миллиона тонн [5].

Экологический ущерб от факельного сжигания проявляется также в виде локального термического воздействия. Температурное излучение факела приводит к нагреванию почвенного покрова в пределах 10 – 25 метров от источника, в то время как воздействие на растительный покров фиксируется на расстоянии до 150 метров. Атмосферный состав вблизи факелов насыщается не только продуктами сгорания, такими как оксиды азота, углерода и сернистый ангидрид, но и остаточными несгоревшими углеводородами. Согласно мониторинговым данным, концентрации оксида азота и диоксида серы достигают пиковых значений в радиусе 1 – 3 км от источника, сероводород – в пределах 5 – 10 км, а соединения углерода и аммиака фиксируются в атмосферных пробах на удалении до 15 км.

Эти соединения оказывают системное токсическое воздействие на здоровье населения, проживающего вблизи нефтепромыслов. В частности, установлена корреляция между уровнем загрязнения и ростом заболеваемости респираторной онкологией, нарушениями функций печени, желудочно-кишечного тракта, нервной и зрительной систем [6].

Мембранная технология выделяется среди традиционных методов переработки газа (адсорбция, абсорбция, криогенная сепарация) благодаря своей высокой эффективности, компактности и гибкости. Данная технология потребляет меньше энергии, чем криогенные методы и компрессионная конденсация. Не требует экстремально низких температур или высокого давления. Мембранные установки занимают меньше пространства, чем абсорбционные или адсорбционные колонны. Легко адаптируется к различным объемам газа.

Минимизирует выбросы вредных веществ, так как не использует химические реагенты (в отличие от абсорбции). Способствует сокращению сжигания ПНГ на факелах, обеспечивая эффективную переработку. Экологически чистая переработка газа, включающая извлечение метана, концентрирование углекислого газа для утилизации и удаление вредных примесей, таких как сероводород.

Сущность мембранной переработки попутного нефтяного газа заключается в разделении смеси газов на два потока: ретантат – обогащенный трудно проникающими веществами и пермеат, который содержит в себе легко проникающие компоненты.

При контакте газовой смеси с селективной мембраной происходит дифференцированное проникновение компонентов с разной скоростью, что обусловлено избирательной проницаемостью мембранного материала. В результате такого мембранного разделения формируются два выходных потока: пермеат (прошедший через мембрану обогащенный компонент) и ретентат (непроницаемый остаток), которые отводятся через специально предусмотренные каналы [7].

На основании существующей проблемы процесса переработки ПНГ и анализа научно-технической литературы отечественных и зарубежных авторов была разработана технологическая схема мембранной переработки попутного нефтяного газа (ПНГ) (рис. 1), которая предусматривает последовательность операций, обеспечивающих комплексную подготовку углеводородного сырья к разделению.

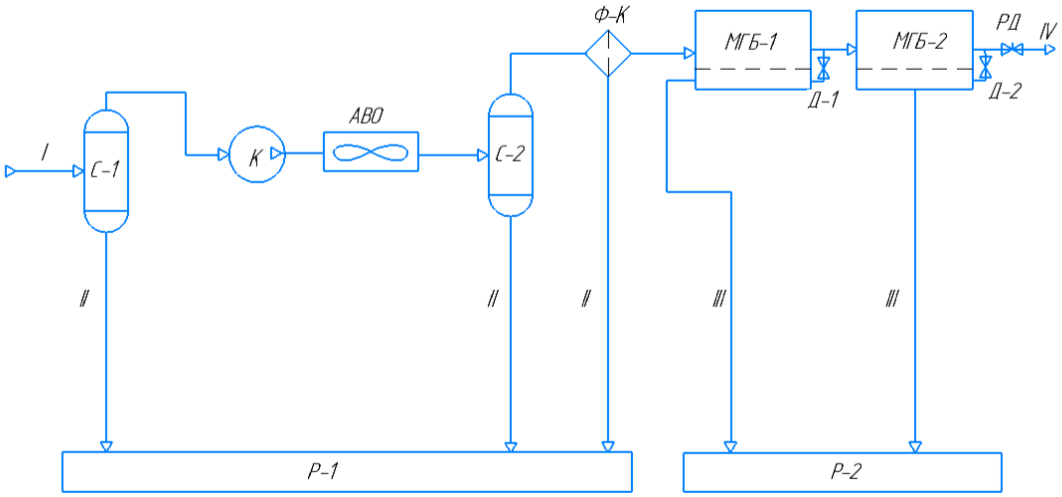


Рис. 1. Технологическая схема мембранного способа переработки попутного нефтяного газа
АВО – аппарат воздушного охлаждения; Д – дроссель; К – компрессор;
С – сепаратор сырьевого газа; ФК – фильтр-коалесцер; МГБ – мембранный газоразделительный блок; РД – регулятор давления; Р – резервуар;
I – загрязненный газ; II – водяные пары; III – пермеат; IV– ретентат

Процесс переработки начинается с удаления капельной влаги и механических примесей: исходный газ поступает во входной сепаратор (С-1), где осаждаются жидкие включения (II поток). Далее поток направляется в компрессорный агрегат (К), где осуществляется сжатие до заданного давления. Для стабилизации температурного режима сжатый газ охлаждается в аппарате воздушного охлаждения (АВО), после чего проходит финальную стадию предварительной очистки – в концевом сепараторе (С-2) и фильтре-коалесцере (Ф-К), обеспечивающих удаление оставшейся влаги и аэрозольных загрязнений. На выходе формируется стабилизированный поток, готовый к высокоселективной мембранной сепарации.

Подготовленный газовый поток по теплоизолированной, обогреваемой магистрали подаётся на вход первого мембранного газоразделительного блока (МГБ-1), включающего набор модулей с половолоконными полимерными мембранами. Газ перемещается по межволоконному пространству – зоне высокого давления (ПВД), в которой осуществляется

фракционирование за счёт различий в проницаемости компонентов. Легкопроникающие и растворимые соединения – водяной пар, сероводород, меркаптаны, CO_2, этан и тяжелые углеводороды – селективно диффундируют через стенки волокон в полость низкого давления (ПНД), тогда как метан и другие малопроницаемые молекулы сохраняются в ПВД. При необходимости, часть ретентата может быть дросселирована и возвращена в ПНД для продувки, что создаёт дополнительный градиент давления и повышает эффективность отделения целевых фракций.

Очищенный ретентат поступает во второй мембранный блок (МГБ-2), где реализуется аналогичный принцип фазового разделения. Пермеат второго каскада (III поток), обогащённый удалёнными примесями, аккумулируется в резервуаре (Р-2) с последующим направлением на утилизацию, повторную переработку или использование в качестве топлива. Основной продукт – метано-этановый газ высокой степени очистки – проходит через регулирующий блок (РД), который контролирует давление и расход на выходе в магистраль. За счёт каскадной архитектуры, минимальных энергетических затрат и способности адаптироваться к вариативности входного сырья, данная мембранная схема обеспечивает эффективную переработку ПНГ в промышленных условиях.

В данной технологической схеме переработки ПНГ загрязняющие вещества проходят последовательную обработку на каждом этапе, где происходит их разделение, концентрирование или удаление.

В сепараторе сырьевого газа - 1 происходит предварительное отделение механических примесей и капельной жидкости, где частично улавливаются аэрозольные формы серы диоксида и начинается конденсация высокомолекулярных углеводородов $C_6 – C_{10}$.

Затем в компрессоре при повышении давления происходит дополнительная конденсация метана и предельных углеводородов $C_1 – C_5$, а также частичное растворение оксидов азота в сконденсированной фазе.

В аппарате воздушного охлаждения наблюдается основная конденсация метана и легких углеводородов $C_1 – C_5$, выпадение соединений серы при охлаждении и частичное осаждение оксидов азота в виде кислот.

Сепаратор сырьевого газа - 2 обеспечивает окончательное разделение фаз, где углеводороды $C_1 – C_{10}$ переходят в жидкую фазу, а неконденсируемые компоненты (преимущественно метан) остаются в газовой фазе.

Фильтр-коалесцер задерживает остаточные аэрозоли с адсорбированными оксидами азота и серы, а также окончательно отделяет мелкодисперсные капли углеводородов.

В мембранном газовом блоке - 1 происходит селективное разделение компонентов: метан и легкие углеводороды C_1-C_5 преимущественно проходят через мембрану (пермеат), в то время как оксиды азота и серы, а также высокомолекулярные углеводороды $C_6 – C_{10}$ концентрируются в ретентате.

Мембранный газовый блок 2 обеспечивает дополнительную очистку, где окончательно формируется товарный метан (ретентат) требуемой чистоты, а все остальные компоненты (оксиды азота и серы, углеводороды) выводятся с пермеатом.

В регуляторе давления происходит стабилизация потока очищенного метана перед его дальнейшим использованием.

Таким образом, метан в основном остается в газовой фазе и выводится как товарный продукт (ретентат), оксиды азота и серы концентрируются в пермеате мембранных блоков и направляются на дальнейшую переработку или утилизацию, легкие углеводороды $C_1 – C_5$ с малой концентрацией частично остаются с метаном, а частично улавливаются в конденсате, а высокомолекулярные углеводороды $C_6 – C_{10}$ практически полностью удаляются в виде конденсата на ранних стадиях процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ахметов С.А*. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа С-Пб, Недра, 2015г.- 869 с.

2. В*ойцеховский Б.В., Корма А*. Каталитический крекинг. Катализаторы, химия, кинетика. Пер. с англ./ Под ред. Н.С. Печуро. - М.: Химия, 2017. - 154 с.

3. *Глаголева О.Ф*. «Технология переработки нефти Часть 1 Первичная переработка нефти» - 2017. - 335 с.

4. *Токарева О*. Воздействие факельного сжигания попутного газа на природную среду / Ольга Токарева. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2017. - 112 с.

5. *Кручихин С.В. Киндеркнехт Т.В.* Рациональное использование попутного газа. Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Ноябрьск, 2019. - 143 с.

6. *Шаталлов А.Н., Сахабутдинова В.Г., Фадеев М.А., Ахметзянов М.А*. Утилизация и рациональное использование попутного нефтяного газа / [Ин-т нефтехимпереработки], - Уфа: ИНХП РБ, 2015, - 233 с.

7. *Мулдер М*. Введение в мембранные технологии: учебное пособие/ М. Мулдер; под ред. Ю.П. Ямпольского и В.П. Дубяги - М.: Мир, 2019.- 513 с.

DEVELOPMENT OF A MEMBRANE PROCESSING SYSTEM FOR ASSOCIATED PETROLEUM GAS

Portnova E.P.

Supervisor: Zhelovitskaya A.V., Candidate of Chemical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In this paper, an oil refinery considers the process of catalytic cracking as a source of pollutants, and a technological scheme for a membrane method for processing associated petroleum gas is being developed. Based on advanced and domestic experience in the field of environmental safety, membrane processing of associated petroleum gas was chosen, as the method provides high efficiency and allows obtaining pure methane at the outlet for further use.

УДК 628.3

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Розинов Н.С.

Научные руководители: Мальцева С.А. доцент, к. х. н.,
Мингазетдинов И.Х. доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Разработана технологическая схема очистки сточных вод гальванического производства, которая включает электрокоагулятор со стружечным анодом и имеет ряд преимуществ: отсутствие засоления стоков, возврат воды в производство, допустимые нормы по содержанию тяжелых металлов достигается уже через 10–20 мин.

Показано, что применение стружечного анода в электрокоагуляторе способствует увеличению активной поверхности электродов, повышению эффективности процесса и снижению энергозатрат.

Гальваническое производство относится к первой категории, так как осуществляет обработку металлов и материалов с использованием электролитических или химических процессов в технологических ваннах суммарным объемом 30 куб.м/сут и более. Данная деятельность соответствует критериям, установленным для объектов I категории негативного воздействия на окружающую среду.

Сточные воды гальванического производства характеризуются сложным химическим составом, включающим тяжелые металлы (цинк, никель, хром, медь, кадмий, свинец), кислоты (серная, соляная, азотная), щелочи (гидроксид натрия, калия), цианиды, соли

металлов (сульфаты, хлориды), поверхностно-активные вещества, органические загрязнители (масла, жиры) и взвешенные частицы. Они отличаются высокой токсичностью, повышенной минерализацией, значительными колебаниями pH (от сильнокислых до сильнощелочных значений) и могут содержать устойчивые комплексные соединения, что требует применения многоступенчатых методов очистки, таких как нейтрализация, осаждение, окисление, ионообменные и электрохимические процессы. Согласно анализу научно-технической литературы, в гальваническом производстве образуются сточные воды с концентрацией ионов тяжелых металлов в количествах, превышающих ПДК в 10–15 раз, что является основанием для разработки технологической схемы очистки сточных вод.

Широко используемой является реагентная очистка, при которой тяжелые металлы (Cr^{3+}, Ni^{2+},Cu^{2+}, Zn^{2+}, Cd^{2+}, Fe^{3+} и др.) посредством щелочного реагента переводятся в практически нерастворимые гидроксиды этих металлов и выделяются из водной среды отстаиванием и фильтрованием. В качестве щелочных реагентов, вводимых в очищаемый сток, используются сода (кальцинированная или каустическая) или гашеная известь $Ca(OH)_2$ (известковое молоко) [1–3]. Присутствие различных лигандов, таких как пирофосфаты, тартраты, цитраты, ЭДТА, аммоний, приводят к прочному связыванию ионов тяжелых металлов в координационной сфере, низкой эффективности реагентного метода, предполагая доочистку.

Разработана технологическая схема очистки сточных вод гальванического производства, где ключевым элементом является электрокоагулятор. Железная стружка перед подачей в электрокоагулятор подготавливается и проходит такие процессы, как обезжиривание, промывку в горячей воде.

Первой стадией комплексной очистки (рис.1) является поступление сточной воды в усреднитель, где выравниваются их качественные и количественные показатели - концентрация загрязнений, pH и температура, что обеспечивает стабильность последующих стадий обработки. Далее вода попадает в отстойник, где происходит механическое осаждение крупных взвешенных частиц. Основной этап очистки происходит в электрокоагуляторе, где под действием электрического тока происходит растворение металлической стружки. Образующиеся ионы металлов Fe^{3+} выполняют роль коагулянтов, связывая растворенные тяжелые металлы в нерастворимые соединения. Затем смесь поступает в фильтр, где происходит разделение суспензии на очищенную воду и шлам.

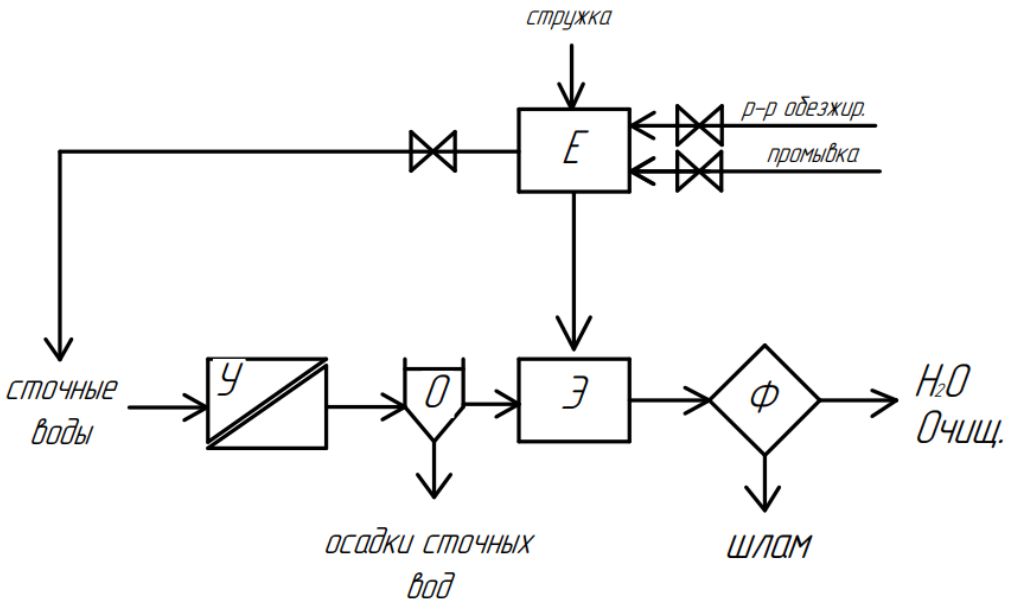


Рисунок 1. Технологическая схема очистки сточных вод гальванического производства
Е – емкость накопительная, У – усреднитель, О - отстойник,
Э – электрокоагулятор, Ф - фильтр

Разработанная технологическая схема очистки сточных вод имеет ряд преимуществ: отсутствие засоления стоков, возврат воды в производство, pH=8.5-9, допустимые нормы ионов тяжелых металлов достигаются уже через 10–20 мин с эффективностью очистки 99.33%.

Электрокоагулятор со стружечным анодом представлен на рисунке 2.

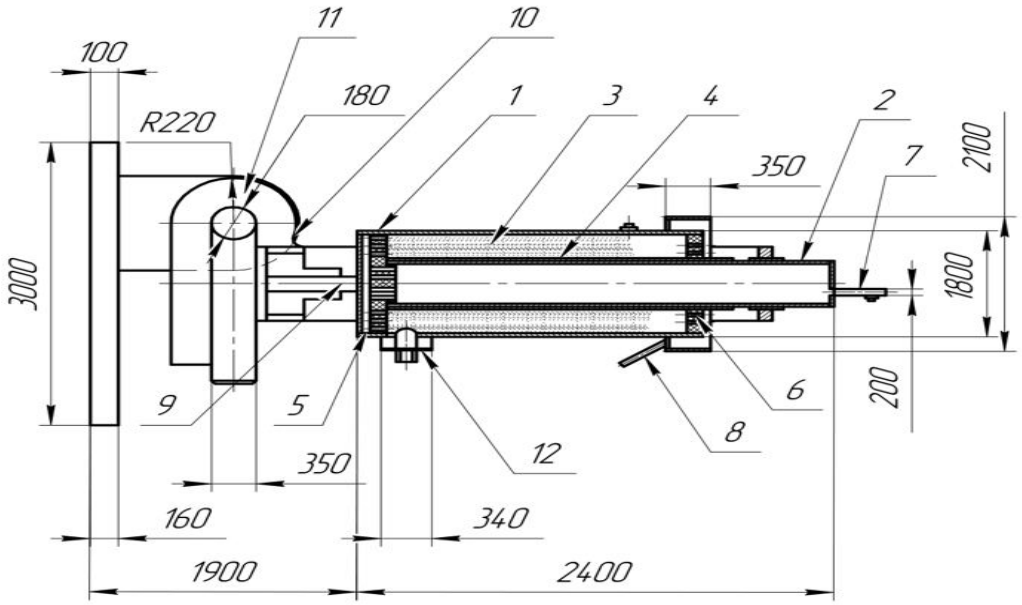


Рисунок 2. Электрокоагулятор со стружечным анодом
1 – корпус-анод; 2 – трубчатый катод; 3 – металлическая стружка; 4 – диэлектрическая перегородка; 5 – перфорированное днище из диэлектрического материала; 6 – перфорированная крышка из диэлектрического материала; 7 – штуцер для подачи сточной воды; 8 – штуцер для отведения воды на последующее осветление; 9 – вал для соединения с редуктором и электродвигателем; 10 – редуктор; 11 – электродвигатель; 12 – люк для загрузки и удаления стружки

Предложено использование в качестве основного осаждающего реагента нанокомпозиции феррофферригидрозоля (ФФГ), полученной анодным растворением железной стружки. ФФГ — это нечетко определённая композиция и структура, сформировавшаяся в процессах гидролиза ионов железа и полимеризации в водном растворе электролита. Такие системы имеют переизбыток энергии, поэтому отличаются особенной реактивностью и адсорбирующими свойствами [4–5]. Лиганды не препятствуют удалению ионов металлов из раствора, а наоборот, в ионизированной форме встраиваются в структуру нанокомпозиции феррофферригидрозоля, образуя гетероядерные, гетеровалентные, полиядерные структуры, и тем самым способствуя переходу тяжелых металлов из раствора в ФФГ [6].

Феррофферригидрозоль производится в процессе электролиза. Отходы штамповки железа или железная стружка помещаются в корпус – анод (рис 2, позиция 1) и растворяются под действием электрического тока. На 1 л сточных вод масса стружки размером частиц 2-3 мм и пористостью засыпки 0.4 составляет 0.95г. Для интенсификации процесса, стабилизации образовавшихся коллоидных наночастиц и повышение электропроводности сточных вод в раствор вводятся специальные добавки.

Когда в межстружечном пространстве произойдет накопление гидроксидов металлов с адсорбционными на них примесями, проявляется пассивирующий эффект, сила тока уменьшается и снижается эффект очистки (концентрация превысит ПДК для сброса в водоем). С этого момента один раз в смену электрокоагулятор в отключенном состоянии переводится в режим вращения цилиндрического анода вокруг неподвижного катода. При этом частицы стружки перемещаются по замкнутой траектории, выполняя роль абразива и очищая поверхность цилиндрического анода и перемещение стружки обеспечивает интенсивное

удаление растворенных в воде газов и гидроксидов металлов из реакционной зоны. Продолжительность вращения анода зависимости от величины снижения силы тока и составляет 5-10 мин. Расход электроэнергии около 0.15 кВт·ч/м^3. Остаточные концентрации ионов тяжелых металлов в очищенных сточных водах значительно ниже ПДК. Таким образом, применение стружечного анода в электрокоагуляторе способствует увеличению активной поверхности электродов, повышению эффективности процесса и снижению энергозатрат.

Показано, что полученный высушенный осадок в виде структурно прочного феррита (шпинели) относится к шламам 4 класса токсичности и имеет размер 0,2-0,8 мкм [4–5]. Осадок малотоксичен и может быть захоронен на полигонах или использован в производстве как сырье. Основываясь на химическом составе шлама, предложено использование осадка в качестве полезного сырья в технологиях изготовления железосодержащих пигментов, модифицированных хромом, цинком, медью и другими металлами, а также в качестве добавки к керамическим материалам [3].

Согласно результатам расчета экономической эффективности, срок окупаемости системы обезвреживания сточных вод составит 11 месяцев, исключительно быстро благодаря высокой стоимости сверхнормативных платежей, на каждый вложенный рубль система приносит 1,06 рубля экономии, что выгодно даже с учетом эксплуатационных расходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ИТС НДТ 36-2024 Обработка поверхностей металлов и пластмасс с использованием электролитических или химических процессов.

2. *Никулин А.В., Мороз Ю.С., Третьякова Н.А.* Очистка сточных вод гальванических производств реагентным методом // Современные проблемы науки и образования. 2020. С. 65-72.

3. *Смирнов А.Н., Кузнецова И.В.* Современное гальваническое производство и его экологизация // Экология и промышленность России. - 2023. - № 5. - С. 34-41.

4. *Будкина Л., Шкундина С.* Ферроферригидрозоль из наночастиц и его применение для очистки сточных вод гальванопроизводств // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. 2011. № 2. С. 59-64.

5. *Петров А.С., Сидоров В.Г.* Ферроферригидрозоль из наночастиц и его применение для очистки сточных вод гальванопроизводств // Промышленная электроника. 2011. № 2. С. 59-64.

6. *Кулаков А.А., Мальцева С.А.* / К вопросу о механизме осаждения ионов меди (II) в процессе гальванокоагуляционной очистки медьсодержащих сточных вод // Вестник КГТУ.2016. Т.19. №21. С.17–21.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR NEUTRALIZING WASTEWATER FROM GALVANIC PRODUCTION

Rozinov N.S.

Supervisor: Maltseva S.A. Associate Professor, Candidate of Chemical Sciences
Mingazetdinov I. Kh, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. A process flow chart for cleaning wastewater from galvanic production has been developed, which includes an electrocoagulator with a chip anode and has a number of advantages: no salinization of wastewater, return of water to production, and permissible standards for the content of heavy metals are achieved in 10–20 minutes.

It has been shown that the use of a chip anode in an electrocoagulator helps to increase the active surface of the electrodes, improve the efficiency of the process, and reduce energy costs.

УДК 628.33

МОДЕРНИЗАЦИЯ АДСОРБЦИОННОГО МЕТОДА ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПОЛИМЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА ОТ ИОНОВ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Сагадиева А.Р.

Научный руководитель: Тунакова Ю.А., профессор, д. х. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Аннотация. В работе проведен анализ степени воздействия сточных вод полимерного производства на водные объекты, на основании которого разработана система очистки на основе адсорбера с модифицированным цеолитом. Предложенное решение обеспечивает максимальную эффективность адсорбции тяжелых металлов применительно к условиям крупнотоннажного производства.

Результаты анализа отраслевого распределения сбросов сточных вод свидетельствуют, что химическая промышленность занимает второе место по степени воздействия на поверхностные воды – 19,53 млн м^3 (9,8% от общего объёма). Главным фактором, влияющим на водные объекты РТ, остаётся эксплуатация очистных сооружений, техническое состояние которых является неудовлетворительным [1]

Помимо присутствия в сточных водах предприятий по производству синтетических каучуков - одного из крупнотоннажных предприятий нефтехимической отрасли - органических соединений и продуктов нефтехимического синтеза, обнаружены также ионы тяжёлых металлов в концентрациях, превышающих предельно-допустимые концентрации (ПДК) вследствие их использования в каталитических системах процесса полимеризации, в качестве сырьевых примесей и промывки оборудования после процессов синтеза [2].

Для анализа природоохранных технологий для предприятия по производству полимерной продукции необходимым является обращение к ИТС 8-2022 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях», ИТС 32-2022 «Производство полимеров, в том числе биоразлагаемых». Согласно НДТ 17, одним из наиболее распространённых методов очистки ионных форм тяжёлых металлов принята адсорбция [2,3].

Максимальная эффективность процесса адсорбции достигается во многом благодаря выбору адсорбента. Основу научных исследований адсорбции в настоящий момент занимает изучение различных сорбентов преимущественно натурального происхождения с применением их модификации.

Исследования авторов [4] доказывают, что кислотная обработка натурального цеолита повышает гидрофобность материала. Способность природных цеолитов с помощью кислотной обработки приобретать специфические адсорбционные свойства облегчает адаптацию этих частиц для более широкого применения. По результатам исследований, отображённым на рисунке 1, видно, что образец, обработанный серной кислотой, обеспечил наилучшее удаление (57,27%), что почти в три раза выше, чем необработанный цеолит (19,06%). Цеолит, обработанный азотной кислотой, и цеолит, обработанный соляной кислотой, демонстрируют незначительное улучшение адсорбционной способности по сравнению с чистым цеолитом (19,46% и 22,48% соответственно).

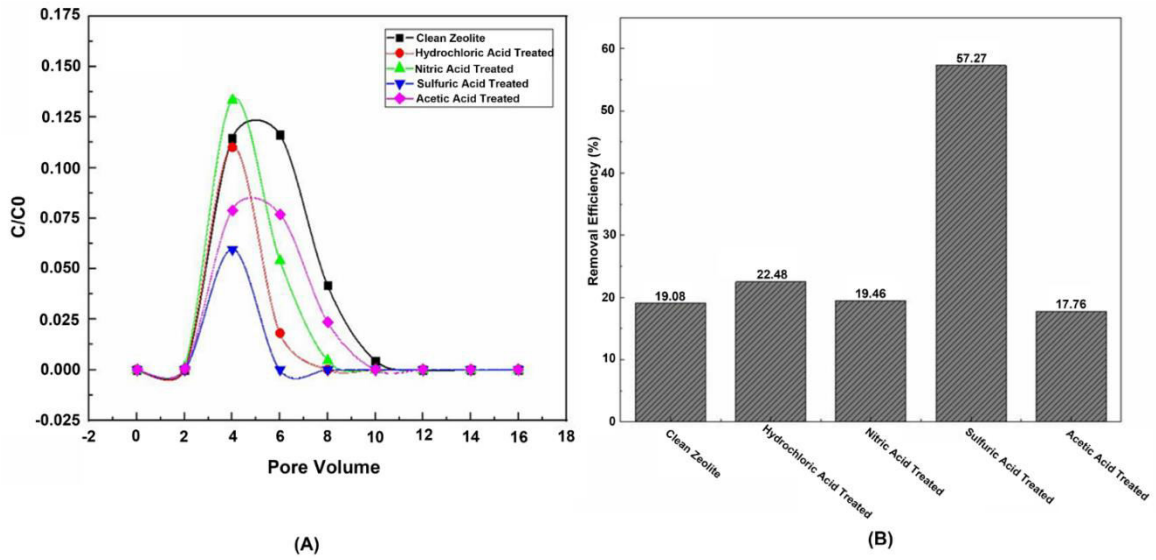


Рисунок 1 – Результаты кислотной обработки цеолита
А – кривая сорбции колонном режиме эксперимента, Б – эффективность удаления

Исследования [5] также показывают, как модификация может улучшить адсорбционные свойства и поверхность микрокристаллов природных цеолитов. Среди тяжелых металлов максимальная адсорбционная способность была по Pb (II) для всех типов цеолитных адсорбентов. Значения составили 27,70 мг/г для цеолита, модифицированного хлоридом, 113 мг/г для фемодифицированного цеолита, 488,5 мг/г для цеолита, модифицированного натрием, 653 мг/г для цеолита, модифицированного поверхностно-активным веществом, 806 мг/г для синтезированных цеолитов и 909,09 мг/г для наноцеолита. Модифицированный железом цеолит способен адсорбировать 94,8 мг Zn (II)/г, что является самым высоким показателем среди тяжелых металлов, за исключением Pb. Модифицированные поверхностно-активными веществами цеолиты обладают высокой адсорбционной способностью по отношению к Cu (II), Zn (II), Ni (II) и Cd (II).

Цеолиты природного происхождения, в сравнении с синтетическими, считаются наиболее доступными. Российская Федерация принята одной из крупнейших в мире по объёму сырьевой базы цеолитов [6]

Республика Татарстан обладает сырьевой базой за счёт Татарско-Шатрашанского месторождения [7]. Породы цеолитсодержащего материала с Татарско-Шатрашанского месторождения представляют собой новый тип сырья. При 20%-содержании цеолитов эти породы по физико-химическим и механическим свойствам с материалами, содержащими 65-70% цеолита. Вещественный состав представлен сложной поликомпонентной системой переменного состава. Цеолитсодержащие породы Татарско-Шатрашанского месторождения характеризуются экстремально высоким содержанием CaO (12,49 % масс.). Суммарная катионообменная емкость достаточно высокая – 88.42 мг-экв/100 г, причем основная доля приходится на катион кальция Ca^{2+} – 77.40 мг-экв/100 г. Участие других катионов в обмене имеет подчиненное значение (мг-экв/100 г): K^{+} 6.55, Na^{+} 1.74, Mg^{2+} 2.73. По своим сорбционным свойствам цеолитсодержащие породы Татарско-Шатрашанского месторождения находятся на уровне отечественных и зарубежных аналогов [8, 9].

Применение адсорбционного метода в промышленных условиях сопряжено с выбором оптимального по устройству и характеристикам аппарата. Результаты патентного анализа в области очистки промышленных сточных вод, содержащих ионные формы тяжёлых металлов, представлен в таблице 1

Таблица 1

Патентно-реферативный поиск документов адсорбционных аппаратов

Номер патента	Дата заявки и публикации	Авторы	Описание
RU 182 056 U1	Заявка: 10.01.2018 Публикация: 01.08.2018	Атаманова О.В., Косарев А.В. Тихомирова Е.И., Истрашкина М.В.	*Адсорбционный фильтр для очистки воды* Эффект адсорбции повышается за счёт взаимной поляризации гранул сорбента, находящегося в электрическом поле между электродами из высоколегированной коррозионно стойкой стали, и коллоидных частиц, а также за счёт многослойной загрузки сорбента
RU 191 405 U1	Заявка: 2.04.2019 Публикация: 05.08.2019	Аликбеков С.Я., Кутонова Е.В., Сютова А.И., Батанов Б.С	*Фильтр - сорбционная колонна для комплексной очистки сточных вод* Очистка от ионов металлов осуществляется путём прохождения через перфорированные диски, по обе стороны которых натянут сорбент в виде углеродного волокнистого материала, каждый диск обладает селективностью к определённому металлу
RU 216 760 U1	Заявка: 12.08.2022 Публикация: 28.03.2023	Атаманова О. В., Тихомирова Е. И., Кошелев А. В., Глубокая А. С.	*Сорбционный фильтр для очистки воды* Повышение длительности работы устройства без замены адсорбента достигается с за счёт размещения четырёх патрубков под углом 45° к вертикальной оси и центрально симметрично напротив друг друга с возможностью соединения с единой водопроводной системой для промывки адсорбента, а в нижней части корпуса рядом с патрубком для отвода очищенной воды установлен патрубок для отвода промывной жидкости
RU 219 525 U1	Заявка: 19.04.2023 Публикация: 21.07.2023	Иванов П.П., Семенов А.Г., Иванова Л.А., Михайлова Е.С., Пачкин С.Г., Тимощук И.В.	*Адсорбер* Увеличение производительности аппарата происходит благодаря подключённому нижнему торцу перфорированного канала мембранного пульсатора, создающего в рабочем пространстве адсорбера знакопеременный поток очищаемой воды; снизить вероятность возникновения гидравлического удара помогает пневматический демпфер
RU 230 377 U1	Заявка: 30.07.2024 Публикация: 29.11.2024	Мингазетдинов И.Х., Тунакова Ю.А., Габрахманова Г.Н.	*Сорбционный фильтр с регенерацией* Аппарат позволяет осуществлять непрерывную очистку благодаря синхронному подводу и отводу сорбента за счёт электромагнитного вибратора со шнеком перфорации, зона сорбции ограничивается непровальными сетками

На основании анализа научно-технической литературы и патентного поиска среди отечественных и зарубежных исследований в качестве аппарата очистки для сточных вод,

содержащих ионные формы тяжёлых металлов, предложено устройство по патенту RU 230377 U1. Главными преимуществами выбранного аппарата являются узел регенерации и шнековая система. Благодаря регулировке скорости вращение шнека обеспечивается стабильность очистки, простои на регенерацию исключаются за счёт синхронной подачи и удаления отработанного сорбента.

Адсорбционный аппарат представляет собой цилиндрическую колонну, заполненную гранулированным модифицированным цеолитом. Исходная вода подаётся через нижний патрубок, проходит через слой сорбента и отводится в верхней части после очистки. Внутри корпуса вращается перфорированный шнек, обеспечивающий медленное перемещение сорбента снизу-вверх. Одновременно через синхронизированные шнековые узлы отработанный сорбент удаляется в накопитель, а свежий – подаётся в систему, поддерживая материальный баланс ($G_{отв} = G_{прих}$). Вибратор предотвращает слёживание сорбента, повышая эффективность очистки. Процесс полностью непрерывен: пока часть цеолита насыщается загрязнениями и выводится на регенерацию, новый очищенный сорбент поступает в аппарат, что исключает простои и снижает эксплуатационные затраты [10].

В качестве материала загрузки выбран природный модифицированный сорбент на основе цеолитов кремнистой породы Татарско-Шатрашанского месторождения [6-9]. Экспериментальные данные подтверждают, что химическая модификация (кислотная или щелочная) приводит к значительному изменению степени адсорбции путём повышения пористости и взаимодействия с металлами. Дополнительным преимуществом модифицированного цеолита является способность отработать больше циклов до регенерации, что ведёт к снижению частоты замены сорбента в сравнение с природным цеолитом.

Проведён экспериментальный расчёт конструктивных и технологических параметров для сточных под полимерного производства с производительность технологической линии 172 $м^3$/ч и концентрации тяжёлых металлов РЬ (II) – 20,0 мг/л, Cd - (II) и Си (II) – 11,0 мг/л. Для очистки стоков с приведёнными исходными данными требуется адсорбер высотой 7 м, диаметром 5 м, диаметром патрубка входа жидкости 1 м, массой сорбента для непрерывной работы аппарата в течение 8 часов 1404 кг при эффективности очистки 99,8%.

Таким образом, при включении блок доочистки технологической линии очистки сточных вод от производства синтетического каучука адсорбционного аппарата с блоком регенерации сорбента в сочетании с природной цеолитовой породой, прошедшей модификацию, модно достигнуть наиболее эффективной очистки, достигнув высокой производительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Государственный доклада «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2023 году»: официальный сайт Министерства экологии РТ – 2021. - URL: https://eco.tatarstan.ru/file/pub/pub_4211473 (дата обращения: 20.01.2025).

2. ИТС 32-2023 Производство полимеров, в том числе биоразлагаемых // Бюро НДТ: URL: https://burondt.ru/itc (дата обращения: 01.03.2025).

3. ИТС 47-2-23 «Системы обработки (обращения) со сточными водами и отходящими газами в химической промышленности» URL: https://burondt.ru/itc (дата обращения: 01.03.2025).

4. *M. Silva, A. Lecus, Yu. Lin, Jo. Corrao*, Tailoring Natural Zeolites by Acid Treatments, Tailoring Natural Zeolites by Acid Treatments, https://www.scirp.org/journal/msce/, 2022 (дата обращения: 16.02.2025).

5. *Yu. Fei, Yun Hang Hu* Recent progress in removal of heavy metals from wastewater: A comprehensive review, Chemosphere, p. 335, 2023, https://doi.org/10.1016/ j.chemosphere.2023.139077, 2023 дата обращения: 16.02.2025).

6. *Белоусов П., Кайлачаков П.Э., Румянцева А.* (2024). Минерально-сырьевая база цеолитов России. Георесурсы, 26(4), с. 260–274. URL https://doi.org/10.18599/grs.2024.4.12 (дата обращения: 10.03.2025).

7. *Буров А.И, Тюрин А.Н., Якимов А.В.* и др., Цеолитсодержащие породы Татарстана и их применение. Фэн, Казань, 2001. - 176 с.

8. *Тюрин А.Н*. Поисково-оценочные работы на цеолитсодержащие породы в районе Городищенского проявления в Дрожжановском районе РТ. КГРЭ ТГРУ ОАО «Татнефть». ФГИ РТ, № 2104, Казань, 2001. – 126 с.

9. *Исламова Р.Р, Яковлева Г.Ю., Тюрин А.Н., Ильинская О.Н., Лопатин О. Н*. Цеолиты Татарско-Шатрашанского месторождения как носители модельного альбумина для перспективной адсорбции терапевтических белков// записки российского минералогического общества 2022, Ч. CLI, № 1, с. 105–113 DOI: 10.31857/S0869605522010063 (дата обращения: 10.03.2025).

10. Патент на полезную модель № 230377 U1 Российская Федерация, МПК B01D 24/16, C02F 1/28. Сорбционный фильтр с регенерацией: № 2024121558: заявл. 30.07.2024: опубл. 29.11.2024 / И.Х. Мингазетдинов, Ю.А. Тунакова, Г.Н. Габдрахманова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ».

MODERNIZATION OF THE ADSORPTION METHOD FOR PURIFICATION OF POLYMER PRODUCTION WASTE WATER FROM ТЯЖЕЛЫХ METALS IONS

Sagadieva A.R.

Supervisors: Tunakova Yu.A., Full Professor, Doctor of Chemical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper analyzes the impact of polymer production wastewater on water bodies, and based on this analysis, a purification system based on an adsorber with modified zeolite has been developed. This solution ensures maximum adsorption efficiency for heavy metals in large-scale production settings.

УДК 631.423, 332.368, 543.3

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА И ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В УРБОСИСТЕМЕ Г. МИНСКА

Степанюк М.А.

Научный руководитель: Цыганова А.А., доцент, к. с.-х. н.

(Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. В статье представлены результаты совокупной оценки уровня загрязнения почв и водных объектов тяжелыми металлами в урбосистеме города Минска, выполненной методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС). Полученные данные свидетельствуют о значительных превышениях предельно допустимых концентраций, обусловленных преимущественно промышленными выбросами, и указывают на наличие экологических рисков.

Загрязнение тяжелыми металлами представляет собой одну из ключевых глобальных экологических проблем. Усиление антропогенной нагрузки на урбанизированные территории ведет к накоплению токсичных веществ, создавая риски для здоровья населения и дестабилизируя природные экосистемы. В этой связи быстрый и точный мониторинг содержания тяжелых металлов в почвах и водах критически важен для обеспечения экологической стабильности и устойчивого развития городов. Сегодня научное сообщество сосредоточено на комплексном анализе тяжелых металлов и металлоидов в почвах, объединяя

их в единую категорию из 58 элементов периодической таблицы с атомной массой свыше 50. Широко распространенными загрязнителями являются тяжелые металлы: Pb, Cd, Hg, Cu, Zn, Sn, V, Cr, Mo, Mn, Ni; а также металлоиды, включая As, F, Sb, Bi, Ge, Po и другие. Ключевой момент заключается в том, что металлоиды интерпретируются как элементы, проявляющие гибридные свойства: отдельные характеристики металлов и неметаллов [1]. Эти вещества классифицируются как приоритетные загрязнители, требующие обязательного контроля во всех природных средах из-за их высокой опасности для биоты даже при относительно низких концентрациях и выраженного потенциала биоаккумуляции [2].

Поступление этих опасных элементов в окружающую среду происходит по нескольким основным каналам. Значительный вклад вносят атмосферные выпадения, переносимые воздушными потоками от стационарных источников (промышленные предприятия, теплоэлектроцентрали) и передвижных источников, в первую очередь автомобильного транспорта. Не менее серьезную угрозу несет гидрогенное загрязнение, возникающее при сбросе промышленных стоков в водоемы, что неизбежно ведет к вторичному загрязнению почв и грунтовых вод. Другим важным каналом является применение или накопление осадков сточных вод (как очищенных, так и неочищенных). Источником загрязнения становятся и промышленные отходы, включая эрозию отвалов (золы, шлаков, рудных остатков, шламов), а также разливы нефти и солевых растворов в зонах нефтедобычи. Проблема усугубляется несовершенством систем обращения с коммунальными и промышленными отходами, когда опасные компоненты, такие как батарейки и электронный лом, попадают на свалки. Сельскохозяйственная практика вносит свой вклад через использование минеральных удобрений (особенно фосфорных, содержащих кадмий и свинец) и пестицидов, в состав которых могут входить тяжелые металлы. Наконец, строительная деятельность способствует загрязнению через применение специфических материалов, образование металлосодержащей пыли и отходов [3].

Особенно ярко комплексный характер этой проблемы проявляется в крупных промышленных центрах, таких как Минск. Столица Беларуси, будучи значимым индустриальным узлом с концентрацией предприятий машиностроения, химической промышленности, металлургии и металлообработки, испытывает сильное давление со стороны выбросов и сбросов этих производств. Автомобильный транспорт, высокая плотность которого характерна для Минска, генерирует огромное количество выхлопных газов (содержащих свинец, кадмий, особенно при использовании низкокачественного топлива), дорожной пыли и частиц от износа шин, и тормозов. Система обращения с отходами в городе, имеющая определенные недостатки в сборе, утилизации и переработке, позволяет тяжелым металлам из бытового и промышленного мусора (включая батарейки и электронику) проникать в почву. Хотя сам Минск не является аграрной зоной, применение удобрений и пестицидов с металлическими примесями на прилегающих сельхозугодиях также вносит вклад в загрязнение городских почв. Интенсивная строительная активность дополняет эту тревожную картину, выступая источником загрязнения через используемые материалы, пыль и строительные отходы. Следовательно, совокупное и постоянное воздействие всего спектра антропогенных факторов формирует экологическое состояние почвенного покрова и поверхностных вод Минска [3,4].

Определение элементного состава проб почв и поверхностных вод выполнено методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС) на спектрометре Thermo Fisher iCAP 6300 DUO, что обеспечило высокую точность и возможность одновременного (многокомпонентного) анализа.

Забор проб осуществлялся на шести пробных площадках в г. Минске, охватывающих следующие локации:

1.1. – Река Свислочь, микрорайон Лошица;

1.2. – Слепянская водная система, ул. Горовца;

1.3. – Чижовское водохранилище;

1.4. – Снег (микрорайон Серебрянка);

1.5. – Снег (ул. Радиальная, ст. м. Автозаводская).

Отбор, консервация и обращение с пробами водной среды производились в полном соответствии с требованиями ГОСТ 31861. Подготовка проб к анализу включала кислотное разложение в среде царской водки, следуя предписаниям стандартов ISO 22036 и СТБ ISO 11885, с использованием микроволновой системы CEM MARS 5. Для анализа каждого образца применялась аликвота объемом 25,0 ± 0,1 мл, отобранная из однородной водной пробы. Чтобы обеспечить высокую точность и достоверность итогов анализа, для каждой исследуемой пробы выполняли серию из трех параллельных измерений. На всех этапах – от отбора проб до формирования объединенной пробы – предотвращали риск вторичного загрязнения. Расчёт средних арифметических значений результатов измерений представлен в таблице 1.

Таблица 1

Концентрации химических элементов в водных образцах г. Минска

За 2024 г.	Поверхностные воды				Снег			
Химический элемент	Проба № 1.1, мг/л	Проба № 1.2, мг/л	Проба № 1.3, мг/л	% СКО	Проба № 1.4, мг/л	Проба № 1.5, мг/л	% СКО	ПДК, мг/л
Cu	0.0104	0.0094	0.0098	0,0004	0.0040	0.0036	0,0002	0.0045
Zn	0.0086	0.0148	0.0088	0,0029	0.0083	0.0070	0,0006	0.016
Ni	0.0006	0.0028	0.0018	0,0009	0.0000	0.0000	0,0000	0.034
Al	0.0203	0.0482	0.0292	0,0116	0.0000	0.0701	0,0350	0.040
Fe	0.0213	0.0538	0.0417	0,0262	0.0426	0.0728	0,0151	0.456

Результаты мониторинга водных объектов и атмосферных осадков Минска выявили системные превышения гигиенических нормативов Республики Беларусь по тяжелым металлам в поверхностных водах. Для меди (Cu) в реке Свислочь, Слепянской водной системе и Чижовском водохранилище зафиксированы концентрации 0.0094–0.0104 мг/л, что в 2.1–2.3 раза превышает установленный ПДК (0.0045 мг/л). В снеговом покрове зарегистрировано содержание меди 0.0036–0.0040 мг/л (микрорайон Серебрянка) и алюминия 0.0701 мг/л (ул. Радиальная). Особую опасность представляет алюминий (Al): в промышленной зоне (ул. Горовца) его концентрация в воде (0.0482 мг/л) превышает ПДК (0.040 мг/л) в 1.2 раза.

Визуальная интерпретация данных приведена на рисунке 1.

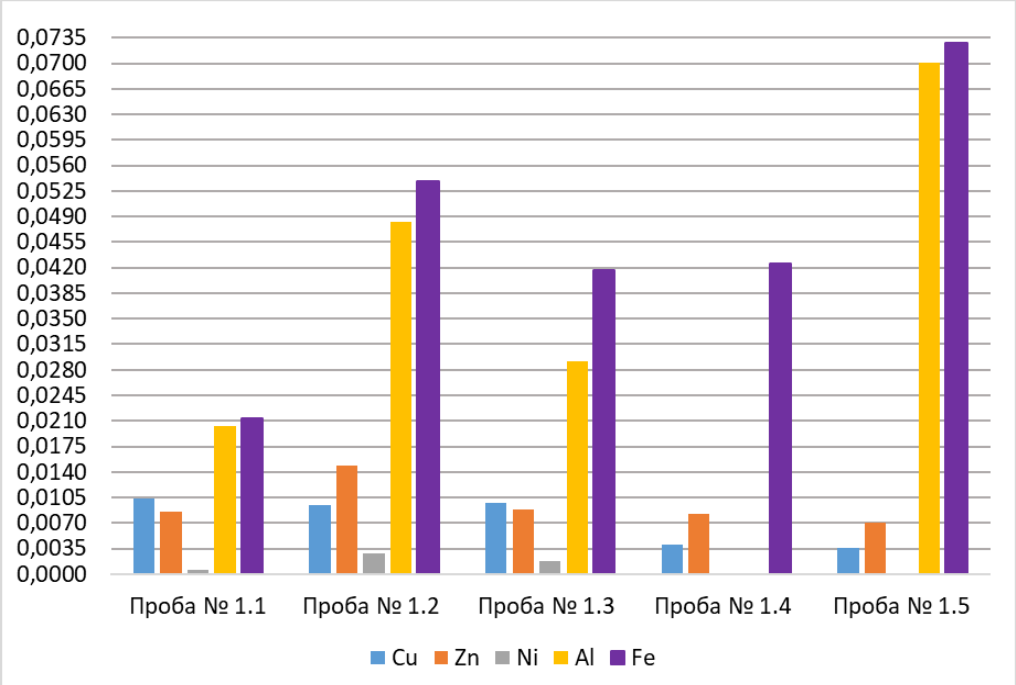


Рисунок 1. Концентрации химических элементов в водных образцах г. Минска

Отбор проб почвы осуществлялся в полном соответствии с требованиями ТКП 17.03-02-2020. Каждая объединённая (конечная) проба формировалась из пяти и более точечных проб, взятых на одной пробной площадке.

Пробы отбирались на четырех пробных площадках Заводского района Минска, включая:

2.1. – ул. Радиальная (метро Автозаводская);

2.2. – пр-т Партизанский (метро Могилёвская);

2.3. – ул. Герасименко (лесопарковая зона);

2.4. – ул. Байкальская (около МКАД).

Осуществление пробоподготовки проводили путем кислотного разложения в среде царской водки согласно требованиям стандартов, ISO 22036 и ISO 13657 с применением микроволновой системы CEM MARS 5. Навеска каждого гомогенезированного образца почвы составляла 0,5 г (фракция ≤ 0,25 мм в соответствии со стандартом ISO 11464), что согласуется с инструкцией по безопасной эксплуатации. С целью обеспечения высокой точности и достоверности результатов анализа выполняли серию из трех измерений для каждой исследуемой пробы. В ходе отбора проб и формирования объединенной пробы исключали возможность вторичной контаминации. При проведении отбора проб эксплуатировался инструмент, свободный от металлов. Усредненные арифметические значения результатов измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2

Концентрации химических элементов в почвенных образцах Заводского района г. Минска

Заводской район							
За 2024 г.	Жилая зона, подверженная влиянию промышленных предприятий			Жилая зона, не подверженная влиянию промышленных предприятий			
Химический элемент	Проба № 2.1, мг/кг	Проба № 2.2, мг/кг	% СКО	Проба № 2.3, мг/кг	Проба № 2.4, мг/кг	% СКО	ПДК, мг/кг
Cr	39,045	35,781	2,308	12,298	11,772	0,372	100
Pb	15,312	17,108	1,270	10,248	7,512	1,935	32
V	33,072	29,441	2,568	21,208	18,919	1,619	150
Zn	102,812	108,108	3,745	28,408	27,712	0,492	55
Ni	0,802	5,378	3,236	2,031	1,749	0,199	20
Cu	55,392	49,038	4,493	10,128	7,342	1,970	33

Анализ почв Заводского района выявил существенную разницу в содержании тяжелых металлов между жилыми территориями, подверженными влиянию промышленных предприятий, и зонами, свободными от такого воздействия. Концентрации всех исследуемых элементов в почвах, находящихся под влиянием промпредприятий, значительно превышают уровни более чистых зон. Наиболее выраженное загрязнение наблюдается для цинка (Zn), концентрации в промышленной зоне выше в 3.6 раза, и меди (Cu) – выше в 5.5 раз, причем оба элемента стабильно превышают установленные нормативы ПДК (Zn в 1.9 раза, Cu в 1.7 раза). Также заметно выше вблизи предприятий содержание хрома (Cr) – в 3.2 раза (хотя уровень хрома остается значительно ниже ПДК), и свинца (Pb) – в 1.5 раза (уровень свинца также ниже ПДК). Концентрации ванадия (V) в промышленной зоне выше в 1.6 раза, а никеля (Ni) – ниже в 2.5 раза, причем оба элемента находятся значительно ниже своих предельно допустимых концентраций. В жилых зонах, не подверженных прямому промышленному влиянию, уровни всех металлов существенно ниже, а по цинку, меди, хрому и ванадию – близки или находятся в пределах безопасных значений. Полученные данные свидетельствуют о том, что промышленные предприятия являются основным источником загрязнения почв Заводского района такими тяжелыми металлами, как цинк, медь и хром, создавая потенциальные

экологические риски на прилегающих жилых территориях. Графическая интерпретация исследуемых данных отображена на рисунке 2.

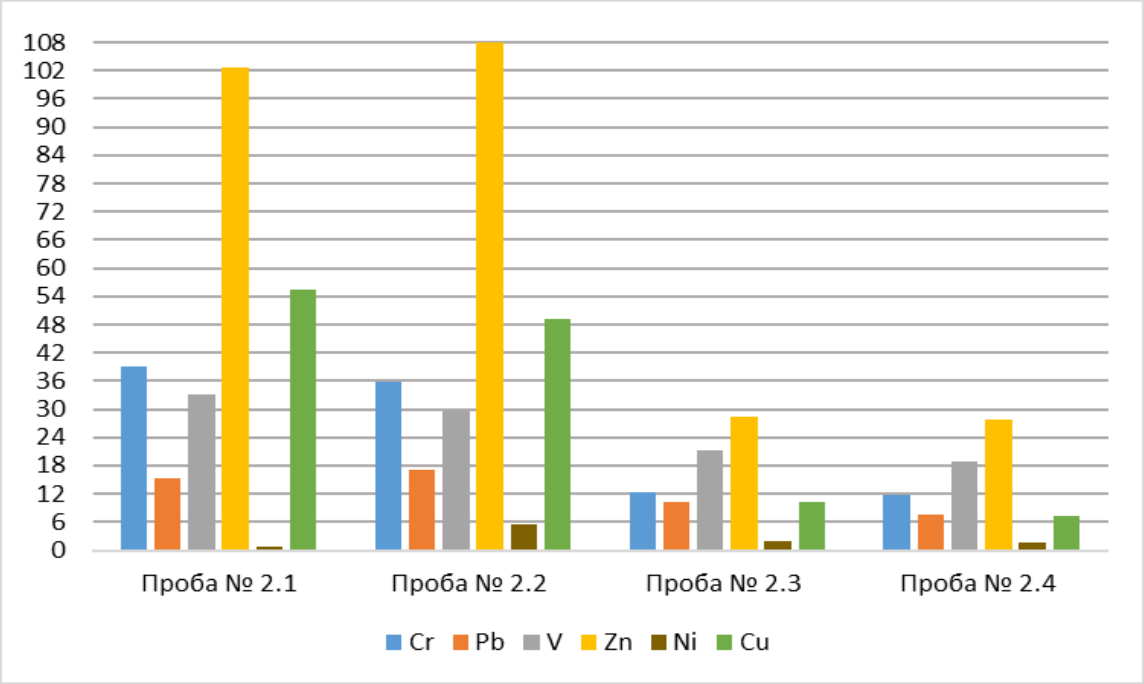


Рисунок 2. Концентрации химических элементов в почвенных образцах Заводского района г. Минска

Таким образом, исследование выявило критические уровни загрязнения почвенного покрова и водных объектов г. Минска тяжёлыми металлами, наиболее выраженные в промышленных зонах Заводского района. Концентрации цинка (Zn) и меди (Cu) в почвах, подверженных влиянию промышленных предприятий (ул. Радиальная, пр-т Партизанский), стабильно превышают ПДК (Zn в 1.9 раза, Cu в 1.7 раза), достигая значений в 3.6 и 5.5 раз выше, чем в условно чистых зонах (ул. Герасименко, ул. Байкальская). Содержание хрома (Cr) в промзонах также значительно выше (в 3.2 раза) фоновых значений, хотя и остаётся ниже ПДК. Значительные превышения нормативов зафиксированы в водной среде: содержание меди (Cu) в поверхностных водах (р. Свислочь, Слепянская система, Чижовское водохранилище) превышает ПДК в 2.1–2.3 раза, а алюминия (Al) в снеговых пробах (ул. Радиальная) — в 1.75 раза. Основными источниками загрязнения являются промышленные выбросы, транспортные эмиссии и несовершенство системы обращения с отходами. Полученные данные, подтверждённые высокоточной методикой ИСП-АЭС, указывают на необходимость приоритетных мер по ремедиации загрязнённых территорий Заводского района, усилению контроля за промышленными сбросами и атмосферными выпадениями, а также внедрению современных технологий очистки для минимизации рисков для экосистем и здоровья населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Васильев А.А.* Тяжелые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загрязнения: монография. / А.А. Васильев, А.Н. Чащин, М-во с.-х. РФ, ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА. – Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. – 197с.

2. *Илларионова Е.А.* Химико-токсикологический анализ тяжелых металлов: учебное пособие / Е.А. Илларионова, И.П. Сыроватский; ГФБОУ ВО ИГМУ Минздрава России, кафедра фармацевтической и токсикологической химии. – Иркутск: ИГМУ, 2016 – 58 с.

3. *Водяницкий, Ю.Н.* Загрязнение почв тяжелыми металлами / Ю.Н. Водяницкий, Д.В. Ладонин, А.Т. Савичев; Московский гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. - Москва: Типография Россельхозакадемии, 2012. - 304 с.

4. *Землянкина, А.С.* Комплексный подход к элементному анализу пробы с неизвестным составом / А.С. Землянкина, Д.А. Коркина, И.Л. Гринштейн // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2014. – № 11. – С. 44–47.

INTEGRAL ASSESSMENT OF SOIL AND WATER POLLUTION BY HEAVY METALS IN THE URBAN SYSTEM OF MINSK

Stsepaniuk M.A.
Supervisor: Tsyganova A.A., Associate Professor, Candidate of Agricultural Sciences
(Belarusian National Technical University, Minsk)

Abstract. The article presents the results of a comprehensive assessment of the level of heavy metal contamination in soils and water bodies in the urban system of Minsk, performed using inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). The data obtained indicate significant exceedances of maximum permissible concentrations, mainly due to industrial emissions, and point to the presence of environmental risks.

УДК 502.36

СИСТЕМА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ВИНОДЕЛЬЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ОТ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

Таранов В.С.
Научный руководитель: Шавалеева С.М., к. х. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В представленной работе рассмотрена система очистки сточных вод винодельческого производства от взвешенных веществ. Поэтому винодельческое предприятие представляет значительную экологическую опасность для водной части окружающей среды как при нормальном режиме работы, так и в случае чрезвычайной ситуации. При рассмотрении современных наилучших из доступных технологий был выбран флотационный метод очистки стоков с предварительным анодным окислением органических загрязнителей, предложена технологическая схема очистки, рассмотрен принцип и устройство работы радиального флотатора, а также проведён расчёт конструктивных параметров аппарата.

Винодельческая промышленность включает в себя заводы первичного и вторичного виноделия, виноградного сока, коньячного спирта, шампанских вин. Эти предприятия образуют большое количество сточных вод, загрязненных опасными для окружающей среды веществами, состав и количество которых обуславливается технологиями переработки сырья, системами мойки оборудования, системами водоснабжения и водоотведения самого предприятия.

Согласно Постановлению от 31.12.2020 №2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III И IV категорий», предприятие относится к объектам II категории – к классу оказывающих умеренное негативное воздействие на окружающую среду, поскольку загрязненные сточные воды сбрасываются только через локальные очистные сооружения, которые обеспечивают требуемые природоохранным законодательством показатели загрязнения [1].

Производство вина представляет собой сложный многоступенчатый процесс, включающий в себя стадии обработки сырья (винограда), мацерации, прессования, спиртового и молочнокислого брожения, созревания, стабилизации, фильтрации и разлива. Процесс санитарной обработки насосов, шлангов, резервуаров, тары, транспортных ящиков, стен и пола цеха, приводит к образованию большого количества загрязненных сточных вод – не менее 2 л воды на 1 литр вина [2].

Общие показатели основных загрязнений сточных вод заводов виноделия показаны в Таблице 1, из которой видно, что сточные воды винодельческого производства содержат загрязняющие вещества в концентрациях, превышающих ПДК и требуют тщательной очистки на локальном очистном сооружении. В данной работе предлагается технологическая схема очистки сточных вод винодельческого предприятия от взвешенных веществ с концентрацией 2000 мг/л, что дает превышение ПДК взвешенных частиц в воде (300 мг/л) почти в 7 раз.

К основным методам очистки сточных вод винодельческого производства от взвешенных веществ относят отстаивание, центрифугирование, циклонирование, фильтрование, флотацию, обезвоживание осадков. Для получения осадков применяют коагуляцию и флокуляцию, которые позволяют интенсифицировать извлечение из сточной воды веществ, неудаляемых безреагентными механическими методами.

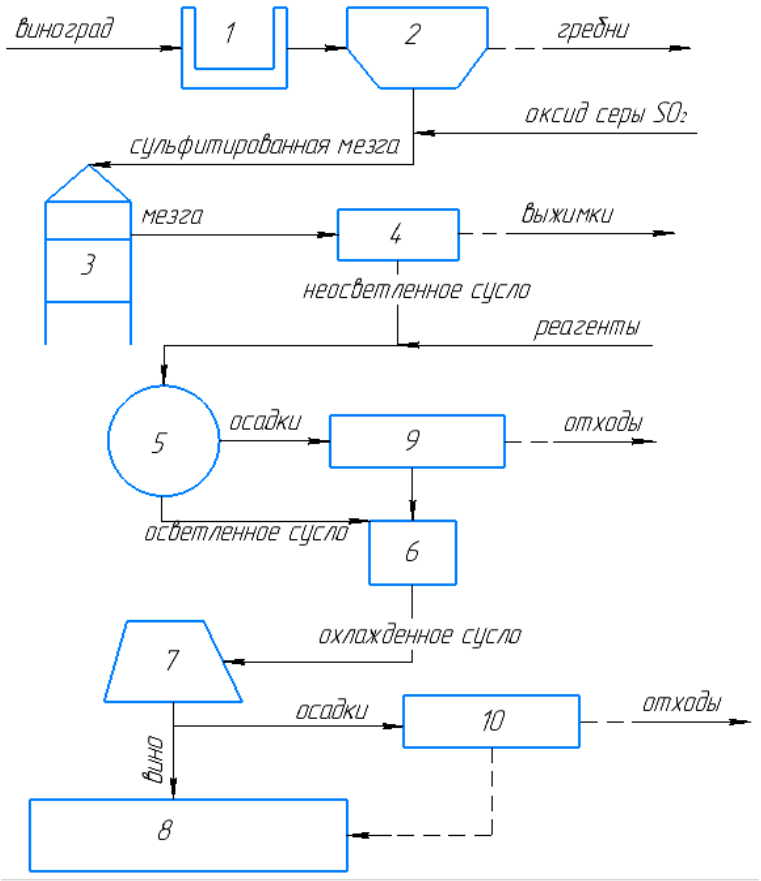


Рис. 1. Принципиальная схема технологического процесса производства красного вина:
1 - пробоотборник; 2 - дробилка-гребнеотделитель; 3 - винификатор;
4 - мембранный пресс; 5 - флотатор; 6 - охладитель; 7 - резервуар для брожения;
8 - сепаратор; 9,10 - вакуумный фильтр

Таблица 1

Характеристика состава сточных вод винодельческого производства

Показатели загрязняющих веществ	Концентрация загрязняющих веществ сточных вод, мг/л	ПДК сточных вод на сброс в централизованные общесплавные и бытовые системы водоотведения, мг/л
Взвешенные вещества	2000	300
ХПК	5000-8000	500
БПК-5	4000-6000	300
pH	4-8	6-9
Фенолы	300	5
Общий азот	5000	50

На основании проведенного анализа отечественной и зарубежной литературы, патентного-реферативного поиска в сфере экологической безопасности в области защиты водной среды, а также ИТС НДТ [3] был выбран физико-химический флотационный метод очистки и предложена технологическая схема очистки сточных вод предприятия от взвешенных частиц с использование анодного окисления растворенных органических веществ (Рис. 2).

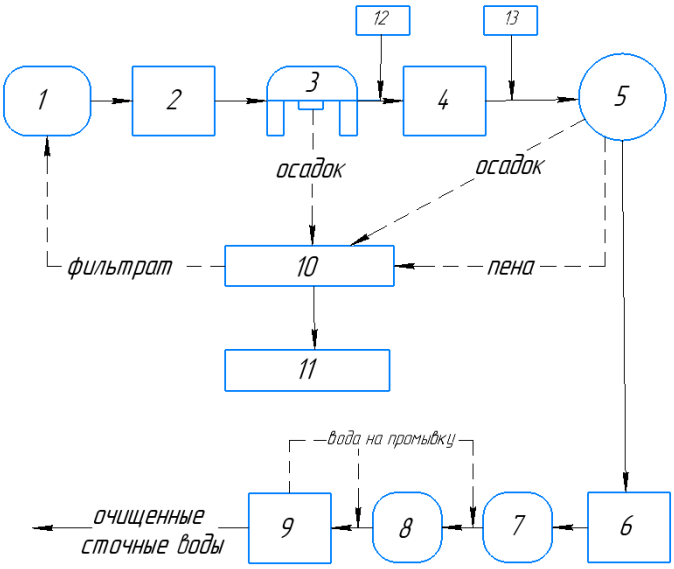


Рис 2. Технологическая схема очистки сточных вод винодельческого предприятия от взвешенных частиц: 1 - резервуар-усреднитель; 2 - промежуточная емкость; 3 - блок анодного окисления; 4 - промежуточная емкость; 5 - флотатор; 6 - промежуточная емкость; 7 - фильтр напорный механический; 8 - фильтр напорный сорбционный; 9 - промежуточная емкость; 10 - обезвоживатель; 11 - контейнер; 12 - станция дозирования коагулянтов; 13 - станция дозирования флокулянтов.

Аппаратами очистки в предлагаемой схеме являются блок анодного окисления (БАО) и флотатор. При работе БАО высокоактивные окислители: гидроксил-радикал, атомарный кислород, перекись водорода, озон и др. образуются непосредственно в обрабатываемой сточной воде, в результате действия которых происходит высокоэффективное разложение загрязнителей за счет окисления ионов аммония и тяжелых металлов, нитритов, поверхностно-активных веществ, органоминеральных комплексных соединений с переходом растворенной органики в нерастворимую форму. Это позволяет в дальнейшем использовать для очистки стоков методы методами коагуляции и флотации, который, в отличие от биологической очистки, подходят для работы с залповыми сбросами. Концентрация окислителей зависит от силы подаваемого с выпрямителя тока и времени пребывания стока в сооружении и позволяет обойтись без реагентов-окислителей, а значит уменьшить эксплуатационные затраты.

После БАО сточные воды последовательно обрабатываются коагулянтом и флокулянтом, затем подаются на флотационную установку. Коагуляция приводит к слипанию взвешенных частиц, а флокулянт дополнительно укрупняет полученные хлопья. Это увеличивает скорость разделения и повышает эффективность флотации, в результате которой образуется слой флотопены. Спирально-скребковый механизм пеноудаления снимает пену с поверхности воды, не разрушая ее и не взмучивая жидкость, подает в пенноприемный желоб, затем на обезвоживание. В результате получается флотошлам, который вместе с осадком из флотатора, промывными водами с фильтров, осадками с емкостей собирается в накопителе и вывозится на утилизацию.

Основным аппаратом очистки в представленной технологической схеме является радиальный флотатор, состоящий из отстойной камеры, флотационной камеры, вращаю-

щегося распределителя, трубопровода подачи сточной воды, трубопровода осадка, механизма сгребания пены, трубопровода обработанной сточной воды, пеносборного лотка, трубопровода отвода пены. Дождевание через дырчатую труду и подогрев змеевиком по периметру пеносборного лотка придает пене дополнительную текучесть. В данной работе также проведены расчеты технологических параметров аппарата очистки – радиального флотатора, включающие в себя количество флотаторов, диаметр, высоту и объем единичного флотатора.

Таким образом, предложенная технологическая схема очистки сточных вод винодельческого предприятия от взвешенных частиц, включающая бак анодного окисления и радиальный флотатор, имеет ряд преимуществ: нет вторичного загрязнения стоков, обеспечен возврат воды в производство, соблюдается минимальное разрушение флотопены, радиальный флотатор работает стабильно даже при высоких концентрациях взвешенных веществ, эффективность очистки выше 90%, допустимые нормативы взвешенных веществ достигаются уже через 15–20 мин после начала обработки сточной воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 N 2398 (ред. от 18.12.2024) «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий».

2. Technologies of winery wastewater treatment: a critical approach / George Z. Kyzas, Maria P. Symeonidou, Kostas A. Matis // ScienceDirect: [electronic resource]. - Desalination and Water Treatment. - URL: https://clck.ru/3GoA7L.

3. ИТС НДТ 8-2015 Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях. // ИТС 8-2015. Дата введения 2016-07-01.

WINE-PRODUCTION WASTE WATER TREATMENT SYSTEM FOR POWDERED SUBSTANCES

Taranov V.S.

Supervisor: Shavaleeva S.M., Candidate of Chemical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The presented work examines the wastewater treatment system of wine production from suspended solids, which contain both suspended particles and solid waste. Therefore, the winery poses a significant environmental hazard to the environment both during normal operation and in the event of an emergency. When considering the modern best available technologies, the flotation method of wastewater treatment with preliminary anodic oxidation of pollutants was chosen, a technological scheme for wastewater treatment was proposed, the principle and device of operation of the flotation device were considered, and the design parameters of the device were calculated.

УДК 631.42

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУЛЬФАТОВ В ПОЧВЕ

Ткаченко С.А.

Научный руководитель: Габдрахманова Г.Н., старший преподаватель, к. х. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Существует несколько основных источников появления в почве сульфатов. Например, в обычных минеральных удобрениях содержится большое количество сульфатов, в том числе сульфата аммония и суперфосфата. Их используют при необходимости восполнения дефицита соединений в почвах с целью повышения урожайности. Сульфаты – основная причина снижения почвенного плодородия в грунтах с непромывным водным режимом [1].

На текущий момент уровень ПДК сульфат-ионов в почве согласно нормам, СанПиН установлен на отметке 160 мг/кг [2].

Еще одним источником накопления таких веществ в почве является серная кислота, которая поступает в нее с атмосферными осадками или как следствие работы предприятий химической промышленности. Кислота образуется из-за сгорания серосодержащего топлива и может вызывать значительное увеличение почвенной кислотности. Характер загрязнения напрямую зависит и от рельефа местности, интенсивности осадков, близости автомобильной трассы.

Результаты исследования

В данном исследовании рассматриваются методы определения сульфатов в почве. Рассматриваются основные факторы поступления сульфатов в почву. Проводится анализ на определение содержания сульфатов в почве спектрофотометрическим методом.

Рассмотрим основные аспекты сульфатов в почве.

Сера в почве может находиться в двух основных формах:

1. Органическая сера: Это доминирующая форма серы в большинстве почв (от 50% до 95% от общего содержания серы). Она входит в состав органического вещества почвы (гумуса), белков, аминокислот (метионин, цистеин) и других органических соединений. Для того чтобы органическая сера стала доступной растениям, она должна быть минерализована микроорганизмами до неорганических форм.

2. Неорганическая сера: Включает в себя:

- Сульфат-ионы (SO_4^{2-}): Основная форма, доступная для поглощения растениями. Они могут быть растворимыми в почвенном растворе или адсорбированными на поверхности глинистых минералов и оксидов железа и алюминия (особенно в кислых почвах).

- Сульфиды (S^{2-}): Образуются в анаэробных (бескислородных) условиях, например, в затопленных почвах или болотах, часто в виде нерастворимых солей железа (пирит, FeS_2). При аэрации (доступе кислорода) сульфиды могут окисляться до сульфатов.

- Элементарная сера (S^0): Может присутствовать в почве, особенно после внесения серных удобрений, и постепенно окисляется до сульфатов.

Динамику сульфатов в почве зависит от поглощения растениями, вымывания, сорбции и микробного превращения. Растения поглощают сульфаты из почвенного раствора. Сульфаты, будучи анионами, относительно подвижны в почве и могут вымываться из корнеобитаемого слоя с осадками или оросительной водой, особенно в легких почвах с хорошим дренажем и низкой адсорбционной способностью.

В кислых почвах сульфаты могут адсорбироваться на поверхности оксидов железа и алюминия, что уменьшает их подвижность. При повышении pH они десорбируются.

Помимо минерализации органической серы, существуют сульфатредуцирующие бактерии, которые в анаэробных условиях могут восстанавливать сульфаты до сульфидов (и сероводорода H_2S), и сульфатокисляющие бактерии, которые окисляют сульфиды и элементарную серу обратно до сульфатов в аэробных условиях.

Понимание динамики сульфатов в почве критически важно для обеспечения оптимального питания растений, управления плодородием почвы и предотвращения экологических проблем, таких как засоление и образование кислых сульфатных почв.

Содержание сульфатов в почве зависит от нескольких факторов:

- внесение серных удобрений: при дефиците серы используются различные формы серных удобрений.

- внесение органических удобрений: внесение навоза, компоста и других органических материалов способствует пополнению запасов органической серы и ее постепенной минерализации.

- дренаж и промывка: для борьбы с сульфатным засолением применяют промывку почв большим количеством воды в сочетании с хорошим дренажом.

- управление кислыми сульфатными почвами: требует специфических подходов, таких как предотвращение осушения, или, если осушение неизбежно, использование известкования для нейтрализации кислоты и промывки.

Технология исследования

Для определения сульфатов мы взяли почву вдоль дороги оживленного перекрестка города Казани методом конверта.

Метод конверта является наиболее распространенным способом отбора смешанных почвенных образцов и чаще всего применяется для исследования почвы гумусового горизонта. При этом из точек контролируемого элементарного участка (или каждой рабочей пробоотборной площадки) берут 5 образцов почвы. Точки должны быть расположены так, чтобы мысленно соединенные прямыми линиями давали рисунок запечатанного конверта (длина стороны квадрата может составлять от 2 до 5-10 м). Обычно при изучении почвы отбирают пробы гумусового горизонта с глубины около 20 см, что соответствует штыку ло-паты. Из каждой точки отбирают около 1 кг (по объему около 0,5 л), но не менее 0,5 кг почвы. Почвенные образцы упаковывают в полиэтиленовые или полотняные мешочки и прилагают к ним этикетки (сопроводительные талоны).

Определение сульфатов является важным для оценки плодородия почвы, ее засоления, а также для экологического мониторинга. Прежде чем приступить к определению, необходимо провести экстракцию сульфатов из почвы, так как они находятся в твердой фазе. Обычно для этого используют водные вытяжки или растворы слабых кислот/солей.

После экстракции для определения сульфатов в полученном растворе применяются следующие методы:

Гравиметрический метод (весовой метод):

Принцип: Сульфат-ионы осаждают в виде труднорастворимого сульфата бария ($BaSO_4$) при добавлении раствора хлорида бария ($BaCl_2$). Осадок отфильтровывают, промывают, высушивают (или прокаливают) и взвешивают. По массе осадка рассчитывают содержание сульфатов.

Преимущества: Высокая точность, считается референсным методом.

Недостатки: Трудоемкий, длительный, требует аккуратности, чувствителен к соосаждению других ионов (например, хлоридов, нитратов, органических веществ), что может привести к завышению результатов.

Применение: Для точных исследований и в качестве арбитражного метода.

Турбидиметрический (нефелометрический) метод:

Принцип: Также основан на осаждении сульфата бария, но вместо взвешивания осадка измеряют мутность (турбидиметрический) или рассеяние света (нефелометрический) суспензией $BaSO_4$. Интенсивность мутности пропорциональна концентрации сульфатов. Обычно добавляют стабилизирующие реагенты (например, желатин или глицерин) для получения равномерной суспензии.

Преимущества: Относительно быстрый, простой, подходит для серийных анализов.

Недостатки: Менее точный, чем гравиметрический; чувствителен к размеру частиц осадка, присутствию других мутящих веществ и окраске раствора.

Применение: Рутинный анализ, когда не требуется высокая точность. Часто используется для определения небольших концентраций сульфатов.

Ионная хроматография (IC):

Принцип: Разделение ионов происходит на хроматографической колонке под действием элюента. Разделенные ионы затем определяются по их электропроводности (детектор по проводимости). Каждый ион имеет свое время удерживания, что позволяет одновременно определять несколько анионов (сульфаты, хлориды, нитраты, фосфаты и т.д.).

Преимущества: Высокая чувствительность и избирательность, возможность одновременного определения нескольких анионов, минимальные помехи от других компонентов матрицы. Наиболее современный и точный инструментальный метод.

Недостатки: Требует дорогостоящего оборудования и квалифицированного персонала.

Применение: Широко используется в научно-исследовательских лабораториях и для высокоточного анализа.

Титриметрический метод (комплексонометрический или осадительный):

Принцип (пример комплекссонометрического): Сульфаты осаждают с избытком соли бария (например, $BaCl_2$). Избыток ионов бария затем титруют раствором ЭДТА в присутствии соответствующего индикатора (например, эриохрома черного Т). Также существуют методы с прямым титрованием сульфатов солями бария в присутствии специальных индикаторов (например, торин).

Преимущества: Относительная простота, не требует сложного оборудования, подходит для полевых условий.

Недостатки: Чувствительность к присутствию других ионов, которые могут реагировать с титрантом или индикатором; часто менее точен, чем гравиметрический или хроматографический.

Применение: Для экспресс-анализов и в условиях, где инструментальные методы недоступны.

Спектрофотометрический метод (с использованием хлоранила бария):

Принцип: Сульфат-ионы реагируют с нерастворимым хлоранилом бария, образуя сульфат бария и растворимый хлоранилиновую кислоту, которая имеет характерное окрашивание. Интенсивность окраски измеряется спектрофотометрически.

Преимущества: Чувствительный метод для определения низких концентраций.

Недостатки: Могут быть помехи от других ионов.

Применение: Для определения микроколичеств сульфатов.

Выбор метода зависит от требуемой точности, доступного оборудования, количества анализируемых проб и природы почвы. Для почвенных образцов всегда ключевым этапом является правильная и эффективная экстракция сульфатов.

Для определения содержания сульфатов в почве был выбран спектрофотометрический метод анализа.

Для определения сульфатов в пробирку налить 10 см. испытуемой воды, добавить 0,5 мл соляной кислоты (1:5) и 2 мл 5%-ного раствора хлорида бария. Пробирку осторожно встряхнуть. Появление белой мути указывает на содержание в воде сульфат-нона.

Сравнить исследуемый раствор со стандартной шкалой. Измерить оптическую плотность стандартных растворов и исследуемого раствора. [3]

Количество эквивалентов иона сульфата (X_c), ммоль в 10 г. Почвы, вычисляем по формуле (ГОСТ 26426-85):

$$X_c = \frac{C \cdot 50}{M}$$

где С- концентрация сульфатов в растворе, мг/л; 50 — коэффициент пересчета на 10 г почвы; М— молярная масса сульфат-ионов, мг/ммоль.

Массовую долю сульфат-ионов в анализируемой почве (Xj) в процентах вычисляют по формуле:

$$X_j = X_c \cdot 0{,}048$$

где X_c - количество эквивалента сульфат-ионов в почве, ммоль в 10 г; 0,048 — коэффициент пересчета в проценты. [4]

В ходе проведенного эксперимента я выявила то что количество эквивалентов иона сульфата равно X_c= 9.36 мг/кг, а массовая доля сульфат-ионов в анализируемой почве Xj= 0,44% что соответствует нормам ПДК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Испытательный центр нортест // Сульфаты в почве. -Текст: электронный. – 2022. – URL: https://nortest.pro/articles/sulfaty-v-pochve/.

2. *Другов Ю.С., Родин А.А*. // Пробоподготовка в экологическом анализе // С. 216-259

3. Пермский государственный национальный исследовательский университет // Экологический мониторинг / Отбор проб почвы / [Электрон. ресурс] // Электрон. Дан. – Режим доступа: https://studfile.net/pgniu/.

4. ГОСТ 26426-85 Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке // URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/29180/.

DETERMINATION OF SULFATES IN SOIL

Tkachenko S.A.

Supervisor: Gabdrakhmanova G.N., Senior Lecturer, Candidate of Chemical Sciences

(Kazan National Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. There are several main sources of sulfates in the soil. For example, conventional mineral fertilizers contain large amounts of sulfates, including ammonium sulfate and superphosphate. They are used when it is necessary to replenish the deficiency of compounds in the soil in order to increase crop yields. Sulfates are the main cause of reduced soil fertility in soils with an impermeable water regime [1].

Currently, the maximum permissible concentration of sulfate ions in soil according to SanPiN standards is set at 160 mg/kg [2].

Another source of accumulation of such substances in the soil is sulfuric acid, which enters it with atmospheric precipitation or as a result of the work of chemical industry enterprises. The acid is formed by the combustion of sulfur-containing fuels and can cause a significant increase in soil acidity. The nature of the pollution also depends directly on the terrain, the intensity of precipitation, and the proximity of a highway.

УДК 004

АНАЛИЗ ПРИМЕНЯЕМЫХ СТРУКТУРАТОРОВ ДЛЯ КОМПОСТИРОВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Троегубов А.С.

(Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь)

Аннотация. В статье представлена проблема образования большого объема осадков сточных вод. Рассмотрены варианты используемых на практике структураторов для компостирования осадков сточных вод. Представлена сравнительная характеристика структураторов.

В последние годы, увеличивается количество осадков сточных вод (ОСВ), образующихся на очистных сооружениях. Происходит это в следствии увеличения общемировой численности населения и эффективности процессов биологической очистки [1, 2]. Осадок является важным источником вторичного загрязнения водной среды и потенциальным риском для здоровья человека; кроме того, он представляет собой одну из важнейших статей расходов в работе очистных сооружений [3]. Для решения этой проблемы существуют различные методы предварительной обработки (обезвоживание), нейтрализации (пиролиз), стабилизации (аэробное и анаэробное сбраживание) и утилизации (сжигание, компостирование, захоронение) ОСВ.

Из перечисленных методов обращения с ОСВ, компостирование является одним из наиболее широко используемых методов стабилизации органических веществ, уменьшая количество патогенных микроорганизмов и количество токсичных элементов за счет преобразования органических соединений в химически стойкие гуминовые вещества, а патогены уничтожаются за счет тепла, выделяемого в ходе термофильной фазы процесса [4]. Из-за высокого содержания влаги и насыпной плотности во влажном состоянии ОСВ имеет плотную и пластичную структуру, следовательно, подвержен уплотнению. Для обеспечения

эффективного протекания процесса компостирования требуется наполнитель (структуратор), обеспечивающий достаточную пористость и воздухопроницаемость компостного бурта. В качестве такого структурного материала используются различные отходы деревообработки или растениеводства, в том числе древесная щепа, кора грубые опилки, солома и кукурузные стебли, торф и т.п. Соотношение объёмов осадка и структуратора должно составлять от 1:1 до 1:4 [5, 6]. Большая часть органического материала содержится в наполнителе, но значительная биодеградация с помощью естественных аэробных микроорганизмов происходит в органическом материале ОСВ [7]. Перечень исследований с применяемыми структураторами представлен в таблице 1.

Таблица 1

Перечень исследований по компостированию осадков сточных вод

Наполнители/ структуратор	**Исследуемые соотношения (по объему)**	**Время процесса**	**pH**	**C/N**	**Влаж-ность, %**	**Золь-ность, %**	**Источник**
Растительные отходы*	ОСВ/ Растительные отходы 3:1, 3:2, 3:3	50	6,1 - 7,1	15-8	-	-	[8]
Древесная стружка/грибной осадок**	ОСВ/ Древесная стружка/ грибной осадок 1:2:10	60	6,6 - 7,1	-	-	-	[9]
Пищевые и промышленные отходы*	-	365	-	-	50	-	[10]
Органическая фракция ТКО Растительные отходы Отходы рынков **	ОСВ/Орг. ТКО 86%:14% ОСВ/ Растительные отходы 45%:55% Отходы рынков 70%:30%	35	-	-	60	-	[11]
Кора и торф* Кора и торф**	ОСВ/ Кора и торф 1:2	26 124 124	6,8 4,2 6,5	-	65 65 64	-	[12]
Опилки*	ОСВ/Опилки (по массе)	56		15	60	-	[13]
Растительные отходы Органическая фракция ТКО*	-	28	-	-	-	-	[14]
Кородревесные отходы*	ОСВ/ Кородревесные отходы 2:1	15 60 90	5,7 6,1 6,1	26,0 23,7 20,4	-	35,1 41,7 45,7	[15]
Рапсовый жмых*	ОСВ/Рапсовый жмых (по массе) 90%:10%	50	7,1	12,9	30,2	64,7	[16]

Наполнители/ структуратор	Исследуемые соотношения (по объему)	Время процесса	pH	C/N	Влаж-ность, %	Золь-ность, %	Источник
Рисовая шелуха* 1. Ручная аэрация 2. Непрерывная (автом) аэрация 3. Периодическая (автом) аэрация	ОСВ/Рисовая шелуха 1:4,7	56	7,52 7,14 7,12	12,1 10,9 12,0	60	55,7 58,1 56,5	[17]
Зола Опилки**	ОСВ/Зола 80%:20% ОСВ/Зола 70%:30% ОСВ/Опилки 70%:30%	353	-	-	55-60	-	[18]
Солома*	ОСВ/Солома (по массе) 89%:11%	30 90 180	7,4 6,8 6,7	21,4 18,5 16,4	-	70,7 75,3 76,3	[19]
Растительные и кородревесные отходы*	-	90	8,5		-35% от начальной	-	[20]
Растительные отходы*	ОСВ/ Растительные отходы 70%:30%	370	6,8	25	55	41,2	[21]
Свиной навоз Рисовая шелуха**	ОСВ/ Свиной навоз 3:1 ОСВ/Рисовая шелуха 3:1	60	6,12 6,76	7,8 9,4	28,4 32,7		[22]

* Компостирование проводилось в крупномасштабных исследованиях.

** Компостирование проводилось в лабораторных условиях.

В таблице представлен широкий спектр структураторов, что говорит о широкой вариативности компостирования ОСВ с различными органическими отходами. Оценивая время, затрачиваемое на компостирование, то здесь исследования длятся от 1 до 12 месяцев. Срок может зависеть от заявленных целей в ходе исследования. Водородный показатель (pH) показывает значения, удовлетворяющие требованиям компостов и техногенным грунтам. Похожая ситуация складывается с влажностью, так как выход за пределы оптимального значения 40-65% будет препятствовать микробной активности. Показатели зольности и соотношения углерода к азоту (C/N) считаются основными при получении продукта компостирования в качестве удобрения. Данные параметры сильно зависят от исходного сырья, используемого в компостировании.

Наиболее часто в качестве структуратора применяются растительные и кородревесные отходы. Под растительными отходами в зарубежных исследованиях можно найти российский аналог отхода, согласно ФККО «растительные отходы при уходе за древесно-кустарниковыми посадками». Но так как растительные отходы образуются в небольшом объемы и являются больше сезонным отходом, для регионов Урала и Сибири с большими территориями, отведенными под лесохозяйственную деятельность с дальнейшей деревообработкой, предпочтительным вариантом являются кородревесные отходы (КДО). Являясь отходом, они

часто захораниваются на короотвалах, альтернативой которому может служить компостирование.

Подобный выбор имеет ряд преимуществ по сравнению с другими структураторами. КДО образует высокий уровень пористой структуры, обеспечивающий эффективную диффузию кислорода и принудительную аэрацию, которые улучшают поток воздуха, предотвращая анаэробные участки, ускоряет разложение и уменьшая неприятные запахи.

При внесении КДО в компостную смесь, происходит поглощение избыточной влаги из ОСВ и содержание влаги в бурте уравновешивается, до ~50–60%, что предотвращает заболачивание, которое может препятствовать микробной активности и замедлять компостирование [8]. КДО обеспечивают критически важный источник углерода для компенсации высокого содержания азота в ОСВ. Это уравновешивает соотношение углерода к азоту (C/N), способствуя росту микрорганизмов и ускоряя разложение органических веществ [7, 8].

Добавки из коры ивы ускоряют образование гуминовых веществ, при этом скорость синтеза гуминовой кислоты достигает 1,03 мг C/ (г OM d). Это стабилизирует органическое вещество, улучшая зрелость компоста и свойства кондиционирования почвы [8]. Использование КДО соответствует принципам экономики замкнутого цикла, предотвращая попадание промышленных побочных продуктов на полигоны. Совместное компостирование ОСВ с КДО снижает зависимость от субстратов на основе торфа, которые оказывают более сильное воздействие на окружающую среду [8].

Заключение

Учитывая объемы образуемых ОСВ, требуется находить новые или совершенствовать имеющиеся методы утилизации и обезвреживания. Компостирование является одним из наиболее доступных в технологическом плане методом утилизации и применение качественных структураторов и определение оптимальных соотношений может увеличить объем утилизируемых ОСВ и улучшить качество получаемого продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Sharma B., Sarkar A., Singh P., and Singh R.P*. (2017) Agricultural utilization of biosolids: A review on potential effects on soil and plant grown. Waste Management. 64 117–132.

2. *Mannina G., Badalucco L., Barbara L., Cosenza A., Di Trapani D., Gallo G*., et al. (2021) Enhancing a transition to a circular economy in the water sector: The eu project wider uptake. Water (Switzerland). 13 (7), 1–18.

3. *Kelessidis A. and Stasinakis A.S*. (2012) Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. Waste Management. 32 (6), 1186–1195.

4. *Pecorini I., Peruzzi E., Albini E., Doni S., Macci C., Masciandaro G.,* et al. (2020) Evaluation of MSW compost and digestate mixtures for a circular economy application. Sustainability (Switzerland). 12 (7).

5. *Cukjati N, Gregor Drago Zupančič, Milenko Roš and Viktor Grilc.* «Composting of anaerobic sludge: an economically feasible element of a sustainable sewage sludge management» Journal of environmental management 106 (2012): 48-55, doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.001.

6. *Gea T., Barrena R., Artola A., & Sánchez A*. (2007). Optimal bulking agent particle size and usage for heat retention and disinfection in domestic wastewater sludge composting. Waste Management, 27(9), 1108–1116. doi:10.1016/j.wasman.2006.07.005.

7. *Chroni C., Kyriacou A., Georgaki I., Manios T., Kotsou M., & Lasaridi K.* (2009). Microbial characterization during composting of biowaste. Waste Management, 29(5), 1520–1525. doi:10.1016/j.wasman.2008.12.012.

8. *Guo Y.T., Rene E.R., Wang J.J., Ma W.F.,* 2020. Biodegradation of polyaromatic hydrocarbons and the influence of environmental factors during the co-composting of sewage sludge and green forest waste. Bioresour. Technol. 297, 122434.

9. *Liu H., Yin H., Tang S.Y., Wei K., Peng H., Lu G., Dang Z.,* 2019. Effects of benzo[a] pyrene (BaP) on the composting and microbial community of sewage sludge. Chemosphere. 222, 517–526.

10. *Ozaki N., Nakazato A., Nakashima K., Kindaichi T., Ohashi A*., 2017. Loading and removal of PAHs, fragrance compounds, triclosan and toxicity by composting process from sewage sludge. Sci. Total Environ. 605, 860–866.

11. *Rorat A., Wloka D., Grobelak A., Grosser A., Sosnecka A., Milczarek M., Jelonek P., Vandenbulcke F., Kacprzak M*., 2017. Vermiremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in sewage sludge composting process. J. Environ. manage. 187, 347–353.

12. *Kapanen A., Vikman M., Rajas¨arkka ¨ J., Virta M., It¨avaara M.,* 2013. Biotests for environmental quality assessment of composted sewage sludge. Waste Manage. 33 (6), 1451–1460.

13. *Cai Q.Y., Mo C.H., Lü H., Zeng Q.Y., Wu Q.T., Li Y.W.,* 2012. Effect of composting on the removal of semivolatile organic chemicals (SVOCs) from sewage sludge. Bioresour. Technol. 126, 453–457.

14. *Patureau D., Delgenes N., Muller M., Dagnino S., Lhoutellier C., Delgenes J.P., Balaguer P., Hernandez-Raquet G*., 2012. Chemical and toxicological assessment of a full-scale biosolid compost. Environ. Toxicol. Chem. 31 (12), 2748–2756.

15. *Hafidi M., Amir S., Jouraiphy A., Winterton P., El Gharous M., Merlina G., Revel, J.C.*, 2008. Fate of polycyclic aromatic hydrocarbons during composting of activated sewage sludge with green waste. Bioresour. Technol. 99 (18), 8819–8823.

16. *Hua L., Wu W.X., Liu Y.X., Chen Y.X., McBride M.B*., 2008. Effect of composting on polycyclic aromatic hydrocarbons removal in sewage sludge. Water Air Soil Poll. 193 (1–4), 259–267.

17. *Cai Q.Y., Mo C.H., Wu Q.T., Zeng Q.Y., Katsoyiannis A., Ferard, J.F.,* 2007b. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)-contaminated sewage sludge by different composting processes. J. Hazard. Mater. 142 (1–2), 535–542.

18. *Oleszczuk P.,* 2006. Influence of different bulking agents on the disappearance of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) during sewage sludge composting. Water, Air, Soil Poll. 175 (1–4), 15–32.

19. *Amir S., Hafidi M., Merlina G., Hamdi H., Revel J.C.,* 2005a. Fate of polycyclic aromatic hydrocarbons during composting of lagooning sewage sludge. Chemosphere. 58, 449–458.

20. *Lazzari L., Sperni L., Salizzato M., Pavoni B*., 1999. Gas chromatographic determination of organic micropollutants in samples of sewage sludge and compost: behaviour of PCB and PAH during composting. Chemosphere 38 (8), 1925–1935.

21. *Hartlieb N., Marschner B., Klein, W*., 2001. Transformation of dissolved organic matter (dom) and c-14-labelled organic contaminants during composting of municipal biowaste. Sci. Total Environ. 278, 1–10.

22. *Fu J., Pan F., Song S., Zhang L.R., Luo Y., Chen W., Liang Y.,* 2013. Biodegradation of phthalic acid esters in sewage sludge by composting with pig manure and rice straw. Environ. Earth Sci. 68 (8), 2289–2299.

ANALYSIS OF STRUCTURATORS USED FOR COMPOSTING SEWAGE SLUDGE

Troegubov A.S.

(Perm National Research Polytechnic University, Perm)

Abstract. The article presents the problem of the formation of a large volume of sewage sludge. The options of structurators used in practice for composting sewage sludge are considered. A comparative characteristic of structurators is presented.

УДК 332.368

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ АЗС

Фентисов Ю.Р., Красников И.С.
Научный руководитель: Святченко А.В., доцент, к. т. н.
(БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород)

Аннотация. Автозаправочные станции (АЗС) в городской среде известны как одна из существующих и потенциальных опасностей в городах из-за разливов нефтепродуктов, их утечек из подземных резервуаров, а также попадания тяжелых металлов (ТМ) в почвенный покров. В работе объектом исследований выступали образцы почвы, отобранные с поверхностного слоя (до 20 см) в зоне влияния АЗС, расположенной в г. Белгород.

Загрязнение почвы потенциально токсичными элементами является глобальной проблемой со значительными экономическими и экологическими издержками. АЗС в городской среде известны как одна из существующих и потенциальных опасностей в городах из-за разливов нефтепродуктов и утечек из подземных резервуаров, что приводит к загрязнению почвы и грунтовых вод. Несмотря на защитные меры, длительная эксплуатация АЗС в определенном месте приводит к постепенному накоплению загрязняющих веществ в почвах вокруг станции [1].

Миграция загрязняющих веществ в почве зависит от множества факторов, к которым относятся, в частности, концентрация нефтепродуктов, климат и следующие параметры почвы: тип, сорбционная способность, pH, содержание твердой, жидкой и воздушной фазы. Гумусовый горизонт является основным фактором, способствующим удержанию почвой загрязняющих веществ, связанных с нефтью, что объясняется его высокой влаго- и воздухоемкостью, а также его заметными сорбционными свойствами [2].

Сточные воды АЗС могут содержать нефтяные углеводороды из разливов бензина, цинк и кадмий из автомобильных шин и оцинкованных деталей, другие химикаты в смазочном масле и смазке, а также взвешенные частицы и откладывать их в водоемах в окружающей среде. Несмотря на то, что в современной технологии производства бензина не используются ТМ в качестве присадок [3], как это было ранее, все же микроскопические примеси могут присутствовать из-за коррозии трубопроводов и резервуаров (Fe), из оборудования катализаторов и старых отложений (Ni, Cu, Zn), а также из-за переработки нефти с высоким содержанием ванадиевых соединений (V). Сточные воды автомоек также могут содержать различные химические вещества, выделяющиеся из моющих химикатов и моющих средств, изношенных тормозных дисков и колодок, грязи с неасфальтированных дорог и грязи от перевозимых пассажиров, и грузов, что может способствовать химической потребности в кислороде, мутности, общему количеству растворенных твердых веществ и общему количеству взвешенных твердых веществ, поверхностно-активных веществ, масел и смазок, а также ТМ в сточных водах [4].

При оценке экологического состояния почв и грунтов значительную роль играет анализ содержания как природных элементов и соединений, так и ксенобиотиков. Определение уровня загрязненности почв проводится посредством сравнения концентраций загрязняющих веществ в исследуемых образцах с их естественным (фоновым) содержанием, а также с установленными предельно допустимыми концентрациями (ПДК) [5].

В данной работе объектом исследований выступали образцы почвы, отобранные с поверхностного слоя (до 20 см) непосредственно около территории, на удалении 100 м в обе стороны от АЗС «Лукойл» (г. Белгород) вдоль трассы (рисунок 1).

Рисунок 1. Точки отбора проб почвы: 1 – на территории АЗС; 2 – на расстоянии 100 м от точки 1 на запад; 3 – на расстоянии 100 м от точки 1 на восток

Лабораторные исследования показали (таблица 1), что в пробах почв невысокое содержание гумуса, относящее их к среднеплодородным, среднегумусным [6]. Полученные значения типичны для серых лесных почв с активной минерализацией. Несмотря на развитость черноземов в Белгородской области, встречаются на территории области также и серые лесные, что подтверждается проведенными лабораторными исследованиями.

Таблица 1

Результаты по определению гумуса в почве

Точка отбора	Значение			
	1 повторность	2 повторность	2 повторность	Ср. значение
Гумус				
1	4,3	4,2	4,4	4,3
2	4	4,2	4,1	4,1
3	4,1	4,2	4,6	4,3

Земли, находящиеся вблизи автотрасс в значительной степени подтверждены риску загрязнения в большей степени нефтепродуктами и ТМ. Как было указано ранее, источниками загрязнения могут быть не только продукты сгорания топлива, но и коррозионные процессы металлических деталей машин, дорожных ограждений и покрытий с добавками. Следует учитывать, что содержание свинца и марганца в почвах, не смотря на сегодняшний запрет применения в топливе, все еще присутствует в связи с ранее активным использованием этилированного бензина, компоненты которого имеют период полураспада более сотни лет. Для изучения состояния почвенного покрова по некоторым возможным загрязнителям были проведены эксперименты [7], результаты которых представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты по определению ТМ в почве

Точка отбора	Значение, мг/кг			
	1 повторность	2 повторность	2 повторность	Ср. значение
Медь				
1	3,5	3,4	3,6	3,5
2	3,3	3,2	3,4	3,3
3	3,3	3,2	3,4	3,3
Марганец				
1	659	652	663	658
2	648	651	651	650
3	649	651	644	648

Содержание ТМ в исследуемых пробах показало отклонение от нормы по меди ($ПДК_{Cu2+}$ = 3 мг/кг, подвижная форма). Медь относится к 2 классу опасности [8], зафиксированные отклонения 6-14 %.

Таким образом, установлено, что почва исследуемой территории находится в неудовлетворительном состоянии. Ввиду невысоких значений гумуса рекомендуется увеличить содержание органического вещества за счет применения органических удобрений. Данное мероприятие не только повысит содержание органической части, но и будет снижать подвижность меди.

Несмотря на расположении территории вблизи потенциального источника загрязнения ТМ, автотрассы, содержание марганца не превышает ПДК ($ПДК_{Mn2+}$ = 1500 мг/кг, валовое содержание) [8], а меди не достигает критических значений. Это можно объяснить буферной способностью почвы за счет глинистого состава, реакции pH, ограничивающего подвижность ТМ.

Проведение энергодисперсионного анализа на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU не показало значимых изменений процентного соотношения элементов в образцах почв, отобранных на участках вдоль автотрассы в сравнении с пробой отобранной на территории АЗС (таблица 3).

Таблица 3

Процентное содержание основных химических элементов в почвах

Содержание основных химических элементов, вес %						
Точка отбора 1						
O	Si	Fe	Ca	C	K	Mg
48,025	29,058	5,058	2,425	2,014	1,385	1,145
Точка отбора 2						
O	Si	Fe	Ca	C	K	Mg
49,058	29,089	5,245	2,298	2,124	1,208	1,104
Точка отбора 3						
O	Si	Fe	Ca	C	K	Mg
50,002	28,083	5,851	2,342	2,058	1,378	1,202

Как видно из представленных данных таблицы 3 почвы имеют силикатно-оксидный состав. Наибольшее содержание приходится на кислород (48-50%), вторым элементом является кремний (28-29%). Кремний является веществом, которое связывает ТМ и препятствует проникновению в корневую часть растений, а также влияет положительно на развитие растений. Данное обстоятельство хорошо согласуется с вышеуказанными данными по наличию марганца и меди в образцах. Следовательно, почвы исследуемой территории обладают естественной устойчивостью к антропогенному загрязнению.

Проведенные исследования не показали явного влияния АЗС на почвенный покров. Обнаруженное загрязнение является следствием близкого расположения автотрассы. Для снижения загрязнения на почвенный покров рекомендуется провести мелиоративные мероприятия.

Работа выполнена в рамках реализации Федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Rabajczyk A., Swiercz A.* Contamination of soils with polycyclic aromatic hydrocarbons Near petrol stations in the city of Kielce // Environment Protection Engineering. 2018. 44(2). Pp. 102-115.

2. *Borowiec M., Hoffmann K., Huculak M., Rogowski S., Hoffmann J.* Effect of petrol stations on the contamination of the soil environment // Czasopismo Techniczne. 2028. No. 2. Pp. 61-69.

3. ГОСТ Р 51105-2020 Топлива двигателей внутреннего сгорания. Бензин неэтилированный. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2020.

4. *Leekplah C.E., Mensah L., Bentil E. [et al.].* Heavy metal contamination from fuel station run-off and carwash wastewater: An assessment of ecological risk and experimental treatment // Heliyon. 2024. No. 10. Pp. 29167-29179.

5. *Околелова А.А., Мерзлякова А.С., Заикина В.Н., Кожевникова В.П.* Информативность оценки загрязнения почв поллютантами неорганического происхождения // Естественно-гуманитарные исследования. 2014. №3(5). С. 14-24.

6. *Пендюрин Е.А., Рыбина С.Ю., Смоленская Л.М., Латыпова М.М.* Исследование некоторых физико-химических показателей искусственно созданных почвосмесей // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 9. С. 27-31.

7. ГОСТ Р 50683-94 Почвы. Определение подвижных соединений меди и кобальта по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1994.

8. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. N 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (с изменениями от 16 декабря 2024 г.).

STUDY OF SOIL CONDITION IN THE INFLUENCE ZONE OF A GAS STATION

Fentisov Yu.R., Krasnikov I.S.

Supervisor: Svyatchenko A.V., Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

(BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod)

Abstract. Gas stations in the urban environment are known as one of the existing and potential hazards in cities due to oil product spills, leaks from underground reservoirs, as well as heavy metals entering the soil cover. In this work, the object of research was soil samples taken from the surface layer (up to 20 cm) in the influence zone of gas station (Belgorod).

УДК 502.36

СИСТЕМА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД АВТОМОЙКИ ОТ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ, НЕФТЕПРОДУКТОВ И ПАВ

Хазбуранов Р.А.
Научный руководитель: Шавалеева С.М., к. х. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В представленной работе рассмотрена система очистки сточных вод автомойки, которые содержат взвешенные вещества, нефтепродукты и ПАВ. Поэтому автомойки представляют значительную экологическую опасность для окружающей среды. При рассмотрении современных наилучших из доступных технологий был выбран физико-химический метод очистки стоков с предварительной коагуляцией и флокуляцией загрязнителей, предложена технологическая схема очистки сточных вод, рассмотрен принцип и устройство работы аппарата очистки, а также проведён расчёт его конструктивных параметров.

Эксплуатация автомобильного транспорта сопровождается образованием загрязненных сточных вод, на состав которых влияет множество факторов: сезонность, состояние дорожного покрытия, вид топлива автомобиля, а также используемые моющие средства. В результате на автомойках образуется большое количество сточных вод сложного состава, включающих в себя как неорганические, так и органические загрязнители. Основные загрязнители – нефтепродукты, взвешенные вещества и поверхностно-активные вещества ПАВ [1]. Нефтепродукты (масла, смазочные материалы, топливные остатки) образуют на поверхности водоемов тонкие пленки, которые препятствуют газообмену, взвешенные вещества вызывают образование илов, а ПАВ эмульгируют загрязняющие вещества, что усложняет их удаление.

Взвешенные частицы представляют собой основную группу загрязнений, требующую эффективного механического удаления перед дальнейшими стадиями очистки. Они могут содержать тяжелые металлы, такие как свинец, цинк, медь и кадмий, которые оказывают токсичное воздействие на водные экосистемы. В таблице 1 приведены концентрации взвешенных веществ в сточных водах автомоек в зависимости от типа автомойки, а также максимальное допустимое значение этого показателя [2].

Таблица 1

Концентрация взвешенных веществ в сточных водах автомоек в зависимости от типа автомойки

Тип автомойки	Концентрация взвешенных веществ, мг/л	Максимальное допустимое значение показателя, мг/л
Ручная мойка	200-1000	300
Портальная мойка	300-3000	
Туннельная мойка	500-2000	
Бесконтактная мойка	300-4000	

Нефтепродукты и масла попадают в сточные воды автомоек в результате смыва с загрязнённых деталей и поверхностей автомобилей. Их концентрация может достигать 10–500 мг/л, а их состав включает: растворенные углеводороды, эмульгированные масла, а также нерастворимые фракции тяжелых углеводородов (Таблица 2) [3]. Согласно природоохранным нормам, предельно допустимая концентрация нефтепродуктов в воде для сброса составляет 2,5 мг/л**.** В сточных водах автомоек этот показатель может превышаться в десятки, а иногда и в сотни раз, что требует обязательного удаления нефтепродуктов перед сбросом или повторным использованием воды. Нефтепродукты в сточной воде автомоек находятся в слабо эмульгированном состоянии и зачастую адсорбированы на частицах взвешенных веществ.

Такие агрегатные состояния масло- и нефтепродуктов требуют дополнительной обработки и утилизации отделённых от воды нефтепродуктов. Основная опасность нефтепродуктов заключается в их устойчивости к естественному разложению и способности накапливаться в водоемах, образуя пленку на поверхности воды, что приводит к снижению содержания кислорода и гибели водных организмов. Для удаления нефтепродуктов из сточных вод применяются такие методы, как флотация, коагуляция и сорбция.

Таблица 2

Концентрация нефтепродуктов в сточных водах автомоек в зависимости от типа автомойки

Тип автомойки	Концентрация нефтепродуктов, мг/л	Максимальное допустимое значение показателя, мг/л
Ручная мойка	10-100	2,5
Портальная мойка	50-300	
Туннельная мойка	100-500	
Бесконтактная мойка	50-200	

ПАВ входят в состав большинства моющих и чистящих средств, используемых на автомойках. Они способствуют удалению жировых загрязнений, масел и других труднорастворимых веществ. Концентрация ПАВ в сточных водах автомоек варьируется от 5 до 200 мг/л в зависимости от типа используемых моющих средств и технологии их применения (Таблица 3) [4].. Опасность ПАВ связана с их способностью изменять поверхностное натяжение воды. Это приводит к нарушению природных процессов самоочищения водоемов и токсическому воздействию на водные организмы.

Таблица 3

Концентрация ПАВ в сточных водах автомоек в зависимости от типа автомойки

Тип автомойки	Концентрация ПАВ мг/л	Максимальное допустимое значение показателя, мг/л
Ручная мойка	5-50	5
Портальная мойка	20-100	
Туннельная мойка	50-200	
Бесконтактная мойка	30-150	

Также сточные воды автомоек могут содержать тяжелые металлы, которые поступают в воду в результате смыва тормозной пыли, остатков резины и металлических элементов транспортных средств; органические соединения – масла, жиры, воски и другие вещества, присутствующие в остатках загрязнений на автомобилях; микробиологические загрязнения – бактерии и грибковые микроорганизмы, попадающие в воду с поверхности автомобилей [5].

Для эффективного удаления этих загрязняющих веществ необходимо применять современные технологии очистки. В данной работе предложена технологическая схема очистки сточных вод бесконтактной мойки автомобилей на 4 поста от взвешенных частиц ($С_{исх}$= 3000 мг/л), нефтепродуктов ($С_{исх}$= 150 мг/л) и ПАВ $С_{исх}$= 100 мг/л).

К основным способам и методам очистки сточных вод автомоек от взвешенных веществ, нефтепродуктов и ПАВ относят механические (процеживание, отстаивание, фильтрование, микрофильтрация), химические (нейтрализация, дезинфекция), физико-химические (коагуляция, флокуляция, сорбция, флотация, экстракция, ионный обмен, обратный осмос, термическая обработка) [6].

На основании проведенного анализа отечественной и зарубежной литературы, патентного-реферативного поиска в сфере экологической безопасности в области защиты водной среды, а также ИТС НДТ [3] был выбран физико-химический метод и предложена технологическая схема очистки сточных вод предприятия (Рис. 1).

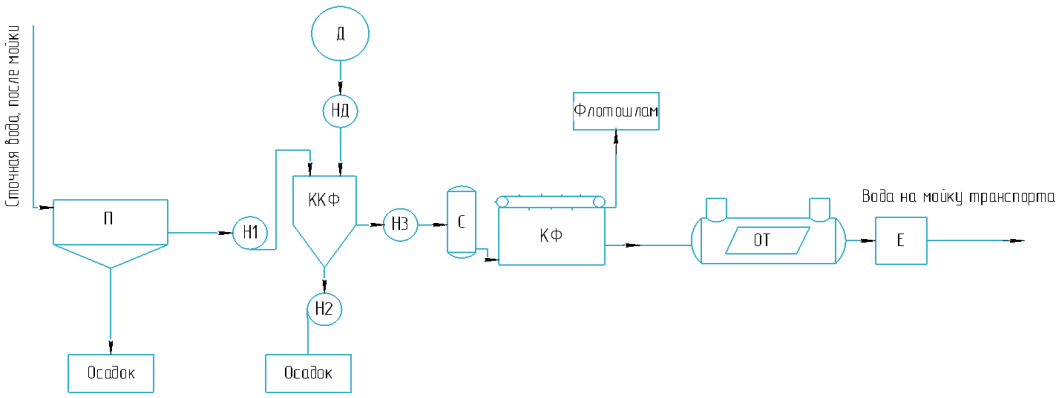


Рис 1. Технологическая схема очистки сточных вод автомойки от взвешенных частиц, нефтепродуктов и ПАВ: П – песколовка; Н1, Н2, Н3 – насосы; ККФ – камера коагуляции-флокуляции; НД - насос дозатор; Д - дозатор (алюмокремниевый флокулянт-коагулянт); С – сатуратор (напорный бак); КФ – камера флотационная; ОТ - отстойник тонкослойный; Е - накопительная ёмкость

Согласно предлагаемой технологической схеме сточная вода после мойки транспорта поступает в песколовку, где крупные частицы осаждаются и попадают в приямок, откуда затем удаляется в контейнер для осадка. Далее сточная вода самотеком попадает в камеру коагуляции-флокуляции, куда при помощи насоса дозатора подается алюмокремниевый флокулянт-коагулянт. Перемешивание происходит при помощи лопастной мешалки. Образовавшийся осадок при помощи насоса поступает в емкость для сбора шлама. Далее стоки поступают в сатуратор, где вода насыщается воздухом и направляется во флотационную камеру, где из нее выделяются пузырьки воздуха и переходят в слой пены на поверхности воды. Образующаяся пена удаляется в контейнер для осадка. По мере заполнения контейнера шлам вывозится и утилизируетсяя. Затем вода поступает самотеком в тонкослойный отстойник, в котором происходит доочистка воды до ПДК. Очищенная вода поступает в емкость для ее повторного использования.

Основным аппаратом очистки в представленной технологической схеме является камера коагуляции-флокуляции [7], состоящая из привода, металлического корпуса, вала, пропеллерной мешалки, выходного патрубка, патрубка для реагента, входного патрубка, патрубка для осадка (Рис. 2).

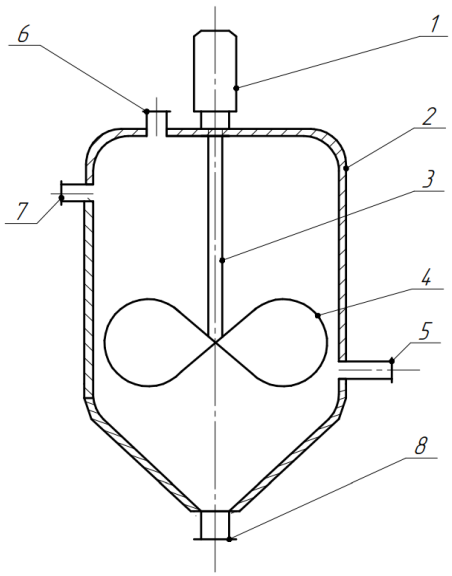


Рисунок 2. Устройство камеры коагуляции-флокуляции: 1 – привод; 2 –корпус металлический; 3 –вал; 4 – пропеллерная мешалка; 5 – патрубок выходной; 6– патрубок для реагента; 7 – патрубок входной; 8 – патрубок для осадка

Сточная вода поступает в аппарат через входной патрубок (7). Одновременно через патрубок для реагента (6) дозируется алюмокремниевый коагулянт-флокулянт в концентрации 150–200 мг/л. Этот реагент выполняет две ключевые функции: нейтрализует заряды мелких частиц (коагуляция) и объединяет их в крупные хлопья (флокуляция), что значительно упрощает их последующее удаление. Для обеспечения равномерного распределения реагента и формирования хлопьев вода проходит этап перемешивания. Пропеллерная мешалка (4), приводимая в действие приводом (1), вращается со скоростью 50–200 об/мин в течение 15–30 минут. Этот процесс критически важен для эффективной коагуляции — без тщательного перемешивания реагент не сможет полноценно взаимодействовать с загрязнениями. Привод оснащен 2 режимами, быстрого перемешивания (200 об/мин) для коагуляции и медленного (50 об/мин) для флокуляции. После перемешивания вода отстаивается в течение 2 часов для оседания хлопьев. Очищенная вода самотеком отправляется на следующий этап очистки через выходной патрубок (5). Накопившийся осадок (шлам) периодически или непрерывно удаляется через патрубок для осадка (8). Объем шлама обычно составляет 1–5% от общего объема обрабатываемой воды и зависит от исходной концентрации взвешенных веществ.

Для поддержания стабильной работы аппарата рекомендуется автоматизировать дозировку реагента на основе данных датчиков мутности до и после очистки; контролировать уровень шлама для своевременного удаления.

Данная система идеально подходит для малых расходов (до 5 м³/сут). При необходимости обработки больших объемов требуется масштабирование параметров аппарата, включая увеличение мощности мешалки, площади отстойной зоны и производительности системы удаления осадка.

Расчет конструктивных параметров аппарата очистки показал, что для очистки сточных вод круглосуточной автомойки на 4 поста необходимы 2 накопителя, камера коагуляции-флокуляции объемом 2,6 $м^3$, диаметром 1,5 м, высотой 2 м, мощность привода мешалки составляет 500 Вт, суточный расход Al_2SiO_5 равен 7,74 л/сут.

Таким образом, предложенная технологическая схема очистки сточных вод от взвешенных частиц, нефтепродуктов и ПАВ обеспечивает эффективность очистки от взвешенных веществ, нефтепродуктов, ПАВ на 97%, 75%, 65% соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кульнев А.В.* Очистка сточных вод автомоек: технологии и оборудование / А.В. Кульнев, В.И. Самойлов // Экология и промышленность России. — 2018. — Т. 22, № 4. — С. 36–41.

2. *Сорокина Е.В.* Экологические аспекты эксплуатации автотранспортных предприятий: монография / Е.В. Сорокина. — СПб.: Лань, 2015. — 180 с.

3. *Бельчинская Л.И.* Очистка сточных вод от нефтепродуктов и ПАВ на автомойках / Л.И. Бельчинская, А.В. Козлов // Вестник МГТУ. — 2019. — Т. 22, № 2. — С. 112–118.

4. *Шевчук А.В.* Экология автомобильного транспорта: учеб. пособие / А.В. Шевчук. — М.: Транспорт, 2012. — 224 с.

5. *Ковалёв В.В.* Технологии очистки сточных вод автотранспортных предприятий / В.В. Ковалёв, И.А. Петров // Экология производства. — 2020. — № 6. — С. 45–52.

6. *Громов А.В.* Загрязнение окружающей среды автотранспортом и методы его минимизации: монография / А.В. Громов. — М.: Инфра-М, 2017. — 160 с.

7. *Драгинский В.Л.* Теоретические и практические основы коагулирования в процессах очистки воды: монография / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева, С.В. Гетманцев. - 2-е изд., перераб. - М.: Научный мир, 2015. - 342 с.

8. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов: утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 февраля 2022 г. №7. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2022. – 48 с

9. *Куликов Н.И*. Современные методы очистки сточных вод автомоек / Н. И. Куликов // Водоснабжение и санитарная техника. - 2021. -№ 8. - С. 34-41.

CAR WASH WASTEWATER TREATMENT SYSTEM FOR SUSPENDED SOLIDS, PETROLEUM PRODUCTS AND SURFACTANTS

Khazburanov R.A.
Research supervisor: Shavaleeva S. M., Candidate of Chemical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In the presented work, the wastewater treatment system of a car wash is considered, which contain suspended solids, petroleum products and surfactants. Therefore, car washes pose a significant environmental hazard to the environment. When considering the modern best available technologies, a physico-chemical method of wastewater treatment with preliminary coagulation and flocculation of pollutants was chosen, a technological scheme for wastewater treatment was proposed, the principle and device of operation of the purification apparatus was considered, and its design parameters were calculated.

УДК.504.05

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛЫ ОТ СЖИГАНИЯ ТОРФА В АГРАРНОМ СЕКТОРЕ

Чмурова Д.А, Супраненок Г.В.
Научные руководители: Цыганова А.А., доцент, к. с.-х. н,
Благовещенская Т.С., старший преподаватель
(Учреждение образования «Национальный детский технопарк», Беларусь)

Аннотация. В статье проанализированы основные направления использования золы от сжигания торфа в Республике Беларусь. Представлены результаты эксперимента с использованием сжигания торфа в составе почвогрунта при возделывании озимой ржи и рапса, а также результаты определения содержания тяжелых металлов в золе.

Проблема поиска путей практического применения золы от сжигания местных видов топлива, особенно торфа, является актуальной задачей для Республики Беларусь. В соответствии с Классификатором отходов, образующихся в Республике Беларусь [1], такой вид отходов относится к третьему классу опасности и вывозится на захоронение на полигоны твердых бытовых отходов. Основными направлениями государственной политики Республики Беларусь в области обращения с отходами [2] являются следующие направления в порядке приоритетности:

- предотвращение образования отходов;
- уменьшение объемов образования отходов;
- переработка отходов;
- применение отходов для производства (выработки) энергии;
- применение отходов для выполнения работ (оказания услуг);
- обезвреживание отходов.

Поскольку в Республике Беларусь в энергетической сфере широко используется торф, объемы образующейся золы достаточно велики, соответственно возрастает необходимость изучение способов ее использования в различных отраслях народного хозяйства, альтернативных захоронению.

Исследование свойств золы, оценка возможности ее использования как удобрения являются важной задачей, направленной на уменьшение негативных экологических воздействий ее захоронения.

Выделяют следующие направления использования торфяной золы [3,4].

Производство керамики в Республике Беларусь. Наша страна является крупным производителем керамического кирпича (около 650 млн шт. в год). Однако местные глины требуют улучшения свойств изготавливаемых изделий за счет применения различных добавок, например, золы от сжигания твердых видов топлива как минерального компонента. Преимущества использования золы в данном направлении:

- снижение чувствительности глин к сушке, что позволяет ускорить процесс производства;
- уменьшение плотности кирпича и повышение его теплозащитных свойств;
- повышение пластической прочности, уменьшение экструзионных дефектов, что позволяет увеличить механическую прочность и морозостойкость кирпича.

В цементной промышленности золу от сжигания топлива можно использовать двумя способами - в сырьевой шихте для производства портландцементного клинкера и как добавку при производстве цемента. В цементобетоне зола улучшает свойства бетонной смеси (связность, водоотделение, расслоение) и готового бетона (прочность, плотность, водонепроницаемость, стойкость к сульфатной коррозии). В Республике Беларусь исследованы направления применения торфяных зол и шлака в бетоне, разработаны составы и технологии бетонных смесей с торфяной золой.

Использование в качестве удобрений в аграрном секторе. Как известно, зола — это минеральный остаток, образующийся в процессе сжигания органических веществ. Так, торфяная зола может рассматриваться как комплексное удобрение, поскольку содержит ряд необходимых для растений питательных элементов в форме, доступной для поглощения корневой системой. Актуальность использования золы в аграрном секторе Республики Беларусь обусловлена рядом факторов, связанных с агрохимическими аспектами:

- зола является ценным источником макро- и микроэлементов, необходимых для роста и развития растений (калий, фосфор, кальций, магний, бор, марганец, цинк, молибден и др.). Особенно актуально это для почв, бедных этими элементами, что характерно для некоторых регионов Беларуси;
- зола обладает щелочной реакцией и может использоваться для нейтрализации кислых почв, улучшая условия для роста многих сельскохозяйственных культур;
- зола может улучшать структуру и физические свойства почвы, такие как влагоемкость, воздухопроницаемость;
- использование золы позволяет частично или полностью заменить минеральные удобрения, снижая затраты на их приобретение и уменьшая негативное воздействие на окружающую среду.

С целью оценки воздействия золы, полученной при сжигании торфа, на всхожесть, было проведено исследование, в рамках которого семена озимой ржи и рапса высаживались в образцы почвогрунтов с различным содержанием золы: 5, 10 и 15 %. В исследовании изучалась зола, уловленная электрофильтром после очистки отходящих газов от процесса сжигания торфа на одном из производств.

Для подготовки образцов почвы с добавлением золы в соответствии с определенными соотношениями компонентов измеряли необходимое количество как золы, так и почвы, после чего проводили их смешивание. Приготовленные образцы были увлажнены, после чего в каждый из образцов было высажено по 20 семян ржи и 20 семян рапса.

Затем готовые образцы разместили в хорошо освещаемом месте, где они находились в течение 18 дней под наблюдением за их ростом и развитием. Полив проводился по мере необходимости. Результаты эксперимента представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Показатели всхожести озимой ржи в исследуемых образцах

Образец	День 0 (высадка)	День 3	День 6	День 9	День 12	День 15	День 18
Почва	-	10	17	18	18	18	18
Почва+ зола (5%)	-	10	19	19	19	19	19

Почва+ зола (10%)	-	8	16	19	19	19	19
Почва+ зола (15%)	-	6	16	19	19	19	19

Таблица 2

Показатели всхожести рапса в исследуемых образцах

Образец	День 0 (высадка)	День 3	День 6	День 9	День 12	День 15	День 18
Почва	-	-	7	10	10	10	10
Почва+ зола (5%)	-	-	7	9	10	12	12
Почва+ зола (10%)	-	-	1	3	4	7	8
Почва+ зола (15%)	-	-	2	6	8	8	8

В контрольном образце с чистой почвой всхожесть обеих культур оказалась достаточно высокой. Это указывает на благоприятную среду чистой почвы для начального этапа роста и развития растений.

Применение золы в почвогрунте в концентрации от 5% до 10 % давало стойкий положительный эффект на процент всхожести и морфофизиологическое развитие растений озимой ржи. Концентрация золы (15%) в почвогрунте оказала заметное негативное воздействие на озимую рожь уже в процессе более поздней вегетации.

Несмотря на активную начальную всхожесть, ростки озимой ржи начали постепенно увядать. Это свидетельствует о том, что высокая концентрация золы создала неблагоприятные условия для дальнейшего развития растений.

В то же время растения рапса показали восприимчивость к увеличению концентрации золы в почвогрунте от 10 до 15%, что привело к заметному снижению всхожести и замедлению развития и роста ростков рапса.

Таким образом, внесение золы (5%) и почвы показало наилучший эффект на всхожесть и развитие рапса и озимой ржи. При этом отмечается довольно высокий процент всхожести и активный рост культур. Результаты исследований помогут оценить эффективность и экологичность применения золы как удобрения, определить оптимальные дозировки и способы внесения, а также разработать рекомендации для практического использования в сельском хозяйстве Беларуси.

Однако, одним из ограничений в использовании золы от сжигания торфа в качестве удобрения является содержание в ней тяжелых металлов.

Поэтому в рамках исследования также ставилась задача определить концентрацию тяжелых металлов в анализируемой золе. Содержание тяжелых металлов в пробах золы от сжигания торфа после электрофильтра анализировалось методом атомно-адсорбционной спектрометрии. Полученные результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты химического анализа образца золы от сжигания торфа (валовый состав)

Определяемый элемент	Обнаружено в образце, мг/кг
Медь	6,6
Цинк	7,1
Никель	8,9
Кадмий	Не обнаружено
Свинец	3,8
Марганец	91,1
Общий хром	8,7
Железо	8900,0

В таблице представлены средние значения валового состава золы, проанализированной в пяти образцах, образовавшихся в течение месяца. Максимальные значения в образцах золы от сжигания торфа были по содержанию железа и марганца. Для оценки миграции

компонентов золы был проведен эксперимент: образец золы помещали в подкисленную до pH 4.3 дистиллированную воду на 3 суток при комнатной температуре. Результаты исследования представлены в таблице 4.

Согласно результатам анализа миграции, переход основных токсичных элементов в водный раствор был незначительным для большинства элементов. Лишь марганец и железо продемонстрировали незначительное вымывание. Исследование химического состава золы, полученной при сжигании местных видов топлива, показало, что содержание тяжелых металлов (меди, цинка, никеля, свинца, общего хрома) в валовом составе золы находится на низком уровне, а кадмий не обнаружен. Основными элементами, присутствующими в значительных концентрациях, являются железо и марганец, которые являются важными микроэлементами для растений.

Таблица 4

Миграция компонентов из образца от сжигания золы в дистиллированную воду

Определяемый элемент	Содержание элемента в навеске (100г), мг	Обнаружено в образце мг/л
Медь	0,62	Не обнаружено
Цинк	0,70	Не обнаружено
Никель	0,87	Не обнаружено
Кадмий	Не обнаружено	Не обнаружено
Свинец	0,38	Не обнаружено
Марганец	0,91	0,08
Общий хром	0,87	Не обнаружено
Хром(6+)	-	Не обнаружено
Хром(3+)	-	Не обнаружено
Железо	864	0,19

Железо – важный микроэлемент для растений, необходимый для фотосинтеза, дыхания и синтеза хлорофилла. Как дефицит, так и избыток железа вредны. Дефицит вызывает хлороз и замедляет рост, а избыток токсичен и нарушает усвоение других элементов. Оба состояния негативно влияют на корни. Контроль уровня железа в почве важен для сельского хозяйства для обеспечения здоровья растений и урожайности, включая мониторинг и использование устойчивых сортов.

Марганец – важный микроэлемент, необходимый для роста растений, участвующий в фотосинтезе, дыхании, синтезе аминокислот и антиоксидантной защите. Дефицит марганца - вызывает хлороз, замедляет рост, ослабляет корни и нарушает метаболизм.

Таким образом, проведенные исследования показали, что зола от сжигания торфа представляет собой перспективный источник питательных веществ для сельскохозяйственных культур и может быть эффективно использована в качестве удобрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 09.09.2019 № 3-Т «Об утверждении, введении в действие общегосударственного классификатора Республики Беларусь».

2. Закон Республики Беларусь от 20 июля 2007 г. № 271-З "Об обращении с отходами".

3. *Вильдфлуш И.Р., Цыганов А.Р., Лапа В.В., Персикова Т.Ф.* Рациональное применение удобрений. – Горки, 2002. – 322 с.

4. *Ковалев В.М.* Теория урожая. – М.: Изд. МСХА,2003. – 330 с.

THE POSSIBILITY OF USING ASH FROM BURNING PEAT IN THE AGRICULTURAL SECTOR

Chmurova D.A., Supranenok G.V.
Supervisors: Tsyganova A.A., Associate Professor, Candidate of Agricultural Sciences,
Blagoveschenskaya T.S., Senior Lecture*r*
(Educational Institution "National Children's Technopark" Belarus)

Abstract. This article analyzes the main uses of peat ash in the Republic of Belarus. It presents the results of an experiment using peat combustion as part of the soil during the cultivation of winter rye and rapeseed, as well as the results of determining the heavy metal content in the ash.

УДК 556.5(07)

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОСТАВА ВОД ИЗ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОДОИСТОЧНИКА

Штурбабин Н.С.
Научный руководитель: Тунакова Ю.А., профессор, д.х.н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе представлены результаты комплексного гидрохимического исследования проб воды, отобранных из значимого урбоэкосистемного объекта - озера Нижний Кабан, расположенного в городской черте г. Казани. В ходе исследования были определены концентрации ключевых компонентов, имеющих как природное, так и антропогенное происхождение: сульфат-ионов (SO_4^{2-}), фосфат-ионов (PO_4^{3-}), хлорид-ионов (Cl^-), а также ионов тяжелых и цветных металлов – меди (Cu^{2+}), никеля (Ni), железа (Fe), алюминия (Al) и свинца (Pb). Для интегральной оценки степени загрязнения водной среды был применен комплекс расчетных показателей, включающий коэффициент загрязненности (КЗ), гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ) и показатель химического загрязнения воды (ПХЗ-10). Все аналитические исследования проводились в строгом соответствии с действующими регламентирующими документами (ГОСТ, ПНД Ф, РД). Полученные данные свидетельствуют о значительном уровне загрязнения водоема и могут служить основой для разработки мероприятий по его реабилитации.

Введение

Поверхностные водные объекты являются критически важным компонентом природной среды, выполняющим гидрологичесские, экологические, рекреационные и хозяйственные функции. Качество водных ресурсов в значительной степени определяет экологическое благополучие и санитарно-эпидемиологическую обстановку на прилегающих территориях. Особую актуальность проблема сохранения качества вод приобретает в условиях интенсивной урбанизации, где на водные экосистемы ложится колоссальная антропогенная нагрузка.

Одним из таких объектов, испытывающих значительное прессинг со стороны городской инфраструктуры, является озерная система Кабан, в частности, озеро Нижний Кабан, расположенное в центральной части г. Казани. Его состояние формируется под влиянием множества факторов, включая поверхностный сток с городских территорий, поступление недостаточно очищенных сточных вод, рекреационную деятельность, а также атмосферные выпадения загрязняющих веществ.

В последние десятилетия отмечается устойчивая тенденция к увеличению концентрации биогенных элементов (фосфатов, соединений азота) и токсичных металлов в водных объектах урбанизированных ландшафтов. Контроль содержания таких показателей, как сульфаты (SO_4^{2-}), фосфаты (PO_4^{3-}), хлориды (Cl^-), а также ряда приоритетных токсикантов

- меди (Cu^{2+}), никеля (Ni), железа (Fe), алюминия (Al) и свинца (Pb) - является обязательным элементом мониторинга состояния водной среды, поскольку эти вещества могут оказывать негативное влияние как на гидробионтов, так и на здоровье человека.

Целью настоящего исследования явилось проведение комплексной оценки степени загрязнения воды озера Нижний Кабан на основе определения концентраций указанных загрязняющих веществ и расчета интегральных показателей (ИЗВ, КЗ, ПХЗ-10).

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Отобрать репрезентативные пробы воды из озера Нижний Кабан.
2. Провести количественный химический анализ проб на содержание анионов (SO_4^{2-}, PO_4^{3-}, Cl^-) и катионов металлов (Cu, Ni, Fe, Al, Pb) стандартизированными методами.
3. Провести сравнительный анализ полученных концентраций с установленными нормативами ПДК.
4. Рассчитать комплексные показатели загрязнения (КЗ, ИЗВ, ПХЗ-10) и классифицировать состояние водного объекта по степени загрязненности.
5. На основе проведенного анализа сформулировать выводы о современном экологическом состоянии озера и предложить рекомендации.

Методы исследования

В соответствии с регламентированной методикой был проведен отбор пробы воды озера Нижний Кабан. Концентрация сульфат-ионов (SO_4^{2-}) в соответствии с ГОСТ 31940-2012[1] и ПНДФ14.1:2.159-2000[2] была определена спектрофотометрическим методом. Концентрация фосфат-ионов (PO_4^{3-}) в соответствии с ПНДФ1.1:2.112-97[3] была определена спектрофотометрическим методом. Концентрация хлорид-ионов (Cl^-) в соответствии с ПНДФ14.1:2:96-97[4] была определена полуколичественным методом. Концентрация ионов меди (Cu^{2+}) в соответствии с ГОСТ4388-72[5] и ПНДФ14.1:2.48-96[6] была определена титрометрическим методом. Концентрация никеля (Ni) в соответствии с РД52.24.494-2006[7] была определена спектрофотометрическим методом с использованием винной кислоты, аммиака, йода и ДМГ. Концентрация железа (Fe) в соответствии с ПНДФ14.1:2:4.50-9[8] была определена спектрофотометрическим методом. Концентрация алюминия (Al) в соответствии с ПНДФ14;1:2:4.166-2000[9] была определена спектрофотометрическим методом. Концентрация свинца (Pb) в соответствии с ПНДФ14.1:2:54-96[10] была определена спектрофотометрическим методом.

Обоснование выбора методов

Для комплексной оценки степени загрязненности воды в рассматриваемом поверхностном водном объекте был проведен расчет трех комплексных показателей: коэффициента комплексности загрязнения (КЗ), индекса загрязненности воды (ИЗВ) и показателя химического загрязнения воды (ПХЗ-10). Расчет данных показателей является наиболее простым и позволит сопоставить полученные результаты, для более адекватной оценки.

Показатель комплексности загрязнения (КЗ) отражает количество показателей, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК). Высокий КЗ указывает на многокомпонентное загрязнение. Далее индекс загрязненности воды (ИЗВ), он оценивает степень превышения ПДК отвечая на вопрос «насколько вода грязная», а не «чем она загрязнена». Показатель химического загрязнения воды (ПХЗ-10) учитывает, как частоту встречаемости превышений ПДК, так и степень этого превышения, а также класс опасности вещества. Таким образом каждый показатель дополняет другой. Используемые для комплексной оценки показатели приведены в табл.1.

Таблица 1

Показатели для комплексной оценки загрязнённости поверхностных вод

№	**Показатель**	**Формула**
1	Коэффициент загрязненности КЗ	$КЗ = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{n=1}^{N_{ij}} П_{ijn}$ где i - номера показателей качества воды (либо групп с одинаковым лимитирующим признаком вредности (ЛПВ)); j - номера створов (пунктов контроля); n, Nijn - номера измерений i-го показателя в j-м створе и общее количество этих измерений за анализируемый период (квартал, год и т.п.); N - общее число измерений всех i показателей во всех j створах за этот период. Величина Пijn характеризует относительную величину нарушения норматива на i-й показатель (либо на i-ю группу показателей с одинаковым ЛПВ).
2	Гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ)	$ИЗВ = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{ПДК_i}$, где: ПДКi - установленная величина показателя для соответствующего типа водного объекта, *Ci* - концентрация компонента для соответствующего типа водного объекта; *n* - число компонентов, используемых для расчета индекса.
3	Показатель химического загрязнения воды (ПХЗ-10*)*	$ПХЗ - 10 = (\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + ... + \frac{C_{10}}{ПДК_{10}})$ где ПДКi - нормативы предельно допустимых концентраций в водах водных объектов рыбохозяйственного значения; *Ci* - концентрация химических веществ в водах водных объектов.

Исследование проб воды из озера Нижний Кабан демонстрирует высокий уровень загрязнения. Загрязнение является многокомпонентным (КЗ=87.5%), поскольку в пробе воды присутствует большое количество загрязняющих веществ разной природы.

Уровень загрязнения высокий по всем рассчитанным индексам (ИЗВ и ПХЗ-10). Значения концентраций тяжелых металлов (меди, свинца, никеля, алюминия) значительно превышают ПДК, внося основной вклад в установленный уровень загрязнения.

Выводы

Проведенное комплексное исследование качества воды озера Нижний Кабан позволило сделать однозначный вывод о критическом состоянии данного водного объекта. Установлено, что экосистема озера подвергается мощному многокомпонентному антропогенному воздействию, приводящему к ее устойчивой деградации.

Анализ проб воды выявил значительные превышения предельно допустимых концентраций по большинству контролируемых показателей, причем наиболее тревожная ситуация сложилась с содержанием тяжелых металлов - меди, свинца и никеля, концентрации которых превышают нормативы в десятки раз. Рассчитанные комплексные показатели загрязнения демонстрируют высокую степень угрозы для водной экосистемы: коэффициент загрязненности в 87,5% свидетельствует о многофакторном характере загрязнения, а значения индекса загрязнения воды и показателя химического загрязнения соответствуют категориям "чрезвычайно грязная" и "критически загрязненная" вода.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости безотлагательного принятия комплексных мер по идентификации и ликвидации источников загрязнения, разработки

программы экологической реабилитации водоема и организации системы постоянного мониторинга его состояния с акцентом на контроль содержания токсичных металлов и биогенных элементов. Особое внимание следует уделить исследованию донных отложений как аккумуляторов загрязняющих веществ и оценке вторичного загрязнения водной толщи в результате процессов десорбции. Реализация предложенных мероприятий требует консолидированных усилий органов власти, научных учреждений и общественности для восстановления экологического баланса этого значимого объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ 31940-2012 Вода питьевая. Методы определения содержания сульфатов. — Введ. 2013-01-01. — М.: Стандартинформ, 2013. — 12 с.

2. ПНД Ф 14.1:2.159-2000 Методика выполнения измерений массовой концентрации фосфатов в природных и очищенных сточных водах фотометрическим методом. — Утв. 2000-12-27. — М., 2000.

3. ПНД Ф 14.1:2.112-97 Методика выполнения измерений массовой концентрации хлоридов в природных и очищенных сточных водах титриметрическим методом. — Утв. 1997-12-10. — М., 1997.

4. ПНД Ф 14.1:2:96-97 Методика выполнения измерений массовой концентрации никеля в природных и очищенных сточных водах электротермической атомно-абсорбционной спектрометрией. — Утв. 1997-12-10. — М., 1997.

5. ГОСТ 4388-72 Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации меди. — Введ. 1973-01-01. — М.: Издательство стандартов, 1972.

6. ПНД Ф 14.1:2.48-96 Методика выполнения измерений массовой концентрации железа общего в природных и очищенных сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой. — Утв. 1996-10-31. — М., 1996.

7. РД 52.24.494-2006 Методические указания. Методика выполнения измерений массовой концентрации железа, кадмия, марганца, свинца, цинка в поверхностных водах суши электротермической атомно-абсорбционной спектрометрией. — Утв. 2006-09-18. — Росгидромет, 2006.

8. ПНД Ф 14.1:2:4.50-9 Методика выполнения измерений массовой концентрации меди, кадмия, свинца и цинка в пробах питьевых, природных и сточных вод электротермической атомно-абсорбционной спектрометрией. — Утв. 2009. — М., 2009.

9. ПНД Ф 14.1:2:4.166-2000 Методика выполнения измерений массовой концентрации алюминия в пробах природной и очищенной сточной воды электротермической атомно-абсорбционной спектрометрией. — Утв. 2000-12-27. — М., 2000.

10. ПНД Ф 14.1:2:54-96 Методика выполнения измерений массовой концентрации свинца в природных и очищенных сточных водах электротермической атомно-абсорбционной спектрометрией. — Утв. 1996-10-31. — М., 1996.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE COMPOSITION OF WATERS FROM A SURFACE WATER SOURCE

Shturbabin N.S.

Supervisor: Yu.A. Tunakova, Full Professor, Doctor of Chemical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper presents the results of a comprehensive hydrochemical study of water samples taken from a significant urban ecosystem object - Lake Nizhny (Lower) Kaban, located within the city of Kazan. The study determined the concentrations of key components of both natural and anthropogenic origin: sulfate ions (SO_4^{2-}), phosphate ions (PO_4^{3-}), chloride ions (Cl^-), as well as heavy and non-ferrous metal ions - copper (Cu^{2+}), nickel (Ni), iron (Fe), aluminum (Al), and lead (Pb). An integrated assessment of the degree of water pollution was performed using a set of calculated indicators, including the contamination coefficient (KZ), the water pollution index (WPI),

and the chemical water pollution index (CWPI-10). All analytical studies were conducted in strict accordance with current regulatory documents (GOST, PND F, RD). The obtained data indicate a significant level of pollution in the water body and can serve as a basis for the development of remediation measures.

СЕКЦИЯ 15
УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 666.972.12:628.543.3

ОСАДОК ВОДОПОДГОТОВКИ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ КАК КОМПОНЕНТ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Азерская П.А., Пискурович Е.В.

Научные руководители: Скуратович И.В., Зеленухо Е.В.

(УО «Национальный детский технопарк», г. Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. В работе проведены исследования по оценке возможности использования осадка водоподготовки ТЭЦ в качестве сырьевого компонента, который позволяет частично заменять цемент при получении бетона.

В Республике Беларусь, где энергетический сектор во многом базируется на работе теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), одной из актуальных проблем является утилизация отходов водоподготовки. Ежегодно на ТЭЦ страны образуются значительные объемы осадков, которые в настоящее время преимущественно направляются на захоронение, что создает нагрузку на компоненты окружающей среды и требует дополнительных экономических затрат. Вместе с тем, развитие ресурсосберегающих технологий в строительной отрасли открывает возможности для вторичного использования промышленных отходов, в том числе в производстве бетонных смесей.

Применение осадков водоподготовки ТЭЦ в качестве компонента бетона представляет собой перспективное направление, способное решить две ключевые задачи: сокращение объема отходов энергетической отрасли и снижение себестоимости строительных материалов. В мировой практике уже имеются успешные примеры использования различных техногенных продуктов (золы-уноса, шлаков, микрокремнезема) в производстве бетона, однако вопрос включения осадков водоподготовки ТЭЦ изучен недостаточно.

На первом этапе работы нами были проведены исследования, которые показали безопасность использования осадка водоподготовки в качестве строительных материалов.

Далее для оценки влияния осадка водоподготовки ТЭЦ на свойства бетона были изготовлены лабораторные образцы с различным содержанием данного компонента. В качестве контрольного состава использовалась стандартная цементно-песчано-известковая смесь, а в экспериментальных образцах часть цемента заменялась осадком водоподготовки в различных пропорциях.

Материалы: портландцемент М500; кварцевый песок (фракция 0,1–0,5 мм); гашеная известь; осадок водоподготовки ТЭЦ; вода (соответствующая требованиям ГОСТ 23732-2011).

Цемент, песок и известь смешивались в сухом состоянии в пропорциях:

Контрольный образец (без осадка):

- Цемент – 33,3 г (1 часть);
- Песок – 99,9 г (3 части);
- Известь – 16,65 г (0,5 части).

Экспериментальные образцы:

В базовую смесь добавляли осадок водоподготовки в количестве 5%, 10% и 15% от массы цемента:

- 5% осадка – 7,5 г;
- 10% осадка – 15 г;
- 15% осадка – 22,5 г.

Соответствующее количество цемента уменьшалось для сохранения постоянного объема вяжущего.

Сухие компоненты тщательно перемешивались в течение 3–5 минут для достижения однородности. Вода добавлялась постепенно при постоянном перемешивании до получения пластичной, но не расслаивающейся смеси. Готовая бетонная смесь заливалась в стандартные силиконовые формы размером 40×40×40 мм. Образцы выдерживались в формах в течение 24 ч при температуре 20±2°C и относительной влажности 95%. После распалубки образцы

хранились в нормальных условиях (20°C, влажность 60%) до набора проектной прочности (7 и 28 суток). Для каждой серии изготавливалось не менее 3 образцов с целью минимизации погрешности измерений. Экспериментальные образцы бетона представлены на рисунке 1:

Рис. 1. Экспериментальные образцы бетона: *образец 1 – контрольный (без осадка); образец 2 – 5% осадка водоподготовки; образец 3 – 10% осадка водоподготовки; образец 4 – 15% осадка водоподготовки.*

После отверждения экспериментальных образцов бетона был проведен их визуальный и микроскопический анализ (рисунки 2 и 3).

сторона 1 *сторона 2* *сторона 3*

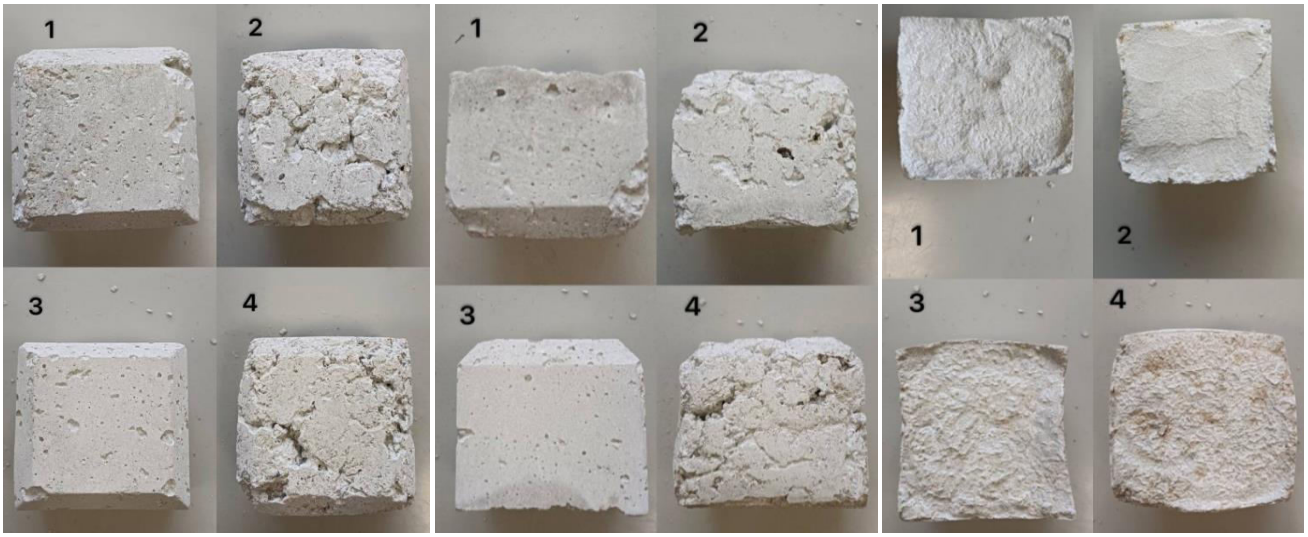
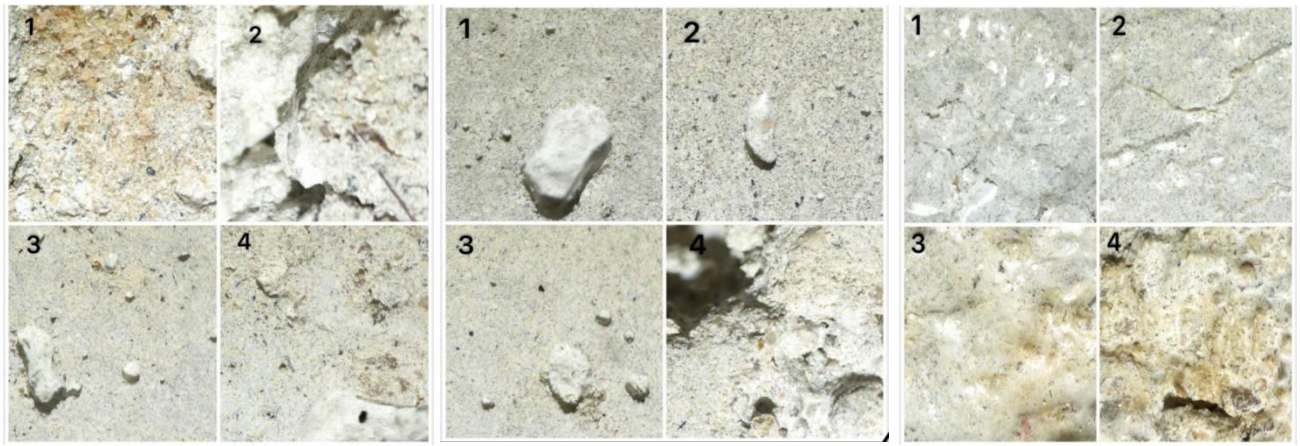


Рис. 2. Визуальный анализ экспериментальных образцов бетона



сторона 1 *сторона 2* *сторона 3*

Рис. 3. Анализ экспериментальных образцов бетона под микроскопом

Контрольный образец (без осадка) имел относительно гладкую поверхность с незначительными порами и микротрещинами, что характерно для стандартных цементно-песчаных смесей. Образец с 5% осадка отличался повышенной шероховатостью, наличием локальных трещин и неоднородностей, что может быть связано с изменением структуры гидратации цемента при введении добавки. Образец с 10% осадка по микроструктуре был близок к контрольному, демонстрируя схожую пористость, что свидетельствует о возможной оптимизации структуры при данной дозировке. Образец с 15% осадка показал наибольшую неоднородность – выраженные трещины, рыхлую поверхность и повышенную пористость, что указывает на возможное ухудшение структуры при высоком содержании осадка.

Для оценки пористости и долговечности бетона было проведено определение водопоглощения (таблица 1).

Таблица 1

Результаты определения водопоглощения экспериментальных образцов бетона

Номер образца	Водопоглощение образцов, %		
	Через 24 часа	Через 48 часов	Через 72 часа
1	13,70	13,54	13,54
2	14,66	14,64	14,64
3	16,69	16,66	16,66
4	18,44	18,35	18,35

Контрольный образец показал водопоглощение 13,54% через 48–72 ч. Образец с 5% осадка имел близкие значения (14,64%), что подтверждает минимальное влияние добавки на пористость. Образцы с 10% и 15% осадка продемонстрировали увеличение водопоглощения до 16,66% и 18,35% соответственно, что связано с ростом открытой пористости.

Вывод: добавление 5% осадка незначительно влияет на водопоглощение, тогда как при 10–15% наблюдается заметное ухудшение гидроизоляционных свойств.

Далее нами были исследованы прочностные характеристики полученных образцов. *С* использованием гидравлического пресса ПГМ-500МГ. Каждый образец подвергался нагрузке до тех пор, пока не трескался. Испытания на сжатие (таблица 2) выявили следующее:

Таблица 2

Результаты определения прочности экспериментальных образцов бетона

Номер образца	Давление, кН	Длина, мм
1	-*	-
2	2,40	1,54
3	2,34	1,95
4	1,10	2,48

* - образец разрушился сразу, прибор не показал значение давления.

Контрольный образец разрушился мгновенно при минимальной нагрузке, что может указывать на недостаточную плотность структуры или дефекты формования. Образец с 5% осадка показал наибольшую прочность (2,40 кН), превзойдя контрольный и другие экспериментальные составы. Это позволяет предположить, что малая доля осадка (5%) способствует упрочнению цементного камня. Образец с 10% осадка имел близкую прочность (2,34 кН), но с большей деформацией (1,95 мм против 1,54 мм у 5%-го состава). Образец с 15% осадка оказался наименее прочным (1,10 кН), что согласуется с данными по микроструктуре и водопоглощению.

Заключение: оптимальной дозировкой осадка водоподготовки ТЭЦ является 5% от массы цемента – такой состав сохраняет низкое водопоглощение и повышает прочность. Увеличение содержания осадка свыше 10% приводит к снижению эксплуатационных характеристик бетона.

Полученные результаты требуют дополнительных исследований, включая длительные испытания на морозостойкость и химическую стойкость.

SLUDGE OF WATER TREATMENT OF THERMAL POWER PLANTS AS A COMPONENT OF CONCRETE MIXTURES

Azerskaya P.A., Piskurovich E.V.
Supervisors: Skuratovich I.V., Zelenukho E.V.
(National Children's Technopark, Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The paper presents research on the evaluation of the feasibility of using sludge from the water treatment of thermal power plants as a raw material component that allows for partial replacement of cement in concrete production.

УДК 351.814

ВС МАЛОЙ АВИАЦИИ РАЗМЕРНОСТЬЮ ДО 19 КРЕСЕЛ В СОВРЕМЕННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ РФ

Габов С.А.
Научный руководитель: Исаева С.Ю., Директор Центра Маркетинга МАИ, к. э. н.
(Московский авиационный институт (НИУ), г. Москва)

Аннотация. Уровень транспортной доступности является одной из острых проблем на территории Крайнего Севера и Дальнего Востока РФ. Одним из решений данной проблемы может быть применение малой авиации в данных регионах. Целью данного исследования являлось проведение анализа маршрутной сети ВС малой авиации размерностью до 19 кресел и определение его места в современной транспортной модели РФ, а также формирование потенциальной маршрутной сети для ВС данного сегмента и определение спроса на него на регулярных рейсах в РФ.

Анализ маршрутной сети. Применение ВС малой авиации является ключевым не только на территории РФ, но и во всем мире. Основной задачей данных ВС является осуществление местных перевозок на расстояние от 100 до 990 км между административным центром и населенными пунктами с небольшим количеством жителей от 100 до 10 тыс. человек. Тем самым малая авиация обеспечивает связанность территорий и повышает транспортную доступность для жителей регионов. Обеспечение транспортной доступности является одним из важных факторов для осуществления свободной экономической деятельности и привлечения новых жителей в регионы.

В рамках данного исследования предлагается рассмотреть сегмент ВС малой авиации размерностью до 19 кресел и проанализировать его применение для регулярных пассажирских перевозок в РФ. Одним из ВС, входящих в сегмент размерностью до 19 кресел, является Ан-2, чья вместимость составляет от 9 до 12 кресел в зависимости от модификации. Отличительной способностью Ан-2 является осуществление взлета и посадки с неподготовленных площадок и с коротких взлетно-посадочных полос (ВПП) длиной от 450 м.

В текущий период Ан-2 продолжает пользоваться спросом и эксплуатируется 8 авиакомпаниями Российской Федерации [1]:

- 2-й Архангельский объединенный авиаотряд,
- Нарьян-Марский объединенный авиаотряд,
- Аэросервис,
- Ютэйр,
- «Полярные авиалинии»,
- ГУП «Международный аэропорт Оренбург»,
- Дальнереченск Авиа,
- Амурская авиабаза.

Загрузка на рейсы Ан-2 у всех 8 авиакомпаний варьируется от 46% до 70%. Показатели их пассажироперевозок представлены на Рис.1.

Рис.1. Показатели авиакомпаний, эксплуатирующих Ан-2 в РФ в 2018 г

Следует отметить, что регулярные перевозки осуществляются только тремя авиакомпаниями: 2-й Архангельский объединенный авиаотряд, Нарьян-Марский объединенный авиаотряд, Аэросервис, что составляет 76% от общего числа перевозок на Ан-2 в РФ. Рассмотрим эти 3 авиакомпании более детально.

Авиакомпания «2-й Архангельский объединенный авиаотряд». Осуществляет интенсивные перевозки из Васьково на северо-западе РФ. Маршрутная сеть авиакомпании представлена на Рис.2.

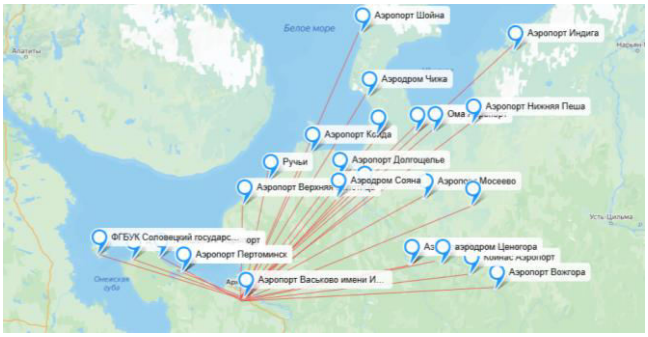


Рис. 2. Маршрутная сеть авиакомпании «2-й Архангельский объединенный авиаотряд» [2]

В парк авиакомпании включены 4 ВС Ан-2, которые эксплуатируются на 19 маршрутах, при этом частота рейсов составляет 1-2 рейса в неделю в зависимости от сезонного расписания. На 10 из 22 маршрутов отсутствует автомобильное дорожное покрытие, и на всех 22 маршрутах отсутствует альтернативный общественный транспорт помимо Ан-2. За 2024 год на данных маршрутах с помощью Ан-2 перевезено около 26,6 тыс. кресел при предположительной загрузке на рейс – 60%.

Авиакомпания «Нарьян-Марский объединенный отряд». Маршрутная сеть авиакомпании расположена на северо-западе РФ в Ненецком АО-Рис. 3.

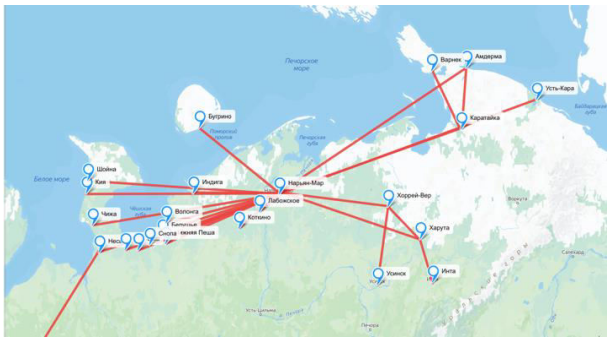


Рис.3. Маршрутная сеть авиакомпании «Нарьян-Марский объединенный отряд» [3]

В парк авиакомпании включены 4 ВС Ан-2, которые эксплуатируются на 7 маршрутах с частотой 1-2 рейса в неделю, а на других 19 маршрутах эксплуатируется Ми-8. Дальность

маршрутов составляет от 50 до 513 км. На Ан-2 за 2024 год перевезено около 5,6 тыс. пассажиров при предположительной загрузке на рейс – 60%.

Авиакомпания «Аэросервис». Маршрутная сеть авиакомпании «Аэросервис» расположена на Дальнем Востоке и представлена на Рис. 4.

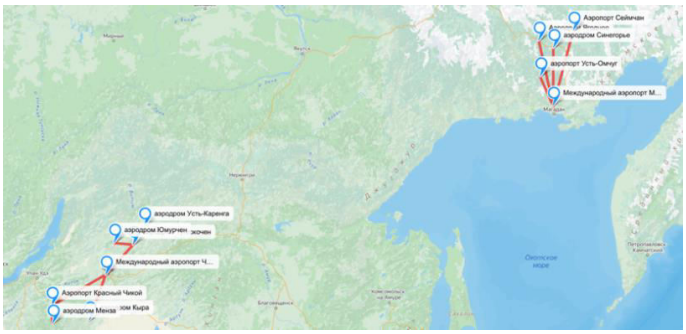


Рис.4. Маршрутная сеть авиакомпании «Аэросервис» [4]

В парк авиакомпании включены 3 ВС - Ан-2 и 3 ВС - ТВС-2МС (модернизированная версия Ан-2), эксплуатирующиеся на 10 маршрутах с частотой 1-2 рейса в неделю, а на других 3 маршрутах эксплуатируется Ми-8. Маршруты Ан-2 расположены на территории Забайкальского края (5 маршрутов) и Магаданской области (5 маршрутов). Дальность маршрутов составляет от 104 км до 366 км. За 2024 год на представленных маршрутах перевезено около 8,7 тыс. пассажиров при предположительной загрузке на рейс – 60%. На территории Забайкальского края на маршрутах между административным центром Чита и населенными пунктами, которые обслуживает авиакомпания «Аэросервис», отсутствуют варианты использования альтернативного общественного вида транспорта. На маршрутах на территории Магаданской области у жителей есть возможность использования альтернативного вида транспорта – автобуса. Однако разница между перелетом и поездкой на автобусе составляет от 4,5 часов до 9,5 часов.

На основе проведенного анализа маршрутной сети Ан-2, следует отметить, что маршруты, где эксплуатируется Ан-2, можно разделить на 2 профиля: профиль с альтернативным видом общественного транспорта и безальтернативный профиль эксплуатации Ан-2.

Профиль с альтернативным видом общественного транспорта включает в себя 4 маршрута, находящиеся на территории Магаданской области (Рис.5).

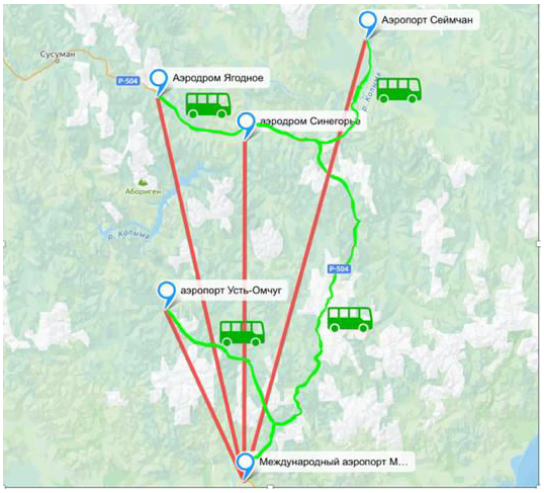


Рис.5. Маршрутная сеть профиля с альтернативным видом транспорта

За неделю на этих маршрутах производится 12 вылетов Ан-2. Профиль маршрутов с альтернативным видом транспорта имеет следующие характеристики (табл. 1).

Таблица.1

Характеристики маршрутов профиля с альтернативным видом транспорта

Есть ли альтернативный транспорт (поезд/автобус)?	**Есть, автобус**
Население населенных пунктов	От 2-3 тыс. человек
Разница во времени между ВС и автобусом	4-5 раз
Разница в стоимости билета на ВС и автобус	1,5 раза
Дальность, км	От 80 до 990 км

Для профиля маршрутов с альтернативным видом общественного транспорта Ан-2 дает возможность добраться до населенных пунктов за более короткий временной промежуток с разницей во времени в 4-5 раз. При этом разница в стоимости билета составляет от 1,2 до 1,7 раз больше, чем поездка на автобусе.

Вторым профилем эксплуатации Ан-2 является безальтернативный профиль. Он включает в себя 32 маршрута, где отсутствует возможность использования общественного транспорта.

За неделю на этих маршрутах производится 94 вылета. Безальтернативный профиль эксплуатации имеет следующие характеристики (табл. 2).

Таблица. 2

Характеристики маршрутов безальтернативного профиля эксплуатации Ан-2

Есть ли альтернативный транспорт (поезд/автобус)?	**Нет**
Количество рейсов общ. транспорта за неделю	0
Население населенных пунктов	От 4 до 7 тыс. человек
Время полёта	От 35 минут до 3 часов
Цена билета	От 1 285 до 14 740 рублей
Дальность, км	От 80 до 990 км

Распределение маршрутов по профилям представлено на диаграмме Рис.6

Рис.6. Распределение маршрутов Ан-2 по профилям эксплуатации

89% (32 маршрута) маршрутов из 36 имеют безальтернативный профиль эксплуатации. Таким образом следует отметить, что целевыми и наиболее перспективными маршрутами для Ан-2 и сегмента ВС размерностью до 19 кресел являются маршруты, где отсутствует альтернативный общественный вид транспорта.

Суммируя проведенный анализ маршрутной сети необходимо заключить, что в текущий период времени Ан-2 эксплуатируется на территориях Крайнего Севера и Дальнего Востока на регулярных маршрутах, где отсутствует альтернативный общественный транспорта, с пассажирооборотом до 3 тыс. пассажиров в год.

Потенциальный вариант маршрутной сети для ВС размерностью до 19 кресел

Следующим важным шагом после проведения анализа является формирование потенциальной маршрутной сети для ВС размерностью до 19 кресел. Для этого предлагается следующий подход, на основании которого были определены потенциальные для данного сегмента ВС маршруты.

Первым шагом было определение регионов с низкой плотностью дорог, как так как с большей вероятностью на этих территориях будет отсутствовать альтернативный вид транспорта на потенциальных маршрутах. На Рис.7 представлена карта плотности автомобильных дорог на территории РФ.

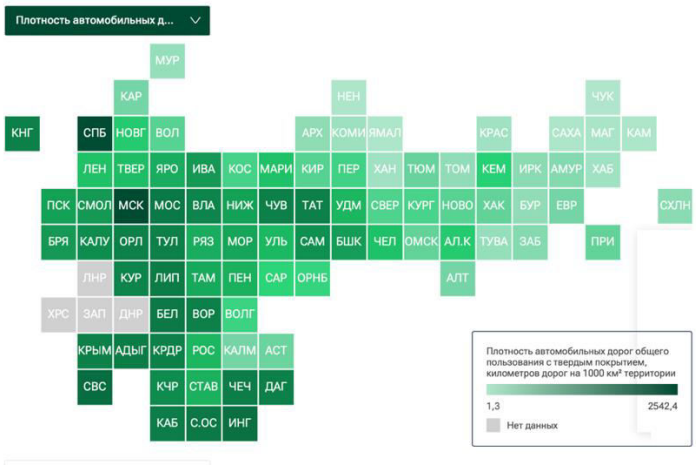


Рис. 7. Плотность автомобильных дорог в регионах РФ [5]

(1)На основании этих данных были выделены следующие регионы с низкой плотностью автомобильных дорог, где можно было бы использовать ВС размерностью до 19 кресел: Чукотский АО – 1,3 км на 1000 км^2 ; Ненецкий АО – 1,9 км на 1000 км^2 ; Ямало-Ненецкий АО – 3,7 км на 1000 км^2 Республика Саха – 4,1 км на 1000 км^2 ; Камчатский Край – 4,4 км на 1000 км^2 ; Ханты-Мансийский АО – 11,7 км на 1000 км^2 ; Красноярский край – 11,7 км на 1000 км^2 .

(2)Затем были определены аэродромы, подходящие для эксплуатации ВС размерностью до 19 кресел, которые рассматривались при допущении, что длина ВПП составляет 450 м и более. Качество покрытия в данном случае не играет особой роли [6].

(3)Следующим шагом является выделение потенциальных маршрутов и проведение их анализа. Важно отметить, что узловой аэропорт потенциальных маршрутов находится в административном центре региона. Выбор потенциальных маршрутов включает в себя определение расстояния между административным центром и населенным пунктом, при этом расстояние маршрута не должно было превышать 990 км. Это условие обусловлено практической дальностью ВС данного сегмента.

(4)Далее из всего списка отобранных маршрутов выделяются маршруты, где отсутствует альтернативный общественный вид транспорта, исходя из проведенного ранее анализа.

После глубокого анализа 320 маршрутов в 6 регионах на Востоке России потенциальными для эксплуатации ВС класса Ан-2 были выделены 103 новых маршрута. Рассмотрим потенциальные варианты эксплуатации.

1. Чукотский АО и Камчатский край

Для Чукотского АО и Камчатского края представляются интересными маршруты, представленные на Рис.8.

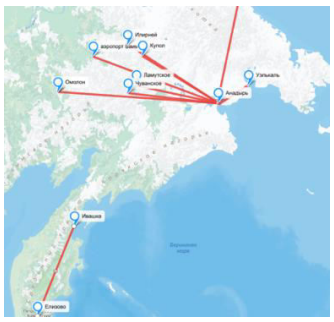


Рис.8. Вариант маршрутной сети для ВС до 19 кресел в Чукотском АО и Камчатском крае

1. Ямало-Ненецкий АО и Ханты-Мансийский АО

Для Ямало-Ненецкого АО и Ханты-Мансийского АО вариант потенциальной маршрутной сети представлен на Рис.9.

Рис.9. Вариант маршрутной сети для ВС до 19 кресел
в Ямало-Ненецком АО и Ханты-Мансийском АО

2. Республика Саха

Для Республики Саха вариант маршрутной сети представлен на Рис.10.

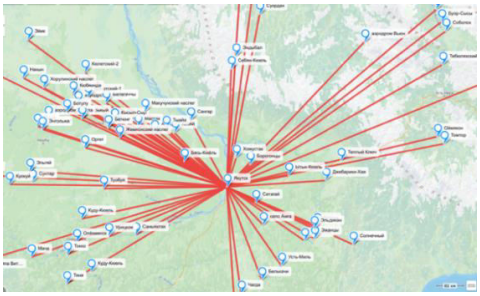


Рис.10. Вариант маршрутной сети для ВС до 19 кресел в Республике Саха

3. Красноярский край

Для Красноярского края вариант маршрутной сети представлен на Рис.11.

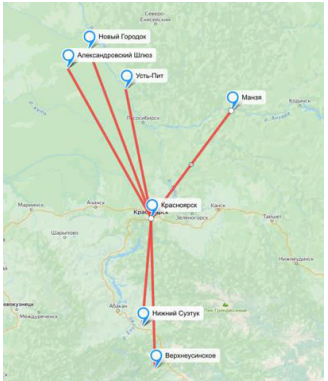


Рис.11. Вариант маршрутной сети для ВС до 19 кресел для Красноярского края

Новые потенциальные маршруты для ВС размерностью до 19 кресел обеспечат связанность территорий и повысят уровень транспортной доступности в регионах. Это является необходимым условием для привлечения нового притока потенциальных жителей и обеспечения свободной экономической деятельности на территории региона.

Потенциальный спрос на ВС размерностью до 19 кресел в РФ

На основе сформированного варианта потенциальной маршрутной сети для ВС данного сегмента было принято решение провести расчет спроса на ВС для регулярных пассажироперевозок в современной транспортной модели РФ.

Расчет был проведен с учетом следующих допущений:

1. В неделю осуществляется 1 обратный рейс
2. Количество лётных часов составляет 1,5 тыс. летных часов в год
3. Крейсерская скорость ВС – 300 км/ч

Таким образом, на основе принятых допущений, спрос на ВС размерностью до 19 кресел составляет 22 ВС: 7 ВС для существующих маршрутов и 15 ВС для потенциальных маршрутов. Спрос по регионам представлен на Рис.12.

Рис.12.Спрос на ВС размерностью до 19 кресел для маршрутной сети РФ

Данное количество ВС обеспечит транспортную доступность для жителей представленных регионов, а также сформирует условия для потенциального осуществления экономической деятельности на территории субъектов РФ.

Заключение

Суммируя все вышесказанное необходимо заключить, что ВС малой авиации до 19 кресел занимает ключевое место в современной транспортной модели РФ. Они обеспечивают связанность территорий в регионах с низким уровнем транспортной доступности, что является одним из важных факторов для привлечения новых жителей и осуществления свободной экономической деятельности. На основе проведенного анализа целевыми маршрутами для данного сегмента ВС являются маршруты, протяженностью до 990 км, где отсутствует альтернативный общественный транспорт, с годовым пассажирооборотом до 3 тыс. пассажиров. Таким образом следует отметить, что выдвинутая ранее гипотеза была подтверждена.

С учетом новых потенциальных маршрутов потенциальная маршрутная сеть для ВС размерностью до 19 кресел включает в себя порядка 140 маршрутов. Для осуществления регулярных пассажирских перевозок для данной маршрутной сети необходимо 22 ВС до 19 кресел.

Заинтересованными сторонами в данном исследовании могут быть производители ВС малой авиации, такие как «Уральский завод гражданской авиации», а также авиакомпании, эксплуатирующие ВС малой авиации, такие как «Аэросервис».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Реестр и парк авиакомпаний. URL: https://favt.gov.ru/dejatelnost-aviakompanii-reestr-komercheskie-perevozki/.
2. Сайт авиакомпании «2-й Архангельский объединенный авиаотряд». URL:https://www.2aoao.ru.
3. Сайт авиакомпании «Нарьян-Марский объединенный отряд». URL: https://avianao.ru.
4. Сайт авиакомпании «Аэросервис». URL: https://airss.ru.
5. Плотность автомобильных дорог на территории РФ в 2024 году. URL: https://ria.ru/20240812/dorogi-1965419192.html.
6. Аэродромы на территории РФ. URL: https://maps.aopa.ru/#lon/123.838084/lat/63.857989/z/15/ll/av/bl/gm.

SMALL AVIATION WITH DIMENSIONS OF UP TO 19 SEATS IN THE MODERN TRANSPORT MODEL OF THE RUSSIAN FEDERATION

Gabov S.A.

Supervisor: Isaeva S.Yu., Director of the Marketing Center, Candidate of Economic Sciences

(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow)

Abstract. The level of transport accessibility is one of the acute problems in the territory of the Far North and Far East of the Russian Federation. One of the solutions to this problem may be the use of small aircraft in these regions. The purpose of this study was to analyze the route network of small aircraft with a size of up to 19 seats and determine its place in the modern transport model of the Russian Federation, as well as the formation of a potential route network for aircraft of this segment and determining the demand for it on regular flights in the Russian Federation.

УДК 614.841.42:656.6

СПЕЦИФИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ОБЩЕЖИТИЯХ ДЛЯ ЛИЦ С НАРУШЕНИЕМ СЛУХА

Гибадуллина Р.Ф.

Научный руководитель: Шакирова А.И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Проблема обеспечения пожарной безопасности в жилых помещениях является актуальной задачей для всех типов зданий, однако особые требования предъявляются к учреждениям, предназначенным для проживания лиц с ограниченными возможностями здоровья, особенно тех, у кого имеются нарушения слуха. Данная статья посвящена специфическим аспектам организации противопожарной защиты в общежитиях для лиц с нарушением слуха на примере опыта реализации проекта по обеспечению пожарной безопасности в общежитии №4 Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева-КАИ.

По данным Всемирной организации здравоохранения около 5% населения Земли страдает нарушениями слуха различной степени тяжести. Для обеспечения безопасной жизнедеятельности таких групп населения важно учитывать особенности восприятия внешней среды и поведения в условиях чрезвычайных ситуаций. Особенную роль играет организация эффективной системы предупреждения и эвакуации при возникновении пожара.

Обеспечение пожарной безопасности — одна из ключевых задач в сфере жилищного строительства и эксплуатации зданий различных типов. Особое значение приобретает эта проблема в учреждениях, предназначенных для проживания лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ), поскольку такие категории населения требуют

дополнительных мер защиты, учитывающих их особенности. В частности, для лиц с нарушением слуха характерны исключения из стандартных систем сигнализации, необходимость использования специальных технических средств и методов оповещения, обеспечивающих своевременное информирование и безопасную эвакуацию.

Основными документами, регулирующими вопросы пожарной безопасности в жилых зданиях в РФ, являются Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и стандартов — СП 1.13130.2009 «Пожарная безопасность. Общие требования». Для обеспечения защиты лиц с ограниченными возможностями, в том числе с нарушением слуха, дополнительно применяются санитарные нормы и технические регламенты, предусматривающие использование систем оповещения с визуальными и тактильными сигналами.

Ключевыми требованиями являются:

•Организация системы оповещения, учитывающей особенности восприятия информации людьми с нарушениями слуха.

• Обеспечение постоянного мониторинга состояния пожарной безопасности.

• Проведение регулярных тренировок по эвакуации, адаптированных под особенности категории жильцов.

• Использование технических средств, таких как световые и вибрационные сигналы, для своевременного предупреждения.

Для лиц с нарушением слуха стандартные звуковые сирены и голосовое оповещение оказываются недоступными, что требует развития альтернативных методов безопасности. Основные направления адаптации включают:

1. Визуальные системы оповещения

Установка дымовых и световых сигналов, которые активируются при обнаружении пожара. Современные системы позволяют интегрировать световые оповещатели с системами контроля и управления зданием (СКУД), обеспечивая мгновенное сообщение о чрезвычайной ситуации.

2. Тактические и тактильные средства

Использование вибрационных табло, браслетов или подушек, которые вибрируют при срабатывании системы оповещения. Эти средства позволяют жильцам с ограниченной слуховой чувствительностью своевременно ощутить угрозу.

3. Обучение и тренировки

Проводится регулярное обучение жильцов и персонала с учетом специфики аудитории. Экспертные программы включают знакомство с визуальными сигналами и алгоритмами безопасной эвакуации.

4. Разработка индивидуальных планов эвакуации

Каждое общежитие разрабатывает планы эвакуации с учетом особенностей проживания и возможностей жильцов, размещая их в доступных для чтения и восприятия местах.

5. Особую актуальность в настоящее время приобретает интеграция систем пожарной безопасности с персональными мобильными устройствами жильцов.

Разработанные мобильные приложения, синхронизированные с центральной системой оповещения здания, позволяют дублировать аварийные сигналы непосредственно на смартфоны. Такие приложения могут передавать не только вибросигнал, но и визуальные сообщения с четкими инструкциями по эвакуации, картами путей отхода и указанием безопасных зон. Это особенно важно в условиях возможной дезориентации или плохой видимости. Кроме того, система может поддерживать функцию обратной связи, позволяя человеку подтвердить получение сигнала или сообщить о своем местоположении и необходимости помощи, что крайне ценно для служб спасения.

6. Еще одним перспективным направлением является использование систем умного дома. Датчики дыма и пламени могут быть запрограммированы не только на активацию общей сигнализации, но и на автоматическое выполнение действий, облегчающих эвакуацию:

включение всего освещения в помещении, разблокировка дверей по пути эвакуации, отключение электроприборов для предотвращения короткого замыкания. Такая комплексная автоматизация минимизирует фактор человеческой ошибки и паники, обеспечивая четкое и последовательное выполнение защитных сценариев.

Специфичность условий проживания лиц с ограничением слухового восприятия требует особого подхода к проектированию систем сигнализации и информирования жильцов о рисках возникновения пожаров. Рассмотрим основные направления улучшения уровня защищенности таких помещений на примере конкретного объекта.

Общежитие №4 Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева (далее – КНИТУ-КАИ) было выбрано объектом исследования ввиду уникального состава проживающих там студентов с ослабленным слухом. Характеристики здания и специфика размещения объектов инфраструктуры определили ряд ключевых требований к обеспечению безопасности:

Необходимость адаптации стандартных решений пожаротушения и оповещения для учащихся с недостатком слуха.

Учёт архитектурных особенностей помещения (компактность коридоров, расположение лестниц).

Создание удобных путей эвакуации, учитывая физическую активность и мобильность студентов с особыми потребностями.

При разработке мероприятий особое внимание уделялось следующим вопросам:

Система обнаружения возгорания и оповещение жильцов

Традиционные звуковые сигналы тревоги неэффективны для жителей с нарушенным восприятием звукового диапазона. Поэтому была внедрена комбинированная система оповещения, включающая визуальные и тактильные средства подачи сигналов:

Световая индикация. Использование ярких мигающих ламп позволяет привлечь внимание даже спящих людей.

Тактильная вибрация. Специальные устройства передают вибрационный сигнал на кровати или двери комнат, обеспечивая пробуждение жильца при тревоге.

Сигнализация низкого тона. Установлены громкоговорители с частотой звука ниже порога слышимости большинства глухих людей, но воспринимаемые ими.

Для каждого студента предусмотрено наличие индивидуального комплекта защитного снаряжения, включая противогаз и огнетушитель компактного размера. Эти элементы размещены рядом с кроватью или столиком таким образом, чтобы были легко доступными в экстренной ситуации.

Также разработаны специальные инструкции по действиям при пожаре, адаптированные для людей с особенностями коммуникации и восприятия окружающей обстановки.

Организация регулярных учебных занятий и тренировок стала важной частью программы повышения осведомленности среди обучающихся с проблемами слуха. Во время инструктажей используются наглядные пособия, таблички с символическими изображениями действий, которые необходимы при чрезвычайной ситуации. Это помогает учащимся лучше усвоить порядок действий и снижает уровень стресса в реальных ситуациях.

Особое внимание уделяется оснащению выходов световыми табло и указателями, размещенными на уровне глаз и пола. Данные меры способствуют ориентировке при ограниченной видимости и паническом состоянии.

Анализ проведенных работ показал значительное повышение уровня готовности персонала и обучающихся к адекватному реагированию на возможные угрозы пожара. Ключевыми показателями стали снижение количества ложных срабатываний системы сигнализации благодаря повышению точности детекторов дыма и газа, улучшение ориентации и навигации жильцов при эвакуации, уменьшение рисков травмирования вследствие столкновения с препятствиями или падений.

Проведенные испытания показали надежность предложенных технических решений, позволяющих эффективно предупредить возникновение опасных факторов и обеспечить своевременную эвакуацию студентов.

Опыт реализации комплексного подхода к созданию безопасных условий проживания в общежитии №4 КНИТУ-КАИ продемонстрировал высокую эффективность применяемых методов и технологий. Полученный опыт целесообразно распространять на аналогичные объекты, занимающиеся обеспечением комфортного и безопасного проживания инвалидов по слуху.

Создание специализированных систем оповещения и комплексной подготовки студентов обеспечивает высокие шансы успешного спасения в случае возникновения пожара. Важно продолжить работу над совершенствованием существующих подходов и разработкой новых инновационных решений, направленных на минимизацию риска возникновения трагедий и обеспечение высокого качества жизни каждой категории граждан.

Обеспечение пожарной безопасности для людей с нарушениями слуха не ограничивается только техническими решениями. Крайне важен психологический компонент. Чувство защищенности и уверенности в собственной безопасности напрямую влияет на качество жизни и социальную адаптацию. Регулярные, хорошо спланированные тренировки по эвакуации, о которых упоминалось ранее, выполняют не только практическую, но и психотерапевтическую функцию. Они снижают уровень тревожности, формируя у проживающих мышечную память и алгоритмизированное поведение в стрессовой ситуации, что является ключом к спасению.

Важно создавать инклюзивную среду, где студенты с нарушениями слуха и без них проходят обучение и тренировки совместно. Это способствует взаимопомощи, пониманию и формированию единого сообщества, где каждый осознает свою роль в обеспечении общей безопасности. Интеграция специальных средств оповещения в общую инфраструктуру здания, а не их обособление, подчеркивает принцип универсального дизайна, когда среда комфортна и безопасна для всех без исключения.

В заключение, обеспечение пожарной безопасности в общежитиях для лиц с нарушениями слуха требует особого подхода и применения специализированных технологий. Применение визуальных сигналов и современных коммуникационных систем может значительно повысить уровень безопасности и снизить риск несчастных случаев. Реализация современных методов и технологий, таких как программное обеспечение для смартфонов и системы визуального оповещения, может стать основой для безопасного проживания лиц с ограниченными возможностями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // Российская газета. — 2008. — № 138. (дата обращения: 02.09.2025).

2. *Базылев А.Ю*. Пожарная безопасность в образовательных учреждениях с инвалидностью: опыт, проблемы, решения. Москва: Издательство «Научный мир» – 2019. (дата обращения: 02.09.2025).

3. *Микуши, В.П.* Пожарная безопасность: теория и практика. Казань: Издательство КГТУ. – 2020. (дата обращения: 02.09.2025).

4. *Федотов С.Л*. Системы безопасности для лиц с ограниченными возможностями здоровья. Санкт-Петербург: Издательство «Прогресс» – 2022. (дата обращения: 02.09.2025).

5. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Методические рекомендации по обеспечению пожарной безопасности в образовательных учреждениях. Москва: Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. – 2021. (дата обращения: 02.09.2025).

6. *Панфилова Е.А.* (2018). Обеспечение безопасности лиц с ограниченными возможностями: современные подходы и технологии. Ежегодный сборник научных работ. Казань: Издательство КНИТУ – 2018. (дата обращения: 02.09.2025).

THE SPECIFICS OF FIRE SAFETY IN DORMITORIES FOR PEOPLE WITH HEARING IMPAIRMENT

Gibadullina R.F.
Supervisor: Shakirova A.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*

Abstract. The problem of fire safety in residential premises is an urgent task for all types of buildings, however, special requirements are imposed on institutions designed to accommodate people with disabilities, especially those with hearing impairments. This article is devoted to the specific aspects of the organization of fire protection in dormitories for people with hearing impairment using the example of the experience of implementing a fire safety project in dormitory No. 4 of the Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI.

УДК 614.841:364.662-056.263

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О ПОЖАРАХ В ОБЩЕЖИТИЯХ ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ (С НАРУШЕНИЯМИ СЛУХА)

Гибадуллина Р.Ф.
Научный руководитель: Шакирова А.И., доцент, к.т.н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена проблеме обеспечения пожарной безопасности в студенческих общежитиях, где проживают слабослышащие учащиеся. Проанализирована актуальность проблемы на основе статистических данных МЧС России за 2024 год, демонстрирующих повышенные риски на объектах с массовым пребыванием людей. Рассмотрены особенности возникновения и развития пожаров в зданиях коридорного типа. Основное внимание уделено разработке специальных методов оповещения и эвакуации для лиц с нарушениями слуха, которые не могут в полной мере воспринимать традиционные звуковые сигналы. По результатам исследования сформулированы практические рекомендации по совершенствованию комплексной системы противопожарной защиты в подобных учреждениях.

Обеспечение пожарной безопасности в общежитиях требует комплексного подхода, который включает в себя не только технические средства защиты, но и организацию эффективных мероприятий по обучению и информированию жильцов о правилах поведения в чрезвычайных ситуациях. Пожар может возникнуть в любой момент, и его последствия могут быть катастрофическими, особенно в закрытых помещениях, где количество людей велико, а пути эвакуации могут быть затруднены. Важно учитывать особенности проживания слабослышащих студентов, которые могут не всегда адекватно воспринимать звуковые сигналы тревоги и инструкции, что требует разработки специальных методов оповещения и эвакуации.

Пожарная безопасность включает в себя ряд мероприятий, направленных на предотвращение возникновения пожаров, а также на обеспечение безопасной эвакуации людей в случае их возникновения. Важно отметить, что в общежитии, где проживают студенты с ограниченными возможностями слуха, необходимо учитывать особые методы

оповещения и эвакуации, которые позволят минимизировать риски и обеспечить безопасность всех жильцов.

Обеспечение пожарной безопасности – одна из первоочередных задач в любом здании. Общежития характеризуются плотным расселением людей, что обуславливает повышенную опасность в случае пожара. В помещениях коридорного типа огонь и дым из-за сильной тяги воздуха могут распространяться с большой скоростью.

Статистика МЧС России за 2024 год свидетельствует о том, что на территории Российской Федерации зарегистрировано 482 150 пожаров, что на 2,3 % больше по сравнению с предыдущим годом. В результате пожаров погибли 8 732 человека, что на 1,8 % больше, а получили травмы – 9 876 человек, увеличившись на 4,2 %. Среди зарегистрированных пожаров на объекты, предназначенные для временного пребывания и проживания людей, такие как общежития, приходится 378 случаев (около 0,078 % от общего числа), что свидетельствует о сохранении низкого уровня пожаров на этих объектах.

В 2024 году на социально значимых объектах произошло 810 пожаров, в которых погибли 20 человек и получили травмы 65 человек. Общий прямой материальный ущерб составил около 85 200 тыс. рублей. Наибольшее число пожаров зафиксировано в жилых общежитиях, интернатах и подобных объектах – 157 случаев (19,4 % от общего количества). Наиболее трагичными оказались пожары в общежитиях и спальных корпусах интернатов, где погибло 11 человек (55 % от всех погибших на социально значимых объектах) и травмировано 34 человека (52,3 % от общего числа травмированных).

Данные показатели подчеркивают необходимость дальнейших мер по повышению уровня пожарной безопасности, особенно в объектах с массовым пребыванием людей, таких как общежития и интернаты.

Анализ пожаров за 2024 г. [3] выявил основные причины возгораний в жилых зданиях, представленные на рисунке 1.

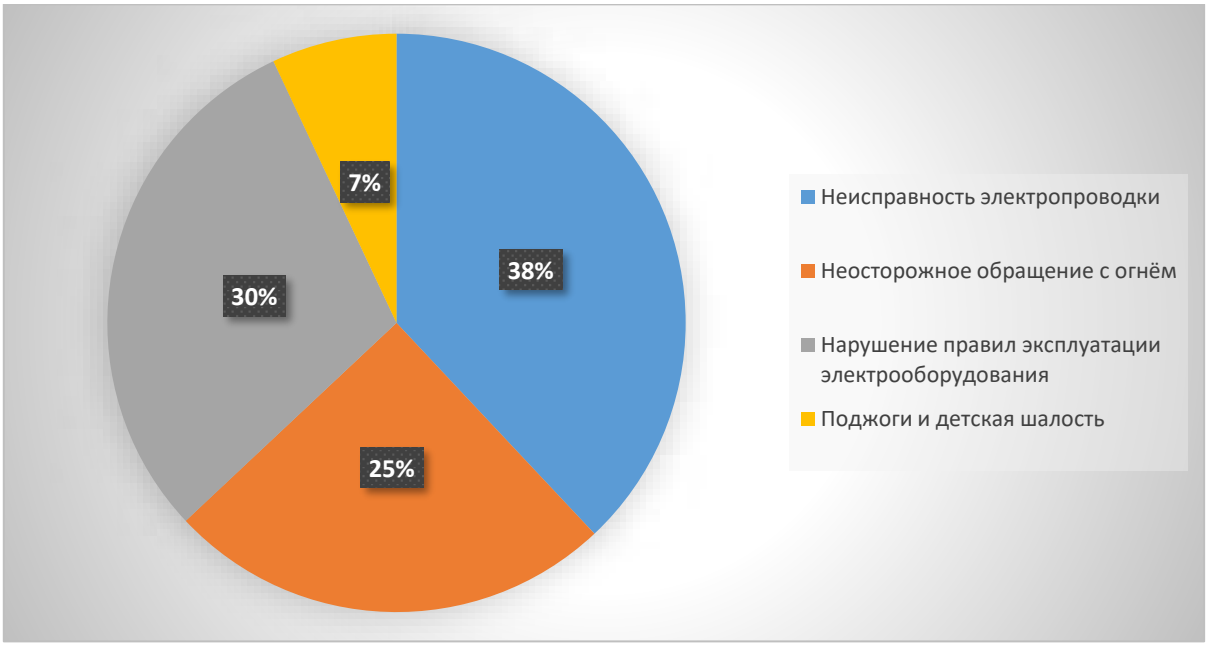


Рис. 1. Распределение количества пожаров, произошедших в РФ за период с 2019 по 2024 год в общежитиях

Анализ причин возникновения пожаров в общежитиях в России за последние 5-10 лет представлен в таблице 1.

Таблица 1

Анализ инцидентов с пожарами в общежитиях учебных заведений за 2014–2023 г.

Год	Мероприятия / Инциденты	Причины возникновения	Основные меры предотвращения
2014	Пожар в общежитии МГУ	Неосторожное обращение с огнем, неисправность электросети	Обучение по пожарной безопасности, регулярные проверки электросетей
2016	Пожар в общежитии СПбГУ	Употребление неисправных электроприборов	Замена устаревших электроприборов, установка автоматических отключателей
2018	Пожар в общежитии в Москве	Курение в постели, неисправность электропроводки	Создание зон для курения, установка систем автоматического пожаротушения
2020	Пожар в общежитии Томска	Неосторожное обращение с электроприборами	Внедрение системы контроля за электросетями, обучение жильцов
2023	Пожар в общежитии КФУ	Аварийный режим работы электросети	Аварийный режим работы электросети привел к короткому замыканию, что вызвало пожар

Таким образом, статистические данные за 2024 год свидетельствуют о том, что пожары в социально значимых объектах, таких как общежития и интернаты, остаются одной из основных причин человеческих трагедий и материальных потерь. Наиболее опасными являются пожары в жилых общежитиях, где зафиксировано наибольшее число погибших и травмированных. Анализ показывает, что причиной большинства пожаров в этих объектах являются неосторожное обращение с огнем, а также нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования. В частности, пожары в общежитиях и спальных корпусах интернатов в 2024 году привели к гибели 11 человек и травмированию 34 человек, что подчеркивает высокую пожарную опасность данных объектов. Статистика подтверждает необходимость усиления профилактических мер, повышения уровня пожарной безопасности и строгого соблюдения правил эксплуатации, особенно в учреждениях с массовым пребыванием людей. В основном пожары возникают в комнатах из-за электроприборов и курения; на кухнях из-за утечки газа и возгорание масла при готовке; в коридорах и общих зонах из-за захламлённости и неисправной проводки.

Обеспечение пожарной безопасности в общежитиях является важной задачей, требующей комплексного подхода и учета множества факторов. Общежития, как места проживания студентов, обладают своими особенностями, которые необходимо учитывать при разработке и внедрении мер по обеспечению безопасности.

Пожарная безопасность в общежитиях включает в себя множество аспектов, начиная от проектирования зданий и заканчивая организацией обучения жильцов правилам поведения в случае возникновения чрезвычайной ситуации. Одним из ключевых моментов является правильная организация эвакуационных путей и выходов, которые должны быть доступны и понятны для всех жильцов, включая тех, кто имеет ограничения по слуху. Важно, чтобы все пути эвакуации были четко обозначены, а также чтобы жильцы знали, как ими пользоваться. Для слабослышащих студентов необходимо предусмотреть дополнительные меры, такие как визуальные сигналы тревоги, которые могут оповестить их о необходимости покинуть здание [1].

Статистические данные по пожарам в общежитиях показывают, что большинство случаев возникают из-за неосторожного обращения с огнем, неисправности электрического оборудования или нарушений правил эксплуатации отопительных систем. Например, по данным МЧС России, в последние годы наблюдается рост числа пожаров в общежитиях, что связано с увеличением числа студентов и, соответственно, повышением нагрузки на

инфраструктуру. Важно отметить, что большинство пожаров происходит в ночное время, когда жильцы находятся в состоянии сна, что значительно усложняет процесс эвакуации. В связи с этим необходимо проводить регулярные тренировки по эвакуации, чтобы жильцы были готовы к действиям в случае возникновения чрезвычайной ситуации [4].

Кроме того, важно учитывать, что слабослышащие студенты могут не услышать звуковые сигналы тревоги, что делает необходимым использование дополнительных методов оповещения. Например, можно установить специальные системы оповещения, которые используют световые сигналы или вибрацию, чтобы привлечь внимание жильцов в случае пожара. Также стоит обратить внимание на необходимость обучения сотрудников общежития, которые должны быть готовы к оказанию помощи в случае возникновения чрезвычайной ситуации. Они должны знать, как правильно использовать огнетушители, как действовать в случае возникновения пожара и как организовать эвакуацию жильцов [2].

Еще одним важным аспектом является регулярное техническое обслуживание противопожарного оборудования. Все системы пожарной безопасности, такие как автоматические установки пожаротушения, дымовые извещатели и системы оповещения, должны проходить регулярные проверки и техническое обслуживание. Это позволит избежать возможных неисправностей, которые могут привести к трагическим последствиям. Также необходимо проводить регулярные проверки состояния электропроводки и других систем, которые могут стать причиной возникновения пожара.

Важно отметить, что информационная работа с жильцами общежития также играет значительную роль в обеспечении пожарной безопасности. Необходимо проводить регулярные занятия и тренинги, на которых жильцы смогут ознакомиться с основными правилами пожарной безопасности, узнать, как действовать в случае возникновения пожара, а также получить информацию о том, как предотвратить возникновение пожара. Важно, чтобы жильцы понимали, что соблюдение правил пожарной безопасности – это не только их личная ответственность, но и забота о безопасности окружающих.

В заключение, обеспечение пожарной безопасности в общежитиях в которых проживают слабослышащие студенты, требуют комплексного подхода, включающего в себя как технические, так и организационные меры. Необходимо учитывать специфику данной группы людей и разрабатывать специальные меры по оповещению и обучению. Регулярные тренировки, техническое обслуживание оборудования и информационная работа с жильцами помогут создать безопасные условия проживания и минимизировать риски возникновения чрезвычайных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Бутошин В.Д., Легошин М.Ю., Чистяков И. М.* Обеспечение пожарной безопасности в общежитиях // Молодые ученые-развитию текстильно-промышленного кластера. – 2016. – №. 1. – С. 326-328. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=26152800 (дата обращения: 20.08.2025).

2. *Бактубаева Г.Н.* и др. Обеспечение пожарной безопасности объекта социального назначения на примере общежития // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов VIII Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, 7-12 октября 2019 г., г. Томск. – Томск, 2019. – 2019. – С. 110. URL: https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/57179/1/conference_tpu-2019-C47_p110.pdf (дата обращения: 20.08.2025).

3. *Борзов Б.А*. Методические рекомендации по обучению граждан пожилого возраста и инвалидов мерам пожарной безопасности. – 2014. URL: https://kirovsk.ru/files/docs/gochs/fire_safety_oldman.pdf (дата обращения: 23.08.2025).

4. В МЧС сообщили, что в российских общежитиях ежегодно происходят около 50 пожаров. URL: https://tass.ru/obschestvo/17608875 (дата обращения: 20.08.2025).

STATISTICAL DATA ON FIRES IN DORMITORIES FOR PEOPLE WITH DISABILITIES (WITH HEARING IMPAIRMENTS)

Gibadullina R.F.
Supervisor: Shakirova A.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)*

Abstract. The article is devoted to the problem of ensuring fire safety in student dormitories where hearing-impaired students live. The urgency of the problem is analyzed on the basis of statistical data from the Ministry of Emergency Situations of Russia for 2024, demonstrating increased risks at facilities with a mass presence of people. The features of the occurrence and development of fires in corridor-type buildings are considered. The main attention is paid to the development of special warning and evacuation methods for people with hearing impairments who cannot fully perceive traditional sound signals. Based on the results of the study, practical recommendations have been formulated to improve the integrated fire protection system in such institutions.

УДК 614.8:622.691.4

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ГАЗОТРАНСПОРТНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Зарипов Р.Ф., Минязев А.Н.
Научный руководитель: Муравьева Е.В., заведующий кафедрой, д. п. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы применения риск-ориентированного подхода в обеспечении производственной безопасности на газотранспортных предприятиях. Обосновывается целесообразность применения экспертных методов для оценки рисков. На примере условного газотранспортного предприятия показывается возможность применения одного из таких методов в сочетании с методом анализа иерархий.

Газотранспортные предприятия являются базовыми элементами газотранспортной системы РФ, от надежности функционирования которой зависит как уровень национальной безопасности государства, так и энергетическая безопасность других стран, поэтому обеспечение производственной безопасности на этих предприятиях является важной задачей современности.

Ответственность за обеспечение производственной безопасности, направленной на создание безопасных условий труда, предотвращение аварий, минимизацию рисков для работников и окружающей среды, возложена государством на предприятия, что отражено в нормативных правовых актах, регулирующих данные вопросы. Основными среди них являются федеральные законы, в том числе Трудовой кодекс Российской Федерации [1] (далее – ТК) и федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [2] (далее – ФЗ-116). ФЗ-116 устанавливает требования к безопасности на предприятиях, использующих опасные вещества или технологии, обязывает работодателей проводить регулярные проверки и аудит безопасности, а также разрабатывать планы действий в чрезвычайных ситуациях. Принятие ФЗ-116 потребовало разработки подзаконных нормативных правовых актов для раскрытия конкретных механизмов применения и использования нормативных документов, направленных на снижение риска возникновения аварий при эксплуатации опасных производственных объектов (далее - ОПО).

К подзаконным актам, определяющим необходимость осуществления производственного контроля, относятся приказы Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (далее – Ростехнадзор), которыми утверждены

положения, регламентирующие вопросы организации работы аттестационных комиссий, подготовки и аттестации специалистов, организации обучения и проверки знаний рабочих предприятий, поднадзорных Ростехнадзору и др.

В рамках совершенствования надзорной деятельности в 2015 году Ростехнадзор ввел риск-ориентированный подход, позволяющий повысить качество используемых методов и проверок с учетом степени риска поднадзорных предприятий. Основная задача данного подхода в обеспечении производственной безопасности заключается в информировании экспертных и надзорных органов о вероятных опасностях и рисках аварий, других инцидентов и несчастных случаев.

Внедрение риск-ориентированного подхода для обеспечения производственной безопасности на газотранспортных предприятиях соотносится с датой введения Ростехнадзором Руководства по безопасности [3], представляющего собой документ федерального уровня. В настоящее время оценка риска аварий при эксплуатации ОПО магистральных газопроводов осуществляется в соответствии с методикой, утвержденной приказом Ростехнадзора от 22.12.2022 № 454 [4]. Данный документ, введенный взамен первого Руководства [3], содержащий рекомендации по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий, позволяет учитывать существенные факторы при оценке ожидаемой частоты аварий на определенных участках магистрального трубопровода. Сопоставление значения интегрального коэффициента, полученного на основе экспертной оценки, со среднестатистической частотой аварий за последние 5 лет на ОПО магистрального трубопроводного транспорта газа позволяет группировать ОПО по категориям [4] и учитывать полученные результаты при эксплуатации последних.

Таким образом, риск-ориентированный подход позволяет обнаружить существенные факторы, способствующие возникновению нежелательных событий, и оценить степень тяжести последствий нежелательных событий.

В результате осуществления мер, направленных на обеспечение предприятий нормативной базой и необходимыми инструментами, организацию действенного производственного контроля за состоянием промышленной безопасности и охраны труда, уровень аварийности на газотранспортных предприятиях снизился в разы (рис. 1).

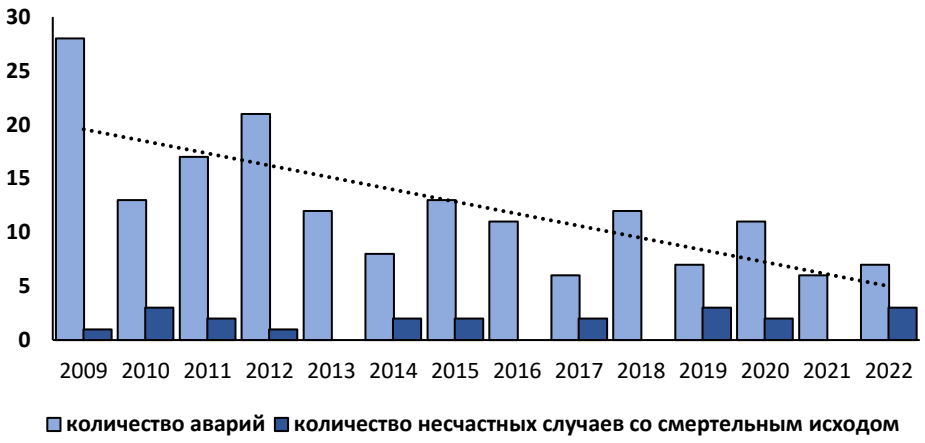


Рис.1. Статистика аварий и несчастных случаев со смертельным исходом на объектах магистрального трубопроводного транспорта и подземного хранения газа [5]

В то же время в отношении количества несчастных случаев со смертельным исходом устойчивая тенденция к снижению не наблюдается.

В условиях роста производственных мощностей, усложнения технологических процессов предприятиям приходится осваивить и надежно удерживать более высокий уровень безопасности производства, что требует выстраивания такой системы управления производственной безопасностью, которая позволяет разработать риск-стратегию

комплексного управления ею, основываясь на данных мониторинга и прогнозирования, иметь надежные методы и инструменты (критерии) управления риском, управлять риском и оценить результаты управления [6].

Действенной организационной мерой по снижению количества аварий, частоты несчастных случаев со смертельным исходом на ОПО является эффективное использование и распределение ресурсов предприятий, что позволяет своевременно принять необходимые меры на тех участках, где это необходимо. Для решения задач, связанных с распределением ресурсов предприятия, ввиду дефицита и неточности исходной информации целесообразно применять экспертные методы в сочетании с методом анализа иерархий, суть которых заключается в экспертной оценке критериев и показателей, которые характеризуют факторы, в той или иной мере отражающиеся на состоянии производственной безопасности. На практике широко применяется метод попарных сравнений, основанный на системном подходе для решения сложных, многоаспектных и многоуровневых задач. Метод позволяет ЛПР выбрать из нескольких вариантов (альтернатив), обладающих определенными свойствами, которые выражаются в виде оценки их значимости (приоритетности), рациональный вариант решения задачи. Другими словами, основная цель и факторы, которые в определенной степени влияют на достижение цели, распределяются по уровням в зависимости от степени и характера их влияния.

Этапы реализации метода анализа иерархий представлены на рис. 2.

Рис. 2. Этапы реализации метода анализа иерархий

Рассмотрим применение данного метода на примере условного газотранспортного предприятия.

С учетом результатов анализа состояния компонентов производственной безопасности – охраны труда, промышленной и пожарной безопасностей, безопасности дорожного движения – для идентификации опасностей и угроз, формируются перечень показателей, характеризующих внутренние и внешние факторы, перечень критериев и группа экспертов.

После идентификации потенциальных опасностей и угроз определяется группа показателей – альтернатив, например:

1) количество ОПО I – III классов опасности, ед. (X1);

2) доля сооружений, технических устройств и оборудования с предельной степенью износа, % (X2);

3) количество опасных участков на газопроводах (пересечения с водными преградами, переходы под автомобильными и железными дорогами, зоны, подверженные подтоплениям, др.), ед. (X3);

4) количество пожаровзрывоопасных объектов (далее – ПВОО), эксплуатируемых без проведения экспертизы промышленной безопасности, ед. (X4);

5) доля работников, подверженных воздействию опасных факторов пожара, чел. (X5);

6) численность работников с опасными условиями труда, чел. (X6);
7) численность работников с вредными условиями труда, чел. (X7);
8) численность работников с профессиональными заболеваниями, чел. (X8);
9) количество дорожно-транспортных происшествий (далее – ДТП), ед. (X9);
10) численность работников, подверженных ДТП, чел. (X10).

Для оценки показателей, характеризующих внутренние и внешние факторы, формируются критерии оценки альтернатив:

1) количество аварий, инцидентов, несчастных случаев, ед. (К1);
2) социальные потери (численность пострадавших и погибших), чел. (К2);
3) экологический ущерб, тыс. руб. (К3);
4) экономический ущерб, тыс. руб. (К4).

В связи с тем, базовые (основные) показатели X1–X10 могут быть сгруппированы в четыре класса комплексных (составных) показателей «промышленная безопасность» (ПрБ), «пожарная безопасность» (ПБ), «охрана труда» (ОТ) и «безопасность дорожного движения» (БДД), которые представляют второй уровень иерархии, оценка как базовых, так и составных показателей производится по всем перечисленным выше четырем критериям. Декомпозиция поставленной задачи представляется в виде многоуровневой иерархии, которая схематически представлена на рис. 3.

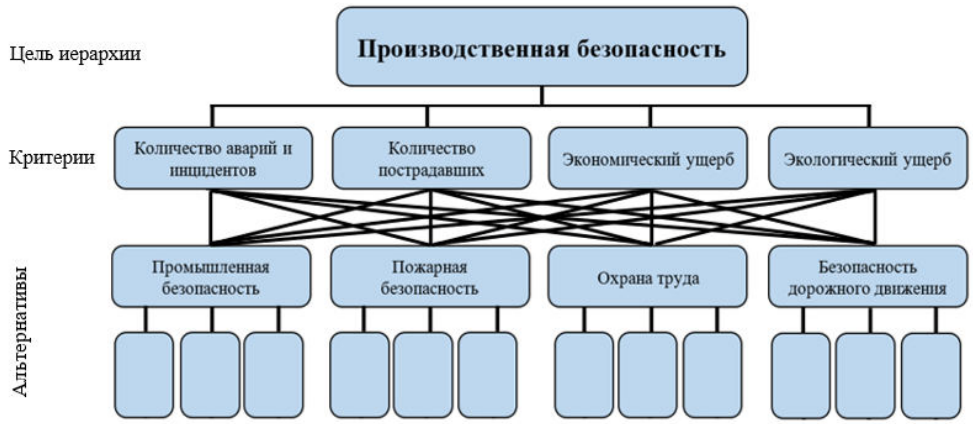


Рис. 3. Иерархическая структура элементов производственной безопасности

Каждым экспертом строится матрица парных сравнений (таблица 1). Для оценки значимости используется шкала относительной важности Саати [7].

Таблица 1

Матрица парных сравнений

Критерии	К1	К2	К3	К4	Сред. геом.	Веса альтернатив
К1	1	5	7	9	4,21	0,65
К2	0,20	1	3	5	1,32	0,21
К3	0,14	0,33	1	3	0,61	0,09
К4	0,11	0,20	0,33	1	0,29	0,05
Сумма	1,45	6,53	11,33	18,00	6,44	1,00

После оценки согласованности мнений экспертов для формирования коллективного мнения результаты опросов экспертов усредняются по формуле средней арифметической простой (таблица 2).

Таблица 2

Усредненные веса критериев

Веса критериев	К1	К2	К3	К4
	0,34	0,51	0,08	0,07

Для определения приоритетов комплексных показателей ПрБ, ПБ, ОТ, БДД по критериям К1 – К4 каждым экспертом проводится парное сравнение показателей и расставляются оценки. Усредненные значения весов комплексных показателей по каждому критерию сведены в таблицу 3.

Далее, на основании данных таблиц 2 и 3, определяется глобальный приоритет составных (комплексных) показателей, характеризующих состояние производственной безопасности предприятия (таблица 4).

Таблица 3

Усредненные значения весов комплексных показателей

Составляющие производственной безопасности	Критерии			
	К1	К2	К3	К4
ПрБ	0,53	0,28	0,14	0,05
ПБ	0,47	0,41	0,12	0,11
ОТ	0,32	0,43	0,05	0,11
БДД	0,27	0,28	0,38	0,07

Таблица 4

Глобальный приоритет комплексных показателей с учетом их значимости

Комплексные показатели	К1	К2	К3	К4	$Р_{глоб}$
	0,34	0,51	0,08	0,07	
ПрБ	0,53	0,47	0,32	0,27	0,45
ПБ	0,28	0,41	0,43	0,28	0,36
ОТ	0,14	0,12	0,05	0,38	0,14
БДД	0,05	0,11	0,11	0,07	0,09

Из таблицы 4 следует, что веса комплексных показателей в агрегированном показателе «Производственная безопасность» распределились следующим образом: промышленная безопасность - 45%, пожарная безопасность - 36%, охрана труда – 14%, безопасность дорожного движения – 9%. Следовательно, при принятии руководством предприятия управленческих решений о выделении финансовых и (или) иных ресурсов, следует учитывать эти характеристики.

Для проведения более детального анализа целесообразно представить полученные результаты в виде лепестковой диаграммы (рис. 4).

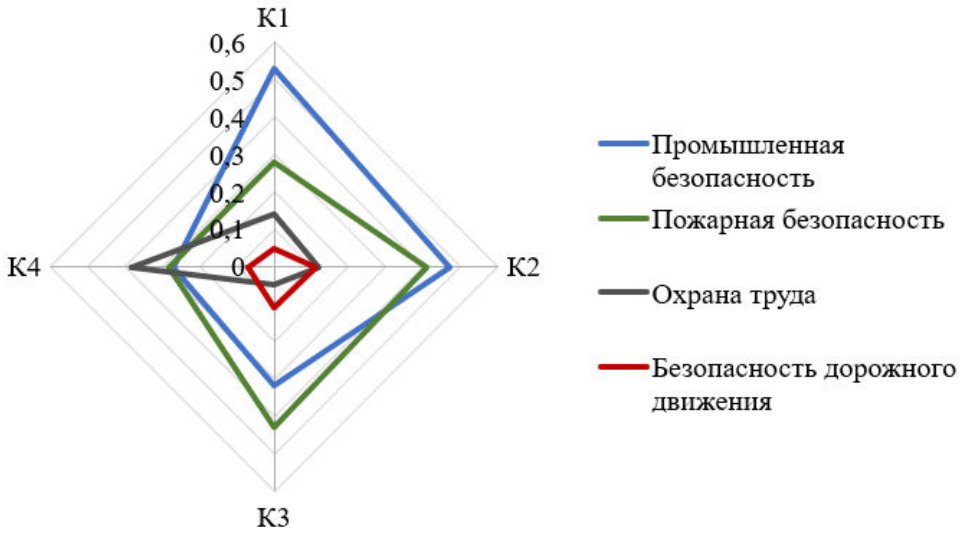


Рис. 4. Лепестковая диаграмма сравнительного анализа: К1 - количество аварий, инцидентов, несчастных случаев, ед.; К2 - социальные потери (численность пострадавших и погибших), чел.; К3 - экологический ущерб, тыс. руб.; К4 - экономический ущерб, тыс. руб.

По критериям «количество аварий, инцидентов, несчастных случаев» и «социальные потери» наиболее сложная ситуация наблюдается с обеспечением промышленной безопасности. По критерию «экологический ущерб» имеются проблемы с обеспечением пожарной безопасности, по критерию «экономический ущерб» требует наиболее пристального внимания охрана труда работников предприятия.

Так как иерархия является многоуровневой, необходимо найти приоритеты элементов третьего уровня иерархии. Для этого, принимая в качестве критериев показатели второго уровня с глобальными весами, приведенными в таблице 3, проводится парный анализ показателей, относящихся в отношениях «потомки» - «родители». Веса элементов третьего уровня, полученные в соответствии с этапами, описанными выше, сведены в четвертый столбец таблицы 5.

Таблица 5

Веса показателей третьего уровня иерархии относительно цели иерархии

Показатели 2 уровня	Веса показателей 2 уровня	Показатели 3 уровня	Веса показателей 3 уровня	Веса показателей относительно 1 уровня
ПрБ	0,45	X1	0,38	0,17
		X2	0,43	0,18
		X3	0,19	0,09
ПБ	0,36	X4	0,37	0,12
		X5	0,63	0,22
ОТ	0,14	X6	0,47	0,07
		X7	0,35	0,05
		X8	0,18	0,03
БДД	0,09	X9	0,67	0,05
		X10	0,33	0,03

Из последнего столбца таблицы 5 видно, что наибольший глобальный приоритет наблюдается у показателя X5 (22%), за которым следуют показатели X1 (19%) и X2 (18%), т.е. X5, X1 и X2 являются «лучшими» альтернативами, в отношении которых могут быть приняты управленческие решения газотранспортного предприятия. Не вызывают беспокойства показатели, характеризующие X7, X8, X9 и X10.

Несмотря на то, что формирование структуры модели принятия решений в методе анализа иерархий является достаточно трудоемким процессом, результаты, полученные этим методом, позволяют получить детальное представление о взаимодействии факторов, влияющих на приоритеты альтернативных решений. Присутствие «человеческого фактора», с одной стороны, вызывает вопросы, связанные с квалификацией экспертов, можно ли доверять их мнению. С другой стороны, оно представляет собой одно из важных достоинств данного метода перед другими. Действительно, в конечном итоге стратегические управленческие решения принимаются уполномоченными лицами. При этом другие формальные методы не дают право выбора, что является немаловажным в условиях слабо структурируемых производственных процессов.

Таким образом, применение описанного выше метода в рамках риск-ориентированного подхода к обеспечению производственной безопасности позволяет выявить наиболее опасные зоны, рационально распределять ресурсы предприятия, вовремя принимать необходимые меры там, где это необходимо. Последнее способствует снижению уровня аварийности, производственных травм и частоты несчастных случаев со смертельным исходом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Трудовой Кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2024 г. № 232-ФЗ (ред. от 1 января 2024 г.). – М.: ЗАО «Издательство «Волтерс Клувер», 2024.

2. Федеральный закон от 21.07.1997 (с изм. на 29 декабря 2022 г.) № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [Электронный

ресурс]. Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/9046058?ysclidll3qgirp42307305668 (дата обра-щения: 15.08.2025).

3. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) от 26.12.2018 № 647 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://docs.cntd.ru (дата обращения: 17.08.2025).

4. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) от 22.12.2022 № 454 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.oaontc.ru/media/filebrowser/pr_454 (дата обращения: 15.08.2025).

5. *Коскевич Н.С*. Снижение рисков аварий и инцидентов на объектах газотранспортной системы // Газовая промышленность. 2024. № 8 (869). С. 20-21. URL: https://eridan.ru/media/file (дата обращения: 10.08.2025).

6. *Квагинидзе В.С., Петров В.Ф., Зарипова С.Н.* Прогнозирование безопасного функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов горнодобывающих предприятий Севера. – М.: «Мир горной книги», Издательство Московского государственного горного университета, 2008. – 347 с.: ил.

7. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 198 с.

RISK-ORIENTED APPROACH TO ENSURING PRODUCTION SAFETY AT A GAS TRANSPORT ENTERPRISE

Zaripov R.F., Minyzev A.N.

Supervisor: Muravyova E.V., Head of the department, Doctor of Pedagogical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses issues related to the application of a risk-oriented approach to ensuring industrial safety at gas transportation enterprises. The feasibility of using expert methods for risk assessment is justified. Using the example of a hypothetical gas transportation enterprise, the possibility of applying one of these methods in conjunction with the hierarchical analysis method is demonstrated.

УДК 614.84 + 470.41 + 470.43

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАЙОНОВ ГОРОДА КАЗАНИ

Зарипова Л.Р.

Научный руководитель: Шакирова А.И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань

Аннотация. В статье представлен анализ пожарной опасности районов Казани с применением метода анализа иерархий. На основе выделенных критериев определены районы с наивысшим и наименьшим уровнем безопасности, а также разработаны меры по повышению противопожарной защиты, в частности для Советского района. Полученные данные могут быть полезны для более эффективного распределения ресурсов и минимизации пожарных рисков на городских территориях.

Пожарная безопасность — это одна из ключевых задач государства и важная часть безопасности в стране. По Федеральному закону № 69-ФЗ от 21.12.1994 «О пожарной

безопасности», этот термин обозначает уровень защиты жизни, здоровья, имущества и общества от пожаров и связанных с ними угроз [1].

Сегодня безопасность - это не просто защита, а целая система, которая помогает людям контролировать свою жизнь. Это значит, что речь идет о том, как управлять рисками, а не только о том, чтобы не попасть в беду. Пожарная безопасность, например, включает в себя меры для предотвращения пожаров и уменьшения их последствий [2].

Хотя в сфере пожарной безопасности проводится множество научных исследований, большинство из них носят локальный характер, ограничиваясь отдельными регионами или факторами. Для повышения информативности и эффективности оценки противопожарных мер необходимо проанализировать критерии пожарной опасности в районах Казани (Республика Татарстан) с применением метода анализа иерархий. Этот подход позволяет определить оптимальный уровень готовности и обосновать достаточность принимаемых мер. Полученные результаты могут способствовать снижению числа пожаров в городе.

В основе метода анализа иерархий лежит принцип взвешенного усреднения, однако в отличие от простых методов, он обеспечивает более надежное и согласованное назначение оценок [3].

Основная идея метода состоит в попарном сравнении альтернативных вариантов по каждому критерию. Затем проводится серия сравнений для оценки относительной значимости критериев, что позволяет определить их весовые коэффициенты.

Согласно статистике, за 2024 год, в Казани зафиксирован рост числа пожаров на 4% по сравнению с предыдущим годом — всего 1103 случая. При этом количество погибших сократилось на 21%, составив 22 человека [3]. Для выявления районов, требующих повышенного внимания в сфере пожарной безопасности, был применен метод анализа иерархий.

В качестве показателей пожарной опасности (критериев) в данном исследовании для каждого района были рассмотрены число пожаров, количество погибших и отношение площади района на количество пожарных частей.

Самым важным критерием мы считаем количество погибших на пожарах, ведь нет ничего важнее человеческой жизни. Вторым по важности является количество пожаров. И не менее важное, количество пожарно-спасательных частей, важно чтобы их было достаточно, и чтобы подразделения успевали оперативно реагировать на происшествия.

На рисунке 1 представлены критерии по каждому району.

Показатели АСС	Количество пожаров за год	Количество погибших на пожарах за год	Площадь района/Количество пожарных частей
Авиастроительный р-н	141	3	7,8
Вахитовский р-н	115	0	5,2
Кировский р-н	140	1	36,3
Московский р-н	100	2	9,7
Ново-Савиновский р-н	112	6	10,3
Приволжский р-н	230	4	12,8
Советский р-н	265	6	34,1

Рис.1. Таблица критериев

Первый шаг анализа состоит в попарном сравнении по каждому критерию. Для этого используется шкала сравнения – шкала относительной важности Т. Саати (табл. 1).

Таблица 1

Шкала относительной важности для сравнения альтернатив по критериям

Ранг	Описание
1	Одинаковое предпочтение
3	Умеренное предпочтение
5	Явное предпочтение
7	Очевидное предпочтение
9	Абсолютное предпочтение

Рассмотрим первый критерий (количество пожаров) и внесем данные в таблицу (рис. 2).

Матрица попарных сравнений. Сравнение альтернатив по количеству пожаров

	Авиастроительный р-н	Вахитовский р-н	Кировский р-н	Московский р-н	Ново-Савиновский р-н	Приволжский р-н	Советский р-н	Среднее	Мера согласованности
Авиастроительный р-н	1	0,5	1	0,3	0,3	6,0	8,0	0,110	7,313
Вахитовский р-н	2	1	3	0,5	1,0	8,0	9,0	0,203	7,496
Кировский р-н	1	0,3	1	0,25	0,33	6	8,0	0,105	7,317
Московский р-н	4	2	4	1	2	8	9,0	0,323	7,491
Ново-Савиновский р-н	3	1	3	0,5	1	7	8,0	0,209	7,587
Приволжский р-н	0,17	0,13	0,17	0,13	0,14	1	2	0,028	7,071
Советский р-н	0,13	0,11	0,13	0,11	0,13	0,5	1	0,021	7,071
Сумма	**11,29**	**5,1**	**12,3**	**2,7**	**4,9**	**36,5**	**45,0**		

Нормализация

	Авиастроительный р-н	Вахитовский р-н	Кировский р-н	Московский р-н	Ново-Савиновский р-н	Приволжский р-н	Советский р-н
Авиастроительный р-н	0,089	0,099	0,081	0,091	0,068	0,164	0,178
Вахитовский р-н	0,177	0,197	0,244	0,183	0,203	0,219	0,200
Кировский р-н	0,089	0,066	0,081	0,091	0,068	0,164	0,178
Московский р-н	0,354	0,395	0,325	0,365	0,405	0,219	0,200
Ново-Савиновский р-н	0,266	0,197	0,244	0,183	0,203	0,192	0,178
Приволжский р-н	0,015	0,025	0,014	0,046	0,029	0,027	0,044
Советский р-н	0,011	0,022	0,010	0,041	0,025	0,014	0,022

Согласованность

ИС	ИР	Коэф. Согласованности
0,056	1,32	0,042

Рис.2. Попарное сравнение по количеству пожаров

После сравнения количества пожаров аналогичные сравнения произведем по остальным критериям (рис. 3 и 4).

Матрица попарных сравнений. Сравнение альтернатив по количеству погибших

	Авиастроительный р-н	Вахитовский р-н	Кировский р-н	Московский р-н	Ново-Савиновский р-н	Приволжский р-н	Советский р-н	Среднее	Мера согласованности
Авиастроительный р-н	1	0,2	0	0,5	5,0	2,0	5,0	0,116	7,211
Вахитовский р-н	5	1	2	3,0	8,0	2,0	8,0	0,338	7,614
Кировский р-н	4	0,5	1	2	6,00	4	6,0	0,252	7,613
Московский р-н	2	0,3	0,5	1	4	2	4,0	0,141	7,513
Ново-Савиновский р-н	0,20	0,13	0,17	0,25	1	0,5	1,0	0,035	7,187
Приволжский р-н	0,50	0,50	0,25	0,50	2,00	1	2	0,082	7,122
Советский р-н	0,20	0,13	0,17	0,25	1,00	0,50	1	0,035	7,187
Сумма	**12,90**	**2,8**	**4,3**	**7,5**	**27,0**	**12,0**	**27,0**		

Нормализация

	Авиастроительный р-н	Вахитовский р-н	Кировский р-н	Московский р-н	Ново-Савиновский р-н	Приволжский р-н	Советский р-н
Авиастроительный р-н	0,078	0,072	0,058	0,067	0,185	0,167	0,185
Вахитовский р-н	0,388	0,359	0,462	0,400	0,296	0,167	0,296
Кировский р-н	0,310	0,180	0,231	0,267	0,222	0,333	0,222
Московский р-н	0,155	0,120	0,115	0,133	0,148	0,167	0,148
Ново-Савиновский р-н	0,016	0,045	0,038	0,033	0,037	0,042	0,037
Приволжский р-н	0,039	0,180	0,058	0,067	0,074	0,083	0,074
Советский р-н	0,016	0,045	0,038	0,033	0,037	0,042	0,037

Согласованность

ИС	ИР	Коэф. Согласованности
0,058	1,32	0,044

Рис.3. Попарное сравнение по количеству погибших

Матрица попарных сравнений. Сравнение альтернатив по отношению площади района на количество ПСЧ

	Авиастроительный р-н	Вахитовский р-н	Кировский р-н	Московский р-н	Ново-Савиновский р-н	Приволжский р-н	Советский р-н	Среднее	Мера согласованности
Авиастроительный р-н	1,00	0,50	9,00	4,00	3,00	4,00	9,00	0,266	7,902
Вахитовский р-н	2,00	1,00	9,00	3,00	5,00	7,00	8,00	0,360	7,751
Кировский р-н	0,11	0,11	1,00	0,13	0,14	0,17	0,50	0,021	7,156
Московский р-н	0,25	0,33	8,00	1,00	2,00	3,00	7,00	0,151	7,560
Ново-Савиновский р-н	0,33	0,20	7,00	0,50	1,00	2,00	3,00	0,097	7,465
Приволжский р-н	0,25	0,14	6,00	0,33	0,50	1,00	4,00	0,075	7,248
Советский р-н	0,11	0,13	2,00	0,14	0,33	0,25	1,00	0,031	7,148
Сумма	**4,06**	**2,4**	**42,0**	**9,1**	**12,0**	**17,4**	**32,5**		

Нормализация

	Авиастроительный р-н	Вахитовский р-н	Кировский р-н	Московский р-н	Ново-Савиновский р-н	Приволжский р-н	Советский р-н
Авиастроительный р-н	0,247	0,207	0,214	0,440	0,250	0,230	0,277
Вахитовский р-н	0,493	0,415	0,214	0,330	0,417	0,402	0,246
Кировский р-н	0,027	0,046	0,024	0,014	0,012	0,010	0,015
Московский р-н	0,062	0,138	0,190	0,110	0,167	0,172	0,215
Ново-Савиновский р-н	0,082	0,083	0,167	0,055	0,083	0,115	0,092
Приволжский р-н	0,062	0,059	0,143	0,037	0,042	0,057	0,123
Советский р-н	0,027	0,052	0,048	0,016	0,028	0,014	0,031

Согласованность

ИС	ИР	Коэф. Согласованности
0,077	1,32	0,058

Рис. 4. Попарное сравнение по отношению площади района на количество пожарно-спасательных частей

На втором этапе определяем весовые коэффициенты критериев. Процедура аналогична попарному сравнению альтернатив по критериям, только в данном случае сравниваются между собой все критерии (рис. 5).

Матрица попарных сравнений. Сравнение альтернатив			
	Количество пожаров за год	Количество погибших на пожарах за год	Площадь района/Количество
Количество пожаров за год	1	0,3	4,0
Количество погибших на пожарах за год	3,0	1	5,0
Площадь района/Количество	0,3	0,2	1
Сумма	**4,3**	**1,5**	**10,0**

Нормализация					
	Количество пожаров за год	Количество погибших на пожарах за год	Площадь района/Количество пожарных частей	Среднее	Мера согласованности
Количество пожаров за год	0,235	0,217	0,400	0,284	3,083
Количество погибших на пожарах за год	0,706	0,652	0,500	0,619	3,155
Площадь района/Количество пожарных частей	0,059	0,130	0,100	0,096	3,022

Согласованность		
ИС	**ИР**	**Коэф. Согласованности**
0,043	0,58	0,075

Рис. 5. Коэффициент согласованности для весов критериев

По таблице можем сделать вывод, что показатель количества погибших имеет наибольший вес, что составляет 0,619. За ним идет количество пожаров и потом отношение площади района на количество пожарно-спасательных частей.

Итоговый выбор альтернативы является последним этапом вычислений (рис. 6).

Результаты сравнения								
	Авиастроительный р-н	Вахитовский р-н	Кировский р-н	Московский р-н	Ново-Савиновский р-н	Приволжский р-н	Советский р-н	Веса
Количество пожаров за год	0,110	0,203	0,105	0,323	0,209	0,028	0,021	0,284
Количество погибших на пожарах за год	0,116	0,338	0,252	0,141	0,035	0,082	0,035	0,619
Площадь района/Количество пожарных частей	0,266	0,360	0,021	0,151	0,097	0,075	0,031	0,096
Сумма	**0,129**	**0,302**	**0,188**	**0,194**	**0,091**	**0,066**	**0,031**	**Взвешенные оценки**

Рис. 6. Итоговый выбор альтернативы

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что по показателям Вахитовский район (0,302) несколько превосходит другие районы. Это значит, что по критериям он безопаснее других. Самый маленький результат у Советского района (0,031), значит этот район больше других нуждается в улучшении и пересмотре критериев пожарной безопасности.

В заключение исследования, можно дать несколько рекомендаций по Советскому району. К сожалению, там произошло самое большое количество пожаров за год. По площади он является достаточно большим (170,49 км^2), с большим количеством частного сектора и лесного массива. Но количество пожарных частей там столько же, как в Авиастроительном и Вахитовском районах, но их площадь составляет всего 38,91 км^2 и 25,8 км^2 соответственно. Поэтому можно рекомендовать увеличить количество пожарных частей в Советском районе.

Благодаря анализу критериев пожарной опасности и принятым мерам по улучшению состояния пожарной безопасности в городе, можем предположить возможности сокращения пожаров и гибели в них.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон «О пожарной безопасности» от 21.12.1994 № 69 ФЗ.
2. Статистика пожаров в России. URL: https://rosinfostat.ru/pozhary/#i-2.

3. *Саати, Томас Л.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. /Т. Саати; перевод с английского Р.Г. Вачнадзе.-Москва: Радио и связь, 1993. -314 с. ISBN 5-256-00443-3.

APPLICATION OF THE METHOD OF HIERARCHY ANALYSIS TO ASSESS THE LEVEL OF FIRE SAFETY IN KAZAN CITY AREAS

Zaripova L.R.
Supervisor: Shakirova A.I. Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article presents an analysis of the fire danger of Kazan districts using the hierarchy analysis method. Based on the selected criteria, the areas with the highest and lowest levels of safety have been identified, and measures have been developed to improve fire protection, in particular for the Sovetsky district. The data obtained can be useful for more efficient allocation of resources and minimization of fire risks in urban areas.

УДК 331.453

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ ОХРАНЫ ТРУДА

Зарипова Л.Р.
Научный руководитель: Шакирова А.И., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье исследуется, как устойчивое развитие связано с безопасностью труда, здоровьем персонала, производительностью и благополучием коллектива. Особое внимание уделяется роли устойчивых подходов в стимулировании инноваций в промышленной безопасности. Эти инновации, в свою очередь, вносят вклад в устойчивое развитие, улучшая условия труда, сохраняя здоровье сотрудников, контролируя экологическую обстановку и расширяя компетенции в области охраны труда.

Концепция устойчивого развития, нацеленная на удовлетворение потребностей нынешнего поколения без угрозы для возможности будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности, является в настоящее время одним из приоритетных направлений. В рамках статьи анализируется взаимосвязь между принципами устойчивого развития и ключевыми аспектами современного производства: охраной труда, здоровьем персонала, производственной эффективностью и социальным благополучием, а также оценивается их влияние на внедрение инноваций в сфере промышленной безопасности.

Повышение уровня охраны труда и промышленной безопасности — ключевой элемент устойчивого развития. Оно направлено на создание безопасной рабочей среды, защиту здоровья сотрудников, минимизацию вредного воздействия на экологию, снижение числа происшествий и формирование культуры безопасности. Эти улучшения не только сохраняют жизни и окружающую среду, но и укрепляют экономическую стабильность компаний, что делает их неотъемлемой частью прогресса.

Согласно последним данным Международной организации труда, проблемы производственной безопасности остаются глобальным вызовом: ежегодно в мире на рабочих местах гибнет порядка 2,9 миллиона человек вследствие несчастных случаев и профессиональных заболеваний. Кроме того, 160 миллионов человек страдают от болезней, связанных с работой, 313 миллионов получают травму. Это негативно сказывается и на экономике предприятий: по оценкам Международной организации труда, глобальные потери внутреннего валового продукта из-за производственного травматизма и заболеваний превышают 4% в год [4]. Эти цифры демонстрируют масштабный кризис в сфере охраны труда, который требует немедленных действий на глобальном, национальном и

организационных уровнях. Столь тревожная статистика является следствием системных проблем.

Ситуация в России, к сожалению, отражает эту тревожную тенденцию. По актуальной информации Росстата, в 2023 году был зафиксирован рост числа несчастных случаев на производстве. Количество травм увеличилось до 20,9 тысяч (на 3% больше, чем в 2022 году), а число погибших работников достигло 1,09 тысячи человек, что также показывает прирост на 2,5%. Значительная часть происшествий связана не с техническими неисправностями, а с человеческим фактором — нарушениями трудовой дисциплины, недостаточным обучением и низкой культурой безопасности. Это указывает на системные пробелы в управлении охраной труда на уровне организаций.

Наиболее уязвимыми, как и прежде, остаются такие отрасли, как строительство, обрабатывающая промышленность, а также транспорт и логистика. Именно здесь сосредоточены ключевые риски: работа на высоте, эксплуатация сложной техники, контакт с опасными материалами и экстремальные нагрузки.

Эти цифры – не просто сухая статистика, а серьезный сигнал к действию. Без внедрения комплексных систем управления охраной труда, инвестиций в современные средства защиты и пересмотра культуры безопасности на предприятиях трагическая статистика будет продолжать расти, а вместе с ней – и человеческие, и экономические потери.

Безопасность и охрана труда – это не просто формальность, а ключевой фактор успеха современного предприятия. Инвестиции в создание безопасных условий напрямую влияют на производительность, качество продукции и мотивацию сотрудников. Это выгодная стратегия: она снижает операционные издержки на больничные и простои, укрепляет репутацию компании и помогает привлекать лучшие кадры. Таким образом, забота о благополучии сотрудников является основой для устойчивого развития и социальной ответственности бизнеса.

Культура безопасности выходит далеко за рамки простого следования нормативам и правилам. В современной бизнес-реальности, характеризующейся жесткой конкуренцией и непредсказуемыми глобальными рисками, она трансформируется в ключевой стратегический актив. Этот ресурс позволяет компании не только минимизировать потери, но и укреплять свою репутацию, повышать операционную эффективность и, как следствие, обеспечивать долгосрочную устойчивость и процветание. Стимулом для развития этого стратегического актива выступают инновации в сфере промышленной безопасности.

В этом же контексте устойчивое развитие представляет собой комплексную стратегическую парадигму, нацеленную на удовлетворение текущих социально-экономических потребностей без компромисса в отношении благополучия будущих поколений. Его философия предупреждает о хрупкости экосистемы. Эта идея находит отражение в мальтузианской теории, которая постулирует существование «ловушки»: безудержный экономический рост, не учитывающий ограниченность природных ресурсов, неминуемо ведет к подрыву экологического баланса и масштабным кризисам. Таким образом, именно дисбаланс между скоростью технологических инноваций, экономической экспансией и способностью окружающей среды к восстановлению создает главные препятствия на пути реализации принципов устойчивого развития [1]. Для преодоления этого дисбаланса концепция устойчивого развития опирается на три взаимосвязанных столпа: экономику, экологию и социальную сферу. Охрана труда и промышленная безопасность являются тем самым операционным звеном, где эти три компонента сходятся на практике.

Распространенное заблуждение сводит концепцию устойчивого развития исключительно к экологической проблематике, будь то глобальное потепление или повышение уровня Мирового океана. Однако ее содержание гораздо шире и носит комплексный характер. Наряду с экологией, неотъемлемой составляющей устойчивого развития является социальная сфера. Это подразумевает безусловное соблюдение прав человека, формирование справедливых условий на рынке труда, а также обеспечение всеобщих социальных гарантий. Особое место в этом перечне занимает охрана здоровья и

безопасности персонала на производстве. Важно подчеркнуть, что эти социальные элементы — не просто дань этике, но и ключевой фактор экономической стабильности. Создание достойных условий труда напрямую влияет на производительность, снижает текучесть кадров и минимизирует риски, что в конечном итоге определяет долгосрочную эффективность и конкурентоспособность предприятий.

В основе устойчивого развития лежит гармония между экономическими, социальными и экологическими аспектами. Социальная справедливость рождается из экономико-социального баланса, а экологическая устойчивость — из экономико-экологического. Взаимодействие же социальных и экологических факторов создает среду, обеспечивающую высокое качество жизни.

На рисунке 1 представлена связь трех аспектов, указывающие на основные принципы устойчивого развития.

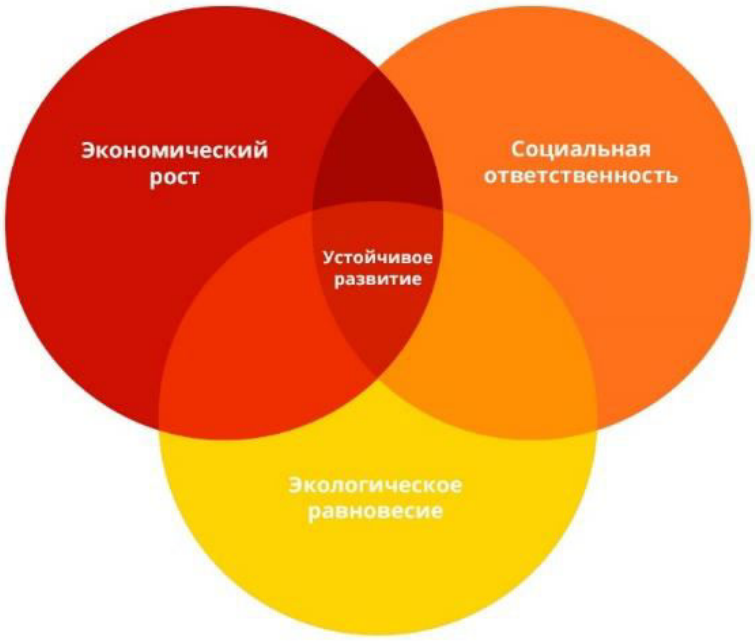


Рис. 1 Аспекты устойчивого развития [4]

Профессиональные смертность, травмы и болезни особенно тяжело отражаются на развивающихся странах, где значительная часть населения занята в опасных сферах, таких как сельское хозяйство, строительство, лесное хозяйство, рыболовство и горнодобывающая промышленность. Гибель или утрата трудоспособности из-за вредных условий труда становятся ключевыми фактором обнищания, затрагивающие целые семьи. Наиболее уязвимыми оказываются беднейшие и социально незащищенные группы. Помимо этого, производственные травмы и профессиональные заболевания наносят удар по деловой репутации страны препятствуют устойчивому экономическому развитию. Все это не только подрывает человеческий капитал, но и снижает общую производительность труда, замедляя темпы экономического роста. Для решения проблемы необходимы комплексные меры, включающие ужесточение трудового законодательства, расширение программ профессионального обучения и повышения безопасности, а также развитие системы социального страхования. Без этого развивающиеся страны будут и дальше сталкиваться с высокими человеческими и экономическими издержками, связанными с профессиональными рисками.

Гибель и получение инвалидности на опасных производственных объектах становятся ключевыми факторами, усугубляющими бедность и затрагивающими целые семьи. Наиболее уязвимыми в этой ситуации оказываются малоимущие и социально незащищенные группы. Помимо этого, производственные травмы и профессиональные заболевания наносят урон

деловой репутации компаний и препятствуют устойчивому экономическому развитию страны [3].

С учетом указанных проблем важно рассмотреть, каким образом инновации в сфере охраны труда и здоровья способствуют устойчивому развитию общества, а также определить направления для продвижения принципов устойчивого развития в области промышленной безопасности.

Устойчивое развитие в рабочей среде способно затрагивать различные факторы деятельности организации, в том числе эффективность работы персонала. Безопасность условий труда играет ключевую роль в повышении продуктивности организации. Грамотно организованное рабочее пространство способствует росту производительности сотрудников, поддерживает их здоровье и минимизирует издержки организации, связанные с производственными травмами. Это, в свою очередь, укрепляет экономическую устойчивость.

Непридуманное построение рабочего места может негативно сказаться на результативности работы. Рабочие места должны проектироваться с учетом физических и когнитивных возможностей сотрудников, обеспечивая им комфортные условия. Для создания среды, которая действительно способствует благополучию коллектива, важно четко определить цели и потребности проекта, используя подход, основанный на сотрудничестве, консенсусе и инновациях.

Внедрение инноваций в рабочую среду помогает повысить производительность, улучшить качество трудовой жизни и оптимизировать управление персоналом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Kassu J., Daniel K.* Industrial occupational safety and health innovation for sustainable development. Engineering Science and Technology, an International Journal. Vol. 20, Issue 1. 2017. P. 372-380.

2. *Kassu J.* Workplace Innovation for Social Sustainable Development. Sustainable Organizations. 2020. DOI: 10.5772/intechopen.93791.

3. Международная организация труда [Электронный ресурс]: Тяжкое бремя плохих условий труда. – URL: https://www.ilo.org/moscow/areas-of-work/occupational-safety-and-health/WCMS_249276/lang--ru/index.htm (дата обращения 30.04.2025).

4. *Шакирова А.И.* Повышение уровня промышленной безопасности в рамках устойчивого развития / А.И. Шакирова, И.И. Ганибаев // Безопасность в строительстве: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 24–25 ноября 2022 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 173-176. – EDN DCCYNT.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE ENTERPRISE THROUGH THE PRISM OF LABOR PROTECTION

Zaripova L.R.

Supervisor: Shakirova A.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*

Abstract. The article explores how sustainable development is related to occupational safety, staff health, productivity, and the well-being of the team. Special attention is paid to the role of sustainable approaches in stimulating innovation in industrial safety. These innovations, in turn, contribute to sustainable development by improving working conditions, preserving the health of employees, controlling the environmental situation and expanding competencies in the field of occupational safety.

УДК 678.02

АНАЛИЗ СОСТАВА И СВОЙСТВ ХЛОПЬЕВ ПОЛИЭТИЛЕНА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Иванова Т.А.*, *Полыгалов С.В.

(Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь)

Аннотация. Объектом исследования являются хлопья полиэтилена низкого давления (далее ПНД хлопья), полученные после сушки механической переработки ПНД тары. Экспериментальные исследования по определению состава показали, что в готовых ПНД хлопьях содержится около 10 % посторонних примесей.

Широкое использование полиэтилена низкого давления обусловлено его качественными характеристиками: химическая стойкость, высокая твердость и прочность, долговечность. Основной сегмент потребления полиэтилена низкого давления является упаковка: канистры, бутылки и т.п — 76 % [1]. Увеличение объема производства полиэтиленовых изделий способствует увеличению образования полиэтиленовых отходов. Особенно быстро будут образовываться отходы в виде тары, так как их срок эксплуатации значительно меньше по сравнению с полиэтиленовыми трубами или товарами народного потребления. В связи с этим возникает необходимость в дальнейшем обращении с отходами из полиэтиленовой тары.

Предприятия механической переработки собирают полиэтиленовую тару с целью ее дальнейшего вторичного использования. Поэтому в зависимости от направления использования устанавливают определенные требования к исходящему сырью. Основные требования к исходному сырью: отсутствие посторонних отходов (металла, камней, стекла и т.д.), пластмасс и прочих загрязнений (песок); отсутствие тары из-под опасных и токсичных химикатов.

Обычно технология механической переработки тары из полиэтилена низкого давления включает в себя следующие этапов: раскиповка кипы, измельчение, мойка, сушка, гранулирование, охлаждение и сушка гранул, упаковывание гранул. Получаемые продукты механической переработки ПНД тары являются хлопья и гранулы. При чем качество готовых гранул определяется наличием посторонних примесей и содержанием влаги в хлопьях.

Поэтому объектом исследования данной работы являются ПНД хлопья, полученные после сушки механической переработки (рисунок 1).

Рис. 1. Готовые ПНД хлопья, полученные в результате механической переработки тары

Целью работы является определение содержания влаги и посторонних примесей в ПНД хлопьях.

Определение содержания влаги

Содержание влаги в пробах определялась согласно методике ГОСТ Р 54232-2010 Определение содержания влаги высушиванием. Сущность метода заключается в высушивании пробы хлопьев на воздухе при температуре 105°С до постоянной массы и вычислении массовой доли влаги в процентах, исходя из потери массы.

В результате лабораторных исследований содержание влаги в ПНД хлопьях составило 0,06 %. Такое строгое ограничение по влаге в ПНД хлопьях необходимо для их дальнейшего гранулирования.

Определение посторонних примесей

Усредненная проба хлопьев весом 100 г высыпалась на сито с размером ячеек 2 мм. Вся проба сортировалась на фракции: хлопья более 2 мм, этикетки, ПНД пыль (частицы менее 2 мм) и прочее. (рисунок 2)

Рис. 2. Сортировка ПНД хлопьев на разные фракции

Также были выявлены такие хлопья, которые содержали на поверхности клей. С помощью пинцета убирался клей с этикетки и хлопьев. Все фракции отдельно взвешивались. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Состав компонентного состава ПНД хлопьев

Фракция	**Состав, % по массе**
Хлопья 2 мм и более	89,34
Этикетка	8,33
Частицы менее 2 мм	2,04
Прочее	0,29

Таким образом, основной состав занимают хлопья — почти 90 %. Этикетка 8,33 % и 2 % ПНД пыли. Клей и мелкие загрязнения, не относящийся к ПЭНД отнесено к прочему и занимает меньше 1 %. Полученные результаты говорят о том, что не весь поток тары перерабатывается, образуются потери в виде загрязнений, этикетки и клея. Примерные потери составляют около 10%. Данные включения влияют на качество и однородность изготавливаемых вторичных гранул ПЭНД. Наличие примесей в хлопьях приводит к неоднородности гранул, что в следствие снижает механические свойства: прочность, ударной вязкости и другим механическим характеристикам. В связи с этим направления использования

вторичных гранул может существенно отличаться. Возможные направления использования вторичного полиэтилена низкого давления и требования представлены в таблице 2.

Таблица 2

Возможные направления использования вторичного ПЭНД

Направление использования	Требования к гранулам
Бутылки и тара	Строгие требования по физико-механическим свойствам; Должны иметь требуемый показатель текучести расплава; Минимальные изменения цвета.
Трубы технического назначения	Строгие требования по физико-механическим свойствам; Должны иметь требуемый показатель текучести расплава; Невысокие требования по цвету.
Электротехнические изделия (обмотка для провода, изоляция)	
Строительные материалы (блоки, элементы зданий, отделочные материалы)	
Полимерный профиль	Меньшие значения по физико-механическим свойствам, чем при производстве тары; Невысокие требования по цвету.
Упаковочные материалы (пакеты, мешки, контейнеры)	
Садовый инвентарь	
Полимерпесчаная продукция	Водоотталкивающие и водонепроницаемые свойства; Устойчивость к механическим воздействиям.
Спортивные товары (мячи, покрытия и сетки)	Устойчивость к механическим воздействиям

Однако есть ограничения по использованию вторичных гранул для производства:

- детских игрушек [2];
- медицинских изделий;
- упаковки, контактирующей с питьевой водой и пищевыми продуктами [3];
- дюбелей [4].

Это связано с тем, тара из общего потока твердых коммунальных отходов может быть загрязнена опасными веществами и что в следствие может негативно сказываться на здоровье человека. Допускается применять вторичные гранулы, полученные из отходов производства.

Заключение

Механическая переработка является широко распространенным способом обращения с ПНД тарой и не требует дорогостоящего оборудования. Механическую переработку можно реализовать практически в любом месте накопления отходов, что позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду. Однако механическая переработка имеет свои недостатки. Поступающий поток отходов неоднороден, что приводит к ухудшению свойств и качества продукта. Во время мойки и используется большое количество воды, образуются сточные воды, загрязненные различными поверхностно-активными веществами, маслами, органическими и неорганическими соединениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Рынок крупнотоннажных полимеров часть I. Полиэтилен // Институт «Центр развития». URL: https://dcenter.hse.ru/data/2017/01/31/1114339110/Рынок%20крупнотоннажных%20полимеров%20ч1%202016.pdf.

2. Решение Комиссии Таможенного союза от 23.09.2011 № 798 «О принятии технического регламента Таможенного союза «О безопасности игрушек».

3. ГОСТ 33417-2015 «Упаковка бытового назначения из пластмасс Общие технические условия».

4. Свод правил. Системы фасадные теплоизоляционные композиционные с наружными штукатурными слоями. Правила проектирования и производства работ (СП 293.1325800.2017.

ANALYSIS OF THE COMPOSITION AND PROPERTIES OF LOW-DENSE POLYETHYLENE FLAKES

Ivanova T.A., Polygalov, S.V.
(Perm National Research Polytechnic University, Perm)

Abstract. The object of the study is low-density polyethylene flakes (hereinafter referred to as HDPE flakes), obtained after drying the mechanical processing of HDPE containers. Experimental studies to determine the composition showed that the finished HDPE flakes contain about 10% of foreign impurities.

УДК 614.84

ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Казакова С.А., Исмагилова Э.И.
Научный руководитель: Зарипова С.Н., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье приводится статистика пожаров в высотных зданиях и зданиях повышенной этажности, рассматриваются нормативные акты, содержащие требования к условиям проектирования и эксплуатации таких зданий, а также вопросы, связанные с обеспечением пожарной безопасности последних

В современном мире высотные здания и здания повышенной этажности представляют собой неотъемлемую часть застройки больших городов. Одним из преимуществ такого строительства считается эффективное и экономное использование дорогостоящей городской территории, особая комфортабельность и множество различных технических новшеств.

По сравнению с мировой практикой в РФ, занимающей четвертое место в мире по количеству небоскребов после Китая, Арабских Эмиратов и США, высотная застройка началась относительно недавно (рис. 1). В настоящее время в РФ есть как минимум семь зданий высотой от 300 м. (рис.2). Учитывая динамичное развитие инфраструктуры крупных городов и их активное стремление к смене внешнего облика, высотное строительство будет развиваться не только в Москве и Санкт-Петербурге, но и в столицах субъектов РФ.

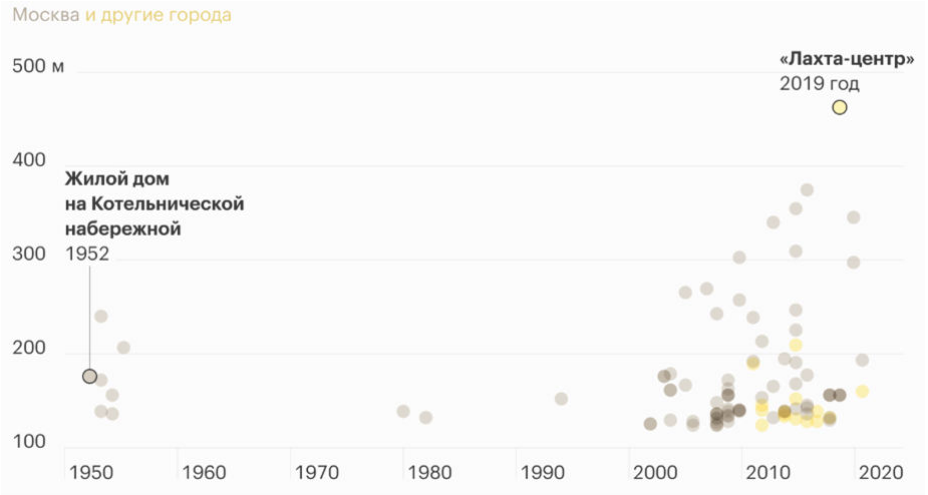


Рис.1. Динамика строительства высотных зданий в России [1]

Рис. 2. Перечень самых высоких зданий в России [1]

Высотным считается здание, имеющее высоту, определяемую в соответствии с методами, установленными в СП 54.13330.2016 [2], а также приведенными в СП 1.13130.2020 [3], более 75м. Зданиями повышенной этажности считаются здания, имеющие 10 – 25 этажей.

Высотным зданиям и зданиям повышенной этажности в сравнении со зданиями меньшей этажности свойственна большая степень потенциальной пожарной опасности. Как показывает статистика, наблюдается тенденция к увеличению количества пожаров в высотных зданиях и зданиях повышенной этажности, в том числе относящихся к жилому сектору (рис. 3). На жилой сектор приходится в среднем 78% пожаров в таких зданиях.

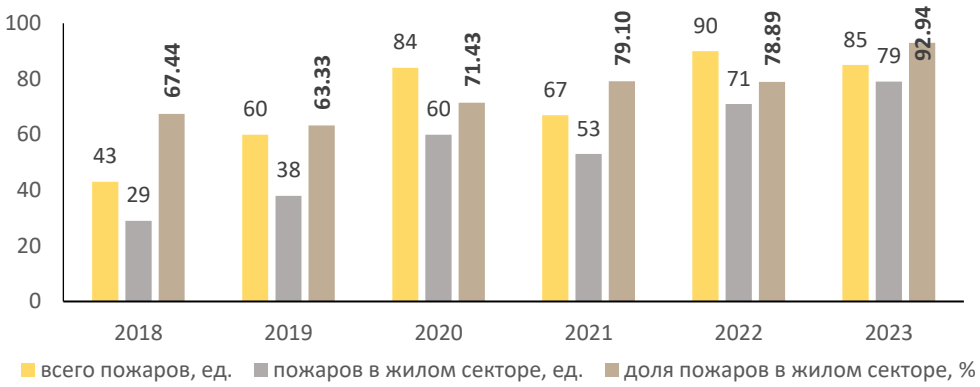


Рис.3. Динамика пожаров в высотных зданиях на территории РФ

Несмотря на относительно невысокие показатели смертности на пожарах (в последние годы численность всех погибших на пожарах приходится на жилой сектор), ограниченность количества подъемных механизмов, позволяющих тушить пожары на высоте более 100 м, делает жильцов таких зданий более уязвимыми к пожарам.

Причинами быстрого распространения огня в высотных зданиях и зданиях повышенной этажности являются наличие дополнительной тяги вследствие разницы внешнего и внутреннего давлений в инженерных каналах, проложенных снизу-вверх, разрушения стеклянных конструкций, часто применяемых в последние годы [4], а также ветровые нагрузки на верхних этажах зданий. Кроме того, продукты горения заполняют эвакуационные выходы, лифтовые шахты, лестничные клетки. Скорость распространения дыма и ядовитых газов по вертикали может достигать нескольких десятков метров в минуту. Наиболее интенсивно происходит задымление верхних этажей, где разведка пожара, спасение людей и подача средств тушения весьма затруднены. По этим причинам высотные здания и здания повышенной этажности представляют особую сложность при ликвидации очага возгорания и эвакуации людей, которые по времени являются более продолжительными, чем в зданиях меньшей этажности.

Как показывает мировой опыт, для тушения и спасения людей используются пожарные вертолеты, которые оборудуются системами вертикального и горизонтального тушения. В силу ограниченности финансовых средств в РФ данная технология тушения пожаров в высотных зданиях в настоящее время не применяется [5].

Существует ряд проблем с обеспечением пожарной безопасности и на этапе строительства высотных зданий и зданий повышенной этажности. Как правило, они возникают из-за ограниченной территории стройплощадки: отсутствие беспрепятственных проездов и подъездов для пожарной техники, отсутствие воды в пожарных гидрантах, либо отсутствие каких-либо источников водоснабжения, хаотичная установка временных бытовок на территории стройплощадок без соблюдения противопожарных разрывов, размещение временных административно-бытовых зданий в три и более этажей без создания необходимых условий для эвакуации людей. Сюда же можно включить отсутствие монтажных работ по созданию внутреннего противопожарного водопровода и автоматических систем пожаротушения одновременно с возведением объекта, складирование в строящемся здании горючих строительных материалов [6].

Анализ развития и тушения пожаров в зданиях повышенной этажности и высотных зданиях показал, что время прибытия и развертывания пожарных частей для спасения людей и ликвидации пожара может изменяться от нескольких минут до двух часов и более. Если время прибытия первого пожарного подразделения составляет около 10 мин, то следующие пожарные расчеты (в требуемом количестве для локализации пожара и эвакуации людей из горящего здания) прибывают к месту вызова согласно расписанию выезда, за это время огнем охватывается большая площадь высотного здания и до 15 – 25 этажей, расположенных выше первоначального очага пожара, а люди, находящиеся на верхних этажах здания, часто погибают, не дождавшись помощи.

Для эффективности действий пожарных и для быстрого задействования сил и средств пожарных расчетов, для удобства и безопасности проведения эвакуационных мероприятий здания должны оборудоваться пожарными лифтами из расчета один лифт на пожарный отсек здания. Любое высотное строение должно иметь зоны, обладающие повышенными пределами стойкости к огню, имеющие пожарные краны, доступ воздуха (подпор), оборудованные средствами индивидуальной и коллективной защиты и спасения.

Архитектура высотных зданий и зданий повышенной этажности предусматривает наличие технических этажей, на которых размещаются пункты для тушения пожаров. Такие пункты необходимы для хранения средств защиты и противопожарных средств. Следует рассматривать вариант вероятного задействования подъемников, которые применяются для хозяйственных нужд эксплуатации здания, для эвакуационных мероприятий в тех ситуациях, когда блокируются основные эвакуационные пути [7].

Степень пожароустойчивости здания напрямую зависит от числа применяемых современных систем защиты в здании, от планировки помещений. Также от планировки здания зависит скорость проведения эвакуационных мероприятий и быстрота действий сотрудников пожарного подразделения.

Использовать для оснащения городской пожарной службы лишь автомеханические лестницы и подъемники на сегодняшний день считается неэкономичным и неэффективным, поскольку использование их рационально для зданий высотой до 60 метров.

В настоящее время упор делается на внедрение современных противопожарных систем, позволяющих не допустить распространение пожара и его ликвидацию в точке его возникновения – это комплексная автоматическая сигнализация, противодымная защита, система оповещения людей и управления эвакуацией (СОУЭ), система видеонаблюдения, оснащение здания автоматическими установками тушения возгораний, прокладка в здании отдельной пожарной системы водопровода, наличие пожарных лифтов.

Перечисленные меры, направленные на обеспечение пожарной безопасности высотных зданий и зданий повышенной этажности, должны быть заложены на этапе проектирования, которое должно осуществляться в соответствии со строительными нормами и правилами,

сводами правил, техническими регламентами, государственными стандартами и нормами пожарной безопасности.

В настоящее время требования к проектированию и эксплуатации многофункциональных зданий изложены в следующих документах: СП 112.13330.2011 «Пожарная безопасность зданий и сооружений» [8], СП 4.13130.2013 «Свод правил. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям» [9], СП 267.1325800.2016 «Свод правил. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования» [10], СП 253.1325800.2016 «Свод правил. Инженерные системы высотных зданий» [11], СП 401.13.25800.2018 «Свод правил. Здания и комплексы высотные. Правила градостроительного проектирования» [12], СП 394.1325800.2018 «Свод правил. Здания и комплексы высотные» [13], СП 477.1325800.2020 «Свод правил. Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности» [14].

В развитие положений свода правил [11] о проектировании инженерных систем новостроящихся, реконструируемых высотных комплексов – общественных зданий высотой больше 55 м, жилых многоэтажных домов высотой больше 75 м, в том числе многофункциональных объектов, в 2018 году авторским коллективом ООО «НИЦ КБС» разработаны методические рекомендации «Проектирование инженерных противопожарных систем высотных зданий», направленные на решение следующих задач:

- разъяснение и детализация требований [11] к системам противопожарной защиты высотных зданий и противопожарным мероприятиям в инженерных системах высотных зданий;
- разъяснение особенностей проектирования систем противопожарной защиты высотных зданий с учетом требований нормативных документов по пожарной безопасности.

В то же время в настоящее время отсутствуют методические разработки в развитие положений СП 477.1325800.2020 [14], которые детализировали бы требования пожарной безопасности к проектируемым и эксплуатируемым высотным зданиям, и комплексам. Следует отметить, что в настоящее время отсутствуют также методические разработки для расчета сил и средств пожарно-спасательных подразделений, привлекаемых к тушению пожаров в высотных жилых зданиях и зданиях повышенной этажности, что создает определенные трудности при оценке сил и средств пожарно-спасательных подразделений по возможным вариантам развития пожара в высотном здании или здании повышенной этажности.

Таким образом, развитие строительства высотных зданий и зданий повышенной этажности привело к проблемам, связанным как с обеспечением пожарной безопасности, так и тушением пожаров в них. Работа пожарных затруднена как внутри горящего высотного здания, так и при наружном пожаротушении на уровне верхних этажей. Указанные обстоятельства вызывают необходимость применения нетрадиционных способов тушения пожаров, которые в настоящее время не регламентированы нормативными актами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. В каких городах России есть небоскребы и как «выросли» здания за последние 70 лет: офиц. сайт. URL: https://journal.tinkoff.ru/skyscraper-stat/ (дата обращения 14.08.2025).

2. СП 54.13330.2016. Свод правил. Здания жилые многоквартирные (утв. Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 03.12.2016 № 883/пр). URL: https://docs.cntd.ru/document/1200084096 (дата обращения: 17.08.2025).

3. СП 1.13130.2020 Свод правил. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы (утв. приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) № 194 от 19.03.2020). URL: https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293722/ 4293722520.htm (дата обращения: 17.08.2025).

4. Тушение высотных зданий // Интернет-журнал про пожарные машины, пожарную технику и всё, что с этим связано. Энциклопедия пожарных машин. URL: https://www.pozhmashina.ru/articles/articles-pozhary/tushenie-vysotnyh-zdanij.html (дата обращения 01.09.2025).

5. *Бакриев М.Ю., Евдокимов А.А.* Инновации в области тушения пожаров в высотных зданиях и зданиях повышенной этажности // Вестник науки. № 5 (50) Т.3. 2022. С.166-173.

6. *Семенов В.Ю.* Вектор науки ТГУ. - 1 изд. - Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2012. - 79 с.

7. *Щербаков Н.А., Двоенко О.В., Аристархов В.А., Федяев В.Д., Халиков Р.В.* Тактические особенности ликвидации пожаров в зданиях повышенной этажности // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. № 2. 2023. С.33-43.

8. СП 112.13330.2011 Свод правил. Пожарная безопасность зданий и сооружений (утв. Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 21.10.2010 № 459). URL: https://en.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=5308901 (дата обращения: 10.08.2025).

9. СП 4.13130.2013 «Свод правил. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям» (утв. Приказом МЧС России от 24.04.2013 № 288 (ред. от 27.06.2023)). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148575/5de54856842bf030cc565ec771f9407e40bd31e4/ (дата обращения: 11.08.2025).

10. СП 267.1325800.2016 «Свод правил. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования» (утв. Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30.12.2016 № 1032/пр). URL: https://docs.cntd.ru/document/456044284 (дата обращения: 14.08.2025).

11. СП 253.1325800.2016 «Свод правил. Инженерные системы высотных зданий» (утв. Приказом Минстроя России от 03.08.2016 № 542/пр). URL: https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/12541/ (дата обращения: 13.08.2025).

12. СП 401.13.25800.2018 «Свод правил. Здания и комплексы высотные. Правила градостроительного проектирования» (утв. Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 18.09.2018 № 587/пр). URL: https://www.standards.ru/document/6441244.aspx (дата обращения: 14.08.2025).

13. СП 394.1325800.2018 «Свод правил. Здания и комплексы высотные» (утв. Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 13.09.2018 № 578/пр). URL: https://meganorm.ru/Data2/1/4293732/4293732355.htm (дата обращения: 12.08.2025).

14. СП 477.1325800.2020 «Свод правил. Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности» (утв. Приказом Минстроя России от 29.01.2020 N 45/пр) (ред. от 02.08.2024). https://e-ecolog.ru/docs/FSc1Tu_NJ5TxE_vWl1YQe?utm_referrer= https%3A%2F%2Fwww.bing.com%2F (дата обращения: 16.08.2025).

ISSUES OF ENSURING FIRE SAFETY OF HIGH-RISE BUILDINGS

Kazakova S.A., Ismagilova E.I.

Supervisor: Zaripova S.N., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article provides statistics on fires in high-rise buildings and high-rise buildings, regulations containing requirements to design and operation conditions of such buildings are considered, issues related to ensuring fire safety of high-rise buildings and high-rise buildings are also considered

УДК 614.842.83

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКОВ ВЫЗОВОВ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ И ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖАРОТУШЕНИЯ В ЖИЛОМ СЕКТОРЕ

Казакова С.А., Исмагилова Э.И.

Научный руководитель: Зарипова С.Н., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье приводится анализ пожаров в жилом секторе сельской местности, обосновывается необходимость усиления мер, направленных на соблюдение нормативного времени прибытия первых пожарных подразделений в населенные пункты. Рассматриваются модели процесса функционирования пожарных подразделений на примере условного населенного пункта.

Несмотря на наметившуюся в последние годы тенденцию к снижению количества пожаров в РФ, она продолжает занимать лидирующую позицию в мире по количеству жертв на пожарах. При этом в среднем 47% всех пожаров и 50% погибших на пожарах приходится на жителей сельской местности, доля которых составляет 25% от всего населения страны. Если учесть, что в среднем 35% всех пожаров составляют пожары в жилых зданиях сельской местности, а на долю жертв на пожарах в жилом секторе приходится более 70% от общего количества жертв на пожарах, то обеспечение пожарной безопасности жилого сектора сельских населенных пунктов представляет собой одну из актуальных задач [1].

В рейтинге, составленном ВНИИ ПО ЧС, по количеству пожаров и количеству погибших в результате пожаров в одноквартирных жилых домах в период 2019-2021 гг. Республика Татарстан (далее – РТ) занимает 10-е место среди 85 субъектов РФ по числу погибших в этот период в расчете на 1 пожар. Значение показателя по РТ, а также средние значения по Приволжскому федеральному округу и РФ сведены в таблицу 1.

Таблица 1

РТ в рейтинге по количеству пожаров и количеству погибших в результате пожаров в жилом секторе

Субъект / округ / страна	Пожары в 2019-2021 гг.			Место в рейтинге
	Количество пожаров, ед.	Погибло людей, чел.	Погибло людей в расчете на 1 пожар, чел.	
Одноквартирные жилые дома				
Всего по РТ	1 447	247	0,171	10 место среди 85 субъектов РФ
Среднее по ПФО	1 379	205	0,153	
Среднее по РФ	1 959	257	0,143	

В 2012-2021 гг. доля пожаров в жилом секторе РТ составила 68,4%. В последние годы значения данного показателя имеют тенденцию к росту. Доля пожаров в жилых зданиях остается стабильной на уровне 43,7%. На населенные пункты городского типа приходится 53,7% пожаров в жилом секторе и 66,2% пожаров в жилых зданиях; на населенные пункты сельского типа – 46,3% и 33,6% соответственно. На один пожар в жилом секторе приходится 6,6 погибших в городской местности и 7,7 погибших в сельской местности. Число погибших, приходящихся на один пожар в жилых зданиях, одинаково в городской и сельской местности – по 10 чел. [1].

Основное количество пожаров наблюдается в одно- и двухэтажных жилых домах частного сектора (37,5%) и многоквартирных домах, имеющих не более 5 этажей (36,5%). Доля погибших в жилом секторе в сельской местности и 1-2 этажных домах частного сектора городской местности составляет 49%, доля погибших, приходящаяся на один пожар в жилом секторе, - 18% [1].

Наибольшую опасность представляют жилые здания из деревянных конструкций (41%), а также применение в строительстве и проведении ремонтных работ теплозвукоизоляционных материалов (30%).

По данным Татарстанстата [2] общая площадь жилищного фонда РТ на конец 2021 года составляет 112,1 млн. кв. м. Площадь жилищного фонда городских населенных пунктов в 2,6 раза превышает аналогичный показатель в сельских населенных пунктах: в городской местности - 72%, в сельской местности – 28% (рис. 1).

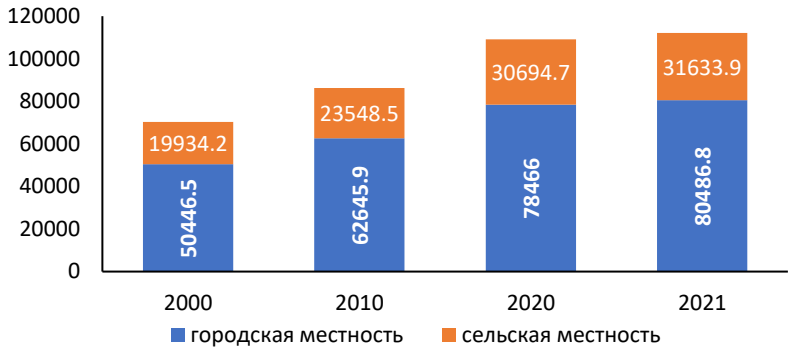


Рис.1. Динамика площади жилого фонда в разрезе населенных пунктов РТ, тыс. кв. м

На одного жителя РТ приходится в среднем 28,8 кв. м, в том числе в городской местности – 26,9 кв. м, в сельской местности – 35,2 кв. м (рис. 2).

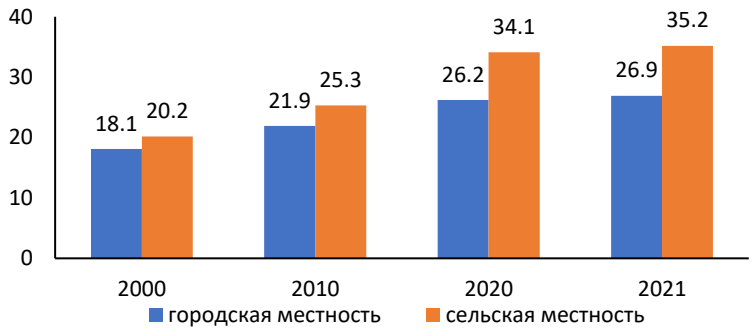


Рис.2. Динамика площади жилых помещений в среднем на одного жителя РТ, кв. м

В частной собственности находится более 94% жилых зданий, в том числе в городской местности – 93,1%, в сельской местности – 96,4%. Из 1878 тыс. квартир 1385 тыс. находится в городской местности, что составляет 73,7%; на долю сельской местности приходится чуть больше четверти от общего количества квартир в Республике Татарстан - 26,3%. При этом доля деревянных жилых зданий составляет 50,5%, кирпичных – 34,4%, прочих – 15,1%. Распределение жилых зданий по материалу стен в разрезе населенных пунктов городской и сельской местности приведено на рис.3 [1].

Обстановка с пожарами в жилом секторе остается напряженной и в связи с изношенностью жилого фонда, в том числе инженерного обеспечения жилого фонда, отсутствием экономических возможностей поддержания противопожарного состояния зданий, низкой обеспеченностью жилых зданий средствами обнаружения и оповещения о пожаре. Распределение жилых помещений по годам постройки в разрезе городской и сельской местности приведено на рис.4 [2] и в таблице 2.

Из представленного анализа следует, что имеющая тенденцию к росту общая площадь жилищного фонда сельских населенных пунктов уступает городским населенным пунктам, а по числу погибших на пожарах в жилом секторе, темпам роста жилых помещений, приходящихся на одного жителя, долям деревянных жилых строений и износа жилых строений сельские населенные пункты опережают городские.

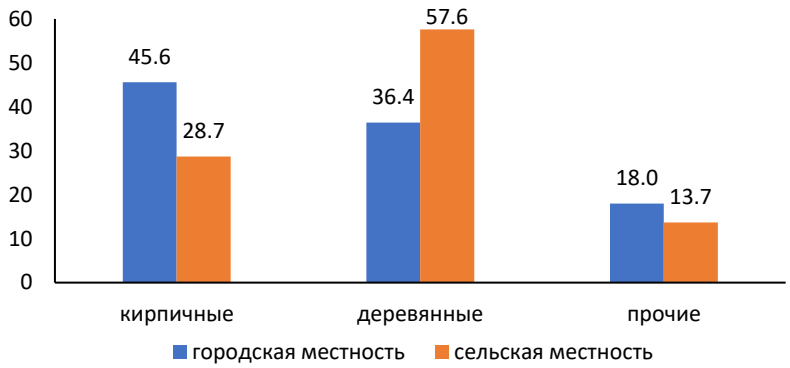


Рис.3. Распределение жилых помещений по материалу стен, %

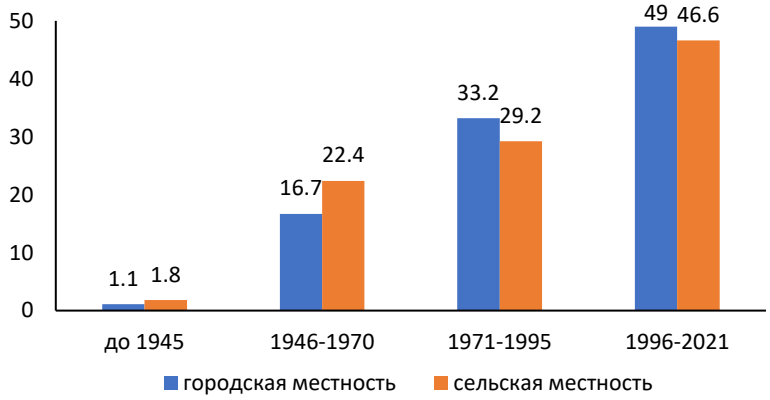


Рис.4. Распределение жилых помещений по годам постройки, %

Таблица 2

Распределение жилищного фонда по проценту износа

Процент износа жилого фонда, %	Распределение площади жилых помещений населенных пунктов, %		
	по Республике Татарстан	в городской местности	в сельской местности
0 - 30	73,2	76,9	64,1
31 - 65	25,3	21,9	33,9
66 - 70	1,2	1,0	1,6
более 70	0,3	0,2	0,4

Перечисленные обстоятельства свидетельствуют о большей уязвимости к пожарам сельских населенных пунктов в сравнении с городскими. Следовательно, при решении вопросов обеспечения пожарной безопасности жилого сектора целесообразно рассматривать сельские и городские населенные пункты отдельно, что не противоречит нормам времени прибытия первых пожарных подразделений в городские (10 мин) и сельские (20 мин) населенные пункты.

В соответствии с информацией, которая представлена на официальном сайте Главного управления по Республике Татарстан МЧС России [3], относительный показатель обеспечения нормативным временем прибытия первых пожарных подразделений в населенные пункты РТ составляет 100%. В то же время анализ информации о пожарах жилом секторе, полученной из электронной базы данных учета пожаров и их последствий, которая формируется в соответствии с приказом МЧС России от 24.12.2018 № 625 «О формировании электронных баз данных учета пожаров и их последствий» [4], показал наличие случаев отклонения фактического времени от нормативного времени прибытия первых пожарных подразделений в сельские населенные пункты.

Для уменьшения числа погибших и объемов материального ущерба при пожарах в жилом секторе сельской местности необходимо увеличить скорость прибытия пожарных подразделений на пожар. Так, из более 3100 вызовов на тушение пожаров в сельской местности в 137 случаях (4,34%) установлено превышение нормативного времени. Доля муниципальных районов с сельскими населенными пунктами, в которых есть превышение времени, составляет 86% (37 из 43 районов). Данное обстоятельство стало основанием для исследования временных характеристик функционирования пожарно-спасательных подразделений, в частности, частоты использования пожарной техники в населенном пункте, который в дельнейшем будет обозначаться N, с наиболее высоким уровнем пожарной опасности.

На основании статистических данных за 4 месяца установлено, что в 9 из 87 выездов, что составляет 5,8%, в населенном пункте N наблюдается превышение установленного времени прибытия первых пожарных подразделений на 3 – 39 мин (рис. 5).

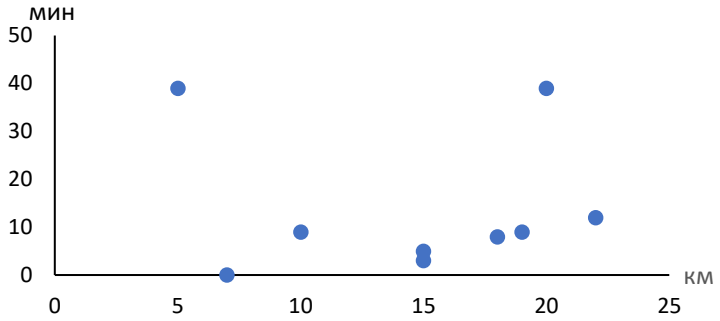


Рис. 5. Случаи превышения первыми пожарными подразделениями нормативного времени

Частота выездов пожарных подразделений на тушение пожаров тесно связана с потоком вызовов, под которым понимается последовательность сообщений о пожарах, загораниях, авариях, др., поступающих одно за другим в какие-то случайные моменты времени. Поток вызовов является случайным, так как невозможно точно предсказать момент поступления очередного вызова пожарных подразделений, а также моменты поступления всех последующих за ним вызовов, поэтому можно утверждать, что процесс поступления вызовов пожарных подразделений носит вероятностный характер.

Потоки вызовов пожарных подразделений, обладающие свойствами ординарности (практически не бывает случаев одновременного поступления двух и более вызовов), отсутствия последействия (вызовы приходят независимо друг от друга) и стационарности (вероятностные характеристики процесса поступления вызовов сравнительно мало зависят от времени), являются простейшими. С учетом [5] можно принять, что число вызовов пожарных подразделений за любой промежуток времени t описывается распределением Пуассона

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} \ (k = 0,1,2, \dots),$$

где $P_k(t)$ – вероятность того, что за время t в населенном пункте возникнет k пожаров, λ - интенсивность (среднее число вызовов пожарных подразделений в единицу времени). Тогда на основании данного закона можно прогнозировать элементы оперативной обстановки в населенном пункте N и строить модели оперативной деятельности пожарных подразделений.

Распределение количества выездов пожарных подразделений в течение суток по статистическим данным приведено в таблице 3, из которой следует, что плотность потока вызовов пожарных подразделений составляет λ=1,45. Результаты теоретического распределения сведены в таблицу 3.

Для оценки сходимости эмпирического и теоретического распределений количества вызовов пожарных подразделений используется критерий Романовского:

$$R = \frac{|\chi^2 - s|}{\sqrt{2s}},$$

где χ^2 – критерий Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(m_i - f_i)^2}{f_i},$$

m_i – эмпирические частоты, f_i – теоретические частоты, s – число степеней свободы $s = k - 2$, k – число наблюдений.

Таблица 3

Число выездов в сутки в течение

Распределение	Число выездов в сутки					Число суток
	0	1	2	3	4	
Эмпирическое	997	112	29	4	1	1183
Теоретическое	975	107	27	3,1	0,6	

Так как расчетное значение R = 1,41 <3, то сходимость распределений является удовлетворительной, т.е. распределение Пуассона подходит в качестве аналитической модели для описания потока вызовов пожарных подразделений в населенном пункте N.

Для построения математической модели процесса функционирования пожарных подразделений изучены временные характеристики процесса их функционирования:

− время прибытия к месту вызова;

− время занятости пожарных подразделений на месте вызова;

− время постановки пожарных подразделений в боевой расчёт.

Из перечисленных интервалов наибольший интерес для математического моделирования вызывают «время занятости» и «время прибытия». Эти показатели необходимы для обоснования численности сил и средств той или иной территории. Временные характеристики процесса функционирования пожарных подразделений относятся к непрерывным случайным величинам.

В работе [5] подтверждается гипотеза о возможности описания данных процессов с помощью распределения Эрланга:

$$f(t) = \mu\left(\frac{(\mu t)^r}{r!}\right)e^{-\mu t}, t \geq 0, r = 0, 1, \ldots$$

где $\mu = (r+1)/t_{ср}$ – постоянный параметр распределения Эрланга; $t_{ср}$ – среднее значение изучаемой величины; r – порядок распределения.

Проверена возможность использования данной формулы для описания временных характеристик пожарных подразделений населенного пункта N, который имеет наиболее опасные значения по интегральному социально-экономическому показателю пожарной опасности жилого сектора.

В основу математических расчетов легли статистические данные, полученные из диспетчерских журналов выездов пожарных подразделений. Анализировались месяцы июнь - октябрь (таблица 4).

Таблица 4

Распределение боевых выездов случайного характера по времени занятости пожарных подразделений

№ п/п	Интервалы времени занятости, мин.	Число случаев, ед.	Число случаев, %
1	0-30	17	18,68%
2	31-60	49	53,85%
3	61-90	15	16,48%
4	91-120	8	8,79%
5	121-150	1	1,10%
6	151-180	2	2,20%
7	181-210	0	0,00%
8	211-∞	0	0,00%

Данные таблицы 4 указывают на то, что в 72,53% из всех случаев пожарные подразделения смогли ликвидировать последствия пожаров в течение часа. Основываясь на

результатах, представленных в таблице 5, проведен расчёт среднего времени обслуживания одного вызова по формуле [5]:

$$\overline{\tau_{\text{ср}}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \left(\frac{\tau_i + \tau_{i+1}}{2}\right)}{\sum_{i=1}^{n} m_i}.$$

Имеем $\overline{t_{\text{ср}}} = 54{,}5$ мин. Далее определен постоянный параметр распределения Эрланга по формуле [5]:

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{ср}}} = 1/54{,}46 = 0{,}018 \text{ мин}^{-1}.$$

Теоретическое распределение количества вызовов с выделенными интервалами времени обслуживания можно найти, используя формулы

$$f_i = P_i \sum_{i=1}^{n} m_i,$$

где $P_i -$ теоретическая вероятность, которая определяется по формуле

$$P_i = P\{t_i \le t_{\text{ср}} \le t_{i+1}\},$$

попадание величины $\overline{t_{\text{ср}}}$ в интервал $[t_i;\ t_{i+1}]$:

$$P_i = P\{t_i \le t_{\text{ср}} \le t_{i+1}\} = e^{-\mu t_i} - e^{-\mu t_{i+1}}.$$

Таблица 5

Эмпирическое и теоретическое распределения времени занятости пожарных подразделений

№ п/п	Границы интервала		Распределения				Критерии согласия		
			Эмпирическое		Теоретическое				
	t_i	t_{i+1}	Частота	Вероятность	Частота	Вероятность	χ^2	S	R
1	0	30	17	18,68%	17,19	41,73	0,01	6	1,73
2	31	60	49	53,85%	49,54	23,28			
3	61	90	15	16,48%	15,16	13,56			
4	91	120	8	8,79%	8,09	7,90			
5	121	150	1	1,10%	1,01	4,61			
6	151	180	2	2,20%	2,02	2,68			
7	181	210	0	0,00%	0,00	1,56			
8	211	∞	0	0,00%	0,00	0,00			
Всего			92	1,01	93,01	95,32			

Из полученных результатов, представленных в таблице 5 и на рис.6, видно, что эмпирическое и теоретическое распределения имеют достаточную сходимость, этот результат подтвержден расчетом критерия Романовского, который равен 1,73.

Данные результаты позволяют сделать вывод о том, что распределение Эрланга можно использовать как аналитическую модель времени занятости пожарных подразделений на территории сельского населенного пункта N. На основе той же аналитической модели распределения Эрланга проведено моделирование времени прибытия пожарных подразделений: 12,6% выездов превышали регламентированное время прибытия. При этом среднее время прибытия составило 12,35 мин. Сходимость эмпирического и теоретического распределений позволяют сделать вывод о том, что распределение Эрланга можно использовать как аналитическую модель времени прибытия и пожарных подразделений на территории населенного пункта N.

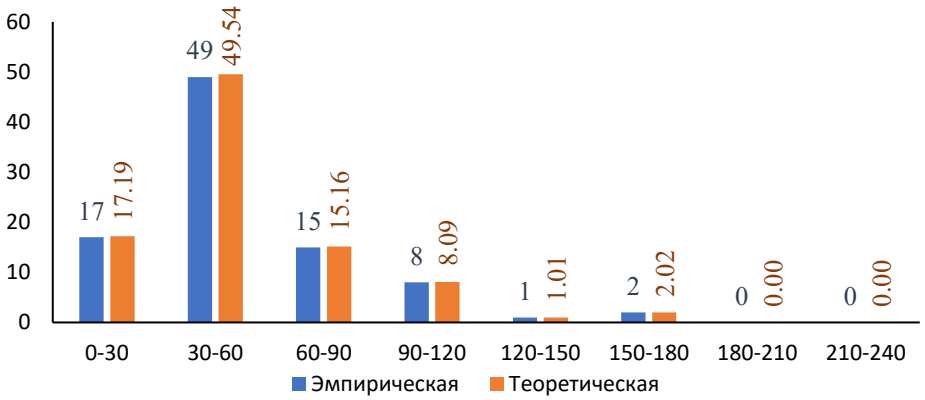


Рис. 6. Сравнение эмпирического и теоретического распределений времени занятости пожарных подразделений

Постоянный параметр распределения Эрланга 1-го в данном случае равен:

$$\mu=(r+1)/t_{ср} =2/12,35 = 0,162 \text{ мин}^{-1}.$$

Исходя из полученных значений моделирования процессов функционирования пожарных подразделений, можно сделать вывод, что распределение Эрланга может быть использовано в качестве аналитической модели для описания времени занятости и времени прибытия пожарных подразделений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Графский А.А., Зарипова С.Н., Студнева Ю.Е.* Оценка пожарной опасности в жилом секторе Республики Татарстан // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и охраны труда. Сборник трудов конференции. – Химки, 2022. С. 67-72.

2. Жилищный фонд Республики Татарстан на конец 2021 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://16.rosstat.gov.ru/storage/mediabank.pdf (дата обращения 15.08.2025).

3. Пожарно-спасательные гарнизоны Республики Татарстан [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://16.mchs.gov.ru/glavnoe-upravlenie/sily-i-sredstva/pozharno-spasatelnye-garnizony-respubliki-tatarstan (дата обращения 28.08.2025).

4. Приказ МЧС России от 24.12.2018 №625 «О формировании электронных баз данных учета пожаров и их последствий» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/552366056 (дата обращения 02.09.2025).

5. *Брушлинский, Н.Н.* Основы теории пожарных рисков и её приложения [Текст] / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, Е.А. Клепко; под ред. Н.Н. Брушлинского. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2011. – 82 с.

MODELING OF FIRE DEPARTMENT CALL FLOWS AND TIME CHARACTERISTICS OF FIRE EXTINGUISHING IN THE RESIDENTIAL SECTOR

Ismagilova E.I., Kazakova S.A.

Supervisor: Zaripova S.N., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article provides an analysis of fires in the residential sector of rural areas, justifies the need to strengthen measures aimed at observing the standard time of arrival of the first fire departments in settlements. Models of the functioning process of fire departments on the example of a conditional settlement are considered.

УДК 614.84

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ТУШЕНИЮ ПОЖАРА – ПОЖАР И РОБОТЫ

Калайбашев И.М.

Научный руководитель: Кузьмин А.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы использования пожарных роботов, их преимущества, классификация и проблемные вопросы, связанные с их использованием. Также выделены причины, почему использование пожарных роботов является лучшим решением, чем использование труда пожарных. В дальнейшем ожидается более активное использование пожарных роботов в связи с расширением их функционала и решением ряда проблем в их эксплуатации.

В нынешних условиях информационного общества, вся техника, услуги и жизнь связана с роботами, информационными технологиями. Роботизированная техника используется в различных сферах, например, в автомобильной, пищевой, промышленности. Сфера пожарной безопасности также не является исключением. В ситуациях постоянно усложняющихся пожаров, особенно на промышленных объектах, складах, в высотных зданиях и труднодоступных местах, традиционные методы пожаротушения сталкиваются с серьёзными ограничениями. Высокий риск для жизни пожарных, трудности с доступом к очагам возгорания и необходимость использования большого количества ресурсов подталкивают к поиску инновационных решений. Одним из перспективных направлений является разработка и применение пожарных роботов.

Пожарные роботы — это автоматизированные или дистанционно управляемые машины, предназначенные для выполнения задач по пожаротушению и проведению аварийно-спасательных работ в условиях повышенной опасности. Они способны работать в зонах с высокой температурой, задымлением, риском обрушения конструкций и наличием опасных веществ, где присутствие людей крайне нежелательно или невозможно.

Интерес к пожарным роботам и их применение растут во всем мире, но особенно актуальными они стали в странах с высокой плотностью населения, развитой промышленностью и сложной инфраструктурой, таких как Япония, Китай и США. Эти страны вкладывают значительные средства в разработку и внедрение новых технологий пожаротушения, включая роботов, чтобы обеспечить безопасность своих граждан и объектов. Также активны в этой области европейские страны, такие как Франция и Германия, стремящиеся к инновационным решениям в сфере безопасности. Важность пожарных роботов очевидна везде, где требуется быстрое реагирование и работа в опасных условиях, однако указанные страны являются лидерами в их практическом применении и дальнейшем развитии.

В России пожарные роботы успешно применяются для тушения пожаров на промышленных предприятиях, в складских помещениях, торговых центрах, туннелях и других объектах, где существует высокий риск для людей.

Пожарные роботы могут выполнять множество функций, их функционал постоянно расширяется, но основные задачи, которые они выполняют, включают следующее:

Во-первых, разведка и обнаружение очагов возгорания. Роботы, оснащенные тепловизорами, видеокамерами и газоанализаторами, способны быстро и эффективно обследовать большие площади, обнаруживать скрытые очаги возгорания и определять концентрацию опасных веществ.

Во-вторых, тушение пожаров. Роботы могут тушить пожары различными способами: распыляя воду, пену, порошок или газовые огнетушащие составы. Они способны работать в автоматическом или дистанционном режиме, точно направляя огнетушащие вещества на очаг возгорания.

В-третьих, проведение аварийно-спасательных работ. Роботы могут использоваться для поиска и спасения пострадавших, разбора завалов, эвакуации людей и транспортировки оборудования.

В-четвертых, охлаждение конструкций. Роботы могут использоваться для охлаждения конструкций зданий и оборудования, чтобы предотвратить их обрушение и распространение огня.

В-пятых, удаление опасных веществ. Роботы могут использоваться для удаления опасных веществ из зоны пожара, чтобы предотвратить их распространение и загрязнение окружающей среды.

Рассмотрим классификацию пожарных роботов. Пожарные роботы могут быть классифицированы по различным параметрам, таким как:

1) по типу передвижения делятся на гусеничные, колесные, шагающие, летающие (дроны);

2) по способу управления рассматривают роботы автоматические, дистанционно управляемые, гибридные;

3) по типу используемого огнетушащего вещества выделяют водные, пенные, порошковые, газовые;

4) и по назначению можно делить роботы на разведывательные, противопожарные, спасательные, многофункциональные.

Разнообразие пожарных роботов впечатляет: гусеничные платформы, обеспечивающие высокую проходимость, колесные модели для быстрого передвижения по ровной поверхности, роботы-лестницы для работы на высоте и даже дроны, выполняющие разведывательные функции и осуществляющие точечное тушение с воздуха. Каждый тип робота предназначен для решения конкретных задач, что позволяет пожарным службам иметь в своем арсенале универсальный набор инструментов для борьбы с огнем.

Использование пожарных роботов имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами пожаротушения. Самое главное преимущество – снижение риска для жизни пожарных. Если рассматривать статистические данные, согласно которым очень много травм, в том числе несовместимых с жизнью, получают пожарные, пожары – очень опасны и для самих пожарных. А роботы могут работать в самых опасных условиях и в местах, где присутствие людей недопустимо или труднодоступно.

Второе преимущество в работе пожарных роботов – повышение эффективности пожаротушения, потому что роботы могут быстро и точно направлять огнетушащие вещества на очаг возгорания, что позволяет сократить время тушения пожара и уменьшить ущерб.

Роботы также могут улучшить условия работы пожарных: выполняя тяжелую и опасную работу, они освобождают пожарных для выполнения других задач.

Снижение потребления воды и других ресурсов также является несомненным плюсом в работе пожарных роботов, ведь они могут точно дозировать огнетушащие вещества, что позволяет сократить их потребление и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Применение пожарных роботов — это не просто технологический апгрейд. Это качественно новый подход к обеспечению безопасности, позволяющий минимизировать риски для пожарных, ускорить процесс тушения и сократить материальный ущерб. Интеграция роботов в пожарные службы требует пересмотра существующих протоколов и подготовки специалистов, способных эффективно управлять этими сложными системами и обслуживать их.

В перспективе развитие пожарных роботов обещает ещё более впечатляющие возможности. Улучшенные сенсорные системы, более мощные и эффективные системы пожаротушения, а также интеграция с искусственным интеллектом позволят этим устройствам действовать ещё более автономно и эффективно.

Однако, несмотря на все преимущества, использование пожарных роботов сопряжено с рядом проблем: разработка и производство пожарных роботов требуют значительных

инвестиций; управление роботами в сложных условиях требует высокой квалификации операторов, пока в России не так много специалистов, умеющих работать в данной отрасли; большинство роботов нуждаются в постоянной поддержке операторов и не могут работать полностью автономно; роботы должны быть адаптированы к различным типам местности, погодным условиям и видам пожаров, что также вызывает ряд затруднений в связи с различными погодными условиями в России. Также наличие пожарных роботов и их постепенное увеличение как качественно, так и количественно, не означает, что они заменят пожарных, они станут отличным дополнением для высокорезультативной работы в пожарной службе.

Таким образом, пожары – одно из самых разрушительных стихийных бедствий, ежегодно наносящее огромный ущерб и приводящее к человеческим жертвам. В борьбе с огнём пожарные рискуют своей жизнью, работая в экстремальных условиях. Однако благодаря развитию технологий всё большую роль в этой опасной профессии начинают играть пожарные роботы — автономные или дистанционно управляемые устройства, способные выполнять сложные и опасные задачи в условиях пожара. Перспективы развития пожарных роботов выглядят многообещающими. С развитием таких технологий, как искусственный интеллект, машинное обучение и робототехника, можно ожидать появления более автономных, надёжных и эффективных пожарных роботов, способных выполнять широкий спектр задач в самых сложных условиях. В будущем пожарные роботы станут незаменимыми помощниками пожарных, обеспечивая более высокий уровень безопасности и эффективности при борьбе с огнём. Они помогут спасать жизни, защищать имущество и сохранять окружающую среду.

С каждым годом технологии становятся всё более интегрированными и вносят свои инновации в различные сферы человеческой деятельности, и сфера пожаротушения не является исключением. Робототехнические средства, благодаря своей способности работать в условиях высокой температуры и токсичной среды, становятся незаменимыми помощниками в борьбе с огнём. Использование роботов позволяет не только повысить эффективность тушения пожаров, но и значительно снизить риски для жизни и здоровья пожарных.

Робототехнический комплекс представляет собой совокупность программно-алгоритмических и аппаратных решений, запрограммированное на определенные действия, в зависимости от ситуации, будь это пожар, взрывное устройство, разбор завалов и т.д., которые имеют способности выполнять множественные задачи, с минимальными потерями времени, без участия человека, обеспечивая автоматизированное выполнение задач, поставленных для решения тактических задач в области тушения пожаров.

Таким образом, робототехническое средство, это материальный ресурс пожаротушения, который экономит не только время, но и человеческий ресурс бойца пожарной охраны, его жизнь, здоровье и обеспечивает безопасность здоровью окружающих.

Актуальность данной работы состоит в том, что разработкой, модификацией, обновлением программного обеспечения и модернизацией робототехнических комплексов занимаются, как зарубежные, так и отечественные инженеры для внедрения данных дистанционных технологий в деятельность пожарных служб, а также создания условий для быстрого и эффективного тушения пожаров, которые ускорят процесс спасения людей и защитят личный состав от травм и летального исхода.

Новизна работы заключается в разработке предложений по внедрению робототехнических комплексов пожаротушения на вооружение пожарных частей и подразделений, а также повышение безопасности и эффективности работы подразделений пожарной охраны, благодаря манёвренным и высокотехнологичным комплексам, способным выполнять поставленные перед ними задачи, с минимальными потерями личного состава, сохранив жизнь и здоровье участников пожара, а также минимизировать материальный ущерб на промышленных объектах и объектах жизнеобеспечения людей, без привлечения сотрудников пожарной службы непосредственно в зоне распространения огня.

Внедрение и обеспечение современными образцами многофункциональных робототехнических комплексов пожаротушения на промышленные и производственные объекты, а также объекты жизнедеятельности людей и подразделений пожарной охраны, в целях повышения эффективности тушения пожаров, для более точной и быстрой разведки пожара, минимизации ущерба, гибели людей и проведения аварийноспасательных работ на сегодняшний день становится первостепенной задачей обеспечения безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон от 5 марта 1992 г. № 2446-1 ФЗ «О безопасности» (ред. от 10.07.2023) // СПС «Консультант Плюс» (дата обращения: 15.06.2025).

2. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (ред. от 25.12.2023) // СПС «Консультант Плюс» (дата обращения: 15.06.2025).

3. Официальный сайт Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mchs.gov.ru.

4. *Пустовалов И.А.* Инновации в области пожарно-спасательной техники: современные тенденции и перспективы развития // Вестник науки. 2023. №12 (69).

5. *Ермашев М.С.* Робототехнические системы в борьбе с пожарами // Вестник науки. 2023. №11. Т. 3. С. 1153-1159.

MODERN FIRE FIGHTING APPROACHES – FIRE AND ROBOTS

Kalaibashev I.M.

Supervisor: Kuzmin A.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article is devoted to the use of firefighting robots, their advantages, classification, and the challenges associated with their use. It also highlights the reasons why using firefighting robots is a better solution than relying on using human firefighter labor. In the future, more active use of firefighting robots in connection with the expansion of their functionality and the solution of a number of problems in their operation is expected.

УДК 662.7:662.62:631

ЛУЗГА ГРЕЧИХИ КАК СЫРЬЁ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТВЁРДОГО БИОТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ТОРФА

Карпенко П.Ю., Грудская Е.И.

Научные руководители: Зеленухо Е.В., старший преподаватель

Скуратович И.В., старший преподаватель

(УО «Национальный детский технопарк, г. Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. В статье рассмотрено перспективное направление утилизации лузги гречихи – использование её в качестве сырьевого компонента для производства твёрдого биотоплива на основе торфа. Приведены данные по динамике посевных площадей гречихи и объёмам образования лузги в Республике Беларусь, исследованы ключевые энергетические показатели лузги и удельная эффективная активность. Показано, что добавление лузги к торфу улучшает топливные характеристики композита – снижает зольность, повышает теплотворную способность и упрочняет структуру брикетов.

Гречиха посевная (Fagopyrum esculentum Moench) является важной сельскохозяйственной культурой. К числу стран-лидеров по объемам производства гречневой крупы относятся Китай и Россия. Объёмы производства гречихи посевной в Республике

Беларусь демонстрируют устойчивую положительную динамику. Согласно статистическим данным [1], посевные площади под гречихой увеличились на 68,4% за период с 2019 г. по 2023 г. (рис. 1), что сопровождается пропорциональным ростом объёмов отходов переработки.

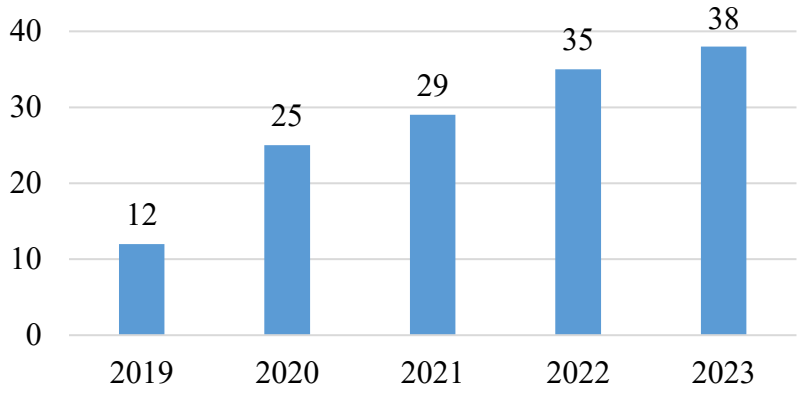


Рис. 1. Динамика посевных площадей гречихи в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь, тыс. га

При выращивании и переработке гречихи образуются отходы такие как солома, плодовые оболочки (лузга), а также мучка. Лузга гречихи, как правило, является отходом предприятий по производству крупы. Её объём вместе с мучкой составляет порядка 20-30 % от общей массы исходного сырья и зависит от сортовых особенностей и технологии переработки гречихи. Динамика объёмов производства гречневой крупы в Республике Беларусь имеет тенденцию увеличения (рис. 2).

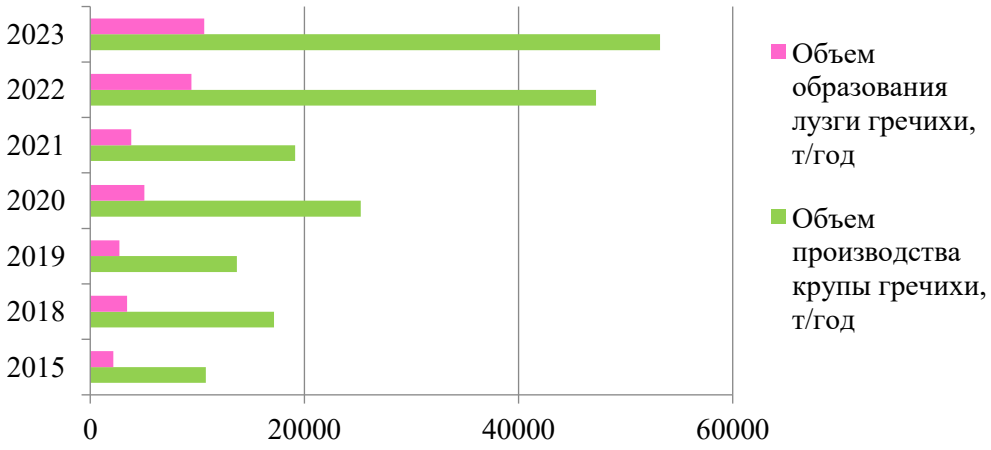


Рис.2. Динамика объемов производства крупы и лузги гречихи, т/год

Следовательно, это способствует и увеличению образования лузги гречихи, поиск дальнейшего применения которой является актуальной задачей.

В нашей работе объектом исследования служила лузга гречихи, полученная от предприятий по переработке гречихи Гомельской области. В качестве возможного направления применения лузги гречихи рассматривается получение твёрдого биотоплива на основе торфа. Эффективность данного направления зависит от показателей, характеризующих её энергетический потенциал, таких как влажность, зольность, теплота сгорания, насыпная плотность и удельная эффективная активность.

Влажность определялась основным методом согласно методике [2]. Сущность метода заключается в высушивании навески пробы лузги гречихи в сушильном шкафу с

электрическим обогревом при температуре 105-110ºС и вычислении массовой доли влаги по потери в массе. Определение влажности проводилось параллельно в трех навесках.

Зольность также определялась основным методом, путем озоления пробы лузги в муфельной печи при температуре 600ºС и выдерживании её при этой температуре до постоянной массы [2].

Определение теплотворной способности проводилось калориметрическим методом в соответствии с [3]. Сущность данного метода заключается в полном сжигании навески массы анализируемого образца в калориметрической бомбе и измерении подъема температуры воды в калориметрическом сосуде, с учетом поправок на теплоту, выделяемую при сжигании запальной медной проволоки и теплоту образования и растворения в воде серной и азотной кислот. Далее расчетным путем определялась низшая теплота сгорания лузги гречихи.

Для определения удельной эффективной активности лузги использовался гамма-радиометр РКГ-АТ1320 [4].

Полученные результаты экспериментальных исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1

Энергетические показатели лузги гречихи

Наименование показателя	Среднее значение показателя
Влажность, %	7,7
Зольность, %	1,7
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	16,4
Насыпная плотность, кг/м^3	144,2
Удельная эффективная активность, Бк/кг	12,7

Как следует из таблицы 1, лузга гречихи обладает благоприятными топливными свойствами: низкой влажностью (7,7 %) и зольностью (1,7 %), высокой теплотой сгорания (16,4 МДж/кг), что делает её перспективным сырьём для производства биотоплива. Удельная эффективная активность не превышает 740 Бк/кг. Среди недостатков можно отметить низкую величину насыпной плотности, которая по результатам исследований составила 144,2 кг/м^3. Однако, при использовании лузги гречихи в композите с торфом, это не является существенным фактором. Её хорошая сыпучесть способствует более точному дозированию при получении композитной брикетной смеси.

Далее были проведены исследования по оценке способности лузги гречихи к прессованию. Для этого в определенных соотношениях (30%/70%, 50%/50%) предварительно измельченную в лабораторной мельнице лузгу гречихи добавили к торфу. Для создания композитных образцов использовался торф низинного типа с влажностью 35% и зольностью 18,4%. Брикетирование проводилось на лабораторном гидравлическом прессе с усилием 80 кН. Эксперименты по брикетированию показали, что оптимальное содержание лузги в композите составляет 30-50%. Микроструктурный анализ подтвердил, что волокна лузги выполняют функцию армирующего элемента, повышая устойчивость брикетов к разрушению.

Экспериментальный образец твёрдого биотоплива представлен на рисунке 3.

Рис. 3. Экспериментальный образец твёрдого биотоплива

Физико-химические свойства лузги гречихи, релевантные для топлива, способствуют получению композитного твердого биотоплива с улучшенными характеристиками по сравнению с торфяными брикетами. Добавление лузги как сырьевого компонента к торфу снижает зольность композита и увеличивает теплотворную способность готового топлива (рис. 4). Низкая влажность лузги гречихи улучшает сыпучесть торфяной массы, уменьшая при этом её липкость и налипание на оборудование. Волокнистая структура и лигнин в лузге действуют как дополнительное связующее, укрепляя структуру твёрдого биотоплива.

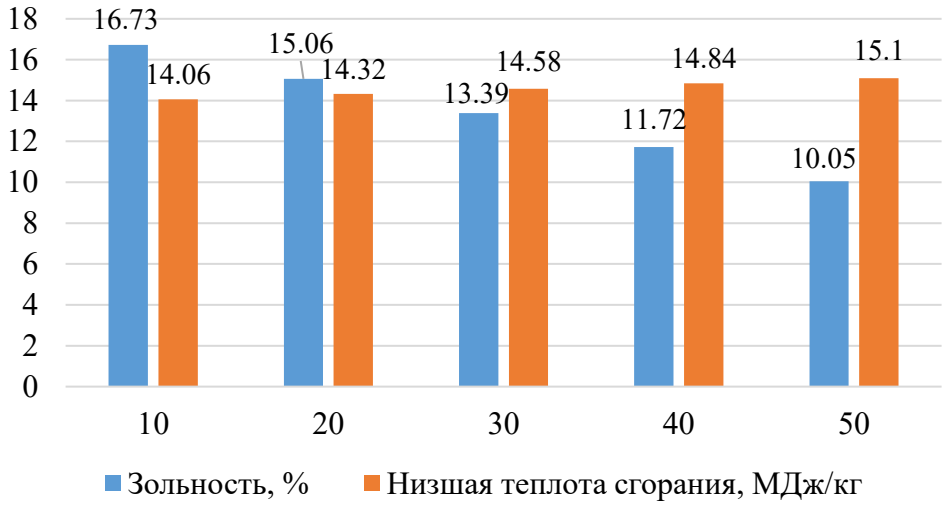


Рис. 4. Топливные характеристики твёрдого биотоплива
с различным содержанием лузги гречихи

Использование лузги гречихи в производстве твёрдого биотоплива решает проблему утилизации отходов переработки гречихи и расширяет сырьевую базу для энергетики, соответствуя принципам устойчивого развития и циркулярной экономики.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на оптимизацию состава композитов и оценку их эксплуатационных свойств в реальных условиях сжигания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический буклет. – Мн., 2024. – 36 с.

2. СТБ 2042-2010 Торф. Методы определения влаги и зольности.

3. ГОСТ 147-2013 Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и расчет низшей теплоты сгорания. – М., 2019. – 52 с.

4. *Ролевич И.В.* Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность: учеб.-метод. пособие / И.В. Ролевич, Г.И. Морзак, Е.В. Зеленухо – Минск, 2020. – 109 с.

BUCKWHEAT HUSKS AS A RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF SOLID BIOFUEL BASED ON PEAT

Karpenko P.Yu., Grudskaya E.I.

Supervisors: Zelenukho E.V., Senior Lecturer, Skuratovich I.V., Senior Lecturer

(Educational Institution "National Children's Technopark", Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The article considers a promising direction of buckwheat husk utilization – its use as a raw material component for the production of solid biofuel based on peat. The data on the dynamics of buckwheat sown areas and the volumes of husk formation in the Republic of Belarus are presented, the key energy indicators of husk and specific effective activity are studied. It is shown

that the addition of husk to peat improves the fuel characteristics of the composite – reduces ash content, increases the calorific value and strengthens the structure of the briquettes.

УДК 681.5.037

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ И ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ

Кильмаматова К.Н.
Научный руководитель: Арефьева Е.В., доцент, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Аннотация. В работе рассмотрена статья, предлагающая методику оценки устойчивости систем жизнеобеспечения населения (СЖОН) с использованием иерархических показателей и интегральных индексов, и охватывающая ключевые подсистемы – энергетику, транспорт и здравоохранение. Предложенный в изучаемой статье подход обеспечивает комплексный анализ, но зависит от экспертных оценок и требует актуальных данных. Перспективы развития включают внедрение ИИ и Big Data для автоматизации расчетов и прогнозирования устойчивости.

Современные вызовы, связанные с увеличением частоты и масштабов чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера, требуют разработки эффективных методов оценки устойчивости систем жизнеобеспечения населения (СЖОН). Устойчивость СЖОН понимается как способность сохранять выполнение ключевых функций в условиях кризиса и быстро восстанавливаться после разрушений. Однако существующие подходы к оценке устойчивости зачастую фрагментарны и не учитывают комплексного взаимодействия различных подсистем, таких как энергоснабжение, транспорт, здравоохранение и коммунальная инфраструктура.

В статье «Подход к оценке показателей устойчивости систем жизнеобеспечения населения» [1] предложена методика, основанная на иерархической системе показателей и интегральных индексах, позволяющая проводить как общую оценку устойчивости СЖОН, так и анализ отдельных её компонентов. Авторы выделяют четыре ключевые сферы деятельности (организационно-управленческую, инженерно-конструктивную, технологическую и работу с населением) и десять подсистем жизнеобеспечения, для каждой из которых рассчитываются частные индексы устойчивости.

Цель данной работы – проанализировать предложенный в статье подход, выявить его сильные стороны и возможные ограничения, а также рассмотреть перспективы его применения в практике управления рисками ЧС. Особое внимание уделяется следующим аспектам:

1. Методологическим основам – структуре иерархии показателей, методам нормировки и весовых коэффициентов.
2. Практической применимости – возможностям использования интегральных индексов для ранжирования территорий и принятия управленческих решений.
3. Проблемам внедрения – необходимости сбора больших массивов данных, зависимости от экспертных оценок и динамической адаптации модели.

Актуальность исследования обусловлена растущей потребностью в инструментах, обеспечивающих объективную и комплексную оценку устойчивости инфраструктуры в условиях возрастающих угроз. Предложенный авторами подход открывает новые возможности для стратегического планирования, однако его эффективность во многом зависит от корректности исходных данных и методики расчётов. В дальнейшем развитие подобных моделей может быть связано с интеграцией методов искусственного интеллекта и автоматизированного мониторинга для повышения точности прогнозирования.

Рассмотрим анализ методологии оценки устойчивости систем жизнеобеспечения населения в несколько этапов.

1. Архитектура предложенного подхода: системность и гибкость.

Разработанная авторами методология представляет собой многослойную систему оценки, где каждый уровень выполняет строго определенную функцию. На микроуровне находятся базовые показатели – это конкретные, измеримые параметры работы инфраструктуры: время восстановления после аварии, процент износа оборудования, количество резервных мощностей и т.д. Эти показатели собираются для каждого элемента системы.

На мезоуровне формируются частные индексы по 10 ключевым подсистемам жизнеобеспечения. Здесь важно отметить, что авторы не просто механически объединяют показатели, а учитывают их вклад в общую устойчивость через весовые коэффициенты. Например, для системы водоснабжения показатели качества воды и надежности трубопроводов могут иметь разный вес в зависимости от местных условий.

На макроуровне создается общий интегральный индекс, который синтезирует все предыдущие уровни. Особую ценность представляет двойная система классификации – по функциональным блокам (управление, технологии и т.д.) и по отраслевым системам. Это позволяет увидеть проблему как «сверху вниз», так и «снизу-вверх», выявляя системные взаимосвязи.

2. Математический аппарат: баланс между сложностью и практичностью.

Сердце методики – система аддитивных сверток. Формула общего индекса может показаться простой, но за ней стоит сложная работа по нормировке разнородных показателей. Авторы предлагают приводить все значения к единой шкале, что особенно важно при сравнении таких разных систем, как, скажем, здравоохранение и энергоснабжение.

Метод парных сравнений для определения весовых коэффициентов – это компромисс между математической строгостью и практической реализуемостью. В идеале веса должны отражать реальный вклад каждого параметра в общую устойчивость. Однако на практике это требует проведения масштабных экспертных опросов. Авторы, к сожалению, не уточняют, как именно они преодолевали проблему субъективности экспертных оценок.

Расчет частных индексов для системы водоснабжения, демонстрирует попытку учесть вклад каждой подсистемы во все функциональные блоки. Это важное отличие от более простых методик, где часто рассматривается только прямое влияние.

3. Практическое применение: от теории к управленческим решениям.

Реальная ценность любой методики оценки – в ее применимости. Рассматриваемый подход предлагает три уровня диагностики:

На макроуровне можно оценить общую устойчивость территории. Это важно для стратегического планирования и распределения ресурсов. Например, регион с низким общим индексом может получить приоритет в финансировании программ развития инфраструктуры.

Мезоуровневый анализ отдельных систем (энергетика, транспорт и др.) позволяет выявлять «слабые звенья». Интересно, что методика позволяет не просто констатировать проблемы, но и оценивать их влияние на общую устойчивость через весовые коэффициенты.

Микроуровень оценки эффективности управленческих решений – пожалуй, самый перспективный аспект. Моделируя изменения показателей, можно прогнозировать эффект от различных мер. Однако здесь возникает вопрос: как точно определить, насколько улучшится тот или иной показатель после конкретного управленческого решения?

Сравнительный анализ между территориями и временными периодами – мощный инструмент мониторинга. Но его эффективность напрямую зависит от сопоставимости данных, что требует стандартизации методик сбора информации.

4. Критические аспекты реализации: между теорией и практикой.

Проблема весовых коэффициентов – это, пожалуй, самое уязвимое место методики. В реальных условиях:

– Экспертные оценки могут значительно различаться;

– Приоритеты меняются со временем (например, после крупной аварии);
– Локальная специфика требует адаптации весов.

Авторы предлагают использовать метод парных сравнений, но не уточняют, как часто нужно пересматривать коэффициенты и каков должен быть состав экспертной группы.

Требования к данным – еще одна уязвимая точка. В идеале нужна комплексная система мониторинга всех 10 подсистем в реальном времени. На практике же данные часто фрагментарны, разные ведомства используют разные форматы и качество и количество полученной информации варьируется.

Проблема динамической адаптации особенно актуальна в быстро меняющемся мире. Методика должна учитывать появление новых угроз (кибератаки, климатические изменения), потенциальное развитие технологий (распределенная энергетика, умные сети) и изменение социальных факторов.

5. Сравнительный анализ: что нового предлагают авторы?

По сравнению с традиционными подходами, рассматривающими 4-6 основных систем, предложенная методика дает более детализированную картину за счет увеличения числа подсистем до 10, введения двойной системы оценки (по функциям и по отраслям) и за счет учета взаимного влияния систем через весовые коэффициенты.

Однако за увеличение детализации приходится платить:
– Резко возрастает сложность расчетов;
– Требуется больше исходных данных;
– Усложняется процесс верификации результатов.

Особого внимания заслуживает возможность кросс-системного анализа. Например, методика позволяет оценить, как сбои в энергоснабжении влияют на работу больниц или систем водоснабжения. Это ценно для комплексного управления рисками.

6. Перспективы развития: куда двигаться дальше?

Интеграция с современными технологиями могла бы решить многие проблемы методики:

1) Геоинформационные системы помогут визуализировать данные.

2) Платформы «умного города» могут стать источниками актуальной информации.

3) Системы кризисного мониторинга обеспечат оперативное обновление данных.

Автоматизация – ключ к практическому применению:
– IoT-устройства для сбора данных;
– ИИ-алгоритмы для расчетов;
– Интерактивные панели для визуализации.

Но главный потенциал автоматизации – в развитии прогностических функций, таких, как моделирование различных сценариев ЧС, оценка эффективности профилактических мер и прогнозирование устойчивости при изменении условий.

Особенно перспективным представляется использование методов машинного обучения для оптимизации весовых коэффициентов на основе исторических данных о реальных инцидентах и их последствиях.

Анализ подхода, предложенного в статье, позволяет сделать вывод о его значительном вкладе в развитие методологии оценки устойчивости критически важных инфраструктур. Использование иерархической системы показателей и интегральных индексов обеспечивает комплексный анализ СЖОН, учитывающий, как функциональные сферы (управление, инженерия, технологии, работа с населением), так и отдельные подсистемы (энергетика, транспорт, здравоохранение и др.).

Ключевые преимущества подхода:

1. Системность – объединение разнородных показателей в единую модель позволяет оценивать устойчивость СЖОН на макро- и микроуровнях.

2. Гибкость – метод адаптируем к различным типам территорий и ЧС за счёт регулируемых весовых коэффициентов.

3. Практическая направленность – возможность ранжирования территорий по классам устойчивости и выявления «слабых звеньев» для целевого распределения ресурсов.

Проблемы и ограничения:

– Зависимость от экспертных оценок – субъективность при назначении весовых коэффициентов может влиять на достоверность результатов.

– Требования к данным – метод требует детальной и актуальной информации о состоянии инфраструктуры, что может быть затруднительно для некоторых регионов.

– Динамическая адаптация – в условиях быстро меняющихся угроз (например, климатических кризисов или кибератак) модель нуждается в регулярной актуализации.

Перспективы дальнейших исследований:

1. Интеграция с технологиями – использование Big Data и ИИ для автоматизации сбора данных и расчёта показателей.

2. Развитие имитационных моделей – прогнозирование устойчивости при различных сценариях ЧС.

3. Международная апробация – адаптация методики для сравнения устойчивости СЖОН в разных странах.

В целом, предложенный авторами подход представляет собой мощный инструмент для управления рисками, сочетающий научную строгость с практической применимостью. Его внедрение может значительно повысить эффективность подготовки территорий к чрезвычайным ситуациям, однако успех зависит от обеспечения достоверной исходной информации и междисциплинарного взаимодействия экспертов. Дальнейшее развитие метода должно быть направлено на минимизацию субъективных факторов и усиление его прогностического потенциала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Арефьева Е.В.* Подход к оценке показателей устойчивости систем жизнеобеспечения населения / Е.В. Арефьева, Ю.В. Прус, А.С. Котосонов // Технологии гражданской безопасности, 2024. – Т. 21, № 4. – С. 64–69. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=75203051 (дата обращения: 24.05.2025).

2. *Арефьева Е.В.* Модели оценки устойчивости систем жизнеобеспечения в условиях чрезвычайных ситуациях // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: Материалы IX Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны. В 5-ти частях, Москва, 28 февраля 2025 года. – Москва: Академия государственной противопожарной службы, 2025. – С. 320–326.

3. *Арефьева Е.В.* Международные подходы и инициативы в области повышения устойчивости урбанизированных территорий в чрезвычайных ситуациях / Е.В. Арефьева, А.А. Лаврусевич, В.В. Крапухин // Проблемы обеспечения экологической безопасности, мониторинга окружающей среды и прогнозирования чрезвычайных ситуаций: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Калуга, 05–06 марта 2024 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий), 2024. – С. 15–26.

4. Global Resilience Monitoring Report 2024: Measuring Adaptive Capacity in Lifeline Systems.

ANALYSIS OF THE PROBLEM AND APPROACH TO THE ASSESSMENT OF INDICATORS OF SUSTAINABILITY OF LIFE SUPPORT SYSTEMS OF THE POPULATION

Kilmamatova K.N.

Supervisor: Arefeva V.E., Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The paper considers an article that proposes a methodology for assessing the sustainability of life support systems for the population using hierarchical indicators and integral indices, and covers key subsystems – energy, transport and healthcare. The approach proposed in the article under study provides a comprehensive analysis, but it depends on expert assessments and requires up-to-date data. Development prospects include the introduction of AI and Big Data to automate calculations and forecast sustainability.

УДК 681.5.037

АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Кильмаматова К.Н.
Научный руководитель: Арефьева Е.В., доцент, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Аннотация. В статье сравниваются два подхода к оценке устойчивости инфраструктуры: технологический (GeoAI для дорожных сетей) и системный (интегральный индекс для СЖОН). Анализируется их применимость для локальных и региональных задач, отмечается потенциал совместного использования. Работа подчеркивает важность сочетания точных данных и экспертных оценок для эффективного управления рисками.

В условиях растущих угроз – от климатических катастроф до техногенных аварий – обеспечение устойчивости критической инфраструктуры становится ключевой задачей для государств, городов и отдельных сообществ. Однако подходы к оценке и повышению этой устойчивости могут кардинально различаться в зависимости от масштаба, объекта исследования и применяемых методов. В данной статье представлен обзор двух научных работ, предлагающих принципиально разные, но взаимодополняющие решения:

1. Первый изученный подход посвящен оценке устойчивости дорожных сетей к наводнениям с использованием геоинформационных систем (GIS) и искусственного интеллекта (GeoAI). Авторы фокусируются на локальном уровне, предлагая сценарный анализ для оптимизации инфраструктурных решений.

2. Вторая работа представляет универсальную методику расчета интегрального индекса устойчивости систем жизнеобеспечения (СЖОН) для территорий, охватывая энергетику, транспорт, здравоохранение и другие ключевые сферы.

Несмотря на общую цель – повышение устойчивости к чрезвычайным ситуациям (ЧС) – эти исследования демонстрируют два полюса научной мысли:

– Технологический подход, где акцент сделан на точные данные, машинное обучение и прогнозирование рисков для конкретных объектов.

– Системно-управленческий подход, основанный на экспертных оценках и иерархических моделях для стратегического планирования.

Цель данной статьи – не просто изложить ключевые идеи этих работ, но и провести их сравнительный анализ. Этот анализ будет полезен урбанистам, инженерам и сотрудникам МЧС, стоящим перед выбором инструментов для управления рисками.

В рамках статьи рассмотрены два подхода – подход С.М. Ризвани о разработке индекса оценки способности дорожных сетей противостоять наводнениям и подход Е.В. Арефьевой о методике расчета интегрального индекса устойчивости систем жизнеобеспечения.

Первый подход представлен в статье под названием «Urban Resilience Index for Critical Infrastructure: A Scenario-Based Approach to Disaster Risk Reduction in Road Networks», опубликованной в журнале «Sustainability» в 2024 году. Авторы – исследователи из Португалии – предложили комплексный метод оценки устойчивости дорожной инфраструктуры к наводнениям, используя современные технологии и экономический анализ.

Наводнения – одна из самых разрушительных природных угроз для городской инфраструктуры. Они парализуют транспорт, нарушают логистику, наносят многомиллионные убытки и, что хуже всего, угрожают жизни людей. Португалия, с ее горным рельефом и протяженной береговой линией, особенно уязвима к таким катастрофам. В статье подчеркивается, что традиционные методы борьбы с наводнениями (например, экстренный ремонт после стихии) недостаточно эффективны. Вместо этого авторы предлагают перейти к «проактивному управлению рисками», основанному на данных и долгосрочном планировании.

Основу исследования составила разработка Urban Resilience Index (URI) – индекса, который оценивает способность дорожной сети противостоять наводнениям по четырем ключевым критериям:

1. Избегание (Avoidance) – насколько хорошо инфраструктура спроектирована, чтобы минимизировать контакт с водой (например, через дренажные системы или правильное расположение дорог).

2. Устойчивость (Endurance) – физическая прочность конструкций (мостов, покрытий) при затоплении.

3. Восстановление (Recovery) – скорость возвращения дорог в рабочее состояние после катастрофы.

4. Адаптация (Adaptability) – способность системы учиться на прошлых наводнениях и улучшать защиту в будущем.

Для расчетов авторами исследования использовались геоинформационные системы (GIS) и искусственный интеллект (GeoAI), которые анализировали исторические данные о наводнениях, топографию и даже экономические показатели муниципалитетов. Это позволило не только выявить самые уязвимые участки дорог, но и смоделировать различные сценарии развития событий.

Авторы сравнили три варианта действий:

– Реактивный ответ – классический подход: чиним после того, как вода ушла.

– Проактивное планирование – заранее укрепляем дороги, строим защитные сооружения, улучшаем дренаж.

– Системы раннего предупреждения – используем датчики и прогнозы для быстрой эвакуации и временного закрытия опасных участков.

Результаты оказались предсказуемыми, но от этого не менее ценными: проактивные меры (второй сценарий) дали на 7,6% лучшие показатели устойчивости, чем реактивные, и на 3,5% превзошли системы раннего оповещения. Более того, они оказались экономически выгоднее – хоть первоначальные вложения и высоки, долгосрочные затраты на ремонт снижаются в разы.

Интересно, что ранние предупреждения (третий сценарий) тоже показали себя хорошо, но их эффективность сильно зависит от точности прогнозов и скорости реакции властей. Если сигнал пришел слишком поздно или жители его проигнорировали, ущерб все равно будет значительным.

Исследование явно демонстрирует, что бороться с последствиями наводнений дороже, чем предотвращать их. Вот несколько практических выводов:

– Инвестиции в инфраструктуру окупаются. Дороги с усиленным покрытием, дополнительные дренажные системы и «умные» решения (например, датчики уровня воды) снижают риски и экономят бюджет в долгосрочной перспективе.

– Данные – ключ к устойчивости. Использование ИИ и GIS позволяет не гадать, а точно знать, где и какие меры нужны. Например, в Лиссабоне авторы выявили несколько критических участков, которые регулярно затопляются, и предложили для них конкретные решения.

– Нужен комплексный подход. Недостаточно просто построить высокие бордюры или установить насосы. Важно сочетать инженерные решения с социальными (обучение населения) и административными (быстрые планы эвакуации).

Эта статья – отличный пример того, как современная наука может помочь городам стать устойчивее к климатическим угрозам. URI и предложенные сценарии – не просто теория, а практический инструмент для инженеров, градостроителей и чиновников.

Подобные исследования потенциально могут стать обязательной частью urban-планирования, особенно в свете учащающихся экстремальных погодных явлений.

В последние годы вопросы устойчивости городской инфраструктуры к чрезвычайным ситуациям (ЧС) становятся все более актуальными. Климатические изменения, техногенные аварии и другие угрозы требуют системного подхода к оценке и повышению надежности систем жизнеобеспечения. Второй подход представлен в статье Е.В. Арефьевой, Ю.В. Пруса и А.С. Котосонова, опубликованной в журнале «Технологии гражданской безопасности» в 2024 году, и он предлагает методику расчета интегрального индекса устойчивости систем жизнеобеспечения.

Системы жизнеобеспечения (СЖОН) – это сложные комплексы, включающие водоснабжение, энергетику, транспорт, здравоохранение и другие критически важные службы. Их устойчивость определяет, насколько быстро город или регион сможет восстановиться после ЧС. Однако до сих пор не существовало единого подхода для комплексной оценки этой устойчивости. Авторы статьи предлагают восполнить этот пробел, разработав интегральный индекс жизнеобеспечения, который позволяет не только оценить текущее состояние систем, но и выявить слабые места для дальнейшего улучшения.

Основу исследования составляет иерархическая модель, которая разбивает СЖОН на четыре функциональных блока и десять подсистем:

1. Организационно-управленческий блок (координация действий в ЧС).
2. Инженерно-конструктивный блок (физическая надежность инфраструктуры).
3. Технологический блок (эффективность эксплуатации).
4. Работа с населением (информирование и подготовка людей).

Каждый блок оценивается через призму десяти ключевых систем, таких как энергоснабжение, транспорт, здравоохранение и т.д. Для расчета используются весовые коэффициенты, определяемые методом парных сравнений, что позволяет учесть вклад каждого элемента в общую устойчивость.

1. Нормирование показателей – приведение данных к единой шкале для сравнения.
2. Аддитивная свертка – объединение частных индексов в общий интегральный показатель.
3. Ранжирование территорий по классам устойчивости (от «высокой» до «крайне неудовлетворительной»).

Предложенный подход позволяет:

– Сравнивать регионы между собой по уровню устойчивости. Например, муниципалитет с индексом 0,75 попадет в класс «хорошей устойчивости», а 0,3 – в «неудовлетворительный».

– Выявлять слабые звенья. Если система здравоохранения получила низкий балл, власти могут направить ресурсы на ее модернизацию.

– Моделировать улучшения. Изменяя параметры в формуле, можно прогнозировать, как повлияют на устойчивость новые инфраструктурные проекты или организационные меры.

Авторы подчеркивают, что методика уже апробирована для субъектов РФ и может использоваться как инструмент стратегического планирования.

Статья представляет собой важный шаг в систематизации оценки устойчивости жизненно важных систем. Предложенный интегральный индекс – это не просто теоретическая конструкция, а практический инструмент для органов власти и emergency-менеджеров.

Сильные стороны:

– Комплексность (учет технических, организационных и социальных аспектов).
– Гибкость (адаптация под разные регионы и типы ЧС).
– Наглядность (четкие классы устойчивости).

Слабые стороны:

– Зависимость от экспертных оценок, которые являются субъективными.
– Трудоемкость сбора данных.

Методику стоит дополнить машинным обучением для автоматического определения весовых коэффициентов на основе исторических данных о ЧС.

Обе статьи посвящены критически важной теме: как измерить и повысить устойчивость инфраструктуры к чрезвычайным ситуациям (ЧС). Однако их подходы, методы и сфера применения существенно различаются.

Далее будут представлены таблицы, кратко отображающие разницу в изученных подходах.

Таблица 1.

Подходы: узкая специализация и комплексность

Критерий	Статья С. Ризвани и др. (дороги)	Статья Е. Арефьевой и др. (СЖОН)
Объект исследования	Дорожная сеть (на примере Лиссабона)	Все системы жизнеобеспечения (энергетика, вода, транспорт, здравоохранение и др.)
Цель	Оптимизация устойчивости к наводнениям	Комплексная оценка устойчивости территорий к любым ЧС
Масштаб	Локальный (город/регион)	Региональный и национальный (субъекты РФ)
Методология	Сценарный анализ + GeoAI	Иерархическая модель с весовыми коэффициентами

Первая статья фокусируется на одном типе инфраструктуры (дороги) и одном риске (наводнения), используя точечные технологические решения (GeoAI, прогнозирование). Вторая статья предлагает универсальную рамку для оценки любых систем жизнеобеспечения и любых ЧС, но без привязки к конкретным технологиям.

Таблица 2

Методы оценки: данные и экспертные оценки

Критерий	Статья С. Ризвани и др. (дороги)	Статья Е. Арефьевой и др. (СЖОН)
Основной инструмент	Геоинформационные системы (GIS) + ИИ	Иерархические формулы с весовыми коэффициентами
Источники данных	Исторические данные о наводнениях, OpenStreetMap	Экспертные оценки, нормативные документы
Ключевые метрики	Urban Resilience Index (URI) для дорог	Интегральный индекс жизнеобеспечения (ИИЖН)
Гибкость	Высокая (адаптация под конкретные сценарии)	Средняя (зависит от экспертных весов)

В первой статье URI для дорог считается через прогнозные модели (например, вероятность затопления участка). В ней полагаются на объективные данные и машинное обучение, что снижает субъективность.

Во второй статье индекс – это взвешенная сумма показателей. В ней используют экспертные оценки, что может вносить погрешности, но зато метод применим даже при нехватке данных.

Таблица 3

Практическое применение: ремонт и планирование

Критерий	Статья С. Ризвани и др. (дороги)	Статья Е. Арефьевой и др. (СЖОН)
Что можно улучшить?	Конкретные участки дорог (дренаж, материалы)	Целые системы (например, энергоснабжение региона)
Для кого полезно?	Муниципалитеты, транспортные департаменты	Региональные власти, МЧС, градостроители
Пример использования	Выбор между укреплением дорог или ранними предупреждениями	Ранжирование регионов по устойчивости к ЧС

Результаты первого исследования помогают принимать тактические решения. Например, о том, как потратить бюджет на инфраструктуру для достижения максимально эффективного результата.

Результаты второго исследования полезны для стратегического планирования на уровне субъектов РФ.

Таблица 4

Ограничения

Проблема	Статья С. Ризвани и др. (дороги)	Статья Е. Арефьевой и др. (СЖОН)
Субъективность	Минимум (данные определяют модель)	Высокая (зависит от экспертов)
Масштабируемость	Только для аналогичных рисков (наводнения)	Универсальна, но требует адаптации
Необходимые ресурсы	Большие (GIS, ИИ, исторические данные)	Умеренные (эксперты + нормативная база)

Первый метод сложно применить в регионе без данных о прошлых наводнениях, а второй метод может дать неточный результат из-за субъективных оценок.

Таблица 5

Выводы

Критерий	Статья С. Ризвани и др. (дороги)	Статья Е. Арефьевой и др. (СЖОН)
Лучше для	Точечных инфраструктурных проектов	Системного анализа территорий
Сильные стороны	Точность, технологичность, прогнозирование	Универсальность, простота внедрения
Слабые стороны	Ограниченная сфера применения	Субъективность, менее детализированные выводы

Если нужно оценить конкретную инфраструктуру (дороги, мосты) под конкретную угрозу (наводнения, ураганы) – лучше подойдет первый подход.

Если требуется комплексная оценка устойчивости региона к разным ЧС – вторая методика предпочтительнее.

Идеальный сценарий – объединить оба подхода. Например, использовать интегральный индекс для выявления слабых систем, а затем точечно применять GeoAI для их модернизации.

Можно сказать, что первое исследование – это «инженерный» подход с упором на технологии, а второе – «управленческий» подход, ориентированный на принятие решений.

Обе статьи дополняют друг друга, демонстрируя, как наука может помогать в борьбе с кризисами – от локальных аварий до глобальных катастроф.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Rezvani S.M.H.S.* Urban Resilience Index for Critical Infrastructure: A Scenario-Based Approach to Disaster Risk Reduction in Road Networks / Rezvani S.M.H.S., Falcão Silva, M.J., de Almeida, N.M. // Sustainability, 2024. – Vol. 16, № 10, 4143. – URL: https://doi.org/10.3390/su16104143 (дата обращения: 24.05.2025).

2. *Арефьева Е.В.* Подход к оценке показателей устойчивости систем жизнеобеспечения населения / Е.В. Арефьева, Ю.В. Прус, А.С. Котосонов // Технологии гражданской безопасности, 2024. – Т. 21, № 4. – С. 64–69. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=75203051 (дата обращения: 24.05.2025).

3. *Арефьева Е В.* Модели оценки устойчивости систем жизнеобеспечения в условиях чрезвычайных ситуациях // Гражданская оборона на страже мира и безопасности. Материалы IX Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны. В 5-ти частях, Москва, 28 февраля 2025 года. – Москва: Академия государственной противопожарной службы, 2025. – С. 320–326.

4. *Арефьева Е.В.* Международные подходы и инициативы в области повышения устойчивости урбанизированных территорий в чрезвычайных ситуациях / Е.В. Арефьева, А.А. Лаврусевич, В.В. Крапухин // Проблемы обеспечения экологической безопасности, мониторинга окружающей среды и прогнозирования чрезвычайных ситуаций: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Калуга, 05–06 марта 2024 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий), 2024. – С. 15–26.

5. Global Resilience Monitoring Report 2024: Measuring Adaptive Capacity in Lifeline Systems.

ANALYSIS AND COMPARISON OF APPROACHES TO ASSESSING INFRASTRUCTURE SUSTAINABILITY

Kilmamatova K.N.

Supervisor: Arefeva V.E., Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan*)

Abstract. The article compares two approaches to assessing the sustainability of infrastructure: technological (GeoAI for road networks) and systemic (integral index). Their applicability for local and regional tasks is analyzed, and the potential for joint use is noted. The work highlights the importance of combining accurate data and expert assessments for effective risk management.

УДК 614

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ СКЛАДСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Коротков А.В., Агзамов А.А.

Научный руководитель: Алексеева Е.И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы обеспечения пожарной безопасности на объектах складского назначения на примере Wildberries и Ozon. Изучены произошедшие случаи пожаров, выявлены причины и показаны масштабы последствий и жертв. Обеспечение пожарной безопасности на таких объектах — задача первостепенной важности, поскольку пожары на складах могут привести к катастрофическим последствиям.

Экономика России уверенно идет к вершине информационного общества, в связи с этим наблюдается постоянный рост интернет-магазинов, что, в свою очередь, приводит к появлению множества складов. Бесспорно, наличие множества складских помещений это – очень важный момент в развитии экономики России, благодаря чему обеспечивается бесперебойное и быстрое перемещение товаров. По данным Росстата на 20 марта 2025 года, самыми популярными остаются Wildberries, Ozon и Яндекс-маркет.

Склады, вне зависимости от их размеров и типов хранимых товаров, являются критически важными объектами экономики, но несмотря на это они до сих пор остаются очень уязвимыми к пожарам. По-другому склады можно назвать сердцем любой производственной или торговой цепочки, где сосредоточены ценные ресурсы, сырье, готовая продукция. Пожар на складе – это не просто потеря имущества, это потенциально катастрофическое событие, способное парализовать деятельность предприятия, нанести колоссальный экономический ущерб и, что самое главное, поставить под угрозу жизни людей. Следовательно, обеспечение пожарной безопасности на таких объектах – задача первостепенной важности, так как пожары на складах могут привести к катастрофическим последствиям: значительным материальным убыткам, травмам и гибели людей, а также серьезному ущербу окружающей среде.

Хронология крупнейших пожаров на объектах складского назначения за последние 5 лет выглядит следующим образом:

1) 3 мая произошло возгорание на складе «Атлант-парк» в поселке Обухово Богородского района Подмосковья, где хранилась печатная продукция издательства «Просвещение». Площадь пожара составила около 40 тыс. кв.м., пострадавших не было, а экономический ущерб составил 588 млн. рублей.

2) 3 августа 2022 года в селе Петровское Истринского района Московской области произошел крупный пожар в складском комплексе онлайн-ретейлера Ozon. Общая площадь складского помещения составляет 400 тыс. кв.м, из них полностью выгорело 55 тыс.кв.м. 11 человек пострадали и были доставлены в медицинское учреждение, остальных 1000 человек смогли эвакуировать. Экономический ущерб пожара составил 6 млрд. руб. Полностью пожар был потушен только 8 августа.

21 августа 2023 года в подмосковном Гривно на складе Ozon вспыхнул пожар. Площадь возгорания составила 500 кв.м., 1 человек погиб. Пожару был присвоен третий уровень сложности из пяти возможных.

2) 13 января 2024 года в Москве загорелся складской комплекс Wildberries. Согласно данным МЧС, площадь пожара составила 70 тыс. кв.м., также была обрушена крыша площадью 50 тыс. кв.м. Причина пожара – неисправная проводка. По данным МЧС, этот пожар является одним из крупных пожаров. Обошлось без жертв: все 1000 человек, находящиеся в помещении, были эвакуированы. По официальным данным жертв нет, но без вести пропал один человек. Экономический ущерб составил около 11 мрлд. рублей.

Пожары на складах Wildberries и Ozon – трагические примеры масштабных последствий для компаний, продавцов и работников. Масштабы – не только квадратура, но и потери. Причины возгорания – человеческий фактор. Оба склада работали с нарушениями: у Wildberries склад эксплуатировался без полного разрешения на ввод, сигнализация была отключена из-за частых ложных срабатываний, у Ozon также вскрывались нарушения пожарной безопасности, что стало основанием для возбуждения уголовного дела. Обрушились огромные конструкции, сгорел склад и весь товар, что вызвало огромный удар по продавцам, чьи товары безвозвратно утрачены. Многие мелкие предприниматели могли лишиться основного источника дохода. Возврат страховой суммы затягивается до нескольких месяцев, что также является огромным психологическим дискомфортом.

Такие инциденты – не просто пожарные истории. Это урок о важности строгого соблюдения норм безопасности, надёжных систем сигнализации и своевременного страхования. Когда речь идёт о складах площадью десятки тысяч квадратных метров, ставки – слишком высоки: от рынков миллионов потребителей до судьбы сотен мелких предпринимателей и сотен работников, чьи жизни могут оказаться под угрозой.

В связи с участившимися случаями крупных пожаров на складах, принадлежащих ведущим онлайн-ритейлерам Wildberries и Ozon, организация по защите прав потребителей «Общественная потребительская инициатива» обратилась в МЧС РФ с просьбой провести внеплановые комплексные проверки.

По данным «Общественной потребительской инициативы», количество предостережений от МЧС в адрес Wildberries в декабре 2023 года значительно возросло по сравнению с предыдущими периодами, что во многом связано с нарушениями правил хранения, в частности с совместным хранением пиротехники и легковоспламеняющихся материалов. Аналогичная тенденция наблюдалась и у Ozon.

В связи с этим организация также обратилась к МЧС с просьбой поддержать инициативу по корректировке действующего моратория на проверки бизнеса, срок действия которого истекает в конце 2024 года.

Представители Wildberries заявили о готовности продемонстрировать работоспособность систем пожарной безопасности на своих складах и сообщили об усилении мер безопасности и проведении внутренних проверок. В Ozon также подчеркнули, что не препятствуют проверкам и что их логистические объекты оснащены всеми необходимыми системами противопожарной защиты.

Однако, несмотря на усилия, направленные на обеспечение пожарной безопасности, на объектах складского назначения сохраняется ряд проблем, требующих комплексного решения.

В первую очередь, речь идет о грамотном проектировании самого здания склада. Материалы, используемые при его строительстве, должны обладать определенными характеристиками огнестойкости. Это касается как основных конструкций, так и отделочных материалов. Системы вентиляции и отопления должны быть спроектированы так, чтобы исключить возможность возникновения искр или перегрева, которые могли бы стать источником возгорания. Особое внимание уделяется электропроводке: она должна быть правильно смонтирована, защищена от механических повреждений и регулярно проходить проверки. Использование кабелей с повышенным сопротивлением к горению – это не прихоть, а залог спокойствия.

Во-вторых, это специфика хранимых материалов и веществ. На складах могут храниться горючие вещества и жидкости, которые очень легко воспламеняются, что может привести к постоянному риску возникновению пожаров.

В-третьих, перегрузка и неправильная планировка складов. Очень часто склады бывают перегружены и завалены товарами, затрудняющими и блокирующими эвакуационные пути выхода. Это связано с правильной организацией внутреннего пространства. Необходимо соблюдать установленные нормы по высоте складирования, обеспечивать достаточные проходы для перемещения техники и, что критически важно, для эвакуации людей в случае чрезвычайной ситуации. Горение различных материалов происходит с разной скоростью, и правильное зонирование, разделение пожароопасных зон, может существенно замедлить распространение огня, давая драгоценное время для его тушения.

В-четвертых, недостаточное техническое обеспечение. В погоне за огромной прибылью зачастую идет экономия на пожарной сигнализации, автоматическом пожаротушении и дымоудалении. Их наличие может служить своевременным предупреждением или тушением пожара. Основа основ – это, конечно, системы пожаротушения и сигнализации. Современные склады оснащаются автоматическими системами, способными оперативно обнаружить возгорание и принять меры. Это могут быть спринклерные системы, подающие воду или специальные огнетушащие составы, системы газового пожаротушения, используемые для защиты особо ценных или чувствительных к воде материалов, или порошковые системы. Необходимость их регулярного технического обслуживания, проверки работоспособности – это не вопрос желания, а строгое требование. И, конечно, пожарная сигнализация должна быть не просто установлена, но и исправно функционировать, оповещая персонал о любой угрозе.

В-пятых, не соблюдение правил пожарной безопасности, ведь даже самые передовые системы не заменят бдительность и ответственность людей. На первый взгляд, кажется, что это элементарные правила, однако практика показывает, что не все их знают. Обучение персонала – это краеугольный камень пожарной безопасности. Каждый сотрудник, работающий на складе, должен знать, как вести себя в случае пожара, где находятся эвакуационные выходы, как пользоваться первичными средствами пожаротушения, такими как огнетушители. Нельзя забывать о правилах обращения с источниками открытого огня, курением в специально отведенных местах, соблюдением инструкций при выполнении огневых работ. И, конечно, нельзя забывать о регулярных проверках и инспекциях. Регулярные тренировки и инструктажи помогают отработать навыки и довести правильные действия до автоматизма. Соответствие всем нормам и правилам, выявление и устранение потенциальных рисков – это непрерывный процесс. Совместная работа сотрудников склада, ответственных за пожарную безопасность, и представителей надзорных органов позволяет поддерживать высокий уровень защиты.

Недостаточная квалификация персонала, незнание правил пожарной безопасности, нарушение технологических процессов, курение в неположенных местах, халатное отношение к электрооборудованию — всё это способствует возникновению пожаров. Отсутствие регулярных инструктажей, тренировок по эвакуации и пожаротушению снижает готовность персонала к действиям в случае чрезвычайной ситуации. Таким образом, человеческий фактор играет очень важную роль в пожарной безопасности.

В-шестых, сложность нормативного регулирования. Очень часто меняются правовые нормы к требованиям пожарной безопасности на объектах складского назначения.

Для повышения уровня пожарной безопасности на складских объектах необходим комплексный подход, который заключается в следующем:

1) совершенствование нормативной базы, в том числе упрощение и уточнение нормативных требований по пожарной безопасности.

2) ужесточение контроля за соблюдением требований ПБ, повышение ответственности собственников и арендаторов складов;

3) модернизация технического обеспечения пожарной безопасности на складских помещениях;

4) регулярное обучение персонала правилам пожарной безопасности, проведение тренировок по эвакуации и пожаротушению;

5) проведение профилактических мероприятий, таких как эвакуация, регулярная проверка противопожарного состояния складов.

В конечном итоге, пожарная безопасность на объектах складского назначения – это не просто набор инструкций и технических устройств. Это культура безопасности, которая должна пронизывать всю деятельность предприятия. Это осознание каждым работником своей роли в предотвращении беды и готовность действовать решительно и правильно, когда это потребуется. Только так можно обеспечить надежную защиту запасов и, самое главное, сохранить самое ценное – человеческие жизни. Обеспечение пожарной безопасности на таких объектах – задача комплексная, требующая постоянного внимания и профессионального подхода, где каждая деталь имеет значение.

Решение этих проблем требует совместных усилий государства, собственников и арендаторов складов, а также специалистов в области пожарной безопасности. Только комплексный подход позволит снизить риски возникновения пожаров на объектах складского назначения, защитить жизни людей и имущество, а также обеспечить стабильную работу экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон от 5 марта 1992 г. № 2446-1 ФЗ «О безопасности» (ред. от 10.07.2023) // СПС «Консультант Плюс» (дата обращения: 15.06.2025).

2. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (ред. от 25.12.2023) // СПС «Консультант Плюс» (дата обращения: 15.06.2025).

3. *Ишмеева А.С.* Противопожарная защита складских помещений // Современная наука. 2023. № 1. С. 39-42.

4. *Харисова З.И.* Об особенностях применения современных технических возможностей при расследовании пожаров // Государственная служба и кадры. 2022. №1. С. 231-234.

5. *Аксенов С.Г.* Обеспечение первичных мер пожарной безопасности в муниципальных образованиях // Проблема обеспечения безопасности: Материалы II Международной научно-практической конференции. Уфа: РИК УГАТУ. 2020. С. 242-244.

6. МЧС попросили проверить склады Wildberries и Ozon. – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://www.kommersant.ru/doc/6464855 (дата обращения: 22.05.2025).

PROBLEMS OF ENSURING FIRE SAFETY AT WAREHOUSE FACILITIES

Korotkov A.V., Agzamov A.A.

Supervisor: Alekseeva E.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)*

Abstract. The article discusses the issues of ensuring fire safety at warehouse facilities using the example of Wildberries and Ozon. The cases of fires that have occurred have been studied, the causes have been identified and the scale of the consequences and victims has been shown. Ensuring fire safety at such facilities is of paramount importance, since fires in warehouses can lead to catastrophic consequences.

УДК 378.1

О МЕЖВЕДОМСТВЕННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ В ПОДГОТОВКЕ КАДРОВ ДЛЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПОЖАРНОГО НАДЗОРА

Кузнецова М.А.

Научный руководитель: Зарипова С.Н., профессор, д.т.н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена проблеме кадрового дефицита в Государственном пожарном надзоре (ГПН) МЧС России, обусловленного ограниченными возможностями образовательных организаций высшего образования (ОО ВО) МЧС России и нормативно-правовыми барьерами для привлечения ресурсов ОО ВО Минобрнауки России. В качестве решения предлагается модель межведомственного взаимодействия, основанная на интеграции образовательных программ, согласовании нормативных требований и внедрении современных образовательных технологий. Реализация данной модели позволит оперативно восполнить дефицит кадров, обеспечив высокое качество профессиональной подготовки.

Проблема обеспечения пожарной безопасности в России остается одной из наиболее острых в сфере защиты населения и территорий. Проведенный анализ статистических данных за 2019 - 2023 годы [1] показал, что при общем сокращении количества пожаров на 23% (с 471,5 до 361 тыс. случаев) наблюдается значительное ухудшение ключевых показателей последствий. Так, материальный ущерб в расчете на 1000 пожаров вырос на 59%, достигнув к 2023 году 61,4 млн рублей против 38,5 млн рублей в 2019 году. Аналогичная негативная динамика прослеживается и в человеческих жертвах. Число погибших увеличилось на 19% (с 18,2 до 21,7 на 1000 пожаров), а количество травмированных – на 17% (с 20,1 до 23,6 на 1000 пожаров).

Несмотря на снижение общего числа возгораний, каждый отдельный пожар становится более разрушительным и опасным. Подобная динамика указывает на необходимость пересмотра существующих подходов к пожарной безопасности, включая оптимизацию профилактических мероприятий, совершенствование методов оперативного реагирования и ликвидации последствий.

Особую озабоченность вызывают пожары на объектах защиты, которые не только приводят к наиболее тяжелым последствиям, но и создают значительную нагрузку на органы надзора. Анализ данных за 2021-2023 годы [2–4] показывает разницу в распределении контрольно-надзорных мероприятий. Если среднее количество плановых проверок на одного инспектора ГПН по федеральным округам варьируется от 4,4 до 7,2 единиц, то внеплановые контрольно-надзорные мероприятия достигают 3,6–8,5 единиц на специалиста. В отдельных федеральных округах (Сибирском и Южном) общий объем проверок достигает 15 единиц на инспектора, что при укомплектованности подразделений на 84,3% (Рисунок 1) создает чрезмерную рабочую нагрузку. Особенно остро проблема проявляется в регионах, где зона ответственности одного инспектора может достигать 500-600 км^2 [5], а количество внеплановых проверок продолжает расти из-за учащения пожаров на объектах защиты.

В этих условиях особое значение приобретает вопрос своевременного восполнения кадрового состава ГПН, однако существующая система подготовки специалистов сталкивается с серьезными ограничениями различного характера. Формирование компетентного специалиста в области ГПН занимает до 6 лет в ОО ВО МЧС России и требует еще 3-4 года практики для достижения необходимого уровня профессионализма [5]. Эта продолжительность усугубляется высокой текучестью кадров, связанной с низкой оплатой труда на фоне повышенной ответственности и рисков, что создает критические пробелы в укомплектованности территориальных подразделений ГПН. Существующие меры, включая конкурсный отбор и программы наставничества, не позволяют полностью компенсировать кадровый дефицит, что негативно отражается на качестве контрольно-надзорных мероприятий и, как следствие, на уровне пожарной безопасности в целом.

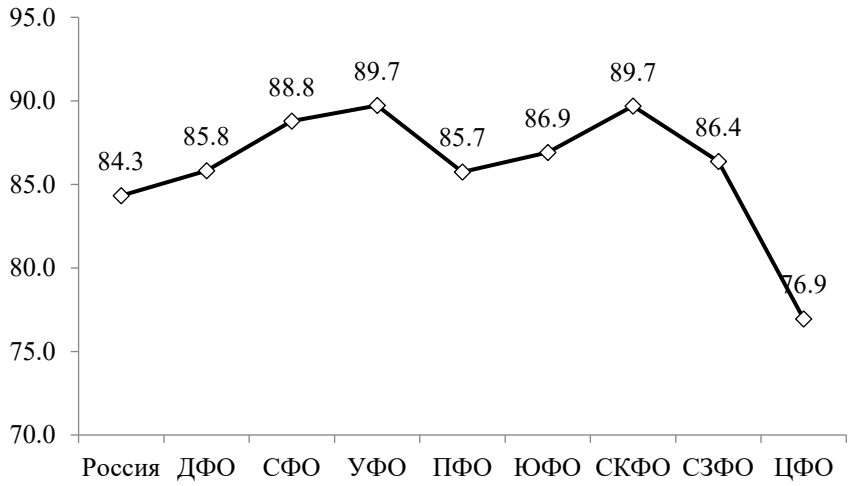


Рис. 1. Укомплектованность территориальных подразделений ГПН в разрезе федеральных округов, % (средние показатели за 2021-2023 годы)

В сложившейся ситуации традиционная ведомственная модель подготовки кадров, осуществляемая исключительно в рамках образовательных организаций МЧС России, демонстрирует свою ограниченность, не позволяя оперативно закрывать кадровый дефицит. Существующие дополнительные требования со стороны МЧС России к подготовке кадров в интересах территориальных подразделений ГПН создают барьеры для полноценного использования потенциала ОО ВО Минобрнауки России, осуществляющих подготовку кадров по образовательным программам пожарно-технического профиля (Рисунок 2). Рисунок 2

демонстрирует особенности обособленной подготовки кадров по образовательным программам пожарно-технического профиля на базе ОО ВО, подведомственных МЧС России и Минобрнауки России.

ОО ВО МЧС России обеспечивают высокий уровень профессиональной подготовки кадров, ориентированный на ведомственные стандарты, однако они ограничены в масштабах подготовки из-за немногочисленности и узкой специализации. В то же время ОО ВО Минобрнауки России обладают значительным потенциалом за счет развитой инфраструктуры, включающей современные лаборатории и исследовательские центры, а также обширного академического опыта в реализации фундаментальных инженерных программ. Суммарный приведенный контингент студентов, обучающихся по пожарно-техническому профилю в этих вузах, составляет почти 10 000 человек, что свидетельствует о существенном ресурсе для покрытия кадрового дефицита. В работе [6] показано, что интеграция ресурсов ОО ВО МЧС России и ОО ВО Минобрнауки России позволяет сократить сроки устранения дефицита кадров в ФПС ГПС МЧС России в 1,7 раза (с 8 до 4,6 лет), обеспечивая требуемый уровень подготовки. Сочетание фундаментальной академической подготовки с прикладной ведомственной компонентой в соответствии с требованиями МЧС России создает синергетический эффект и формирует компетенции нового качества.

Значительным потенциалом обладают ОО ВО Минобрнауки России с военными учебными центрами (ВУЦ), которые являются участниками межведомственного взаимодействия между Минобрнауки России и Министерством обороны России. К примеру, в ПФО 9 из 14 ОО ВО имеют ВУЦ, что подтверждает возможность успешной кооперации. Аналогичные примеры есть в других федеральных округах: Сибирском (4 из 6 ОО ВО), Уральском (1 из 1 ОО ВО) и Центральном (2 из 7 ОО ВО). Приведенные примеры демонстрируют возможности преодоления межведомственных барьеров в целях обеспечения кадровой безопасности страны. Целесообразность распространения положительного опыта взаимодействия двух ведомств по подготовке востребованных кадров в интересах территориальных подразделений ГПН подтверждается данными таблицы, в которой в разрезе федеральных округов приведены сведения о количествах ОО ВО МЧС России и ОО ВО Минобрнауки России.

Рис. 2. Обособленность (отделенность) систем подготовки кадров по программам пожарно-технического профиля

*По состоянию на 2024/2025 учебный год ВУЦ были в 26 из 45 рассматриваемых в рамках данного исследования ОО ВО Минобрнауки России

Как видно из таблицы, дисбаланс в распределении образовательных ресурсов между федеральными округами (например, 14 ОО ВО Минобрнауки в ПФО против 1 ОО ВО МЧС России в УФО) усугубляет кадровый дефицит в территориальных подразделениях ГПН. Преодоление этой ситуации требует создания новой модели межведомственной интеграции по подготовке кадров для территориальных подразделений ГПН, объединяющей ресурсы и компетенции всех заинтересованных сторон. Речь идет о формировании единой системы, в которой фундаментальная подготовка в соответствии с профильными ФГОС ВО (утвержденными Минобрнауки России), дополненная специальной подготовкой в соответствии с квалификационными требованиями к специальной профессиональной подготовке (утвержденными МЧС России), будет осуществляться ОО ВО Минобрнауки России (имеющими ВУЦ) по договорам о сетевом взаимодействии с ОО ВО МЧС России. В этой системе МЧС России выступает в двух ролях: 1 – в качестве федерального органа исполнительной власти РФ, осуществляющего функции по разработке прогнозов и требований к подготовке кадров на основе прогноза потребностей территориальных подразделений ГПН, реализацию плана подготовки кадров и 2 – в качестве потенциального работодателя, заинтересованного в устранении дефицита кадров, в отношении к ОО ВО Минобрнауки России, реализующим образовательные программы пожарно-технического профиля.

Таблица 1

Распределение образовательных организаций МЧС России и Минобрнауки России по федеральным округам

Федеральные округа	Количество территориальных подразделений ГПН	Количество ОО ВО МЧС России*	Количество ОО ВО Минобрнауки России (наличие ВУЦ)
Дальневосточный федеральный округ (ДФО)	11	1	6 (6)
Сибирский федеральный округ (СФО)	10	1	6 (4)
Уральский федеральный округ (УФО)	6	1	1 (1)
Приволжский федеральный округ (ПФО)	14		14 (9)
Северо-Западный федеральный округ (СЗФО)	10	1	4 (1)
Центральный федеральный округ (ЦФО)	17	3	7 (2)
Южный федеральный округ (ЮФО)	7	-	3 (2)
Северо-Кавказский федеральный округ (СКФО)	7	-	4 (1)

*Без учета данных Донецкого института ГПС МЧС России

Такой симбиоз может быть достигнут через разработку единых образовательных стандартов и примерных образовательных программ для всех ОО ВО – участников проекта. Выпускники ОО ВО Минобрнауки России – участников проекта, освоившие образовательные программы пожарно-технического профиля, будут получать дипломы гражданского и ведомственного вузов, после трудоустройства в территориальные подразделения ГПН будут иметь такие же привилегии, что и лица с дипломами ОО ВО МЧС России. Ключевое значение приобретает создание правовых и организационных механизмов, позволяющих преодолеть ведомственную обособленность без ущерба для специальной составляющей профессиональной подготовки (Рисунок 3).

Совместная подготовка кадров для территориальных подразделений ГПН должна быть

направлена на всестороннее развитие личности, развитие профессиональных и личных качеств, необходимых сотрудникам ГПН для выполнения задач по предназначению, а также на прочное освоение специальных дисциплин, физическое развитие и патриотическое воспитание обучающихся. Освоение специальных дисциплин предполагает практическое и научно-исследовательское погружение.

Методической основой предлагаемого подхода является создание многоуровневой системы кооперации, интегрирующей ресурсы ОО ВО различной ведомственной принадлежности в единый механизм подготовки кадров для территориальных подразделений ГПН. Центральным элементом данной системы становится соглашение между МЧС России и Минобрнауки России, предусматривающее правовые основы взаимодействия, конкретные механизмы его реализации, включая целевое распределение контрольных цифр приема в гражданских ОО ВО с учетом потребностей территориальных подразделений ГПН. Важная роль в этом принадлежит ВУЦ при ОО ВО Минобрнауки России, которые могут быть задействованы при оценке физической подготовки и здоровья абитуриентов, что позволяет устранить дублирование функций и оптимизировать отбор кандидатов. В результате создается система подготовки кадров, которая, с одной стороны, отвечает запросам МЧС России, с другой – позволяет обеспечить высокий уровень профессиональной подготовки кадров.

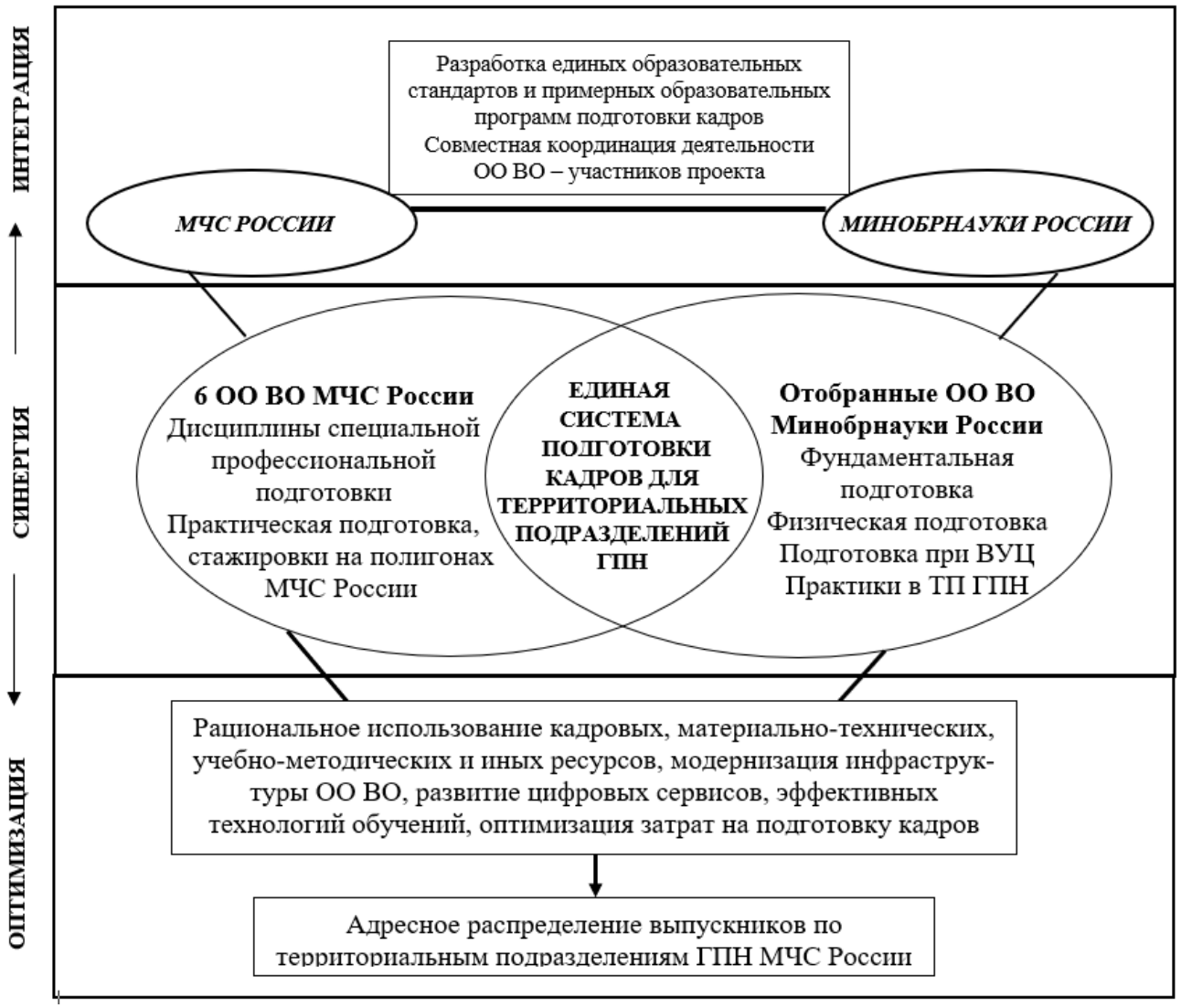


Рис. 3. Модель межведомственной интеграции для подготовки кадров в интересах территориальных подразделений ГПН

Важнейшим инструментом координации межведомственного взаимодействия может выступить консорциум ОО ВО на принципах сетевого партнерства. ОО ВО – члены

консорциума разрабатывают единые образовательные стандарты и примерные образовательные программы, гармонизированные с ФГОС ВО и квалификационными требованиями к специальной профессиональной подготовке, что позволяет создать сквозную систему оценки компетенций выпускников. Особое значение приобретает разработка интегрированных учебных планов, в соответствии с которыми фундаментальная подготовка по образовательным программам пожарно-технического профиля, закрепляемая за ОО ВО Минобрнауки России, дополняется специальными дисциплинами, закрепляемыми за ОО ВО МЧС России.

Сетевые образовательные программы становятся практическим воплощением данного подхода, предусматривая не только совместное использование кадровых, материально-технических, учебно-методических и иных ресурсов, но и получение выпускниками ОО ВО Минобрнауки России двух дипломов — Минобрнауки России и МЧС России. Создание единого пространства практической подготовки, где полигоны и учебные центры МЧС России используются для отработки специальных навыков, лаборатории и центры, в том числе инфраструктура ВУЦ, ОО ВО Минобрнауки России – для освоения современных технологий обеспечения безопасности, включая элементы строевой подготовки, физической выносливости и командного взаимодействия, необходимых для работы в экстремальных условиях. Ключевым элементом единой системы выступает механизм распределения выпускников, основанный на принципах целевой подготовки и учитывающий как личные профессиональные предпочтения потенциальных сотрудников ГПН, так и потребности конкретных территориальных подразделений ГПН.

Управление единой системой осуществляется через Координационный совет, в состав которого на паритетных началах входят представители Минобрнауки России и МЧС России, ОО ВО – участников проекта и, при необходимости, территориальных органов ГПН. Координационный совет утверждает основные параметры совместных образовательных программ (сетевых программ), анализирует результаты мониторинга их реализации, включая оценку уровня профессиональной подготовки выпускников и их дальнейшего профессионального становления. Такой подход обеспечивает не только формальное, но и содержательное единство образовательного процесса, что особенно важно при подготовке специалистов для такой ответственной сферы, как ГПН.

Примером успешной реализации предложенной модели является трехлетний опыт сетевого взаимодействия между Казанским национальным исследовательским техническим университетом им. А.Н. Туполева - КАИ (КНИТУ-КАИ) и Академией гражданской защиты МЧС России (АГЗ) по совместной подготовке кадров для Главного управления МЧС России по Республике Татарстан. В рамках совместной магистерской программы по направлению 20.04.01 Техносферная безопасность студенты зачисляются в базовую организацию КНИТУ-КАИ, организация-участник АГЗ участвует в реализации специальных дисциплин. Учебный процесс строится на принципах равного распределения дисциплин: 50% профильных дисциплин закреплены за АГЗ, остальные 50% - за КНИТУ-КАИ. Важным элементом интеграции является совместная оценка выпускных квалификационных работ обучающихся, когда в состав государственной экзаменационной комиссии на паритетной основе входят представители КНИТУ-КАИ и АГЗ. По окончании магистратуры, обучающиеся получают два диплома, что повышает конкурентоспособность выпускников на рынке труда, расширяет карьерные возможности. Данный опыт демонстрирует эффективность сочетания фундаментальной инженерной подготовки с практико-ориентированным обучением, закладывая основу для дальнейшего расширения подобных инициатив. Подтверждением положительного опыта являются положительные отзывы работодателей, рост числа заявок от абитуриентов.

Таким образом, проведенное исследование выявило системные проблемы кадрового обеспечения территориальных подразделений ГПН, связанные с длительными сроками подготовки специалистов, высокой текучестью кадров и неэффективным использованием потенциала ОО ВО Минобрнауки. В условиях увеличения количества и сложности объектов

надзора, актуализации нормативно-правовой базы, дефицита кадров и, следовательно, роста нагрузки сотрудников ГПН, устоявшаяся модель подготовки кадров для территориальных подразделений ГПН демонстрирует свою ограниченность и несостоятельность.

Предлагаемая модель межведомственной интеграции направлена на синтез фундаментальной подготовки в ОО ВО Минобрнауки России и прикладных навыков, формируемых ОО ВО МЧС России. Ключевыми элементами единой системы подготовки кадров выступают: нормативно-правовая база взаимодействия, консорциум ОО ВО с едиными образовательными стандартами и примерными программами подготовки, сетевые образовательные программы и механизмы целенаправленного (адресного) распределения выпускников.

Реализация предложенного подхода позволит создать устойчивую систему подготовки кадров, обеспечивающую сокращение сроков восполнения кадрового дефицита в территориальных подразделениях ГПН, повышение качества профессиональной подготовки за счет интеграции кадровых, материально-технических, учебно-методических и иных ресурсов, оптимизацию затрат на подготовку кадров.

Предложенный подход открывает новые перспективы для развития системы кадрового обеспечения территориальных подразделений ГПН, обеспечивая баланс между требованиями ФГОС ВО и квалификационными требованиями к специальной профессиональной подготовке, что, в конечном итоге, способствует повышению уровня пожарной безопасности в стране.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожары и пожарная безопасность в 2023 году: информационно-аналитический сборник / В.С. Гончаренко, Т.А. Чечетина, В.И. Сибирко [и др.]. – Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2024. – 110 с. – EDN BSONFO.

2. Государственный надзор МЧС России в 2023 г.: информационно-аналитический сборник / М.В. Загуменнова, К.В. Домрачев, Е.Н. Малемина [и др.]. – Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2024. – 258 с. – EDN FCTSHI.

3. Государственный надзор МЧС России в 2022 г.: Информационно-аналитический сборник / С.В. Глинов, А.. Григорьев, С.А. Дмитриев [и др.]. – Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2023. – 262 с. – EDN JARHLE.

4. Государственный надзор МЧС России в 2021 г.: Информ. сб. / С.В. Глинов, А.А. Григорьев, С.А. Дмитриев [и др.]. – Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. – 263 с. – EDN CAAPCZ.

5. Нехватка инспекторов Госпожнадзора составляет 15 процентов: [офиц. сайт] / Российская газета. – 2024. – 18 июля. – URL: https://rg.ru/2024/07/18/mchs-nehvatka-inspektorov-gospozhnadzora-sostavliaet-15-procentov.html (дата обращения: 20.06.2025).

6. *Кузнецова М.А.* О модели подготовки кадров для государственной противопожарной службы / М.А. Кузнецова, С.Н. Зарипова // Общенаучные проблемы инженерной подготовки кадров МЧС России: Сборник трудов XXXIV Международной научно-практической конференции, Химки, 01 марта 2024 года. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика, 2024. – С. 48-54. – EDN IABOMD.

THE INTERAGENCY COOPERATION IN TRAINING PERSONNEL FOR STATE FIRE SUPERVISION

Kuznetsova M.A.

Supervisor: Zaripova S.N., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article addresses the personnel shortage issue in the State Fire Supervision of Russia's EMERCOM, caused by the limitations of departmental training systems and legal barriers to engaging resources from civilian universities. As a solution, it proposes an interagency cooperation

model based on integrating educational programs, harmonizing regulatory requirements, and implementing modern educational technologies. The implementation of this model will enable rapid replenishment of specialists while maintaining high standards of professional training.

УДК 629.7.02

МОБИЛЬНАЯ МЕТЕОСТАНЦИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА БАЗЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА

Микулёнок А.А.
Научный руководитель: Чёрненький А.В., доцент
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург)

Аннотация. В работе представлен проект мобильной метеостанции для мониторинга погодных условий Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) на базе воздушного судна. Особенность проекта заключается в том, что воздушное судно и всё оборудование рассчитаны на работу в суровых условиях выбранного региона.

Целью настоящего исследования является обоснование концепции мобильной метеостанции для АЗРФ на базе воздушного судна, а также анализ её технических, эксплуатационных и экономических аспектов. Для достижения поставленной цели предполагается решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих технологий мобильных станций.
2. Исследовать особенности использования воздушных судов в качестве платформ для работы в экстремальных условиях.
3. Разработать концептуальную модель мобильной метеостанции, учитывающую требования к автономности и адаптивности.
4. Оценить возможные сценарии применения мобильной станции, включая научные исследования и мониторинг погодных условий.

Научная новизна исследования заключается в предложении инновационного подхода к созданию мобильной станции на базе воздушного судна, способной эффективно функционировать в условиях АЗРФ. Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанных рекомендаций при проектировании и эксплуатации таких станций, что будет способствовать повышению уровня безопасности и эффективности работы в Арктике.

Для начала был изучен существующий самолёт «Росгидромет» (рис.1). Самолет-лаборатория Як-42Д «Росгидромет» — это уникальное воздушное судно, созданное для метеорологических и экологических исследований.

Рис. 1. Як-42Д «Росгидромет»

На борту судна установлено более 140 приборов, включая лазерные измерительные комплексы для анализа аэрозолей, лидары для исследования облаков и аэрозолей, гигрометры для измерения влажности, газоанализаторы для определения концентрации загрязняющих веществ (например, углекислого газа, метана и озона) [1, 2].

Этот самолёт хорошо себя зарекомендовал, однако у него ограниченный ресурс, так как использовался самолёт Як-42Д, снятый с производства в 1994 году. В связи с этим, актуальность проекта современного самолёта, способного выполнять поставленные задачи, высока.

Актуальность разработки специальной мобильной метеостанции

Арктическая зона Российской Федерации представляет собой уникальный, стратегически важный для обеспечения национальной безопасности и экономического развития страны, мегарегион, обладающий огромными природными ресурсами и играющий ключевую роль в экономическом развитии страны. В последние годы внимание к развитию АЗРФ значительно возросло, что обусловлено как внутренними потребностями, так и глобальными изменениями, включая климатические и геополитические факторы.

В АЗРФ полностью входят Мурманская область, Ненецкий, Ямало-Ненецкий и Чукотский автономные округа, муниципалитеты Республик Карелия, Коми, Саха (Якутия), Архангельская область, часть Красноярского края и два района Ханты-Мансийского автономного округа (табл. 1). Население АЗРФ составляет около 2,5 млн. человек (примерно 40 % всего населения Арктики) с тенденцией к сокращению и старению, что требует особого внимания к решению социальных вопросов и развитию инфраструктуры [3].

Таблица 1

Состав регионов Арктической зоны Российской Федерации

Регионы	Население		Площадь		Плотность	Уд. вес гор. населения
	тыс. чел.	место	тыс. км^2	место	чел./ км^2	%
Архангельская область*	1070	47	413,103	12	1,9	78,7
Мурманская область	725	63	144,902	25	5	92
Ненецкий АО	44	85	176,81	19	0,3	74,7
Республика Карелия*	603	69	180,52	17	3,3	81,5
Республика Коми*	803	60	416,774	11	1,9	78,5
Красноярский край*	2849	13	2366,8	2	1,2	77,9
Республика Саха*	992	52	3083,52	1	0,3	67
Чукотский АО	50	84	721,481	6	0,1	71,9
Ямало-Ненецкий АО	552	71	769,25	5	0,7	85,8

* Регионы, не полностью входящие в АЗРФ

Мобильная метеостанция на базе воздушного судна — оптимальное решение для АЗРФ. Она сможет охватывать обширные территории, оперативно передвигаться к зонам интереса и обеспечивать точные данные в условиях, где использование стационарных станций затруднительно. Для столь сложного и обширного региона необходима отдельная станция, занимающаяся сбором данных только в АЗРФ.

Выбор воздушного судна для создания мобильной метеостанции в условиях АЗРФ

В данном анализе будут рассмотрены три самолетов: Ан-26, Ил 114-300 и Сухой Суперджет 100 (SSJ100), чтобы определить, какой из них больше подходит для выполнения задач мобильной метеостанции.

Наиболее важными критериями для выбора являются следующие:

А) *Адаптация к условиям АЗРФ*: необходима возможность эксплуатации при экстремально низких температурах (до -50°C). Воздушное судно должно иметь возможность

взлета и посадки на коротких и плохо подготовленных взлетно-посадочных полосах (ВПП), включая грунтовые аэродромы.

Б) *Вместимость и эргономика*: необходимо обеспечить удобство работы экипажа и оператора метеорологической станции.

В) *Дальность полета*: в условиях работы в АЗРФ острой проблемой является необходимое для прохождения без дозаправки расстояние, так как расстояния между аэродромами в Арктике могут достигать тысячи километров, т.е. необходимо покрытие самолетом значительных территорий без дозаправки.

Г) *Экономичность эксплуатации*: важно учитывать затраты на топливо, обслуживание и модернизацию.

Первый вариант для рассмотрения - самолет **Ан-26** имеет следующие преимущества (рис.2):

• Приспособленность к арктическим условиям: Ан-26 может взлетать и садиться на коротких (от 1200 м) и грунтовых ВПП, что делает его идеальным для удаленных аэродромов в АЗРФ.

• Грузоподъемность: 5,5 тонн, достаточно для размещения оборудования и экипажа.

• Простота обслуживания: широко используется в северных регионах, доступен для ремонта.

Однако значительными недостатками является то, что Ан-26 - довольно возрастная модель и требует модернизации электроники и систем для выполнения требований соответствия современным стандартам, имеет ограниченную дальность полета (до 2500 км) [4].

Рис. 2. Самолет Ан-26

Второй вариант для рассмотрения - **Сухой Суперджет 100 (SSJ100)** (рис.3).

Среди его преимуществ по сравнению с Ан-26 можно выделить следующие: грузоподъемность до 10 тонн, что обеспечивает возможность установки большого объема оборудования, дальности полета до 4320 км, что является критически важным параметром для арктических маршрутов.

Однако SSJ 100 требуется ВПП длиной не менее 1800 м, что ограничивает количество возможных для использования аэродромов, кроме того, самолет не рассчитан на грунтовые аэродромы без серьезных доработок [5].

Рис. 3. Самолет SSJ 100

Третий вариант для рассмотрения - **Ил 114-300** (рис.4).

Самолет Ил-114-300 является модернизированной версией турбовинтового самолета Ил-114. Воздушное судно создается специально для отечественных местных авиалиний, в том числе для использования в регионах со слабой аэродромной инфраструктурой и сложными климатическими условиями: труднодоступных районах Севера, Дальнего Востока и Сибири. Его преимущества заключаются в большей, нежели у Ан-26 грузоподъемности, равной 6,8 тонны, большой дальности полета, до 5000 км, что позволит охватывать обширные территории АЗРФ без дозаправки. Данный самолет приспособлен к коротким ВПП и требует длины полосы от 1300 м, включая укрепленные грунтовые аэродромы, в отличие от SSJ 100 [6].

Рис. 4. Самолет Ил 114-300

Ниже предоставлена таблица со сравнительными характеристиками самолетов, рассматриваемых как база для мобильной метеостанции (табл.2).

Таблица 2

Характеристики самолетов

Характеристика/тип самолета	Ан-26	SSJ 100	Ил 114-300
Грузоподъемность, т	5,5	10	6,8
Дальность полета, км	2500	4320	5000
Необходимая длина ВПП, м	1200	1800	1300

Из приведенного выше анализа можно сделать вывод, что SSJ100 подходит для работы в АЗРФ только при наличии развитой аэродромной инфраструктуры, Ан-26 самый старый из рассматриваемых, и его характеристики хуже, чем у Ил 114-300. Таким образом, самолет Ил-114-300 послужит базой для метеостанции, предназначенной для работы в АЗРФ.

После определения типа самолёта, следует перейти к выбору необходимых приборов с учётом характеристик самолёта.

Выбор приборов для оснащения мобильной метеостанции в условиях АЗРФ

Для успешного выполнения задач по мониторингу погодных условий в АЗРФ необходимо оснастить самолет специализированным измерительным оборудованием, которое будет отвечать следующим требованиям:

Высокая точность измерений:

- Температура: ±0,3 °C.
- Атмосферное давление: ±0,05 кПа.
- Влажность ±3 %.

Устойчивость к экстремальным условиям АЗРФ:

Температурный диапазон: от -50 °C до +50 °C.

Устойчивость к обледенению, вибрации и низкому давлению [1].

Были рассмотрены предложения от таких производителей, как АО «НПП «Радар ммс» (далее- «Радар ммс») [7], ОАО «Пеленг» [8], «Sokol Meteo» [9], Vaisala [10], ООО «Инженерные технологии» [11], ООО «Техавтоматика» [12].

В первую очередь проводился выбор датчиков температуры. Результаты сравнения датчиков разных производителей по показателям представлены в таблице 3.

Таблица 3

Характеристики датчиков температуры

Характеристики датчиков/ производители	Радар ммс	Сокол-М	АО «Пеленг»	Vaisala
Диапазон измеряемых температур, ℃	-60 – +60	-60 – +55	-60 – +60	-40 – +60 -70 – +180
Погрешность измерения температуры, ℃	до 0,2	до 0,4	до 0,6	до 0,5
Интерфейс связи	RS-485	RS-485, LLS	V.23, RS-485	неизвестен
Напряжение питания, В	7 – 35	5 – 30	24	12 – 28
Масса, кг	0,15	1,5	3	1,52
Рабочий диапазон влажности, %	0 – 100	1 – 100	2 – 98	10 – 90

Наиболее предпочтительным выбором является «АРИДА» (ДТВВ-01) от компании Радар ммс. Данный датчик обладает наименьшей из предложенных датчиков массой, наименьшую погрешность измерений, большой температурный диапазон работы.

Характеристики датчиков атмосферного давления представлены в Таблице 4.

Таблица 4

Характеристики датчиков давления

Характеристики датчиков/ производители	ООО «Инженерные технологии»	Vaisala	Радар ммс	Сокол-М
Диапазон измерения давления, кПа	30 – 110	50 – 110	50 – 110	54 – 110
Предел погрешности, кПа	0,2	0,15	0,005	0,005
Диапазон рабочих температур, ℃	От -20 до +60	От -40 до +60	От -60 до +60	От -60 до +55
Рабочий диапазон влажности, %	От 5 до 95	От 0 до 100	От 0 до 98	От 1 до 100
Масса, кг	0,095	0,035	1,2	1,5
Напряжение питания, В	5	От 10 до 30	От 10 до 36	От 5 до 30
Стоимость, руб.	9500	112000	Не указана	От 120000

Следует отдать предпочтение датчику «Атмос» производства компании «Радар ммс». Он имеет больший температурный диапазон работы при идентичных разрешительных характеристиках измерения атмосферного давления по сравнению с барометром PTB110 от компании Vaisala и лучшими в сравнении с измерителем Сокол-ТДВ рабочим температурным диапазоном, диапазоном измерения атмосферного давления и обладает небольшой массой.

Характеристики датчиков влажности показаны в таблице 5.

Таблица 5

Характеристики датчиков влажности

Характеристики датчиков/производители	Радар ммс	SokolMeteo	АО «Пеленг»	Техавтоматика
Измеряемые значения влажности воздуха, %	0 – 100	От 1 до 100	От 2 до 99	От 5 до 98
Погрешность измерений влажности, %	3	5	5	7,5
Рабочий температурный диапазон, ℃	-60 – +60	-60 – +60	-60 – +60	-40 – +50
Напряжение питания, В	7 – 35	5 – 30	24	Не указан
Масса, кг	0,15	1,5	1,2	0,4

Датчик производства «Радар ммс» имеет наибольший диапазон измерений, наибольший рабочий температурный диапазон и наименьшее значение погрешности измерений, что является основанием для выбора его как датчика для интеграции в мобильную метеорологическую станцию на базе воздушного судна.

Таким образом, на данном этапе исследования было выбрано три прибора. Однако у данного проекта есть огромный потенциал для развития.

Расположение гондолы на самолете и определение местоположения датчиков

После выбора приборов было определено их расположение, показанное на рисунке 5.

Рис. 5. Расположение гондолы на самолете и датчиков в ней

Для размещения оборудования для сбора, обработки и передачи информации, а также обеспечения постоянного контроля за работой метеостанции, салон воздушного судна переоборудуется в технический отсек. В переоборудованной зоне проводят следующие изменения: демонтируют пассажирские сиденья, устанавливают кресло оператора с авиационным креплением, монтируют антивибрационный стол или стойку с мониторами, прокладывают линии электропитания от бортовой электросети (27 В), обеспечивают локальное освещение (рис. 6).

Это позволяет обеспечить оперативный контроль параметров, быструю диагностику состояния оборудования, возможность для специалиста анализировать показания метеорологических датчиков во время полёта.

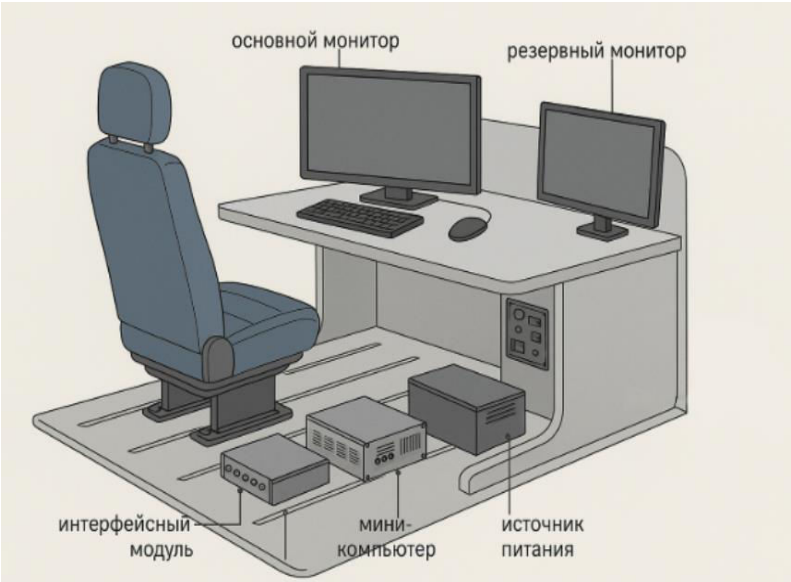


Рис. 6. Место оператора метеостанции

Также предлагается интегрировать в фюзеляж самолета термометр, датчик давления и показатель значения напряжения для контроля скачков напряжения, разгерметизации салона и иных факторов, способных повлиять на работу метеостанции. Например, предлагается интегрировать комнатный датчик температуры и влажности ПВТ 10 производства компании ОВЕН, имеющий номер в госреестре 86049-22 [13, 14].

Помимо места оператора метеостанции разработана схема подключения измерительных датчиков к компьютеру (рис. 7).

Рис.7. Схема подключения измерительных датчиков к компьютеру

Дополнительно были рассмотрены следующие вопросы: способ передачи данных в центр обработки, блок-схема для разработки программного обеспечения, аэропорты для базирования и технического обслуживания самолёта. К сожалению, ограничения размера статьи не позволяют привести подробное описание данных вопросов.

Заключение

Рассмотрены специфические погодные условия Арктической зоны РФ, что определяет актуальность поставленной задачи. В ходе работы проведен анализ и выбор воздушного судна, пригодного для работы в сложных погодных условиях АЗРФ в качестве базы для метеостанции, проведен анализ и выбор требуемого современного оборудования метеостанции: датчиков температуры, влажности, давления. Изучены процессы получения и передачи информации с датчиков. Рассмотрена организация безопасного рабочего места для оператора метеостанции, разработаны схемы расположения внешней гондолы для приборов и рабочего места оператора на борту самолёта. Данная метеостанция обеспечит оперативность получения данных о погоде, позволит повысить безопасность, качество и сократит время движения для авиации, морских судов и наземного транспорта, улучшит процесс обмена метеоданными между субъектами АЗРФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Самолёт-лаборатория ЯК-42Д «РОСГИДРОМЕТ» в системе геофизического мониторинга состояния окружающей среды. - Текст: электронный. – 2025. – URL: http://www.cao-rhms.ru/oisa/брошюра%20самолет_х.pdf (дата обращения: 25.06.2025).

2. Новая летающая лаборатория: самолет Як-42Д для исследования атмосферы. - Текст: электронный. Naked Science. – 2023. – URL: https://naked-science.ru/article/tech/novaya-letayushchaya-laborator (дата обращения: 25.06.2025).

3. Арктическая зона Российской Федерации. - Текст: электронный. – 2025. – URL: https://neftegaz.ru/tech-library/transportirovka-i-khranenie/668885-arkticheskaya-zona-rossiyskoy-federatsii-azrf-/ (дата обращения: 25.06.2025).

4. Ан-26. - Текст: электронный. – 2025. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Ан-26 (дата обращения: 25.06.2025).
5. Superjet-100. - Текст: электронный. // Объединённая авиастроительная корпорация (ОАК). – URL: https://www.uacrussia.ru/ru/aircraft/lineup/civil/sukhoi-superjet-100/ (дата обращения: 25.06.2025).
6. Ил-114-300. - Текст: электронный. // Объединённая авиастроительная корпорация (ОАК). – URL: https://www.uacrussia.ru/ru/aircraft/lineup/civil/il-114-300/ (дата обращения: 25.06.2025).
7. НПП «Радар ММС» – Метеооборудование и комплексы. - Текст: электронный. – 2025. – URL: https://radar-mms.com/ (дата обращения: 25.06.2025).
8. ОАО «Пеленг» – Официальный сайт. - Текст: электронный. – 2025. – URL: https://peleng.by/ (дата обращения: 25.06.2025).
9. Sokol Meteo – Метеорологические приборы. - Текст: электронный. – 2025. – URL: https://sokolmeteo.ru/ (дата обращения: 25.06.2025).
10. Vaisala – Метеорологические измерения. - Текст: электронный. – 2025. – URL: https://www.vaisala.com/ (дата обращения: 25.06.2025).
11. ООО «Инженерные технологии» – Системы контроля и автоматизации. - Текст: электронный. – 2025. – URL: https://e-t-a.org/ (дата обращения: 25.06.2025).
12. ООО «Техавтоматика» – Приборы и датчики. - Текст: электронный. – 2025. – URL: https://t-a-e.ru/ (дата обращения: 25.06.2025).
13. Компания ОВЕН – Автоматизация, измерение, управление. - Текст: электронный. – 2025. – URL: https://owen.ru/ (дата обращения: 25.06.2025).
14. Федеральная государственная информационная система «Аршин». - Текст: электронный. – 2025. – URL: https://fgis.gost.ru/ (дата обращения: 25.06.2025).

A MOBILE WEATHER STATION FOR MONITORING THE WEATHER CONDITIONS OF THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION BASED ON AN AIRCRAFT

Mikulenok A.A.
Supervisor: Chernenkii A.V., Associate Professor.
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg)

Abstract. The paper presents a project of a mobile weather station for monitoring the weather conditions of the Arctic zone of the Russian Federation based on an aircraft. The special feature of the project is that the aircraft and all the equipment are designed to operate in the harsh conditions of the selected region.

УДК 614.8:622.276

О НАПРАВЛЕНИЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Минязев А.Н., Зарипов Р.Ф.
Научный руководитель: Зарипова С.Н., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье представлена статистика аварий и несчастных случаев на опасных производственных объектах крупных нефтегазовых компаний РФ, приведены результаты научных исследований, посвященных вопросам обеспечения производственной безопасности на предприятиях нефтегазовой отрасли.

Нефтяная и газовая промышленность является ключевой отраслью в экономике и энергетической системе РФ. Предприятия данного комплекса обеспечивают энергоресурсы,

поддерживая работоспособность промышленности, транспорта и бытового потребления. Однако, данная отрасль сопряжена со множеством рисков и угроз, которые могут привести к инцидентам и авариям. Эти риски включают в себя как технологические, так и экологические аспекты. Технические сбои, утечки и аварии могут нанести серьезный ущерб окружающей среде и здоровью людей. Кроме того, работа в этой отрасли часто связана с опасными условиями для работников, включая риск взрывов и пожаров. Экологические последствия могут включать загрязнение воды, почвы и воздуха, что в свою очередь влияет на биоразнообразие и жизнедеятельность экосистем.

Нефтегазовые компании занимаются рядом процессов, которые обеспечивают получение и доставку углеводородов. В первую очередь, они осуществляют поиск и исследование потенциальных месторождений нефти и газа. После этого начинается разработка этих месторождений, что включает бурение скважин для извлечения ресурсов из земных недр. Далее следует процесс добычи, в ходе которого нефть и газ извлекаются на поверхность. Полученное сырье затем подвергается переработке, чтобы отделить и очистить различные компоненты. Завершающим этапом является транспортировка, при которой переработанные продукты доставляются к местам потребления через трубопроводы, морские танкеры или другие виды транспорта.

В российской нефтегазовой индустрии ключевыми операторами, обеспечивающими основные объемы добычи углеводородов, выступают компании «Роснефть», «Лукойл», «Газпром», «Сургутнефтегаз», «Татнефть», «РуссНефть» и «Новатек» (рис. 1). Эти предприятия играют центральную роль в экономике страны, внося значительный вклад в производство и экспорт энергоресурсов.

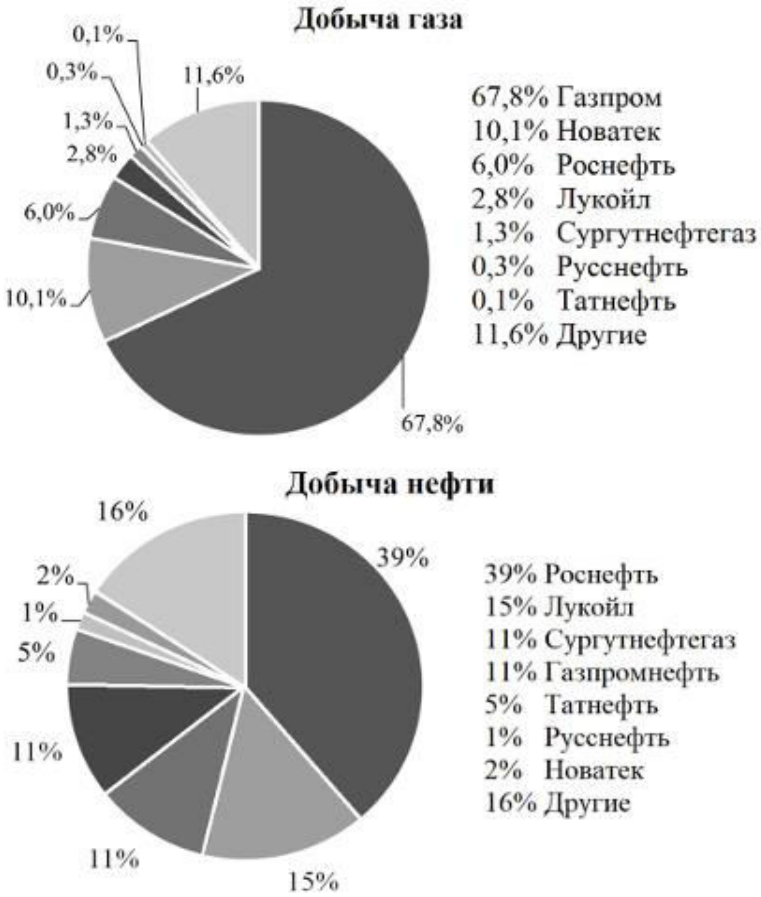


Рис. 1. Доли добытой нефти и газа компаниями [1]

В российском нефтегазовом комплексе насчитывается более 81 594 опасных объекта, включая нефтехимическую и нефтегазоперерабатывающую промышленность, магистральный

трубопроводный транспорт, газораспределение и газопотребление. В 2022 году зафиксировано 42 аварии, что аналогично 2021 году, причем более половины произошли на объектах III класса опасности. В сфере нефтегазодобычи наблюдается снижение аварийности до 12 случаев, однако многие из них связаны с открытыми фонтанами. В перерабатывающей промышленности число аварий возросло до 11, причем половина инцидентов привела к разрушению сооружений. В сегменте трубопроводного транспорта аварийность увеличилась до 7 случаев, все они сопровождались разрушением конструкций. В газораспределении количество аварий осталось на уровне 12, из которых 33% привели к повреждениям и взрывам. Основные причины аварий связаны с человеческими ошибками и износом оборудования. В 2022 году произошло 18 несчастных случаев с 29 погибшими, что превышает показатели 2021 года [2].

Исходя из вышесказанного, для снижения аварийности необходимо усиление профилактических мер, обучение персонала, разработка и внедрение современных технологий и оборудования, а также автоматизированных систем, направленных на снижение вероятности аварий, минимизацию их последствий и повышение оперативности в локализации аварийных ситуаций.

В настоящее время в нефтегазовую промышленность стремительным темпом интегрируются системы автоматизации процесса. Данный факт подтверждают результаты исследования Шарул Хан, Маджид Аль-Бусафи, Амджед Аль-Тухлик, Саджад Сиддики [3-4].

С 2018 года наблюдается резкий рост использования искусственного интеллекта и систем машинного обучения в нефтегазовой отрасли (рис. 2). Однако, лишь малая доля направлена на распознавание будущих аварий и инцидентов. Китай занимает лидирующие позиции в этих направлениях (рис. 3). Российская Федерация, в свою очередь, не отстаёт от других стран, однако, как и во всем мире существует необходимость развития в области интегрирования автоматизированных систем в промышленную безопасность.

Поиск, разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений не обходится без бурения новых скважин. Наибольшую опасность данный процесс представляет на ранних стадиях жизни месторождения, так как присутствуют геологические неопределённости касательно пластового давления, расположения пласта коллектора и характера расположенного в нем флюида (нефть, газ, вода). Текущие технологии и знания специалистов в области геологоразведки и разработки месторождений позволяют снизить данные неопределенности до приемлемого уровня, но, к сожалению, не снижают вероятность ошибки до нуля. Наибольшую опасность при бурении скважин представляет газонефтеводопроявление (далее – ГНВП) с последующим открытым фонтанированием.

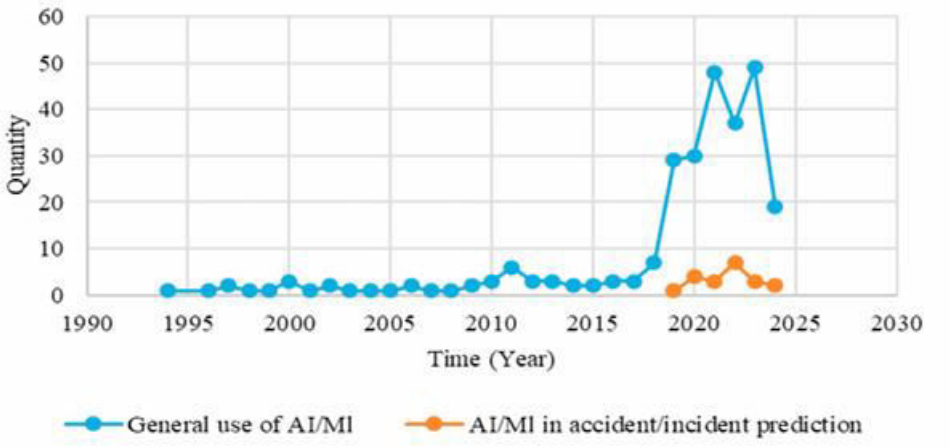


Рис. 2. Динамика количества опубликованных статей с использованием искусственного интеллекта/машинного обучения, в том числе
по вопросам прогнозирования аварий в нефтегазовом секторе [3]

Аварии с открытыми фонтанами при строительстве и эксплуатации скважин являются серьезной угрозой из-за возможности значительного материального ущерба и риска для жизни людей. Даже небольшие утечки могут перерасти в открытые фонтаны с возгоранием, что особенно опасно на месторождениях, содержащих сероводород, или в экологически чувствительных районах, таких как континентальный шельф. Основной риск связан с превышением давления пластовых флюидов над скважинным забойным давлением, которое может привести к разгерметизации оборудования и образованию взрывоопасной топливно-воздушной смеси.

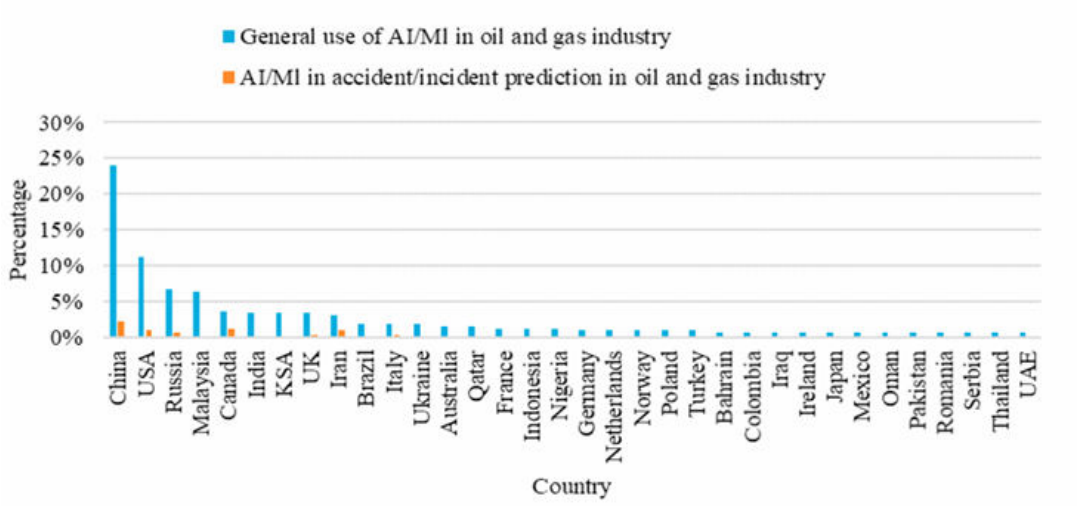


Рис. 3. Количество опубликованных статей за 1995-2024 годы в разрезе стран с использованием AI/ML по проблемам в нефтегазовом секторе [4]

Существует несколько факторов, способствующих таким авариям. Во-первых, нарушение рабочих регламентов и проведение некорректных расчетов жидкости глушения может привести к утечке скважинной продукции и последующему возгоранию, а при несвоевременном реагировании – к пожару и взрыву. Во-вторых, физический износ абразивными частицами горных пород и коррозия оборудования, усугубляемые перепадами температур, могут вызвать аварийную разгерметизацию. Хотя коррозионные повреждения часто обнаруживаются на стадии опрессовки, несвоевременное техническое обслуживание может привести к серьезным последствиям. В-третьих, перебои в подаче энергоресурсов обычно не вызывают серьезных последствий благодаря дублирующим системам, но представляют риск при задержках в их восстановлении [5].

Помимо ГНВП при бурении возможны следующие осложнения, приводящие к инцидентам: разрушения стенки ствола скважины; потеря циркуляции бурового раствора; разрушения компоновки низа бурильной колонны, породоразрушающего инструмента – долота, разрыв бурильной/обсадной колонны; прихваты бурильной/колонны и т.д.

Учитывая сложность технологического процесса бурения и отдаленность опасного производственного объекта, было сложно представить, что возможно реализовать алгоритмы для предсказания инцидентов и аварий. Однако, С. Бороздин в своей работе провел 86 экспериментов для обучения и проверки нейронной сети с целью прогнозирования предаварийных ситуаций при бурении на буровом тренажере таких как, прихват бурильной колонны в следствии накопления бурового шлама в кольцевом пространстве, поглощение бурового раствора, выброс и ГНВП. Для решения задачи прогнозирования были применены различные подходы, включая регрессионный метод и классификация по одному классу. Разработанный программный модуль использует методы машинного обучения и искусственных нейронных сетей, в частности, рекуррентные нейронные сети с архитектурой долговременной кратковременной памяти (LSTM). Точность предсказания возможных инцидентов составила 89% [6].

Большое количество инцидентов приходится на транспортировку нефти и газа. В исследовании 27% аварий связаны с возникновением трещин в трубопроводах, 18% вызваны коррозией, 9% происходят из-за износа труб, еще 9% связаны с деформацией труб вследствие усталости металла и столько же процентов обусловлены деформацией из-за перепадов температур. Кроме того, 14% аварий происходят из-за неисправностей в запорной арматуре, таких как выход из строя задвижек, разрушение шаровых кранов и разгерметизация соединений изолирующих деталей с фланцами подводящих газопроводов. Еще 14% аварий связаны с повреждениями труб [7].

В исследовании М.В. Биезмаа, М.А. Андресб, Д. Агудоа, Э. Бризк [8] проведен анализ наиболее серьезных аварий на нефтегазопроводах с целью выявления ключевых причин и извлечения уроков для повышения безопасности инфраструктуры. Несмотря на то, что трубопроводы считаются относительно безопасным способом транспортировки нефти и газа, аварии продолжают происходить, вызывая значительные человеческие, экономические и экологические потери. Исследование охватывает 23 крупные катастрофы, в результате которых погибло более 4,3 тыс. человек, причем наибольшее число жертв зафиксировано в период с 1984 по 2006 год. Это свидетельствует о необходимости модернизации устаревших систем контроля и усиления надзора за состоянием трубопроводов. Основные причины аварий включают вандализм (43% случаев), ошибки в управлении и эксплуатации (15%) и коррозию (15%). Вандализм, особенно в африканских странах, часто связан с попытками кражи топлива, что приводит к возгораниям и взрывам, как это произошло в Лагосе в 1998 году. Ошибки в управлении проявляются в неадекватных мерах реагирования на утечки, как в случае с аварией в Уфе в 1989 году. Коррозия, в свою очередь, приводит к разрушению трубопроводов, как это было в Сан-Хуанико в 1984 году. Исследование подчеркивает необходимость внедрения более эффективных систем мониторинга и обнаружения утечек, совершенствования технического обслуживания трубопроводов и разработки строгих стандартов проектирования и эксплуатации. Кроме того, акцентируется внимание на важности прозрачности и доступности данных об авариях для предотвращения повторения подобных катастроф, что в совокупности может способствовать созданию более безопасной и надежной системы транспортировки нефти и газа [8].

В области автоматизации производственной безопасности транспорта нефти и газа было реализовано множество исследований. Одно из таких исследований изложено в статье [9], в котором представлен систематический обзор использования методов машинного обучения для прогнозирования отказов трубопроводов в нефтегазовой отрасли.

Машинное обучение, включая искусственные нейронные сети, методы опорных векторов и гибридные алгоритмы, предоставляет эффективные инструменты для раннего выявления рисков отказов трубопроводов, обеспечивая более высокую точность и экономическую эффективность по сравнению с традиционными методами. В частности, рассматриваются типы прогнозируемых дефектов, такие как коррозия (30% всех отказов), механические повреждения (25%) и повреждения от третьих лиц (33%). Основные сложности связаны с качеством данных, выбором алгоритмов и интеграцией инженерных знаний [9].

Авторы статьи отмечают, что гибридные алгоритмы демонстрируют лучшую производительность в сравнении с отдельными моделями машинного обучения. Для обучения этих моделей часто используются полевые данные, что подчеркивает важность их надежности. В будущем предполагается расширенное использование машинного обучения для прогнозирования менее изученных типов отказов, таких как дефекты сварки и природные повреждения. Также рекомендуется интеграция глубинного обучения и реальных данных в системы непрерывного мониторинга для повышения точности и эффективности управления рисками. Программное обеспечение, включающее искусственные нейронные сети, сверточные нейронные сети, методы опорных векторов и гибридные методы, демонстрирует высокий потенциал для повышения точности прогнозов в этих областях.

Также стоит отметить работу, посвященную разработке механизма комплексной оценки риска аварийных ситуаций в нефтегазовой промышленности [10]. Автор исследует

сочетание экологических, экономических и социальных рисков, которые возникают при авариях, и предлагает использовать нейросетевые технологии для анализа и прогнозирования.

Основное внимание уделено надежности нефтепроводов и оценке их уязвимости с учетом внешних факторов, таких как термокарстовые процессы, и внутренних факторов, таких как коррозия и износ оборудования. Особенность работы заключается в применении нейросетевого моделирования для выявления и ранжирования участков с повышенной аварийной опасностью. Это позволяет детализировать анализ рисков, включая прогноз возможного ущерба и вероятность аварий. Апробация метода была проведена на объектах ПАО «Транснефть», где предложенный подход доказал свою эффективность в повышении точности прогнозов и обосновании затрат на ремонт. Такой подход может быть интегрирован в системы управления и мониторинга для улучшения безопасности нефтегазовых объектов.

Нефтегазоперерабатывающее производство также подвержена производственным инцидентам и авариям. Анализ аварийности на нефтеперерабатывающих и газопотребляющих предприятиях выявил, что уровень промышленной безопасности остается ключевой проблемой отрасли. Несмотря на снижение общего количества аварий на 29% благодаря новым регуляторным мерам и технологическим модернизациям, объекты 1 класса опасности продолжают демонстрировать наибольшее количество инцидентов, что подчеркивает необходимость усиленного контроля. Среди наиболее распространенных причин аварий за 8-летний период выделяются пожары (46,35%), взрывы (27,75%) и выбросы опасных веществ (25,9%), при этом наибольшее количество летальных случаев зафиксировано в нефтегазоперерабатывающей отрасли.

В газораспределительных сетях доминируют механические повреждения подземных трубопроводов, коррозия и неисправность сварных соединений, что указывает на необходимость улучшения контроля за состоянием оборудования и повышения квалификации персонала. Авторы заключают, что для дальнейшего снижения аварийности необходима комплексная работа предприятий и надзорных органов, включая внедрение современных технологий мониторинга, разработку эффективных программ технического обслуживания и расширение мер по минимизации последствий аварий. Интеграция таких мер позволит не только снизить риски аварий, но и повысить оперативность реагирования, минимизируя ущерб для персонала, окружающей среды и экономики [11].

Из представленного обзора можно сделать вывод о том, что наибольшее количество аварий и инцидентов происходит на опасных производственных объектах III класса опасности. Наибольшую опасность представляют технологические процессы, связанные с нефтегазодобычей и транспортировкой нефти и газа. В соответствии с результатами научных исследований отечественных и зарубежных ученых перспективными направлениями снижения аварий и инцидентов в нефтегазовой отрасли являются автоматизация технологических процессов, использование искусственного интеллекта и систем машинного обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Нехрест-Бобкова А.А.* Механизм комплексной оценки риска аварийной ситуации на предприятии нефтегазовой промышленности: диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук. - М., 2021.

2. *Кобак, Е.А*. Аварийность в нефтегазовой отрасли / Е.А. Кобак, А. Р. Краснова // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2023. – № 10. – С. 239-240. – EDN CAJJSU.

3. *Khan A. et al.* Accident and Incident Analysis in the Oil and Gas Sector Using Artificial Intelligence and Machine Learning //Procedia Computer Science. – 2024. – Т. 251. – С. 295-302.

4. *Khan A. et al.* Accident and Incident Analysis in the Oil and Gas Sector Using Artificial Intelligence and Machine Learning //Procedia Computer Science. – 2024. – Т. 251. – С. 295-302.

5. *Рахимова Н.Н*. Безопасность нефтяной и газовой промышленности: учебное пособие для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 20.03. 01 Техносферная безопасность. – 2019.

6. *Borozdin S. et al*. Drilling problems forecast system based on neural network //SPE annual Caspian technical conference. – SPE, 2020. – С. D023S013R008.

7. *Bol'shakov A., Zakharova M.* Operational risks for gas pipelines at low temperatures //Russian Engineering Research. – 2016. – Т. 36. – № 1.

8. *Biezma M.V.* et al. Most fatal oil & gas pipeline accidents through history: A lessons learned approach //Engineering failure analysis. – 2020. – Т. 110. – С. 104446.

9. *Al-Sabaeei A.M. et a*l. Prediction of oil and gas pipeline failures through machine learning approaches: A systematic review //Energy Reports. – 2023. – Т. 10. – С. 1313-1338.

10. *Нехрест-Бобкова А.А*. Механизм комплексной оценки риска аварийной ситуации на предприятии нефтегазовой промышленности: диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук. - М., 2021.

11. *Zotov M., Ponikarova A.* Accident analysis at oil refining and gas consumption facilities //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 417. – С. 04002.

ON SAFETY ASSURANCE DIRECTIONS IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

Minyazev A.N., Zaripov R.F.

Supervisor: Zaripova S.N., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article presents statistics on accidents and accidents at hazardous production facilities of large oil and gas companies in the Russian Federation, and presents the results of scientific research on industrial safety at oil and gas industry enterprises.

УДК 504.75/620.9

ОЦЕНКА УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ТВЕРДООКСИДНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА

Мозжегорова Ю.В.

(Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь)

Аннотация. В качестве объекта исследования была использована опытная энергетическая установка на основе твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) мощностью 2,5 кВт, разработанная и изготовленная в России. На основании оценки углеродного следа рассматриваемой энергоустановки на основе ТОТЭ было определено, что основной вклад вносит этап эксплуатации (около 70 %), при этом общий углеродный след составил 516,9 г CO_2-экв./кВт*ч.

Развитие промышленного производства и транспорта, процессы урбанизации обуславливают увеличение энергопотребления. В связи со сложностью территориальной структуры российской энергетики в настоящее время актуальной задачей развития является распределенная генерация, когда электрическая и/или тепловая энергия генерируются непосредственно в месте ее потребления, а мощность генераторов выбирается, исходя из потребностей локальных потребителей.

В последние годы вырос интерес к энергетическим установкам (ЭУ) на основе ТОТЭ, которые могут эксплуатироваться в различных территориальных и климатических условиях. В топливных элементах реализуется процесс превращения химической энергии топлива в электрическую, без процесса горения топлива, который происходит с большими тепловыми потерями и связан с выбросами загрязняющих веществ. Кроме того, ТОТЭ компакты, бесшумны, характеризуются низким воздействием на окружающую среду, могут работать на разных видах топлива (бензин, метанол, природный газ и пр.) [1].

Энергоустановки на ТОТЭ могут иметь мощность от нескольких десятков Вт до нескольких МВт, что делает возможным их применение как в жилищно-коммунальной сфере,

так и промышленности. Кроме того, энергоустановки на ТОТЭ способны работать в непрерывном автономном режиме в широком диапазоне температур окружающей среды от плюс 30 ℃ до минус 40 ℃, характеризуются компактностью и топливной гибкостью, высокой энергоэффективностью. ТОТЭ могут быть успешно интегрированы в единую систему с другими энергоустановками (газотурбинные установки, дизельные генераторы, тепловые насосы, ветрогенераторы, солнечные энергоустановки). Себестоимость генерируемой ими электроэнергии ниже, чем у других типов топливных элементов, в которых используются дорогостоящие катализаторы (платина и пр.) [2].

На энергетический сектор приходиться наибольшее количество выбросов парниковых газов (ПГ) в России, в том числе 7% мировых выбросов углекислого газа [3]. ТОТЭ за счет высокого КПД (до 60 % по электрической энергии) позволяют снизить удельные выбросы парниковых газов на единицу генерируемой энергии, однако необходимо учитывать выбросы от производства самой установки.

С целью оценки углеродного следа использования топлива в энергетической установке на основе ТОТЭ необходимо учитывать этапы жизненного цикла топлива и энергоустановки [4]. Энергетические установки на основе ТОТЭ, представляют собой сложные технические системы, что затрудняет проведение оценки их жизненного цикла на каждом этапе. Важно определить, какие этапы, материалы, ресурсы следует включать или исключать из оценки жизненного цикла.

На рисунке 1 представлен жизненный цикл топлива и энергоустановки на основе ТОТЭ, пересекающиеся на этапе эксплуатации.

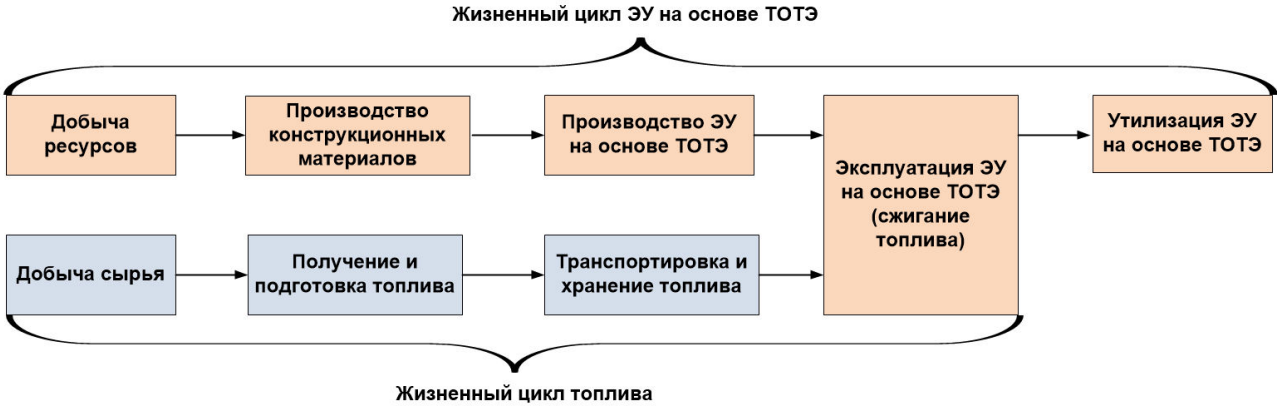


Рис.1. Жизненный цикл топлива и энергоустановки на основе ТОТЭ.

При проведении оценки жизненного цикла энергетической установки на основе ТОТЭ необходимо учитывать этапы ее производства, производства топлива и электрической энергии, а также эксплуатации и окончания срока службы [5, 6]. Все этапы жизненного цикла в совокупности влияют на выбросы парниковых газов.

В качестве объекта исследования была выбрана опытная энергетическая установка на ТОТЭ мощностью 2,5 кВт, разработанная и изготовленная в России. Энергоустановка предназначена для использования в удаленных населенных пунктах и промышленных объектах (например, предприятиях нефтегазового сектора). Общий вид установки на ТОТЭ мощностью 2,5 кВт представлен на рисунке 2.

Энергетическая установка на основе ТОТЭ состоит из корпуса, высокотемпературного блока (ВТБ), системы управления, прочего вспомогательного оборудования (система подачи газа, насосы, фильтры, счетчики и т.д.). Получение синтез-газа для ТОТЭ осуществляется путем риформинга природного газа, где в качестве окислителя могут использоваться кислород воздуха, пары воды, углекислый газ или сочетание перечисленных окислителей [7]. КПД с учетом собственных нужд составляет не менее 48%.

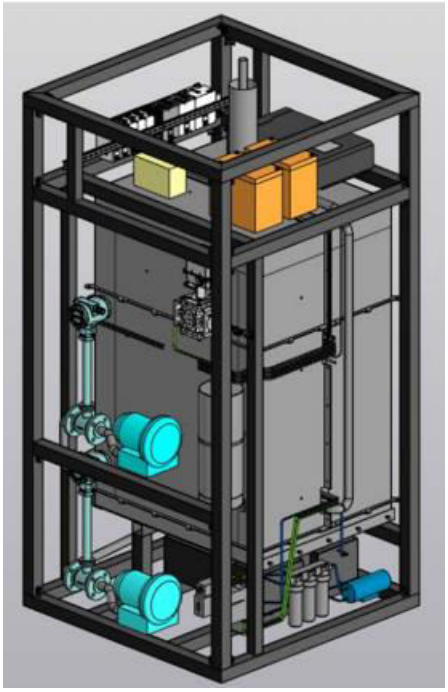


Рис. 2. Общий вид энергетической установки на ТОТЭ мощностью 2,5 кВт [7]

Оценка углеродного следа энергоустановки на основе ТОТЭ при ее производстве и использовании в условиях Российской Федерации, была проведена согласно методологии, описанной в ранее опубликованных исследованиях [8]. Границы системы ЖЦ энергоустановки включали производство материалов, в том числе их обработку, сборку и монтаж, эксплуатацию на разных видах топлива (природный газ, водород) и утилизацию отходов после окончания службы энергоустановки.

В таблице 1 представлены результаты оценки углеродного следа на этапах жизненного цикла энергетической установки на основе ТОТЭ на кВт*ч произведенной электроэнергии.

Таблица 1

Углеродный след на этапах жизненного цикла энергетической установки на основе ТОТЭ

Ресурсы, материалы, г $CO_{2\text{-экв.}}$/кВт*ч	Этап жизненного цикла				
	Производство ЭУ	Сборка и монтаж ЭУ	Эксплуатация ЭУ (природный газ)	Эксплуатация ЭУ (водород)	Утилизация ЭУ
Производство материалов	110,2	-	-	-	-
Обработка материалов	34,9	-	-	-	-
Энергетические ресурсы	-	39,0	-	-	-
Производство природного газа	-	-	60,6	-	-
Использование природного газа	-	-	307	-	-
Производство водорода	-	-	-	197,7	-
Отходы	-	-	-	-	2,7
Общее	145,1	39,0	367,6	197,7	2,7

На основании оценки углеродного следа рассматриваемой энергоустановки на основе ТОТЭ было определено, что основной вклад вносит этап эксплуатации (около 70%). Соответственно, выбросы парниковых газов энергоустановки определяются видом используемого топлива. Выбросы ПГ при использовании природного газа в энергоустановке оценивались на основе расхода, состава топлива, углеродного следа его производства и сгорания [9, 10]. Выбросы ПГ при использовании водородного топлива в энергоустановке на основе ТОТЭ рассчитывались на основе расхода водорода и углеродного следа водорода, полученного методом электролиза воды с использованием возобновляемых источников энергии [11].

Углеродный след производства энергоустановки составил 145,1 г CO_2-экв./кВт*ч, большую часть которого составило производство необходимых материалов. Наименьший углеродный след среди рассмотренных этапов жизненного цикла составил этап утилизации – 2,7 г CO_2-экв./кВт*ч.

Результаты оценки углеродного следа рассматриваемой энергоустановки на основе ТОТЭ мощностью 2,5 кВт показывают, что полученные значения углеродного следа (384,5-516,9 г CO_2-экв./кВт*ч), сопоставимы с данными по другим энергоустановкам. Следовательно, рассматриваемая энергоустановка на основе ТОТЭ может быть эффективна в контексте снижения выбросов парниковых газов.

Исследование проведено при финансовой поддержке Минобрнауки России, проект FSNM-2023-0004 «Водородная энергетика. Материалы и технология хранения, транспортировки и применения водорода и водородсодержащих смесей».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Safaei A., Freire F., Henggeler Antunes C.A.* Life cycle multi-objective economic and environmental assessment of distributed generation in buildings // Energy Conversion and Management. 2015. 97. PP. 420-427.

2. *Smith L. et al.* Comparative environmental profile assessments of commercial and novel material structures for solid oxide fuel cells // Applied Energy. 2019. 235. PP. 1300-1313.

3. *Tsvetkov P., Andreichyk A., Kosarev O.* The impact of economic development of primary and secondary industries on national CO_2 emissions: The case of Russian regions // Journal of Environmental Management. 2024. 351. PP. 119881.

4. *Ширинкина Е.С., Ильиных Г.В., Мозжегорова Ю.В., Коротаев В.Н.* Проблемы оценки жизненного цикла и углеродного следа водорода // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 12. С. 48-55.

5. ГОСТ Р 56188.9.102-2023 Технологии топливных элементов. Часть 9-102. Методология оценки экологических характеристик энергетических установок на основе топливных элементов в рамках обзора жизненного цикла. Стационарные когенерационные энергетические установки на основе топливных элементов для жилых помещений. Правила группы однородной продукции для разработки экологической декларации». М., 2023. 32 с.

6. ИСО 14040-2022 «Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура». М., 2023. 18 с.

7. *Вялых И.А. и др.* Проектирование опытной энергетической установки на ТОТЭ мощностью 2,5 кВт // Водород как основа низкоуглеродной экономики [Электрон. ресурс]: Школа-конференция Центра компетенций НТИ «Водород как основа низкоуглеродной экономики», 26-27 сентября, г. Киров: сб. тез. докл. Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, 2024. – С. 51-52.

8. *Mozzhegorova Y., Ilinykh G., Korotaev V.* Life Cycle Assessment of a Gas Turbine Installation // Energies. 2024. 17. pp. 345.

9. *Davidson A.J., Binks S.P., Gediga J.* Lead industry life cycle studies: environmental impact and life cycle assessment of lead battery and architectural sheet production // International Journal of Life Cycle Assessment. 2016. 21. PP. 1624–1636.

10. *Мозжегорова Ю.В., Ильиных Г.В., Коротаев В.Н.* Оценка жизненного цикла газотурбинной установки в Российской Федерации // Глобальная энергия. 2024. Т. 30. № 2. С. 74–87.

11. *Lim D., Kim, A., Cheon S., Byun M., Lim H.* Life cycle techno-economic and carbon footprint analysis of H_2 production via NH_3 decomposition: A Case study for the Republic of Korea // Energy Conversion and Management. 2021. 250. PP. 114881.

CARBON FOOTPRINT ASSESSMENT OF A SOLID OXIDE FUEL CELL POWER PLANT

Mozhegorova Yu.V.

(Perm National Research Polytechnic University, Perm)

Abstract. An integrated approach for life cycle assessment of solid oxide fuel cell (SOFC) power plants and analysis of their environmental impact is presented. An experimental power plant based on a 2.5 kW SOFC, developed in Russia, was used for the research. Based on the carbon footprint assessment of the SOFC-based power plant in question, it was determined that the main contribution was made by the operation stage (about 70%), with the total carbon footprint amounting to 516.9 g CO_2-eq./kWh.

УДК 502/504

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Мугатарова П.А.

Научный руководитель: Белик Е.С., доцент, к. т. н.

(Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь)

Аннотация. В статье приведены результаты исследования возможности применения микроводоросли Chlorella sp. для очистки сточных вод населенных пунктов.

Традиционные методы очистки сточных вод часто являются энергозатратными и недостаточно эффективными. В качестве инновационных решений для очистки сточных вод предлагают использовать микроводоросли, которые служат дополнительным источником питательных веществ и энергии для микроорганизмов. Это подтверждают результаты литературного анализа.

Например, использование микроскопических водорослей *Chlorella sorokiniana* в пищевой промышленности в пивоваренном производстве для очистки сточных вод позволило снизить общий азот до 70 % и органический углерод до 90 % [1], изменился водородный показатель с кислого значения до нейтрального. Оптимальным соотношением сточной воды к микроводорослям составило 3:7. После очистки сточных вод полученную биомассу сбраживали в анаэробных условиях с выделением биогаза, который можно применять в качестве альтернативного источника электроэнергии.

Микроводоросли *Chlorella vulgaris* 711-54 для очистки сточных вод в сельском хозяйстве способствовали снижению ХПК на 92 %, степень очистки по NO_3^- и NH_4^+ составило до 99 % [2].

Штамм зелёной микроводоросли *Acutodesmus obliquus* снизил концентрацию взвешенных веществ на 31 %, ионов железа на 60 % и аммонийного азота на 75 % [3] в стоках целлюлозно-бумажного производства.

Добавление микроскопических водорослей *Chlorella vulgaris f. globosa* во вторичные отстойники лесопромышленного предприятия снизили содержание фенола, соединения азота, серы и фосфора [4].

На основании проведенного анализа установлено, что интенсификация очистки сточных вод с помощью микроскопических водорослей возможна и представляет большой интерес для дальнейших исследований.

Экспериментальные исследования проводились на кафедре «Охрана окружающей среды» ПНИПУ с использованием современного аналитического оборудования: пробоотборные устройства, микроскоп «Carl Zeiss», спектрофотометр В –1200 ЭКОВЬЮ, система капиллярного электрофореза «Капель», система сбора и обработки данных «МультиХром» для Windows.

Объектами исследования являются:

- сточная вода, отобранная с усреднителя очистного сооружения малого населённого пункта;
- биопленка, отобранная с загрузочного материала биофильтра;
- микроводоросли *Chlorella sp*.

При проведении экспериментальных исследований по интенсификации очистки СВ были смоделированы условия усреднителя, песколовки, первичного отстойника и биофильтра.

В таблице 1 представлены программа, объём и методы исследования.

Интенсификация биологической очистки смешанных сточных на биофильтрах небольшого населенного пункта Пермского края была использована микроводоросль рода *Chlorella*. При проведении экспериментальных исследований установлено, что эффективность биологической очистки сточных вод по ХПК составляет 94 %, взвешенных веществ – 92 %.

Таблица 1

Программа, объём и методы исследования

Наименование этапа исследования	Показатели исследований	Применяемые методики
1.Отбор проб сточной воды	-	ПНД Ф 12.15.1 - 08
2.Проведение физико-химических анализов сточной воды	Определение ХПК и взвешенных веществ в сточной воде; Определение оптической плотности для микроводорослей	ГОСТ 31859-2012 РД 52.24.468-2019 ГОСТ Р 8.83 - 2013
3.Анализ биопленки	Микробиологические	Микроскопический анализ
4.Интенсификация очистки СВ	Определение ХПК и взвешенных веществ в сточной воде; Определение оптической плотности для микроводорослей; Микробиологические	ГОСТ 31859-2012 РД 52.24.468-2019 ГОСТ Р 8.830-2013 Микроскопический анализ
5.Исследование влияния МВ, культивируемых на сточной воде, на прорастание семян	Всхожесть, длина, вес корня и ростка	ГОСТ 12038-84

Видовой состав гидробионтов после внесения микроводорослей при биологической очистке стал более разнообразнее. Встречаются инфузории-туфельки, нематоды, много жгутиконосцев, бактерии *Zoogloea Ramigera* и коловратки.

На рисунке 1 представлены гидробионты биопленки в биофильтре с микроводорослями.

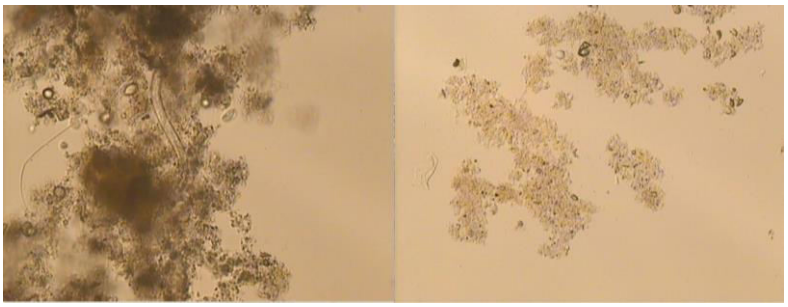


Рис.1.Гидробионты биопленки в биофильтре с микроводорослями (400×)

Внедрение микроводорослей позволит обеспечить снижение показателей, например, таких как ХПК, взвешенные вещества, pH, концентрации соединений аммония и др.

Данный метод интенсификации не только служит для очищения сточных вод, но и представляет собой экономическую выгоду, т.к. биомассу микроводорослей можно использовать в пищевой, энергетической промышленностях, сельском хозяйстве, фармацевтике и косметологии и др.

Для возможности применения биомассы микроводорослей *Chlorella sp.* в качестве удобрения были проведены экспериментальные исследования по всхожести семян. Для проведения анализа была измерена оптическая плотность суспензии *Chlorella vulgaris* (0,047±0,003) и *Chlorella sp.*(0,971±0,004). В исследовании для удобрения семян рапса использовались следующие соотношения:

1. Дистиллированная вода (контроль);
2. Суспензия *Chlorella vulgaris* (контроль);
3. Препарат на основе *Chlorella sp*. 0,05 г:30 мл воды (0,17 г вещества в 100 г раствора).
4. Препарат на основе *Chlorella sp*:вода – 0,1 г:30 мл воды (0,33 г вещества в 100 г раствора).
5. Препарат на основе *Chlorella sp*:вода – 0,15г:30 мл воды (0,5 г вещества в 100 г раствора).

В таблице 2 представлены результаты измерений прорастания семян на 3 сутки.

Таблица 2

Результаты измерений прорастания семян на 3 сутки

Концентрация	Длина проростка, мм	Длина корня, мм	Масса наземного ростка, г	Масса наземного корня, г
Дистиллированная вода	15,6±4,3	38±17	$(1±0,3)*10^{-2}$	$(1±0,3)*10^{-2}$
Суспензия *Chlorella vulgaris* без разбавления	33,3±8,5	39,5±13,2	$(4±0,7)*10^{-2}$	$(1,3±0,5)*10^{-2}$
Препарат *Chlorella sp*:вода 5:3	12,2±2,3	35,4±12,4	$(1±0,1)*10^{-2}$	$(1±0,3)\ 10^{-2}$
Препарат *Chlorella sp*:вода 10:3	12,8±3,5	34,6±6,5	$(0,9±0,2)*10^{-2}$	$(0,9±0,1)\ 10^{-2}$
Препарат *Chlorella sp*:вода 5:1	10,6±1,3	30,9±3,8	$(0,8±0,1)*10^{-2}$	$(0,94±0,1)\ 10^{-2}$

На рисунке 2 представлено прорастание семян рапса на 3 сутки в разных питательных средах.

Рис. 2. Прорастание семян рапса на 3 сутки

Лучший результат был получен у биопрепарата *Chlorella vulgaris* без разбавления с длиной и массой прироста: 33,3 мм и 0,04 г и длиной и массой корня:39,5мм и 0,013 г, что возможно связано с добавлением в состав стимуляторов роста.

Микроводоросли *Chlorella sp*., культивируемые на сточной воде, показали наилучший результат в концентрации 0,17 г вещества в 100 г раствора. При небольших концентрациях эффективность прорастания выше, так как микроэлементов достаточно для всхожести семян.

В отличии от суспензии *Chlorella vulgaris* и препаратов на основе *Chlorella sp*., дистиллированная вода превышает почти все параметры, что означает отсутствие растворенных соединений, которые изменяют базовые физиологические процессы прорастания семян.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в микроводорослях, культивируемых на сточной воде, происходит накопление микроэлементов, по этой причине необходимо дополнительно оценивать степень их аккумуляции и дозу внесения добавки, используемой для удобрения почв.

По результатам экспериментальных исследований по интенсификации очистки сточных вод с помощью микроскопических водорослей можно выделить ряд положительных эффектов такие как: экономические, экологические, репутационные и технологические. Доказано, что микроскопические водоросли действительно способствуют эффективной очистке сточных вод в разных промышленностях и используются в роли побочного продукта для продажи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Комплексное использование микроводорослей в очистке сточных вод и переработке отходов пищевой промышленности / Н.В. Зибарев, В.В. Жажков, М.Ю. Андрианова [и др.] // Экология и промышленность России. – 2021. – Т. 25, № 11. – С. 18-23.

2. Патент № 2555519 Российская Федерация МПК C 12 N 1/12 C 12 R 1/89. Штамм микроводоросли chlorella vulgaris, предназначенный для очистки сточных вод сельскохозяйственных и спиртовых производств: № 2013137672/10 : заявл. 12.08.2013: опубл. 20.02.2015 / Лобакова Е.С., Соловченко А.Е., Селях И.О. и др. – 11 с.

3. Патент № 255631 Российская Федерация C 12 N 1/12 C 02 F 3/34 C 12 R 1/89. Штамм зеленой микроводоросли acutodesmus obliquus, предназначенный для очистки сточных вод от загрязняющих веществ в коммунальномхозяйстве и целлюлозно-бумажной промышленности: № 2014112676/10: заявл. 01.04.2014: опубл. 10.07.2015 / Щемелинина Т.Н., Анчугова Е.М., Тарабукин Д.В. и др. – 7 с.

4. *Гогонин А.В.* Оценка использования сточной воды в качестве питательной среды для накопления биомассы микроводорослей / Теоретическая и прикладная экология. – 2022. – № 2. – С. 109-115.

USING MICROALGAE FOR WASTEWATER TREATMENT

Mugatarova P.A.

Supervisor: Belik E.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Perm National Research Polytechnic University, Perm)

Abstract. The article presents the results of a study on the possibility of using the microalgae Chlorella sp. for wastewater treatment in populated areas.

УДК 614.8.013

РОЛЬ СРЕДСТВ МАССОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕРРИТОРИЙ К БЕДСТВИЯМ

Муравьёв Б.Я.[1], Волкова А.Н[2]

Научный руководитель: Муравьёва Е.В.,[2] профессор, д.п.н.

(Казанский (Приволжский) федеральный университет[1]; Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань[2])

Аннотация. Устойчивость муниципального образования к бедствиям во многом определяется подготовкой населения. Большую роль в этом процессе играют средства массовой информации.

В 2015 году была принята Сендайская рамочная программа по снижению риска бедствий на 2015–2030 гг. (СРП) – глобальный план ООН по существенному сокращению рисков катастроф и потерь от них. Одним из ключевых приоритетов СРП является «Понимание риска бедствий», подчеркивающее роль информирования населения. Для эффективного управления рисками требуются знания и осведомленность, основанные на понимании угроз и уязвимостей еще до наступления бедствий. Проще говоря, люди и сообщества должны знать, какие опасности им грозят и как себя вести, чтобы превентивно снизить ущерб. Без культуры безопасности, основанной на знании рисков, невозможно добиться устойчивости к бедствиям [1].

СРП перечисляет меры для повышения такого понимания, от сбора и распространения данных о рисках до обучения всех групп общества. Отдельно СРП выделяет роль различных заинтересованных сторон – от правительств до местных сообществ. В числе этих стейкхолдеров упомянуты и средства массовой информации (СМИ), которым посвящен отдельный пункт с конкретными рекомендациями. Таким образом, международное сообщество признает, что без активного участия медиа невозможно сформировать в обществе понимание рисков и культуру безопасности.

Сендайская рамочная программа прямо указывает, что следует делать СМИ для поддержки целей снижения риска бедствий. Согласно документу, массовые медиа должны:

- Активно и инклюзивно просвещать общество о рисках. На местном, национальном, региональном и глобальном уровнях СМИ призваны играть активную роль в том, чтобы повышать осознание населением проблем безопасности. Информация о рисках, угрозах и самих бедствиях (включая маломасштабные) должна распространяться достоверно, в неконфиденциальном виде, простым и понятным языком. Важен широкий охват разных аудиторий, в тесном сотрудничестве с властями. Иными словами, медиа должны стать проводником научно обоснованных знаний о рисках, переводя сложные сведения на язык, понятный каждому.
- Придерживаться политики снижения риска и поддерживать предупреждение бедствий. В коммуникациях СМИ рекомендуется следовать официальной политике в интересах снижения рисков, избегая сенсационности, которая может исказить восприятие угроз. Кроме того, СМИ должны содействовать внедрению систем раннего оповещения и распространению сообщений об экстренных мерах защиты населения. Это означает, что журналисты и редакции должны оперативно и ответственно передавать предупреждения (например, о надвигающемся шторме), помогая людям вовремя принять меры для спасения жизни.
- Формировать культуру предотвращения бедствий и стимулировать участие общества. Медиа призваны поощрять культуру профилактики – то есть убеждение, что бедствия легче предотвратить, чем ликвидировать последствия. Для этого СМИ должны широко привлекать общины к постоянным информационно-просветительским кампаниям, опросам и обучающим мероприятиям на всех уровнях общества. Например, организация

дискуссий, тематических дней безопасности, продвижение тренингов и учений через телевидение, радио, газеты и интернет – все это повышает общий уровень готовности. В идеале аудитория не только усваивает получаемые знания, но и вовлекается: обсуждает темы безопасности, делится информацией, участвует в волонтерских инициативах [1].

Подобные рекомендации отражают понимание, что СМИ обладают уникальной возможностью влиять на массовое сознание. Медиа способны достучаться до широкой и разнообразной аудитории, поэтому их участие критически важно для продвижения идей безопасности и устойчивого развития. После принятия СРП многие медиаорганизации по всему миру признали свою ответственность смещать акцент с простого освещения катастроф на превентивную повестку. Журналисты поняли необходимость перехода от реактивного подхода к проактивному: меньше концентрироваться исключительно на сообщениях о жертвах и разрушениях, и больше – на историях о предотвращении бедствий, адаптации к изменениям климата, подготовке сообществ. Это требует от СМИ новых знаний и навыков – умения разбираться в сложных темах (наука о климате, гражданская защита и т.д.) и преподносить их увлекательно и понятно. ООН и специалисты даже рекомендуют создавать программы повышения компетентности журналистов в теме снижения рисков бедствий.

Таким образом, роль СМИ в формировании культуры безопасности официально признана на самом высоком уровне. Медиа должны быть не просто наблюдателями, а активными партнерами в реализации политики уменьшения рисков. Через грамотное информирование, просвещение и участие в предупреждении чрезвычайных ситуаций они помогают обществу лучше понимать опасности и готовиться к ним. Но насколько успешно СМИ справляются с этой миссией, и как можно оценить их вклад количественно? Эти вопросы ведут нас к проблеме оценки эффективности работы СМИ в данной сфере.

Оценка эффективности СМИ в формировании культуры безопасности

Любая деятельность по снижению риска бедствий, включая просветительскую работу СМИ, требует оценки эффективности – нужно понимать, насколько оправданы вложенные усилия и средства. Однако оценить вклад СМИ в формирование культуры безопасности непросто. Это долгосрочный и многогранный эффект: он выражается и в росте знаний у населения, и в изменении отношений к безопасности, и в конкретных действиях (например, больше граждан заводят тревожные чемоданчики, соблюдают правила при ЧС и т.п.).

На практике методик для такой оценки немного. Прежде всего прибегают к общим подходам из смежных областей – социологическим опросам, анализу контента медиа, мониторингу аудитории. Журналистика располагает множеством аналитических жанров и методов исследования аудитории: отчёты, интервью, анкетирования, мониторинги, рейтинги, контент-анализ публикаций и др. Но всё это скорее инструментарий для сбора данных, а не единая система измерения эффекта.

Один из первых специальных методов, предназначенных именно для оценки эффективности применения СМИ в популяризации культуры безопасной жизнедеятельности, был разработан во ВНИИ ГОЧС МЧС России (Всероссийском научно-исследовательском институте по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций). Эта «Методика оценки эффективности применения различных СМИ для популяризации культуры безопасности жизнедеятельности» предлагает количественный подход к оценке отдачи от медиа в деле просвещения населения. Рассмотрим основные положения этой методики и ее ограничения.

Методика ВНИИ ГОЧС вводит понятия общей, коммуникативной и экономической эффективности информационно-просветительской работы СМИ. Общая эффективность использования СМИ для популяризации культуры безопасности определяется как соотношение достигнутого информационного эффекта и затраченных ресурсов. Иными словами, она учитывает, какой результат в сознании аудитории достигнут на единицу вложений. В свою очередь, выделяются два компонента:

- Коммуникативная эффективность (Эк) – условно говоря, психологический эффект, степень воздействия информации на людей (насколько информация дошла и повлияла).

● Экономическая эффективность – отклик от вложенных средств, т.е. какой практический результат (изменение поведения, снижение ущерба и т.п.) получен в пересчете на финансирование.

Общая эффективность объединяет их: фактически, рассчитывается либо как произведение, либо как отношение коммуникационного эффекта и коэффициента затрат (в методике введён специальный коэффициент Д* для учета уровня расходов).

Коммуникативная эффективность (Эк) в методике измеряется через произведение нескольких частных показателей. Всего выделено шесть факторов, каждый из которых описывает важный аспект воздействия информации на аудиторию:

1. С*вов – степень вовлеченности аудитории в проблему безопасности с помощью материалов СМИ (насколько люди заинтересованы, эмоционально включены).

2. Икл – показатель обращения к материалам по тематике безопасности (охват аудитории, доля читателей/зрителей СМИ, ознакомившихся с материалом).

3. Рв – показатель восприятия материалов (отношение населения к пропаганде безопасности через данный вид СМИ, т.е. принимают ли люди эту тему позитивно).

4. n1 – коэффициент периодичности выхода СМИ (частота публикаций/эфиров; подразумевается, что регулярность подачи темы влияет на эффект).

5. Зо – степень относительной запоминаемости (доля аудитории, которая запомнила предоставленную информацию через какое-то время).

6. И – степень влияния материалов на сознание (изменение мнения или поведения аудитории под воздействием информации).

Методика предлагает формулы для каждого из этих показателей. Например, вовлеченность (С*вов) рассчитывается через соотношение положительных/нейтральных и отрицательных оценок материала среди опрошенных, с учетом доли тех, кто вообще ознакомился с материалом. Обращение к материалам (Икл) – как доля аудитории данного СМИ, полностью или частично ознакомившейся с материалом. Восприятие (Рв) – как доля людей, считающих пропаганду безопасности через данное СМИ необходимой. Запоминаемость (Зо) – доля людей, что спустя время смогли воспроизвести содержание материала. Влияние (И) – доля людей, изменивших или готовых изменить свое мнение/поведение по вопросам безопасности после ознакомления с материалом.

Расчёт всех этих величин основан, как видно, на опросах аудитории: необходимо, чтобы люди, получив информацию (прочитав статью, посмотрев сюжет), ответили на ряд вопросов – оценили материал, запомнили ли они его, изменилось ли их мнение и т.д. После вычисления всех шести показателей, коммуникативная эффективность Эк определяется как их произведение. Затем вводится коэффициент затрат Д*: чем больше средств потрачено на создание и распространение материала, тем выше Д* (по градации от 0,1 до 1). В методике задана шкала, например: затраты менее 50 000 руб дают Д* = 0,1; свыше 800 000 руб – Д* = 1. Общийиндекс эффективности (Э), условно, получается как отношение (или другое комбинирование) Эк и Д*. По итоговому значению Э делается вывод об эффективности данного вида СМИ: менее 30% – низкая эффективность, 30–70% – средняя, более 70% – высокая.

На первый взгляд, эта методика даёт формальный алгоритм измерения, что весьма ценно: можно собрать статистику (по опросам и метрикам охвата) и вычислить цифру, характеризующую эффективность просвещения через то или иное медиа. Однако при попытке практического применения вскрывается множество проблем и ограничений

Стоит особо отметить, что методика ВНИИ ГОЧС (разработанная около десятилетия назад) в основном ориентирована на традиционные СМИ: печатные издания, радио, телевидение. За последние годы информационный ландшафт сильно изменился. Цифровые, сетевые и социальные медиа стали основными каналами получения информации для значительной части населения, особенно молодых людей. Согласно опросам, молодёжь всё чаще узнаёт новости из интернета и социальных сетей, тогда как телевидение доминирует лишь у старших поколений. Например, в России телевидение остаётся главным источником

новостей для ~40% населения (в основном старше 45 лет), но среди граждан до 35 лет первенство уже за онлайн-средой (соцсети называют основным источником около 25% молодых) . При этом уровень доверия к разным каналам отличается: центральному телевидению доверяют ощутимо больше людей, чем информации из соцсетей и блогов. По данным ВЦИОМ на 2022 год, лишь 23% россиян выразили доверие информации из социальных сетей, тогда как 43% прямо заявили о недоверии к таким источникам. Это указывает на серьёзную проблему доверия аудитории: даже если молодёжь черпает сведения в интернете, они скептически относятся к их правдивости, предпочитая проверенные (традиционные) каналы для важных тем [2-4].

Для продвижения культуры безопасности эта ситуация двоякая. С одной стороны, онлайн-платформы – прекрасный инструмент широкого охвата и интерактивности. Через соцсети можно быстро распространить экстренное предупреждение, запустить вирусный челлендж по тематике безопасности, привлечь молодёжь творческими форматами (мемы, короткие видео, игры). С другой стороны, низкое доверие и шум информационной среды мешают донести серьезные сообщения. Пользователи привыкли пролистывать ленты новостей в поисках развлечения; длинный текст о правилах эвакуации может проиграть конкуренцию яркому развлекательному контенту. Кроме того, в интернет-среде много дезинформации и слухов, которые могут подрывать усилия официальных источников. Известно немало случаев, когда во время чрезвычайной ситуации социальными сетями расходятся панические слухи или фейки, искажающие картину. Например, при вспышках опасных заболеваний или стихийных бедствиях распространяются непроверенные «советы» и конспирологические версии, что сбивает людей с толку и мешает им следовать правильным инструкциям. Борьба с такими вбросами – дополнительная нагрузка на СМИ и службы, призванные информировать население.

Современные форматы коммуникации требуют от СМИ новых подходов в продвижении культуры безопасности. Однообразные лекционно-нравоучительные тексты уже не эффективны. Гораздо лучше работают наглядность и интерактивность: инфографика, короткие видеоролики, подкасты с обсуждением реальных историй спасения, онлайн-викторины по безопасности. Например, крупные кампании по подготовке к стихийным бедствиям все чаще включают социальные медиа: проводятся прямые эфиры с экспертами в Instagram/Youtube, запускаются хештеги в Twitter, создаются тематические сообщества в VK/Facebook для обмена опытом. Практика больших учений тоже получает освещение в интернете. Яркий пример – международная акция ShakeOut по тренировке действий при землетрясениях: благодаря широкому оповещению через СМИ и соцсети в ней ежегодно участвуют десятки миллионов людей по всему миру. В 2022 году к ShakeOut присоединились порядка 44 миллионов участников из разных стран (в том числе более 18 миллионов американцев) – по сути рекордный охват аудитории средствами массовой информации, образовательными учреждениями и онлайн-платформами. Такие примеры подтверждают, что грамотное мультимедийное освещение темы безопасности способно напрямую вовлечь огромные массы людей в практические мероприятия, повышая уровень их культуры безопасности.

Однако, вовлечь – ещё полдела; важно удержать внимание и завоевать доверие. Для этого СМИ приходится становиться более открытыми и диалоговыми. Традиционная модель вещания «сверху вниз», когда официальные ведомства через пресс-релизы сообщают населению об опасностях, постепенно сменяется интерактивной моделью. Сейчас ценится, когда журналисты не только информируют, но и слушают аудиторию: отвечают на вопросы в комментариях, развенчивают мифы, обсуждают причины бедствий и действия властей. Специалисты рекомендуют медиасектору теснее сотрудничать с учеными и оперативными службами, чтобы предоставлять фактчекинг и глубокий контекст в репортажах. Например, если в соцсетях молниеносно распространяется слух о загрязнении воды после наводнения, задача качественных СМИ – быстро проверить эту информацию и либо опровергнуть, либо подтвердить со ссылкой на экспертов. Такой проактивный подход повышает доверие: люди

видят, что медиа не просто транслируют официальные заявления, но и реально помогают разобраться в ситуации.

Важно учитывать и потребности разных групп аудитории на разных этапах ЧС. Перед бедствием люди хотят знать прогноз и как готовиться; вовремя – что происходит и куда обращаться за помощью; после – как восстанавливаться и что делать, чтобы в будущем пострадать меньше. СМИ должны адаптировать сообщения под эти запросы. Например, для широкой публики до бедствия – простые советы (как собрать тревожный чемоданчик), для специалистов – прогнозы и сценарии. В посткризисный период медиа могут выступать платформой для разбора полетов: проводить круглые столы с властями, НПО и жителями о том, какие уроки вынесены. Такой формат не только поддерживает внимание к теме безопасности, но и способствует формированию культуры непрерывного обучения на опыте бедствий.

СМИ играют незаменимую роль в распространении знаний о рисках и формировании культуры безопасности. От информационных кампаний во многом зависит, будет ли население понимать, какие угрозы ему грозят и как снизить свою уязвимость. Сендайская рамочная программа закрепила этот факт на международном уровне, призвав медиа сообща с властями и сообществами продвигать культуру предотвращения бедствий. В последние годы, по мере развития цифровых технологий, инструментарий СМИ расширился: добавились соцсети, мессенджеры, онлайн-платформы. Это создает новые возможности для доведения информации (мгновенное оповещение, интерактив, персонализация под аудиторию), но и новые проблемы – информационные перегрузки, недоверие, «инфодемии» ложных слухов.

Измерение эффективности работы СМИ в этой сфере остается сложной задачей. Существующая методика ВНИИ ГОЧС – одна из немногих попыток дать количественные критерии – показала, насколько трудно объективно оценить влияния информационных усилий на сознание и поведение людей. Большинство ее показателей требуют аккуратного сбора данных, и все равно содержат элемент субъективности. Тем не менее, такая оценка нужна: и для обоснования инвестиций в просвещение, и для улучшения самих стратегий коммуникации. Вероятно, будущие подходы к измерению будут комбинировать разные методы: анализ big data (охваты, клики, время просмотра, вовлеченность онлайн) вместе с качественными исследованиями (опросами фокус-групп, социологическими замерами уровня знаний и готовности до/после кампаний). Уже сейчас ученые исследуют, как по эмоциональной окраске сообщений в соцсетях судить об уровне тревожности населения, либо как численно связать активность в информационном пространстве с реальными показателями – например, ростом числа домохозяйств, подготовленных к ЧС. Вполне возможно, появятся индексы информационной устойчивости, интегрирующие показатели медиаактивности и ее результативности в поведении людей.

Актуальность темы не вызывает сомнений: климатические изменения и технологические аварии продолжают генерировать риски, и просвещенное общество справляется с ними намного лучше. Поэтому инвестиции в работу СМИ как проводников культуры безопасности будут расти, а вместе с ними – спрос на эффективность и отчётность. Подходы, подобные методике ВНИИ ГОЧС, необходимо адаптировать к новым реалиям – учитывать все типы медиа, от газет до TikTok, и опираться на более надежные метрики. Возможно, вместо универсальной формулы акцент сместится на систему показателей и кейс-стади: где-то важнее охват аудитории, где-то – глубина усвоения (её можно проверять тестированием знаний), а где-то – степень доверия к источнику (измеряемая опросами по уровню доверия). Не исключено, что одним из главных индикаторов станет вовлеченность аудитории в тему безопасности: участие людей в тренингах, подписки на тематические каналы, создание пользовательского контента (например, видео о проведенных в семье учениях). Такая вовлеченность напрямую свидетельствует, что культура безопасности перестает быть абстракцией и становится частью жизни людей.

Подводя итог, СМИ, старые и новые, продолжают оставаться краеугольным камнем в построении культуры безопасности. Их влияние трудно точно измерить, но оно реальное и ощутимое. Главная цель – сделать так, чтобы через телевидение, радио, газеты, сайты, соцсети до каждого дошел простой посыл: «Безопасность – дело личное и общее, и от наших знаний и действий зависит жизнь и благополучие». Если медиа смогут достоверно и доходчиво донести эту мысль, вовлечь людей в постоянный диалог о рисках и способах их снижения, то общество станет гораздо более устойчивым перед лицом любых бедствий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030 – Официальный документ ООН, принят 18 марта 2015 г. (русский текст доступен в протоколах Всемирной конференции по снижению риска бедствий). Включает рекомендации по информированию населения и роли СМИ.

2. Международная группа заинтересованных сторон СМИ. Заявление, 2017 – Медиа-декларация на Глобальной платформе по снижению риска бедствий (Cancún, 2017), подчеркивающая обязанность СМИ переходить к проактивному освещению DRR.

3. ВНИИ ГОЧС МЧС России. Методика оценки эффективности применения различных СМИ для популяризации культуры безопасности жизнедеятельности – Федеральный научно-технический центр, 2015. Описывает формулы расчета коммуникативной и экономической эффективности информирования.

4. Анализ и критика методики оценки эффективности СМИ (на примере ВНИИ ГОЧС) – Авторский разбор, 2020-е. Отмечает трудности измерения: зависимость от опросов, субъективность показателей, неучет новых медиа.

5. ВЦИОМ (2023). Доверие СМИ в России – Опрос общественного мнения от 10.02.2023. Выявил снижение доверия к телевидению и низкое доверие к соцсетям: лишь 23% доверяют информации из соцсетей, тогда как телевидению – больше (по данным ТАСС).

6. International Science Council (2023). Helping Newsrooms get Disaster Risk Ready – Отчет и рекомендации для новостных медиа по освещению рисков бедствий с учетом Sendai Framework. Рекомендует активнее использовать соцмедиа, фактчекинг, сотрудничество с учеными.

7. Homeland Security Today (2022). ‘Great ShakeOut’ Global Earthquake Safety Movement… – Статья от 19.10.2022 о мировом движении ShakeOut. Приведены цифры участия (44 млн человек в 2022), иллюстрирующие масштаб вовлечения населения через кампании в СМИ и интернете.

8. *Khan, H*. et al. (2023). “Disaster Misinformation and Its Corrections on Social Media” – Annals of the American Association of Geographers, vol.113 (6). Исследование о распространении дезинформации во время бедствий в соцсетях и влиянии на реакцию.

THE ROLE OF MASS MEDIA IN BUILDING DISASTER RESILIENCE

Muravyov B.Ya.[1], Volkova A.N.[2]

Supervisor: Muravyova E.V.[2] Full Professor, Doctor of Pedagogical Sciences

(Kazan (Volga Region) Federal University[1];

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan[2])

Abstract. A municipality's disaster resilience is largely determined by the preparedness of its population. Mass media play a significant role in this process.

УДК 614.841

МЕРЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН ПРИ АТАКЕ БПЛА

Насретдинова А.А.

Научный руководитель: Муравьёва Е.В., профессор, д. п. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассмотрены и проанализированы актуальность тенденции развития средств и систем борьбы с БПЛА. Главной целью работы является анализ обнаружения БПЛА, и проведение комплекс мер по защите критически важных объектови гражданского населения на территории Республики Татарстан. В статье предложен современный метод своевременного обнаружения, и выдачи целеуказаний радиолокационными станциями, способные определять: вид, высоту, скорость летающего объекта, средствами радио и радиотехнического, оптикоэлектронного, акустического наблюдения БПЛА.

В последние несколько лет Российская Федерация стала подвергаться массированым атакам вражеских беспилотных летательных аппаратов. Так 2 апреля 2024 года Республика Татарстан впервые подверглась атаке беспилотников. БПЛА атаковали предприятия в Елабуге и Нижнекамске. По данным пресс-службы особой экономической зоны «Алабуга», в 5:45 два беспилотника атаковали общежитие местного политеха. При этом пострадали 14 человек. Тогда же дрон атаковал одну из двух установок первичной переработки нефти на НПЗ «Танеко» в Нижнекамске. Обошлось без последствий.

Хоть и средства ПВО и являются основным способом своевременного обнаружения и ликвидация БПЛА, однако в связи постоянной модернизацией, некоторые виды БПЛА, как правило более маневреннее, изменяя траекторию полета, и летя на низких высотах, остаются незамеченными, и появляются на радарах ПВО в последний момент.

В свою очередь хочу предложить математическую модель расположения так называемых датчиков-ретрансляторов, связанных одним пунктом управления. С дальнейшим введением в пожарные части, и добровольно пожарные охраны Республики Татарстан, данные которых будут поступать в ОДС ЦУКС Главного управления МЧС России по РТ [1].

Датчик-ретранслятор — это устройство для передачи сигнала на большие расстояния, способный определять: тип, высоту, скорость, вес, госмаркировку. Каждый датчик-ретранслятор связан, как между собой, так и с пунктом связи (управления), в который поступает вся информация, отражаемая датчиками. Например, он увеличивает дальность действия радиодатчиков за счёт повторения и передачи их сигнала. Также ретранслятор может использоваться для увеличения дальности радиосвязи. Это промежуточное устройство для приёма и передачи сигналов [4].

Какие задачи будут решать датчики-ретрансляторы.

-Непрерывный мониторинг воздушного пространства с обнаружением приближающихся целей;

-Определение точных координат и направление движения;

-Автоматическое определение типа приближающегося аппарата. Анализ его характеристик;

-Своевременная передача данных в пункт управления, для дальнейшего информирования;

-Обеспечение безопасности важных промышленных, военных и инфраструктурных объектов от атак беспилотников путем создания надежного защитного периметра в воздухе.

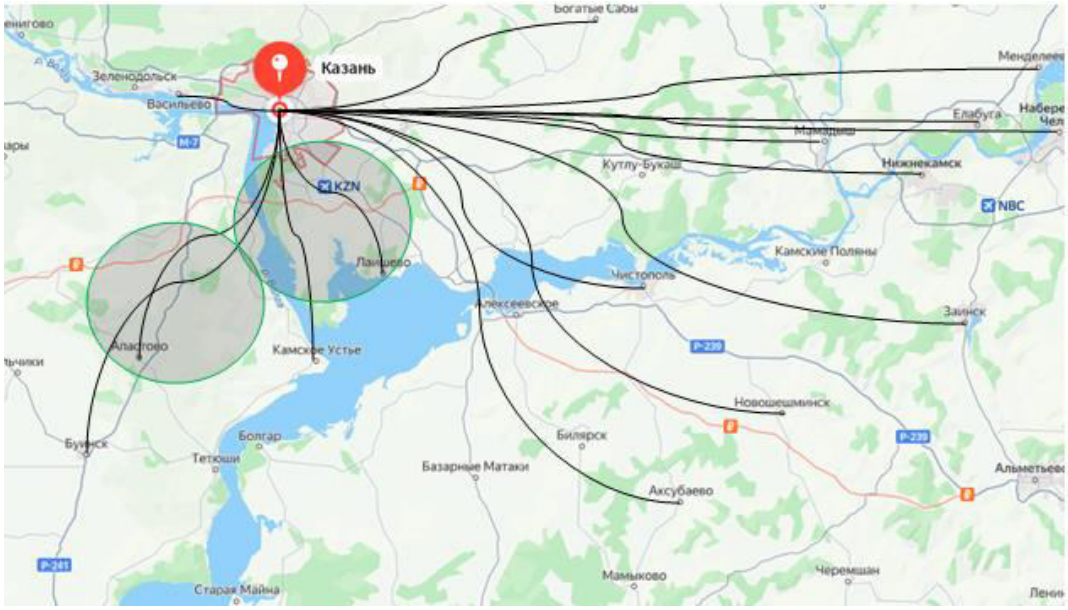


Рис 1. Модель расположения датчиков

Расположив датчики в каждом населенном пункте, и соединив единой сетью (командным пунктом управления), будет создаваться своего рода паутина датчиков, способных улавливать залетевших БПЛА на территорию Республики Татарстан [2].

Предложение по разработке.

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ – признанный в России и за рубежом современный образовательный и научно-исследовательский комплекс, сочетающий в своей работе классические университетские традиции и новейшие технологии в образовании. Научные разработки КНИТУ-КАИ вошли в список 100 лучших изобретений России [5]. Таким образом при тесном сотрудничестве с кафедрой Радиоэлектронных и телекоммуникационных систем в КНИТУ-КАИ можно рассмотреть возможность сбора датчиков-ретрансляторов с дальнейшим введением в эксплуатацию. Оснастить датчики навигационной системой, средствами акустической разведки (микрофоны и звукоулавливатели), средствами оптико-электронной разведки, средствами управления и связи с наземным пунктом управления, ответчиками системы госопознавания, возможно использование Wi-Fi или телесотовые вышки для шифрования передаваемых данных. Контроль и ведение разветки воздушного пространства с помощью датчика- ретранслятора, будет является эффективным в том случае, когда радиолокационная заметность цели соответствует разрешающей способности. Показателем радиолокационной заметности цели является ее эффективная площадь рассеяния. В радиолокационных задачах распознавания и классификации БПЛА обычно пользуются радиолокационным портретом воздушной цели (так называемой сигнатурой), который связан с геометрическими, физическими и кинематическими свойствами цели [3].

Рис.2. Пример предлагаемого датчика-ретранслятора

Остается открытым вопрос о привлечении специалистов в данной сфере. Так в годы блокады Ленинграда произошло уникальное событие — впервые в истории отечественной армии в действующие войска были призваны незрячие люди «Слухачи». Несмотря на трудности, незрячие бойцы продемонстрировали прекрасные результаты. Уже через несколько месяцев слухачи не только обнаруживали вражескую авиацию, но и определяли расстояние, высоту полета и тип самолета. Так же в КНИТУ-КАИ Казанский учебно-исследовательский и методический центр профессиональной реабилитации лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов, в том числе и инвалидов по зрению, специализируются на ведении образовательной деятельности по адаптированным для инвалидов и лиц с ОВЗ программам профессиональной подготовки бакалавра очной формы обучения. Введя специализированные курсы в данной области, мы решим еще одну задачу в трудоустройстве кадров лиц с ОВЗ [7].

Специалистов для обработки сигналов поступающих в ОДС ЦУКС ГУ МЧС России по РТ предлагается привлекать выпускников Тетюшского государственного колледжа гражданской защиты, основной профиль которого подготовка специалистов среднего звена в сфере гражданской защиты населения. Для обучения и передачи бесценного опыта с работой по ликвидации и обнаружения БПЛА, рассмотреть возможность привлечение бойцов специальной военной операции.

Для защиты критически важных объектов такие как нефтехимические комплексы (Нижнекамска, Казани, Альметьевска), применять комплексный подход, использование антидроновой сети, как часть этого комплекса, может представлять собой физический барьер в виде сетки, тросов или металлических экранов [6].

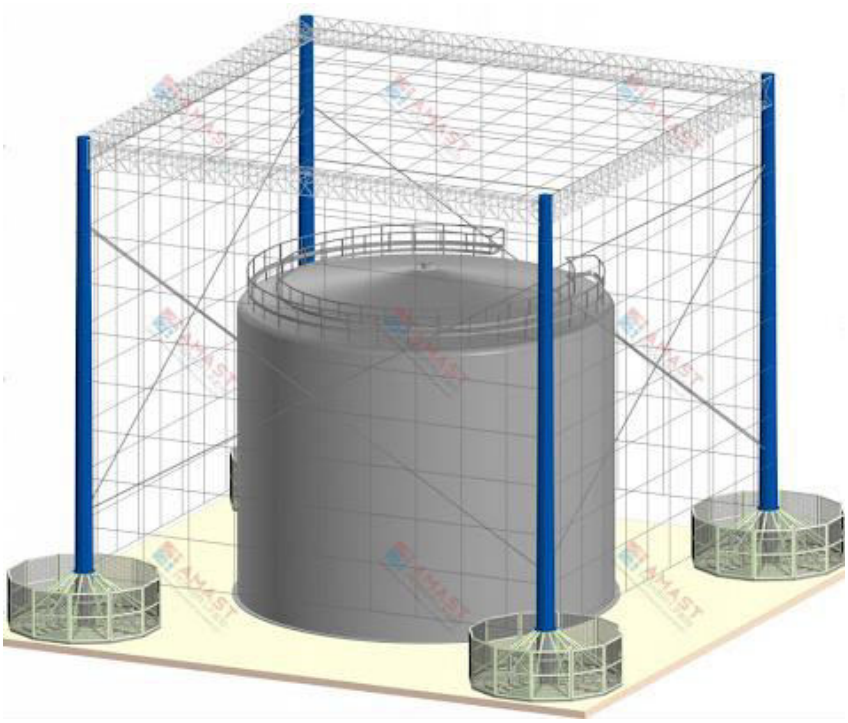


Рис.3. Пример использования антидроновой сети.

Особую актуальность применение математической модели расположения датчиков-ретрансляторов приобретает в связи с участившимися случаями использования беспилотников для проведения террористических актов как на территории Республики Татарстан, так и по всей России. С введением в эксплуатацию данных датчиков будет осуществляться круглосуточный контроль над воздушным пространством и способность своевременно реагировать на появление беспилотников с дальнейшим взаимодействием с ПВО. Применение датчиков-ретрансляторов помогут решить ряд вопросов, как в сфере безопасности, так и в сферах экономики, образования и труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон от 21 декабря 1994 года. N 68-ФЗ " О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера" // Электронный ресурс - https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295/.

2. Постановление Правительства РФ от 11.03.2010 N 138 (ред. от 29.03.2024) "Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации» // Электронный ресурс- https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98957/.

3. *Арефьева Е.В., Рыбаков А.В.* О подходах к построению оценочного инструментария деятельности по снижению рисков бедствий: международный опыт / Сб. Материалов XXVI Международной научно-практической конференции «Предупреждение. Спасение. Помощь». Секция № 10 «Моделирование сложных процессов и систем». С. 5–11.

4. «Радиоэлектронная борьба (РЭБ) против БПЛА и дронов» // Электронный ресурс- https://www.rub-in.ru/news/reb-protiv-dronov-i-bpla/.

5. «Казанский учебно-исследовательский и методический центр профессиональной реабилитации лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов» // Электронный ресурс-https://kai.ru/web/kafedra-radioelektronnyh-i-telekommunikacionnyh-sistem/o-kafedre.

6. Анализ рисков и угроз, связанных с возможными атаками беспилотных летательных аппаратов на потенциально опасные объекты // Электронный ресурс - https://apni.ru/article/9702-analiz-riskov-i-ugroz-svyazannyh-s-vozmozhnymi-atakami-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-na-potencialno-opasnye-obuekty.

7. «Апостолы блокадного неба: как 12 слухачей защищали Ленинград во время войны» // Электронный ресурс - https://specialviewportal.ru/articles/post628.

SECURITY MEASURES ON THE TERRITORYREPUBLIC OF TATARSTAN UNDER UAV ATTACK

Nasretdinova A.A.

Supervisor: Muravyeva E.V., Full Professor Doctor of Pedagogical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines and analyzes the relevance of the trend in the development of anti-UAV tools and systems. The main purpose of the work is to analyze the detection of UAVs, and to carry out a set of measures to protect critical facilities and the civilian population in the Republic of Tatarstan. The article proposes a modern method of timely detection and target designation by radar stations capable of determining: the type, height, speed of a flying object, by means of radio and radio engineering, optoelectronic, acoustic surveillance of UAVs.

УДК 614.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ К ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ

Насретдинова А.А.

Научный руководитель: Муравьёва Е.В., профессор, д. п. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассмотрены и проанализированы особенности территории Тетюшского муниципального образования, а также территории историко-архитектурного парка «Долгая Поляна» Тетюшского района и описан исследуемый объект культурного наследия «Дом-усадьба Молоствовых второй половины XIX века». предложена методика оценки устойчивости объекта культурного наследия к воздействию чрезвычайных ситуаций на основе методологии ИНФОРМ. Приведены результаты определения степени опасности,

показателя уязвимости и потенциала противодействия, а также предложено применение логико-вероятностного метода «древовидные структуры» для оценки опасности.

7 июля 2000 года в Тетюшском районе образован новый историко-архитектурный и природный памятник (ИАПП) «Долгая Поляна» [1]. В настоящее время стремительно развивается как одно из основных туристических направлений Республики Татарстан. В связи с этим вопрос его защиты и сохранения становится еще актуальнее. Для выявления основных направлений реализации мероприятий, нацеленных на сохранение исследуемого объекта, необходимым является анализ его устойчивости для потенциально опасных факторов чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [6].

В рамках данной работы подразумевается величина риска, которая отражает вероятность реализации воздействия совокупности негативных природных и техногенных факторов на исследуемый объект культурного наследия. Исследуемый объект располагается на высоком берегу реки Волга. На территории имеются водные источники (ручей, родники, пруд), что свидетельствует о наличии подземных вод. Также, территория является неоднородной: достаточно крутой склон берега и наличие оврагов. Сам объект культурного наследия открыт для воздействия ветровых потоков со стороны реки.

В работе будет предложена методология ИНФОРМ основана на оценке трех составляющих риска путем измерения соответствующих индикаторов в каждом из направлений:

а) степени опасностей;

б) уровня уязвимости;

в) потенциала противодействия угрозам.

Для осуществления расчетов необходимо оценить вероятность опасных факторов, которые могут привести к разрушению или утрате объекта культурного наследия, присвоив им следующие статистические значения:

1) для события «Естественные деструктивные процессы» P I: = 0,485
2) для события «Усиление деструктивных процессов» P II = 0,368
3) для события «Разрушительное воздействие ЧС» P III = 0,995
4) для головного события «Частичное или полное разрушение объекта» P:

$$P = \sum_{j=1}^{n} W_j P_{\text{вх } j} = W_{\text{I}} P_{\text{I}} + W_{\text{II}} P_{\text{II}} + W_{\text{III}} P_{\text{III}}. \quad (1)$$

Присвоим событиям P I–P III следующие значимости: W I = 0,3; W II = 0,3; W III = 0,4. Условие нормировки соблюдено, тогда:

$$P = 0{,}485 * 0{,}3 + 0{,}368 * 0{,}3 + 0{,}995 * 0{,}4 = 0{,}1455 + 0{,}1104 + 0{,}398 = 0{,}654.$$

Для вероятности головного события P получено значение 0,654, которое мы можем использовать для определения степени опасности в соответствии с методологией ИНФОРМ.

Так как величина вероятности может варьироваться только в пределах от 0 до 1, нам нужно установить соответствие данной величины с уровнем индикатора опасности в методологии ИНФОРМ. В связи с этим, предлагаю использовать следующее распределение:

Таблица 1

Интервалы числовых значений показателя опасности

Уровень индикатора	Опасности и угрозы	Величина вероятности
Низкий	0:1,54	0:0,24
Средний	1,54:2,71	0,25:0,49
Высокий	2,71:4,38	0,50:0,74
Очень высокий	4,38:10	0,75:1

Таким образом, полученному значению 0,654 соответствует степень опасности 4,38 (уровень индикатора высокий).

Оценка уязвимости объекта проводится с целью определения возможных последствий воздействия негативных факторов на его элементы и конструкцию, для определения наилучшего варианта системы защиты для конкретного объекта.

В соответствии с данными ГОСТ Р 55567:2013 «Порядок организации и ведения инженерно-технических исследований на объектах культурного наследия» предложено использовать следующую градацию показателя уязвимости [2].

Таблица 2

Категории технического состояния зданий и сооружений

Категория технического состояния объектов историко-культурного наследия	Износ конструкции, %	Уязвимость
I – нормальное Выполняются требования норм и проектной документации по условиям эксплуатации. Необходимость ремонтных работ отсутствует.	*До 5*	0:1,83
II – удовлетворительное С учетом фактических свойств материалов удовлетворяются требования действующих норм, относящиеся к предельным состояниям I группы; требования норм II группы могут быть нарушены, но обеспечиваются нормальные условия эксплуатации. Требуется текущий ремонт с устранением локальных повреждений без усиления конструкций.	*До 15:20*	1,83:3,2
III – неудовлетворительное Нарушены требования действующих норм, но отсутствуют опасность обрушения и угроза безопасности людей. Требуется усиление и восстановление несущей способности поврежденных конструкций.	*До 25:40*	3,2:5,06
IV: предаварийное или аварийное Существующие повреждения свидетельствуют о непригодности конструкций к эксплуатации, об опасности их обрушения и опасности пребывания людей в зоне расположения конструкций.	*Свыше 40*	5,06:10

В соответствии с данными технического паспорта здания усадьбы Молоствовых процент износа при учете только основных конструкций исследуемого объекта процент физического износа составит 43,7 %, что соответствует очень высокому уровню индикатора уязвимости.

Следовательно, значение показателя уязвимости в этом случае должно находиться в интервале 5,06:10. Методом интерполяции получено значение показателя – 5,37.

Под потенциалом противодействия понимается способность объекта противостоять угрозам, переносить их, приспосабливаться к ним и эффективно и своевременно восстанавливаться.

В качестве таких систем могут быть рассмотрены следующие:

Противооползневые мероприятия;

Сейсмоукрепление сооружения;

Противогидрологические и противогидрогеологические мероприятия (волнорезы, дренажи);

Противопожарные мероприятия;

Мероприятия по укреплению несущих конструкций сооружения;

Реставрационные работы (ремонт фасада объекта).

Таблица 3

Интервалы изменения индекса потенциала противодействия

Уровень индикатора	Отсутствие потенциала противодействия угрозам
Низкий	0:3,32
Средний	3,32:4,95
Высокий	4,95:6,73
Очень высокий	6,73:10

Анализ данных о подверженности территории расположения исследуемого объекта оползневым процессам показал, что на данной территории присутствуют все возможные предпосылки активации оползневого процесса, при этом противооползневые и противогидрогеологические инженерные защитные сооружения отсутствуют.

Противопожарная система в здании отсутствует.

По последним имеющимся данным комплексные ремонтные и реставрационные работы на объекте проводились в 2000:2004 годах, при этом был допущен ряд нарушений при их проведении [7].

Рис. 2. Внешний вид исследуемого объекта до и после проведения реставрационных работ

Учитывая совокупность всех вышеизложенных фактов, показателю отсутствия потенциала противодействия угрозам может быть присвоен очень высокий уровень индикатора с численным значением 10.

На основании показателей по трем составляющим индекса риска формируются расчетные зависимости для вычисления соответствующих индексов и общего индекса риска. Интегральный индекс риска формируется как среднее геометрическое из составляющих индексов: опасности, уязвимости и отсутствия потенциала противодействия по формуле:

$$R = \sqrt[3]{4{,}38 \times 5{,}37 \times 10} = 6{,}2.$$

Уровень индикатора интегрального риска – высокий [4].

С учетом полученных показателей и данных о подверженности исследуемого объекта и территории его расположения негативным факторам и чрезвычайным ситуациям необходимо определить перечень защитных мероприятий для снижения интегрального индекса риска:

При Оползневом процессе: дренаж подземных вод и регулирование стока поверхностных вод укрепление основания склона (защита берега от подмыва).

Для пожарной безопасности установка систем противопожарной защиты.

Деструктивные процессы в материалах и конструкциях объекта: ремонтные и реставрационные работы.

Таким образом, методология ИНФОРМ является новым перспективным инструментом анализа и управления рисками и может быть применена для оценки устойчивости различных объектов.

Заключение

Люди часто находят в объектах культурного наследия необходимый элемент материальной и психологической поддержки. Возможность получить доступ к своему наследию – будь то религиозное сооружение, исторический город, археологический объект или ландшафт – может обеспечить столь необходимое чувство идентичности, достоинства и расширения прав и возможностей. Более того, после чрезвычайной ситуации культура может быть средством как восстановления экономики и общества, так и поощрения терпимости и примирения, смягчения напряженности и предотвращения новой эскалации конфликта.

Вот почему защита культуры в чрезвычайных ситуациях и использование ее возможностей для содействия миростроительству, восстановлению и примирению, а также ее потенциала по снижению уязвимости перед стихийными бедствиями имеют основополагающее значение для достижения устойчивого развития и укрепления безопасности [5].

В таком случае, подобный метод оценки устойчивости объекта культурного наследия может быть использован для выявления основных опасных факторов, дальнейшей разработки защитных или превентивных мероприятий и составления графика их проведения, а также заблаговременного выделения финансовых и материальных ресурсов для их осуществления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон от 25 июня 2002 г. N 73-ФЗ "Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации" // Электронный ресурс - https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37318/.

2. ГОСТ Р 56198-2014. Национальный стандарт Российской Федерации. Мониторинг технического состояния объектов культурного наследия. Недвижимые памятники. Общие требования".

3. . Постановление кабинета Министров Республики Татарстан от 03.11.2004 №471 «О преобразовании историко-архитектурного и природного парка «Долгая Поляна» в государственный природный заказник регионального значения комплексного профиля «Долгая Поляна» // Электронный ресурс – http://oopt.aari.ru/doc/Постановление-кабинета-Министров-Республики-Татарстан-от-03112004-№471.

4. *Арефьева Е.В., Рыбаков А.В.* О подходах к построению оценочного инструментария деятельности по снижению рисков бедствий: международный опыт / Сб. Материалов XXVI Международной научно-практической конференции «Предупреждение. Спасение. Помощь». Секция № 10 «Моделирование сложных процессов и систем». С. 5–11.

5. *Муравьева Е.В., Горбунова О.А.,* «Опасные природные процессы», Учебное пособие - КНИТУ-КАИ, кафедра ПЭБ, Казань, 2020.

6. Статья «История одной усадьбы: имение дворянского рода Молоствовых в Тетюшах» // Электронный ресурс – https://realnoevremya.ru/articles/58696-istoriya-odnoy-usadby-imenie-dvoryanskogo-roda-molostvovyh-vtetyushah.

7. .Статья «Природный заказник комплекного профиля «Долгая поляна» // Электронный ресурс - http://komanda-k.ru/Татарстан/природный-заказник-комплексного-профиля-долгая-поляна.

MODELING THE RESILIENCE OF HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE SITES TO EMERGENCY SITUATIONS

Nasretdinova A.A.

Supervisor: Muravyeva E.V.**,** Full Professor, Doctor of Pedagogical Sciences

(Kazan National Research Technical University named afterA.N. Tupolev—KAI, Kazan)

Abstract. The article considers and analyzes the features of the territory of the Tetyushsky municipality, as well as the territory of the historical and architectural park "Dolgaya Polyana" and describes the studied object of cultural heritage "Molostvov House:estate of the second half of the

XIX century". A methodology for assessing the sustainability of a cultural heritage object to the effects of emergency situations based on the INFORM methodology is proposed. The results of determining the degree of danger, vulnerability index and counteraction potential are presented, and the application of the logical: probabilistic method "tree structures" for hazard assessment is proposed.

УДК 614.8:355.583

БЫСТРОРАЗВИВАЮЩИЕСЯ ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ: ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ И ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Садыкова М.В.
Научный руководитель: Зарипова С.Н., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена исследованию правового регулирования систем оповещения населения в Российской Федерации, с акцентом на анализ действующих нормативных актов в сфере гражданской обороны и защиты населения. В работе рассматриваются современные требования к организации и функционированию автоматизированных систем оповещения, а также выделяются основные проблемы правового обеспечения в данной области.

Быстроразвивающиеся опасные природные явления (далее – БРОПЯ) представляют собой одну из наиболее серьезных угроз для безопасности населения и территорий любого государства. БРОПЯ характеризуются высокой скоростью развития, ограниченными возможностями прогнозирования и значительным поражающим потенциалом, что требует особого подхода к их мониторингу, прогнозированию и предупреждению. В последние десятилетия частота и интенсивность таких явлений возрастают, что обусловлено как климатическими изменениями, так и усилением антропогенного воздействия на природную среду.

Базовым нормативно-правовым актом в сфере защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) природного характера, в том числе обусловленных БРОПЯ, является федеральный закон [1] (далее – ФЗ-68), в соответствии с которым БРОПЯ определяются как «негативные явления и процессы, определенные в ходе прогнозирования угрозы возникновения чрезвычайных ситуаций, локализация и ликвидация которых требуют заблаговременной подготовки сил и средств единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций». Данное определение было включено в ФЗ-68 в 2015 году. В 2020 году идентичное определение было включено в национальный стандарт РФ [2] (далее – ГОСТ Р 22.0.03-2020), который отменен в 2023 году.

Приведенное выше определение подчеркивает два ключевых аспекта: во-первых, БРОПЯ должны быть идентифицированы в процессе прогнозирования, что указывает на их потенциальную предсказуемость при использовании современных методов мониторинга; во-вторых, для эффективного реагирования на такие явления необходима заблаговременная подготовка специализированных сил и средств.

Немного видоизмененное определение БРОПЯ (таблица) приведено в 2022 году в межгосударственном стандарте [3] (далее – ГОСТ 22.0.03-2022), введенном в действие в качестве национального стандарта РФ с 1 июня 2023 года.

Таблица 1

Определения БРОПЯ и их особенности

Документ	Определение	Ключевые особенности
ФЗ-68 (в ред. 2015)	БРОПЯ – негативные явления и процессы, определенные в ходе прогнозирования угрозы возникновения ЧС, локализация и ликвидация которой требуют заблаговременной подготовки сил и средств единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС	Акцент на прогнозировании угрозы возникновении ЧС, заблаговременной подготовке сил и средств РСЧС
ГОСТ Р 22.0.03-2020		Идентично определению в ФЗ-68, «которой» заменено на «которых»
ГОСТ 22.0.03-2022	БРОПЯ – негативные явления и процессы, определенные в ходе прогнозирования угрозы возникновения ЧС, локализация и ликвидация которых требуют заблаговременной подготовки сил и средств реагирования на ЧС	Идентично определению в ФЗ-68, «которой» заменено на «которых», «единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС» заменено на «реагирования на ЧС»

Среди основных нормативных правовых актов, регулирующих деятельность по обеспечению безопасности населения и территорий от ЧС, вызванных БРОПЯ, можно отметить следующие:

1) ФЗ-68, который регулирует взаимоотношения, связанные с предотвращением ЧС, уменьшением ущерба и потерь, ликвидацией ЧС, распределением полномочий в области защиты населения и территорий от ЧС между федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов РФ, органами местного самоуправления и организациями. В данном законе представлены основные понятия и определения, а также основные принципы в области защиты населения и территорий от ЧС. Закон формулирует приоритетные цели и задачи РСЧС. В нем закреплены нормы, которые определяют, какие полномочия имеют органы государственной власти в области защиты населения и территорий от ЧС, он определяет права и обязанности граждан РФ в этой сфере, включая социальную защиту пострадавших, а также требования к подготовке населения к действиям в ЧС;

2) федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ [4], главной целью которого является установление законодательных, экономических и социальных основ безопасности от пожаров в РФ. Он определяет права и обязанности граждан и руководителей организаций в области пожарной безопасности, а также последствия нарушения требований этой безопасности. Нормы закона регламентируют нормативное правовое обеспечение в области пожарной безопасности; разработку и реализацию мер пожарной безопасности; тушение пожаров и проведение аварийно-спасательных работ; выполнение работ и оказание услуг в области пожарной безопасности; информационное обеспечение в области пожарной безопасности; учет пожаров и их последствий; особый противопожарный режим;

3) федеральный закон от 19.07.1998 №113-ФЗ [5], который направлен на обеспечение функционирования гидрометеорологической службы, занимающейся сбором и анализом информации о погодных условиях, что критично для своевременного предупреждения и реагирования на изменения погоды, способные вызвать ЧС;

4) федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ [6], который затрагивает область охраны окружающей среды, что также имеет отношение к проблематике ЧС, вызванных БРОПЯ, так как деградация окружающей среды может привести к увеличению риска возникновения опасных природных явлений;

5) Указ Президента РФ от 11.07.2004 №868 [7], определяющий требования к МЧС России по осуществлению управления, координации, контроля и реагирования в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от ЧС, обеспечения пожарной

безопасности и безопасности людей на водных объектах, взаимодействуя с другими органами исполнительной власти, общественными объединениями и организациями;

6) постановление Правительства РФ от 30 декабря 2003 г. № 794 [8], которым утверждено положение о РСЧС, определены принципы построения данной системы, состав сил и средств, порядок выполнения задач и взаимодействия основных элементов системы. Положения документа определяют основы функционирования системы, регулируют вопросы функционирования органов управления, сил и средств федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов РФ, органов местного самоуправления, организаций, в полномочия которых входит решение вопросов по защите населения и территорий от ЧС, в том числе вызванных БРОПЯ;

7) национальный стандарт ГОСТ Р 55059-2012 [9] является основным нормативным актом, устанавливающим основные понятия в области управления рисками ЧС, в том числе вызванных БРОПЯ;

8) национальный стандарт ГОСТ Р 22.2.03 - 2022 [10] устанавливают требования к разработке, содержанию и порядку ведения паспорта безопасности административно-территориальных единиц, и определяет, какие задачи должен решать паспорт безопасности, включая оценку рисков, выявление источников опасности, анализ сценариев ЧС, оценку социально-экономических последствий, определение необходимых сил и средств, разработку мероприятий по предупреждению и снижению последствий, и информирование населения, а также определяет разделы, из которых состоит каждый паспорт.

Из анализа нормативных правовых актов следует, что несмотря на наличие единого подхода к определению БРОПЯ, в них отсутствует классификация последних по степени их катастрофичности, что в условиях отсутствия единой методической системы прогноза и оценки складывающейся обстановки на территориях РФ при возникновении или угрозе возникновения ЧС, а также увеличения частоты и масштабов последствий ЧС способствовало росту количества исследований, посвященных различным аспектам изучения природы возникновения БРОПЯ и их негативного воздействия на окружающую среду. Многообразие неоднородных и размытых определений и классификаций БРОПЯ, лежащих в основе этих исследований, затрудняет применение их результатов в практической плоскости, в частности, по своевременному осуществлению целенаправленных мер по предупреждению возможных ЧС.

С целью повышения эффективности мер по предупреждению и ликвидации ЧС, обеспечения единства организации взаимодействия субъектов прогнозирования и порядка действий подсистем РСЧС по прогнозированию ЧС в 2024 году разработаны Методические рекомендации [11], которые содержат рекомендации по организации мониторинга и прогнозирования ЧС, организации взаимодействия субъектов прогнозирования ЧС, информационное и методическое обеспечение прогнозирования последних, методику разработки прогнозной информации и оценки экономического эффекта прогнозирования ЧС. В Методических рекомендациях приведено ранжирование ЧС природного характера по степени их катастрофичности, при этом отсутствует термин БРОПЯ.

Приведенное в выше рассмотренных нормативных правовых актах определение БРОПЯ, не подкреплено подзаконными или иными нормативными правовыми актами, методическими разработками, позволяющими осуществить их классификацию по различным критериям, получить адекватные прогнозы угроз возникновения ЧС, и устанавливающими порядок действий территориальных подсистем РСЧС по планированию экономически обоснованных мероприятий (в том числе подготовку сил и средств реагирования на ЧС), направленных на повышение эффективности защиты населения и территорий.

Понятие БРОПЯ непосредственно связано с понятием «зона экстренного оповещения населения», под которой в соответствии с Положением о системах оповещения населения [15] понимается «территория, подверженная риску возникновения БРОПЯ, представляющих непосредственную угрозу жизни и здоровью находящихся на ней людей». В соответствии со статьей 5 ФЗ-68 границы зон ЧС и зоны экстренного оповещения определяются на основе

классификации ЧС, которая установлена постановлением Правительства РФ от 21 мая 2007 г. №304 [16]. Следовательно, для создания эффективной системы предупреждения и ликвидации ЧС, обусловленных БРОПЯ, в котором участвуют представители от федеральных органов власти до местных служб экстренного реагирования, крайне важно иметь не только единую терминологию, но и обоснованную классификацию ЧС, обусловленных БРОПЯ.

Методика экономической оценки эффективности мероприятий по прогнозированию и предупреждению ЧС, в том числе обусловленных БРОПЯ, изложена в Методических рекомендациях МЧС России от 25 мая 2022 г. [17], предусматривающих расчет экономического эффекта от использования оперативных прогнозов, что способствует оптимальному распределению бюджетных средств.

Таким образом, БРОПЯ представляют собой особую категорию природных угроз, требующую специального подхода к мониторингу, прогнозированию и предупреждению. Правовое регулирование данной сферы характеризуется высокой степенью систематизации и единообразием терминологии на всех уровнях нормативного регулирования.

Ключевое значение имеет интеграция понятия БРОПЯ в РСЧС, что обеспечивает эффективную координацию действий всех участников системы и оптимальное использование имеющихся ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ (ред. от 02.05.2015) «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» // Собрание законодательства Российской Федерации. — 1994. — № 35. — Ст. 3648.

2. ГОСТ Р 22.0.03-2020. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. — Введ. 2021-03-01. — М.: Стандартинформ, 2021. — 12 с.

3. ГОСТ 22.0.03-2022. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. — Введ. 2023-06-01. — М.: Институт стандартизации, 2023. — 16 с.

4. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [Электронный ресурс] / https://www.consultant.ru/document/ cons_doc_LAW_5438 (дата обращения 07.03.2025).

5. Федеральный закон от 19.07.1998 № 113-ФЗ «О гидрометеорологической службе» [Электронный ресурс] / https://www.consultant.ru/document/ cons_doc_LAW_19456 (дата обращения 07.03.2025).

6. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [Электронный ресурс] / https://www.consultant.ru/document/ cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения 07.03.2025).

7. Указ Президента РФ от 11.07.2004 № 868 «Вопросы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий [Электронный ресурс] / https://www.consultant.ru/ document/cons_doc_LAW_48356/ (дата обращения 07.03.2025).

8. Постановление Правительства РФ от 30 декабря 2003 г. № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» [Электронный ресурс] / https://www.consultant.ru/document/ cons_doc_LAW_45914/ 492eda9f08b2b56e284a2ab0b4c8d3719f3a2585/ (дата обращения 07.03.2025).

9. ГОСТ Р 55059-2012 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайных ситуаций. Термины и определения [Электронный ресурс] / https://docs.cntd.ru/document/1200102321 (дата обращения 07.03.2025).

10. ГОСТ Р 22.2.03 - 2022 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Паспорт безопасности административно-территориальных единиц. Общие положения [Электронный ресурс] / https://docs.cntd.ru/document/1200183706 (дата обращения 07.03.2025).

11. Методические рекомендации МЧС России от 15.03.2024 № М-11-997 «По мониторингу и прогнозированию чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». — М.: МЧС России, 2024. — 62 с.

12. ГОСТ 22.0.06-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники природных чрезвычайных ситуаций. Поражающие факторы. — Введ. 1996-07-01. — М.: Госстандарт России, 1995. — 16 с.

13. Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2007. — № 22. — Ст. 2669.

14. Методические рекомендации МЧС России от 25.05.2022 № 2-4-71-15-1 «О порядке расчета экономической эффективности мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций». — М.: МЧС России, 2022. — 28 с.

15. Приказ от 31 июля 2020 г. № 578/365 «Об утверждении Положения о системах оповещения населения»: [нормативно-правовой акт].

16. Постановление Правительства Российской Федерации от 21 мая 2007 г. № 304 (ред. от 27 марта 2025 г.) «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»: [нормативно-правовой акт].

17. Методические рекомендации МЧС России от 25.05.2022 № 2-4-71-15-1 «О порядке расчета экономической эффективности мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций». — М.: МЧС России, 2022. — 28 с.

RAPIDLY DEVELOPING HAZARDOUS NATURAL PHENOMENA: LEGAL REGULATION AND SIGNIFICANCE FOR THE EMERGENCY WARNING SYSTEM

Sadykova M.V.

Supervisor: Zaripova S.N., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Annotation. The article is dedicated to the study of the legal regulation of population warning systems in the Russian Federation, focusing on the analysis of current regulatory acts and standards in the field of civil defense and population protection. The paper examines modern requirements for the organization and functioning of automated warning systems and highlights the key problems of legal support in this area.

УДК 614.82: 614.83: 614.87

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ИСТОРИЧЕСКОЙ ТЕРРИТОРИИ Г. КАЗАНИ

Саляхутдинова А.А.

Научный руководитель: Алексеева Е.И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье представлены результаты геоэкологического районирования исторической территории города Казани. Исследование направлено на выявление и картографирование зон с различными уровнями экологической опасности и устойчивости, обусловленными природными условиями, историческими особенностями застройки и современными антропогенными нагрузками. Используются современные геоинформационные технологии, методы геоэкологического мониторинга и оценки экологического состояния для определения приоритетных территорий для охраны и реконструкции. Полученные данные позволяют сформировать рекомендации по рациональному использованию природных ресурсов, сохранению культурного наследия и обеспечению экологической безопасности города в рамках устойчивого развития.

Динамичные и агрессивные изменения в окружающей среде, включая геологические процессы, вызванные строительной и хозяйственной деятельностью человека за последнее столетие, создают серьезные риски для устойчивости исторических территорий.

Тем не менее, решение этой проблемы осложняется недостаточной разработанностью научно-методического обеспечения для оценки геоэкологической обстановки на исторических территориях при комплексном воздействии природных, техногенных и антропогенных факторов.

В связи с этим в данной работе мы предлагаем методику индикаторной системы для геоэкологического районирования исторической территории г. Казани, основанную на методике автора работы [1]. Эта система позволит разработать обоснованный и рациональный перечень мероприятий, направленных на повышение устойчивости исторической территории.

В основе предлагаемой методики будет лежать интегральный геоэкологический показатель (рис. 1). Этот показатель позволит комплексно оценить состояние окружающей среды и выявить ключевые факторы, влияющие на геоэкологическую ситуацию рассматриваемой территории.

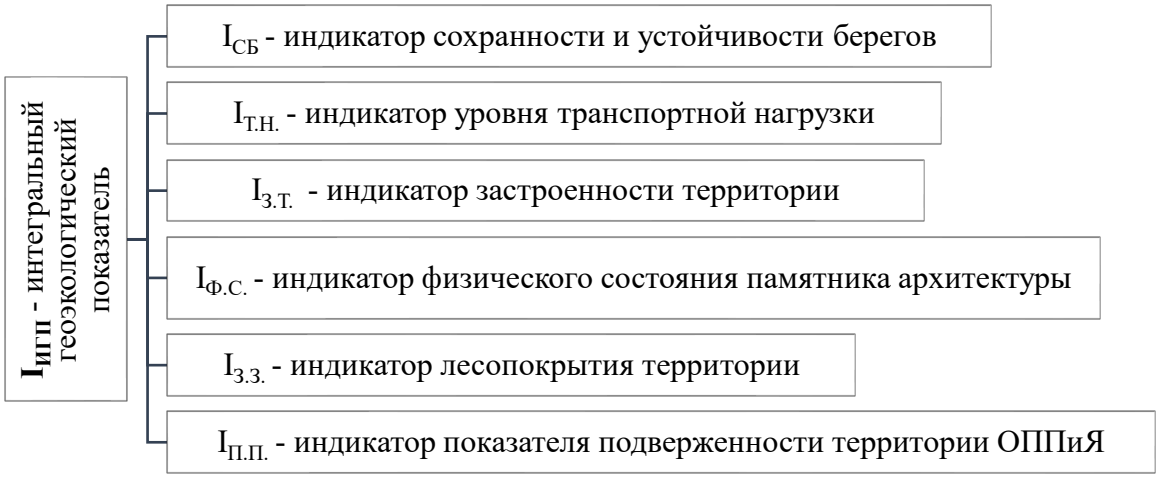


Рис. 1 Структура интегрального геоэкологического показателя

Интегральный геоэкологический показатель, представляет собой среднюю арифметическую всех частных индикаторов:

$$I_{ИГП} = \frac{I_{сб} + I_{т.н.} + I_{з.т.} + I_{ф.с.} + I_{з.з.} + I_{п.п.}}{6} \quad (1)$$

где $I_{сб}$- индикатор сохранности и устойчивости берегов, ед.;

$I_{т.н.}$- индикатор уровня транспортной нагрузки, ед.;

$I_{з.т.}$ - индикатор застроенности территории, ед.;

$I_{ФС}$– индикатор физического состояния здания памятников архитектуры, ед;

$I_{з.з.}$ - индикатор лесопокрытия территории, ед.;

$I_{п.у.}$ – индикатор показателя подверженности территории опасных природных процессов и явлений, ед.

Главная задача оценки интегрального геоэкологического показателя с использованием предлагаемой методики – это создание имитационной модели геоэкологической обстановки территории г. Казани, дающая обобщенное изображение на топографической основе.

В таблице 1 указаны интервалы возможных значений интегрального геоэкологического показателя с целью проведения геоэкологического районирования территории г. Казани.

Таблица 1

Шкала интегрального геоэкологического показателя [1]

Обозначение на карте	Интервал значений $I_{ИГП}$	Наименование зоны
	0,5-1	благоприятная
	0-0,5	умеренно-благоприятная
	-0,5-0	неблагоприятная
	-1 – -0,5	кризисная

Интегральный геоэкологический показатель представляет собой комплексную оценку состояния окружающей среды, которая позволяет учитывать множество факторов и взаимосвязей, влияющих на геоэкологическую ситуацию в определенной территории. В контексте исторической территории г. Казани такой показатель является особенно важным, поскольку он дает возможность не только определить текущий уровень геоэкологической ситуации, но и выявить ключевые факторы, оказывающие влияние на устойчивость таких территорий. Это включает в себя анализ состояния природных ресурсов, техногенных процессов, а также антропогенного воздействия на историческую застройку и природные ландшафты.

В рамках исследования для расчета интегрального геоэкологического показателя были выбраны 10 памятников архитектуры и значимых объектов культурного наследия Казани. Эти объекты являются не только важной частью историко-культурного наследия города, но и потенциальными индикаторами геоэкологической ситуации в их непосредственной близости.

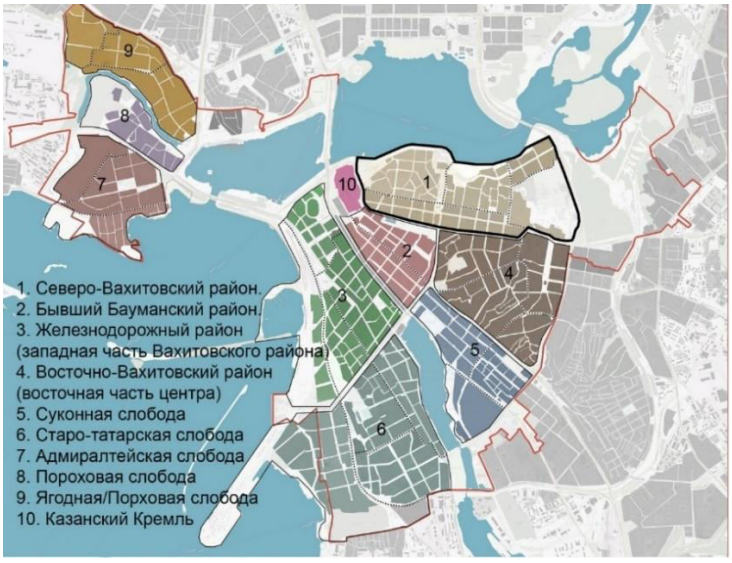


Рис. 2 Карта исторической территории Казани, разделенная на зоны

Для определения интегрального геоэкологического показателя каждой зоны исторического центра города Казани необходимо выполнить расчет значений соответствующих индикаторов для каждой отдельной зоны. В процессе расчета учитываются все исходные показатели, характеризующие экологическую и геоэкологическую ситуацию в каждой зоне, что позволяет получить комплексную оценку состояния и уровня экологической безопасности в рамках каждого участка исторического центра.

Анализ значений расчетного геоэкологического показателя для каждой зоны с определением уровня опасности представлен в таблице 2.

Таблица 2

Шкала интегрального геоэкологического показателя для исторических зон г. Казани

Зона исторического центра	$I_{ИГП}$	Наименование зоны	Обозначение на карте
1. Северо-Вахитовский район	0,37	умеренно-благоприятная	
2. Бывший Бауманский район	0,52	благоприятная	
3. Железнодорожный район (западная часть Вахитовского района)	-0,03	неблагоприятная	
4.Восточно-Вахитовский район (восточная часть центра)	0,38	умеренно-благоприятная	
5. Суконная слобода	0,29	умеренно-благоприятная	
6. Старо-татарская слобода	0,22	умеренно-благоприятная	
7. Адмиралтейская слобода	0,44	умеренно-благоприятная	
8. Пороховая слобода	0,35	умеренно-благоприятная	
9. Ягодная/Порховая слобода	0,52	благоприятная	
10. Казанский Кремль	0,32	умеренно-благоприятная	

Исходя из таблицы 2 была разработана карта геоэкологического районирования для исторических зон города Казани, представленная на рисунке 3.

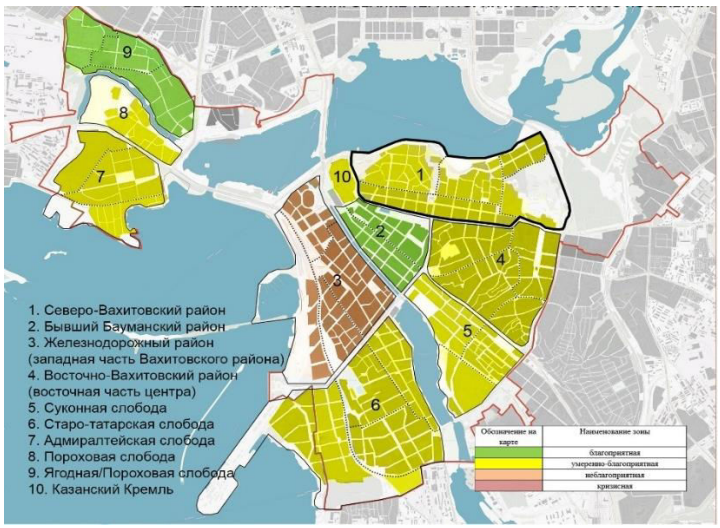


Рис. 3 Карта геоэкологического районирования для исторических зон города Казани

При проведении районирования особое внимание уделяется району с отрицательным значением интегрального показателя. Железнодорожный район представляет собой урбанизированную территорию, отличающуюся ярко выраженной транспортной направленностью. Анализ показал, что на этой территории уровень техногенного воздействия на все компоненты геосферы крайне высок: четыре из шести индикаторов выходят за пределы интервала -1. Такой результат свидетельствует о том, что геоэкологическая ситуация в данном районе является неблагоприятной.

Следует отметить, что все разработанные в рамках данной работы индикаторы отражают текущее состояние геоэкосфер исторической части города Казани. Однако для эффек-

тивного планирования мероприятий по сохранению памятников архитектуры и объектов культурного наследия важно учитывать динамику изменений в геоэкологических факторах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Аракелов М.С.* Методика геоэкологического районирования приморских территорий Туапсинского района Краснодарского края на основе индикаторного подхода: специальность 25.00.36 «Геоэкология (по отраслям)»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук / Аракелов Микаэл Сергеевич. – Санкт-Петербург, 2011. – 23 с.

2. *Arefieva E.V.* The issues of sustainability of historical and cultural areas associated with their periodic underflooding and solutions / E.V. Arefieva, E.V. Muraveva, E.I. Alekseeva // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering : International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety - 6. Analysis, Assessment and Technologies of Natural and Man-Made Disasters Reduction, Chelyabinsk, 25–27 сентября 2019 года. Vol. 687, 6. – Chelyabinsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 066031. – DOI 10.1088/1757-899X/687/6/066031.

3. *Тумурзина К.Е.* Геоэкологические проблемы застроенных исторических территорий Г. Казани / К.Е. Тумурзина, Е.И. Алексеева // Моделирование сложных процессов и систем: Сборник трудов XXXIV Международной научно-практической конференции, Химки, 01 марта 2024 года. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика, 2024. – С. 110-113.

GEOECOLOGICAL ZONING OF THE HISTORICAL TERRITORY OF KAZAN

Salyakhutdinova A.A.

Supervisor: Alekseeva E.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article presents the results of geoecological zoning of the historical territory of the city of Kazan. The study is aimed to identifying and mapping zones with different levels of environmental hazard and sustainability due to natural conditions, historical features of development and modern anthropogenic loads. Modern geoinformational technologies, methods of geoecological monitoring and assessment of the environmental condition are used to determine the priority areas for protection and reconstruction. The obtained data allows to form recommendations on the rational use of natural resources, preservation of cultural heritage and ensuring the environmental safety of the city within the framework of sustainable development.

УДК 614.82: 614.83: 614.87

МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ ОЦЕНКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ

Саляхутдинова А.А.

Научный руководитель: Алексеева Е.И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Авторами работы рассматриваются современные методы и подходы оценки геоэкологических рисков, связанных с воздействием природных и техногенных факторов на застроенные исторические территории. Анализируются основные концептуальные модели, используемые для идентификации и количественной оценки потенциальных угроз, а также методы сбора и обработки геоинформационных данных. Особое внимание уделяется интеграции геоэкологических исследований с системами мониторинга и моделирования, что позволяет повысить точность прогнозирования и разработать эффективные меры по снижению рисков.

Методы и подходы оценки геоэкологических рисков представляют собой комплекс процедур, направленных на выявление, количественную и качественную оценку опасностей, связанных с природными, техногенными и антропогенными факторами, влияющими на окружающую среду.

Все методы можно объединить в группы:

1) Количественные методы.

Основаны на статистическом анализе, моделировании распространения, к примеру загрязняющих веществ, и мониторинге окружающей среды. Также позволяют определить вероятность возникновения негативных событий и величину ущерба. Часто используются математические модели, теория вероятностей и метод анализа иерархий для объединения разнородных данных.

Пример: оценка риска с помощью матрицы риска, где по вероятности и ущербу определяется категория риска (незначительный, малый, средний, высокий, катастрофический).

2) Качественные методы.

Включают экспертные оценки, анализ сценариев, методы Дельфи, SWOT-анализ. Применяются для оценки рисков, которые сложно измерить количественно, например, социально-экономических последствий.

3) Интегрированные подходы.

Комбинируют количественные и качественные методы, используя мультикритериальный анализ и геоинформационные системы для пространственного картографирования рисков. Позволяют выявлять наиболее уязвимые территории и планировать мероприятия по снижению рисков.

4) Методы инструментальной оценки.

Используют данные инструментальных наблюдений (сейсмические записи, параметры грунтов) для оценки интенсивности природных и техногенных процессов. Позволяют проводить геоэкологическое районирование с учётом вероятности и интенсивности опасных явлений, например, землетрясений.

5) Экспертные и социологические методы.

Используются для комплексной оценки экологического и социального воздействия.

Далее рассмотрим некоторые авторские методы и подходы к оценке геоэкологических рисков.

В своей работе автор под геоэкологическим риском понимает вероятностную меру опасности или степень вероятности нарушения устойчивости окружающей среды при любых воздействиях, включая хозяйственную деятельность [1]. Автор предлагает использовать показатель обобщенного геоэкологического риска, который оценивается по степени риска и значению ущерба. Структура геоэкологического риска R определяется как вероятность возникновения негативных последствий, вызываемых развитием природно-мелиоративных процессов, приводящих к экологическим ущербам:

Среди основных факторов, влияющих на геоэкологический риск, автор выделяет: исходное экологическое состояние природной среды; потенциальную природную устойчивость; масштаб и интенсивность мелиоративных воздействий; стохастичность природной среды и погодных условий; надежность мелиоративных сооружений и пр.

Авторами работы [1] разработана методика геологического риска, включающая оценку физического риска, социального и экономического риска от проявлений карстово-суффозионных и склоновых процессов, а также от процессов подтопления на территории исторического центра г. Казани с целью дальнейшего картографирования. Интегральный риск представляет собой суммарный риск от группы экзогенно-геологических процессов.

Авторами работы [2] представлена методика оценки геоэкологических рисков территорий городских агломераций. Данная методика основана на оценке корреляционных связей между различными уровнями заболеваемости и состоянием природной среды, а также

авторами дана оценка комфортности городской среды и разработаны рекомендации для осуществления мероприятий по улучшению экологической обстановки.

В данной работе [3] авторы представили программу комплексных научных исследований, направленных на разработку мониторинга кислотных выпадений и количественную оценку геоэкологических рисков в российских полярных наземных и морских экосистемах в зонах влияния предприятий нефтегазовой промышленности, что также не является задачей нашего исследования.

Так автор работы [4] представил методику оценки геоэкологического риска на основе индикаторных систем, которые представляют собой набор показателей, позволяющие оценивать уровень геоэкологических рисков с целью дальнейшего районирования. При этом автором разработана шкала геоэкологической ситуации, представленная в таблице 1.

Таблица 1

Шкала геоэкологической ситуации

Значение интегрального геоэкологического показателя	Геоэкологическая ситуация
0,5 – 1	Благоприятная
0 – 0,5	Умеренно-благоприятная
-0,5 – 0	Неблагоприятная
-1 – -0,5	Кризисная

На основе разработанных индикаторов автором предлагается оценка интегрального геоэкологического показателя, который представляет собой среднюю арифметическую всех индикаторов:

$$I_{\text{ИГП}} = \frac{I_{\text{ЗА}} + I_{\text{ТН}} + I_{\text{ЗСС}} + I_{\text{ТБО}} + I_{\text{Застр}} + I_{\text{Лес}} + I_{\text{ОбПл}} + I_{\text{ТСР}} + I_{\text{КВ}}}{9} \quad (1)$$

Данный показатель позволяет провести сравнительный анализ геоэкологических особенностей исследуемой территории.

По результатам расчёта, с помощью шкалы геоэкологической ситуации разрабатывается карта геоэкологического районирования территорий.

Ввиду особенности данного метода, для каждой отдельной территории необходимо выбирать определенные индикаторы, которые могут значительно отличаться от индикаторов для другой. В следствие этого всегда существует вероятность исключение фактора, который на первый взгляд, не имеет значения на данной территории, или же напротив, включение в список индикаторов малозначимых факторов, что может привести к полному и корректному анализу рисков на исследуемой территории.

Ниже представлена таблица, которая систематизирует достоинства и недостатки различных методов оценки геоэкологических рисков, основанная на рассмотренных подходах (таблица 2).

Таблица 2

Преимущества и недостатки методов и подходов оценки геоэкологических рисков

Методы и подходы оценки геоэкологических рисков	Преимущества	Недостатки
Методика Карпенко	Хорошо выявляет, на основе количественной и качественной оценки, геокологические риски в области функционирования мелиоративных систем	К недостаткам данного метода в рамках нашего исследования стоит отнести тот факт, что при оценке геоэкологического риска не учитывается физическое состояние памятников архитектуры как индикатор воздействия опасных факторов природных, техногенных и антропогенных процессов.

Методика Гараева	Результатом оценки геологического риска с использованием данной методики, является отражение в серии соответствующих карт, которое позволяет наглядно продемонстрировать, на каких участках какие риски преобладают и на основе этого принять соответствующие решения по снижению влияния данных рисков.	Недостатком данного метода в рамках нашего исследования является учет физического, социального и экономического показателей. При этом не учитывается особенность исторических территорий, а также транспортная нагрузка и воздействие других опасных природных процессов и явлений кроме карстово-суффозионных
Методика Косинова	Достоинством предлагаемой методики оценки ГЭР является возможность владения общей ситуацией, рассматривать даже условно удовлетворительное состояние гео-экосистемы с точки зрения угрозы риска, определять приоритетность и эффективность природоохранных мероприятий, что особенно актуально для крупных городских агломераций.	Существенным недостатком в рамках нашего исследования является учет лишь содержания аммония, нитратов и нитритов в почве и снежном покрове и их воздействия на населения г. Воронеж, что не входит в задачи нашего исследования
Методика Башкина	Предлагаемая методика оценки рисков для экосистем, связанных с выбросами предприятий газовой промышленности, позволяет провести количественную оценку не только величины прогнозируемых изменений в состоянии экосистем, но и вероятности их наступления. В ней заложена возможность детальной характеристики экосистем как объектов техногенного воздействия. Кроме того, данная методика учитывает тесные взаимосвязи между отдельными компонентами наземных и водных экосистем, а также естественную вариабельность параметров, характеризующих состояние этих компонентов.	Данная методика достаточно узконаправлена, рассматривает частные случае в виде влияния предприятий нефтегазовой промышленности и не затрагивает другие возможные воздействия на геоэкологическую обстановку.
Методика Аракелова	Данная методика на основе индикаторной системы с последующим районированием позволяет наглядно продемонстрировать геоэкологическую ситуацию для конкретной территории и вследствие этого предпринимать соответствующие решения по	Ввиду особенности данного метода, для каждой отдельной территории необходимо выбирать определенные индикаторы, которые могут значительно отличаться от индикаторов для другой. вследствие этого всегда существует вероятность исключение фактора, который на первый взгляд, не имеет значения

	улучшению геоэкологического состояния отдельных участков.	на данной территории, или же напротив, включение в список индикаторов малозначимых факторов, что может привести к полному и корректному анализу рисков на исследуемой территории

Методы и подходы оценки геоэкологических рисков являются многообразными и взаимодополняющими. Их применение позволяет получить комплексное представление о состоянии окружающей среды и угрозах для исторических памятников, что является необходимым условием для эффективного управления этими рисками. Важно учитывать специфику каждой территории при выборе методов оценки, чтобы обеспечить максимальную точность и надежность получаемых данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гараева А.Н.* Оценка геологического риска для территории Вахитовского района г. Казани / А.Н. Гараева, Н.И. Жаркова // Вестник НЦБЖД. – 2012. – № 3(13). – С. 125-132.

2. *Косинова И.И.* Теория и методология геоэкологических рисков / И.И. Косинова, Н.Р. Кустова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2008. – № 2. – С. 189-197.

3. *Башкин В.Н.* Оценка геоэкологических рисков в зонах влияния предприятий нефтегазовой промышленности в Российской Арктике / В.Н. Башкин, О.П. Трубицина, И.В. Припутина // Арктика и Север. – 2015. – № 20. – С. 92-98.

4. *Аракелов М.С.* Методика геоэкологического районирования приморских территорий Туапсинского района Краснодарского края на основе индикаторного подхода: специальность 25.00.36 «Геоэкология (по отраслям)»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук – Санкт-Петербург, 2011. – 23 с.

METHODS AND APPROACHES FOR ASSESSING GEOECOLOGICAL RISKS

Salyakhutdinova A.A.

Supervisor: Alekseeva E.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The authors consider modern methods and approaches for assessing geoecological risks associated with the impact of natural and man-made factors on built-up historical territories. The main conceptual models used to identify and quantify potential threats, as well as methods for collecting and processing geographic information data, are analyzed. Special attention is paid to the integration of geoecological research with monitoring and modeling systems, which makes it possible to increase forecasting accuracy and develop effective risk mitigation measures.

УДК: 656.7.022.1

КЛАСТЕРНАЯ МОДЕЛЬ АВИАТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Сафонова А.В.

(Московский государственный технический университет гражданской авиации, г. Москва)

Аннотация. В статье приведено определение кластера в контексте региональной авиатранспортной системы, определены его характерные особенности и возможные схемы формирования; проведен анализ верхних основных бизнес-процессов авиакомпании, аэропорта и авиаремонтного предприятия, а также обусловлены их основные проблемы; выработан вариант решения.

Учитывая климатические, природные факторы, а также масштабы страны, транспортная отрасль является приоритетной и стратегической задачей развития. Со стороны государства формируется «Транспортная стратегия», описывающая текущий вектор развития отрасли, политику внедрения инноваций и контрольные точки реализуемых проектов.

В условиях современной экономики технологий, а также принимая во внимание аспект наращивания скорости единичных технологических операций, принятия оперативных решений и времени, затрачиваемого на полный оборот цикла любого бизнес-процесса, ключевыми свойствами конкурентоспособной системы становятся скорость и бесперебойности при условии соблюдения уровней качества и безопасности.

Мировые компании объединяются в концерны, кооперативы, корпорации и прочие экономические формы ведения бизнеса с целью удержать преимущество и не допустить падения спроса при наличии ограниченных ресурсов.

Данная тенденция наблюдается и в России – от части в виде объектов естественных монополий, отчасти – в виде крупных промышленных гигантов.

Так автомобильный (в аспекте грузовых перевозок) и водный виды транспорта имеет несколько крупных игроков на рынке, железнодорожный транспорт представляет крупная компания, являющаяся объектом естественной монополии.

Воздушный транспорт в России в настоящее время, что касается перевозчиков можно считать разобщенным в виду характерных особенностей. За период 2020 – 2023 годов из сотни зарегистрированных авиаперевозчиков порядка 87% общего объема перевозок выполняются 15 ведущими авиакомпаниями. При этом парк воздушных судов, включая малую авиацию, по состоянию на конец 2024 года на 92% состоит из воздушных судов иностранного производства, обслуживание которого начиная с 2022 года стало весьма затруднительно в связи с политической обстановкой и внешнеэкономическим давлением.

Основным видом кооперации в авиатранспортной отрасли Российской Федерации на данный момент можно считать холдинги. Такие объединения как Новапорт, Региональные аэропорты и прочее позволяют поддерживать различные предприятия авиатранспортной отрасли путем синергии операционных процессов предприятий. Стоит обратить внимание, что используемый вариант кооперации предполагает сотрудничество разного типа компаний. Каждый холдинг контролирует часть территорий Российской Федерации в области организации авиаперевозок, что позволяет поддерживать развитие региональных авиатранспортных узлов. Формирование объединения предприятий на основе субсидированных перевозок, дает дополнительный фактор стабильности производственной деятельности холдинга, так как решение о сокращении воздушных линий коммерческих перевозок больше зависит от динамики рынка, чем в случае субсидированных перевозок[1]. Учитывая резкие изменения маршрутных сетей авиакомпаний Российской Федерации с 2020 года и общую волатильность рынка следует принять во внимание необходимость кооперации авиатранспортных предприятий.

Таким образом, представляется целесообразным рассмотреть перспективу кластерного подхода к формированию авиатранспортной отрасли в условиях глобальной переориентации логистических связей как путь развития воздушных перевозок.

Кластер – комплекс зданий и сооружений, принадлежащих компаниям, деятельность которых осуществляется в одной технологической и экономической отрасли, расположенных в территориальной близости друг от друга[2].

Из этого следует, что характерными особенностями кластера являются:

- зонирование (выделение зоны – географической области определения объектов инфраструктуры предприятий, осуществляющих деятельность в отрасли);
- формирование специфических условий среды (нормативно-правовые, технологические, физические, экономические, территориальные и др.);
- плотность связей, интеграция (отраслевое сообщество при внутреннем взаимодействии формирует предпосылки развития).

Кроме того, необходимо отметить, что формирование кластера подразумевает процесс кооперации предприятий, как правило, по функциональному принципу. Основой кластера является деятельность предприятий в одной отрасли. Исходя из этого, кластеру могут быть сформированы по принципу горизонтальной или вертикальной интеграции. В случае авиатранспортной системы стоит рассматриваю горизонтальную кооперацию, в качестве объединения авиакомпаний или аэропортов. А вертикальную как объединение по цепи выполнения технологических процессов перевозки, то есть аэропорт- авиакомпания.

То есть, кластер в авиатранспортной отрасли может иметь несколько схем, основанных на следующей матрице (таблица 1).

Таблица 1

Матрица принципов формирования кластеров в авиатранспортной отрасли

Вид предприятия/ контрагент	Авиакомпания (АК)	Аэропорт (АП)	Авиаремонтное предприятие (АР)
Авиакомпания (АК)	АК-АК	АК-АП	АК-АР
Аэропорт (АП)	АК-АП	АП-АП	АП-АР
Авиаремонтное предприятие (АР)	АК-АР	АП-АР	АР-АР

В настоящее время наиболее эффективной схемой образования кластеров представляются АР-АР и АП-АП. При этом в схеме объединения аэропортов пренебрегается фактор территориальной близости в виду специфики деятельности, однако, остальные особенности кластера присутствуют.

Наиболее эффективной с точки зрения организации и построения технологии основных процессов при осуществлении деятельности может стать схема АП-АР.

Во-первых, в такой схеме формируется дифференцированная авиационно-техническая база, управление которой позволит стабильно обеспечивать обслуживание воздушных судов с возможностью сокращения времени относительно существующих условий.

Во-вторых, повысит привлекательность аэропорта как хаба и точки маршрута. Соответственно появиться возможность более эффективно обслуживать глобальные цепочки поставок, увеличив грузопотоки через аэропорты[3].

В-третьих, при построении технологического процесса в штатных условиях позволит сократить время простоев.

Однако у данной модели существуют и ограничения. В первую очередь, действующее законодательство в области размещения объектов в пределах зон с особыми условиями использования территорий и функционального деления видов разрешённого использования земельных участков. Также ограничения могут быть связаны с плотностью застройки, так как многие региональные аэропорты федерального значения, построенные 1960-1980 годы располагаются в границах населённых пунктов или на смежных территориях.

Еще одним ограничением может стать неравномерность распределения объектов по территории страны. Так, в некоторых регионах авиапроизводственных и ремонтных мощностей в настоящее время в принципе нет, что может существенно увеличивать сроки и стоимость образования кластера на таких территориях.

Авиатранспортный кластер может быть сформирован на базе региональной авиатранспортной системы.

Например, в Иркутске, Новосибирске и Казани имеются значительные авиапроизводственные мощности, в том числе такого предприятия, как ПАО «Яковлев» и S7-Group. Аэропорты в указанных городах за период 2020-2024 годов имеют стабильную положительную динамику роста пассажиропотока (более 20%). Сами города имеют население не менее 1 миллиона человек и являются административными и экономическими центрами роста в соответствующих субъектах Российской Федерации.Также следует отметить прохождение международных транспортных коридоров через указанные города и наличие

крупных логистических центров, рисунок 1. Следовательно может рассматриваться возможность наращивания не только пассажирских, но и грузовых перевозок.

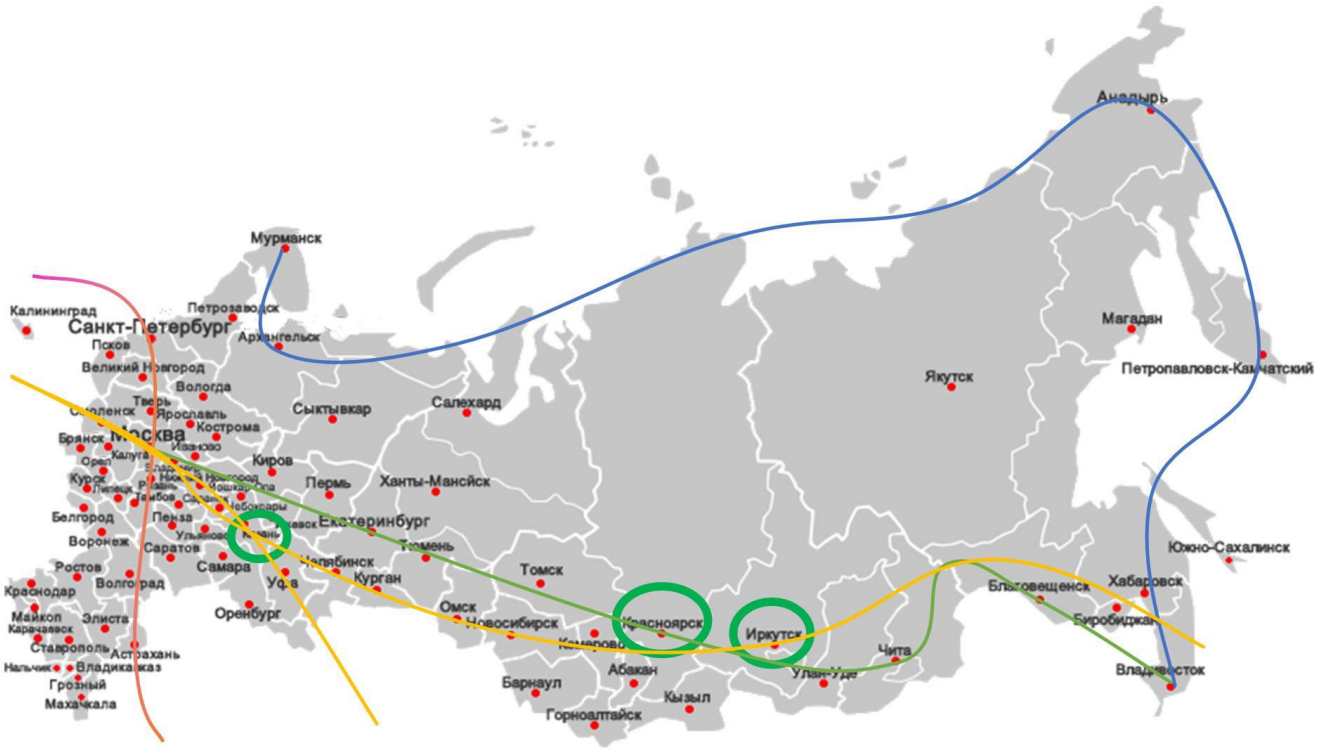


Рис.1. Основные международные транспортные коридоры, проходящие через территорию Российской Федерации (составлено автором).

Кластерный подход к формированию региональной авиатранспортной системы в данном случае может стать одним из наиболее эффективных решений. Применение кластера обеспечит синхронизацию процессов планирования и управления операционной деятельностью, что позволит:

- снизить риски возникновения внештатных ситуаций;
- обеспечить единообразие и стандартизацию технологических процессов;
- снизить логистические издержки при осуществлении деятельности.

В данном случае, можно говорить о формировании общих подходов к управлению операционными процессами у предприятий кластера, что даст синергитический эффект для всех участников перевозочного процесса [5]. Таким образом, в указанных городах есть потенциал формирования кластеров, которые могут способствовать совершенствованию деятельности и качественному улучшению результатовфункционирования каждой из региональных авитранспортных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Степаненко А.С.* Комплексное Развитие региональных аэропортов / А.С. Степаненко, Е.О. Куренкова // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2023. – № 3. – С. 269-278. – DOI 10.22281/2413-9920-2023-09-03-269-278. – EDN VKZIJO.

2. *Анисова Н.А.* Типовая модель кластера как методологическая основа теории кластеров / Ю.Г. Лаврикова, Н.И. Пляскина // Тюменский индустриальный университет. – 2019. - ISBN: 978-5-9961-2098-7. - EDN: MJBFDG.

3. *Степаненко А.С.* Особенности формирования транспортно-логистических цепочек / А.С. Степаненко, Л.Г. Большедворская // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию отечественной гражданской

авиации, Москва, 18–19 мая 2023 г. – Москва: ИД Академии имени Н. Е. Жуковского, 2023. – С. 508-510. – EDN YPUVZW.

4. *Степаненко Е.В.* Трансформация авиалиний для внутреннего рынка Российской Федерации / Е.В. Степаненко, А.С. Воскресенская, В.И. Гречишкина // Вестник транспорта Поволжья. – 2024. – № 2(104). – С. 61-69. – EDN QTDWDP.

5. *Степаненко Е.В*. Бизнес-процессы авиакомпании и аэропорта: общность и различия / Е.В. Степаненко, М.А. Шевердин, Р.Р. Низаметдинов // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2020. – № 33. – С. 69-77. – EDN LNCAEW.

CLUSTER MODEL OF THE AIR TRANSPORT SYSTEM

Safonova A.V.

(Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow)

Abstract. The article defines a cluster in the context of a regional air transport system, identifies its characteristic features and possible formation schemes; analyzes the top main business processes of an airline, airport, and aircraft repair company, and identifies their main problems; and develops a solution.

УДК 629.7

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА С ЦЕЛЬЮ МОНИТОРИНГА РАЗВИТИЯ ПАВОДКОВОЙ ОБСТАНОВКИ

Сорокин Н.И., Нестеров К.В.

Научный руководитель: Кузьмин А.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Проведем анализ применения беспилотных авиационных систем с целью мониторинга развития паводковой обстановки. Рассмотрим вопрос эффективности беспилотных летательных аппаратов по отношению к пилотируемым воздушного судна в период мониторинга развития паводковой обстановки. Особое внимание уделено финансовой составляющей применения данных видов техники, а также эффективности принятия решения.

Систематическое наблюдение за развитием паводковой ситуации играет ключевую роль в обеспечении безопасности населения и территорий. Благодаря такому контролю удаётся заблаговременно информировать граждан о возможных подтоплениях, грамотно организовывать эвакуационные мероприятия, обеспечивать защиту населения и их материальных ценностей. Кроме того, мониторинг позволяет эффективно применять силы и средства МЧС России и иных служб, предотвращать масштабные разрушения и потери путем своевременного принятия необходимых мер.

С целью мониторинга паводковой ситуации в России используют следующие системы: космические, авиационные (в том числе беспилотные), гидрологические, метеорологические и т.д.

Сама статья посвящена финансовой составляющей применения пилотируемых воздушных судов (далее – ПВС) и беспилотных воздушных судов (далее – БВС).

ПВС – воздушное судно, которым управляет пилот, непосредственно находящейся на борту. К ПВС относятся традиционные типы воздушных судов, таких как: вертолет, самолет и так далее.

БВС – беспилотное воздушное судно, управление которым осуществляется «вне борта», как правило управляющий пилот (оператор) находится на земле. К БВС относятся: квадрокоптеры, дроны и т.д. Также БВС называют беспилотным авиационным судном (далее – БАС).

Целью исследования является анализ и описание основных принципов мониторинга опасных природных явлений. В статье будут рассмотрены особенности применения беспилотных авиационных систем (один из видов БАС) и вертолета (один из видов ПВС), а также экономическая целесообразность применения.

О результатах исследования и их обсуждение хочу сообщить следующую информацию.

В связи с существованием такого природного явления как паводки, которые угрожают населению страны и их имуществу – есть методы мониторинга и последующего противодействия/защиты. Один из методов – это воздушная «разведка» или же аэрофотосъемка. Она может выполняться как при помощи спутникового наблюдения из космоса, так и при помощи ПВС/БВС.

Рассмотрим экономику применения одного вертолета Ми-8 МТВ (рис. 1). В расчет включим такие категории как: средний расход топлива, средняя стоимость топлива, соотношение стоимости вертолета к единице использования времени (амортизационная категория), заработная плата экипажа за единицу времени (далее – ЕВ, где ЕВ равна одному часу), средняя стоимость страхового обеспечения, аэродромное обслуживание (Таблица 1).

Рис.1. Фотография вертолета Ми-8 МТВ-1 в ливрее МЧС России

Таблица 1

Наименование и стоимость затрат одного часа полета ПВС типа МИ-8 МТВ-1

№ п.п.	Наименование категорий и единица измерения	Стоимость, рубль
1.	Средняя стоимость топлива, час [1]	63 852
2.	Стоимость вертолета, час [2]	500 000
3.	Средняя заработная плата экипажа, час [3,4,5]	3 929
4.	Средняя стоимость страхового обеспечения, час [6]	2 274
5.	Средняя стоимость аэродромного обеспечения, час	15 000
ИТОГО:		585 055

Примечание №1: Форма Ф-4 — это комплексное техническое обслуживание вертолёта Ми-8 МТВ, которое проводится каждые 2000±20 часов налёта или через 8 лет эксплуатации (в зависимости от того, что наступит раньше), включающее полную разборку воздушного судна, детальный осмотр всех узлов и агрегатов, диагностику систем управления и двигателей, замену изношенных компонентов, ремонт обнаруженных неисправностей и контрольные испытания, после которых вертолёт проходит обязательную проверку лётной годности с использованием только сертифицированного оборудования и оригинальных запчастей.

Примечание №2: страхование Ми-8 МТВ берется из источника и в столбце 3 таблицы 1 оно исчисляется путем нахождения частного от стоимости закупки к 2000 часам налета до формы Ф-4.

Примечание №3: под стоимостью вертолета в час подразумевается цена покупки вертолета, разделенная на гарантируемое количество часов до первого капитального ремонта (форма Ф-4), который выполняется при наработке около 2000 часов (или) через 8 лет эксплуатации.

Примечание №4: Средняя стоимость топлива, потраченная за час полета, рассчитывается из произведения количества расхода литров керосина в час и стоимости за литр керосина. Расчет будем делать на основании стоимости керосина ТС-1 (Высший сорт), так как он наиболее предпочтителен для использования на МИ-8 МТВ с двигателями ТВЗ-117 ВМ при учете расхода топлива в 720 литров/час.

Примечание №5: стоимость вертолета была взята на основании источника, в котором сообщается о закупке компанией «Комиавиатранс» у ГТЛК (государственной транспортной лизинговой компании) в 2023 году, трех вертолетов Ми-8 МТВ-1, где стоимость одного вертолета в рамках одного контракта составила 807 миллионов рублей и пересчитана условно на 2025 год с учетом официальных данных инфляции.

Рассмотрим экономику применения одного Альбатрос М5 (рис. 2) с учетом имеющейся комплектации (рис. 3). В расчет включим такие категории как: средний расход аккумулятора в час, средняя стоимость зарядки на использование аккумулятора в час, соотношение стоимости БАС к единице использования времени (амортизационная категория), заработная плата экипажа за ЕВ, средняя стоимость страхового обеспечения, аэродромное обслуживание (Таблица 2).

Рис. 2. Изображение БВС «Альбатрос М5»

Стандартная комплектация включает в себя все необходимые элементы

- Беспилотный самолет Альбатрос М5
- Наземная станция управления на базе ноутбука
- Наземный комплект радиооборудования и антенн
- Лицензия на программу управления беспилотником
- Два комплекта аккумуляторных батарей и зарядное устройство
- Эластичная катапульта с буром
- Транспортировочные чехлы и кейсы
- Расширенный комплект ЗИП
- Сопроводительная документация
- Инструктаж по использованию для экипажа из двух операторов

Рис. 3. Комплектация «Альбатрос М5»

Таблица 2

Наименование и стоимость затрат одного часа полета БВС типа Альбатрос-М5

№ п.п.	Наименование категорий и единица измерения	Стоимость, рубль
1.	Средняя стоимость топлива, час [7]	6,21
2.	Стоимость БАС, час	60 000
3.	Средняя заработная плата экипажа, час	1 142
4.	Средняя стоимость страхового обеспечения, час	100 000
5.	Средняя стоимость аэродромного обеспечения, час	-
	ИТОГО:	161 148,21

Примечание №6: при расчете средней стоимости топлива за час, учитывалось, что цикл заряда составляет не менее 3 часов (соответственно будем считать 3 часа) и умножим на максимальный тариф, дифференцированный по трем зонам в г. Казань (взяв пиковую зону) условно обозначив, что нам требуется 1 кВт/час для заряда аккумуляторов (сокращенно – АКБ), также учтем, что заряда хватает до 4 часов, но с поправкой на погодные условия будем считать 3 часа.

Примечание №7: учитывая, что производитель дает гарантию на 100 циклов взлет/посадка или 1 год – выберем величину в «100 циклов взлет/посадка» как основу за вычисление категории «стоимость БАС, час». На основании данных из открытых источников, стоимость БАС «Альбатрос М5» на 03.05.2024 г. составляла 6 миллионов рублей.

Примечание №8: минимальный расчет БАС данной модели составляет 2 человека, это оператор управления и технический специалист. К сожалению, точные данные о зарплатах специалистов

МЧС России специализирующихся на БАС схожих моделей в открытых источниках не представлены, однако, опираясь на общую информацию по рынку труда операторов БАС, специалисты с опытом сборки и настройки БАС могут получать от 80 тысяч рублей. Будем считать это за среднюю заработную плату и рассчитаем категорию «средняя заработная плата экипажа, час» равноценно экипажу Ми-8. 20 рабочих дней по 7 рабочих часов.

Примечание №9: в связи с ограниченной и узкой направленностью страховки возьмем 1/20 часть от стоимости БАС в качестве страхового взноса, которую поделим на произведение количества циклов «взлет/посадка» на количество часов полета без замены АКБ. (3 часа)

Примечание №10: учитывая особенность БАС, его можно хранить на складе или гараже, которые вполне имеются у МЧС России. БАС не требует обязательного нахождения на аэродромах, в связи с этим, категорией «средняя стоимость аэродромного обеспечения, час» пренебрежем.

Исходя из вышеизложенной экономики расчета, представленной в таблицах 1 и 2, одного часа полета БВС и ПВС – делаем вывод, что использование БВС экономически целесообразнее (в 3,63 раза).

В заключении хочется отметить, что беспилотные авиационные системы (БАС) «Альбатрос М5» обладают существенными экономическими преимуществами перед пилотируемыми вертолетами Ми-8 МТВ-1. При детальном анализе эксплуатационных затрат выявлено, что стоимость часа полета БАС в 3,63 раза ниже за счет меньших расходов на топливо, страховку, аэродромное обеспечение и обслуживания. Значительным фактором является также отсутствие необходимости в дорогостоящем обслуживании, характерном для пилотируемых вертолетов, и меньшая численность экипажа при сопоставимой квалификации специалистов.

Практическая ценность работы заключалась в доказательстве экономической эффективности внедрения БАС в структуру авиапарка МЧС России. Полученные результаты могут быть использованы при планировании закупок авиационной техники и оптимизации расходов на авиационное обеспечение при сохранении высокого уровня оперативности реагирования на чрезвычайные ситуации. Перспективным направлением дальнейших

исследований является разработка методик расчета экономической эффективности для различных типов БАС с учетом специфики их применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Керосин ТС1 бочка 216,5л. – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://www.nersplus.ru/catalog/kerosin/kerosin_ts1_bochka_216_5l/ (дата обращения: 10.06.2025).

2. Статья об авиакомпании «Комиавиатранс» – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://spb.vedomosti.ru/economics/news/2023/07/10/984644-komiaviatrans-poluchit-vertoleta (дата обращения: 12.06.2025).

3. Вакансия Бортовой механик воздушного судна Ми-8Т в Авиакомпании Баркол – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://kazan.hh.ru/vacancy/121845354 (дата обращения: 10.06.2025).

4. Вакансия Командир воздушного судна вертолета Ми-8 в ФГБУ Красноярский КАСЦ МЧС России – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://krasnoyarsk.hh.ru/vacancy/118576923 (дата обращения: 10.06.2025).

5. Вакансия Второй пилот вертолета Ми-8 в ФГБУ Красноярский КАСЦ МЧС России – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://krasnoyarsk.hh.ru/vacancy/118576931 (дата обращения: 10.06.2025).

6. Тендер: Услуги по страхованию воздушного судна МИ-8МТВ1 – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://zakupki.kontur.ru/0688100000320000056 (дата обращения: 10.06.2025).

7. Тарифы и нормативы. – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://tatenergosbyt.ru/supply/tarifs/ (дата обращения: 10.06.2025).

PRACTICE OF USING VS FOR THE PURPOSE OF MONITORING THE DEVELOPMENT OF FLOOD CONDITIONS

Sorokin N.I., Nesterov K.V.

Supervisor: Kuzmin A.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. We will analyze the use of unmanned aerial systems for the purpose of monitoring the development of flood conditions. We will consider the issue of the effectiveness of unmanned aerial vehicles in relation to manned aircraft during the period of monitoring the development of flood conditions. Particular attention is paid to the financial component of the use of these types of equipment, as well as the effectiveness of decision-making.

УДК 352.075:37.014.544

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ СТРАТЕГИИ, КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ: АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ОБУЧЕНИЯ

Шибаев П.Б.

Научный руководитель: Муравьева Е.В., заведующая кафедрой, д. п. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Исследование анализирует зарубежный опыт применения образовательных стратегий как ключевого фактора устойчивого развития муниципалитетов. На примере стран (США, Япония, Сингапур, Германия и др.) демонстрируется, как интеграция формального, неформального и онлайн-обучения улучшает экологические, социальные и экономические показатели городов.

Введение

Устойчивость муниципальных образований традиционно рассматривается в разрезе нескольких категорий: экологическая, социальная, экономическая, инфраструктурная и др. Например, экологическая устойчивость включает такие индикаторы, как качество воздуха, уровень загрязнения воды, объём отходов и степень сохранения биоразнообразия. Социальная устойчивость отражает образование и здоровье населения, социальную интеграцию, уровень бедности и преступности. Экономическая устойчивость оценивается по развитию местной экономики, занятости, инвестициям и инновациям. Инфраструктурная устойчивость связана с надёжностью коммуникаций, энерго- и водоснабжения, адаптивностью к чрезвычайным ситуациям (например, способность противостоять стихийным бедствиям). Кроме того, можно выделить губернативную устойчивость (эффективность управления и участия граждан) и культурную устойчивость (сохранение локальных традиций и образования).

Каждая из этих категорий направлена на определенные показатели. Образовательные программы могут влиять на конкретные индикаторы устойчивости следующим образом:

• Экологическая устойчивость: обучение повышает экологическое сознание и экологическое поведение жителей. Повышение экологической грамотности приводит к сокращению потребления ресурсов, уменьшению количества мусора, развитию переработки. Например, курсы по адаптации к климату для муниципальных служащих знакомят с влиянием изменения климата на системы водоснабжения, качество воздуха и здравоохранение. Это приводит к принятию мер по снижению выбросов и защите экосреды.

• Социальная устойчивость: образование способствует укреплению социального капитала и социальной сплочённости. Повышение уровня образования населения ведёт к сокращению неравенства, снижению бедности и безработицы. Исследования показывают, что инвестиции в образование расширяют возможности трудоустройства и социальную мобильность, повышая уровень благосостояния малообеспеченных групп [1]. Образовательные программы также могут повысить вовлечённость граждан в общественную жизнь, что укрепляет доверие и согласованность действий в кризисах.

• Экономическая устойчивость: повышение уровня образования и квалификации населения стимулирует инновационность и экономический рост. Инвестиции в образование улучшают качество рабочей силы и стимулируют технологические инновации. К примеру, гранты и курсы для предпринимателей в сфере «зелёной экономики» развивают новые бизнес-модели и создают рабочие места. Наличие образованных кадров привлекает инвестиции, расширяет налоговую базу и укрепляет финансовую стабильность территории.

• Инфраструктурная устойчивость: образование специалистов и населения повышает надёжность инфраструктуры. Обучение управлению рисками и планированию инфраструктуры (особенно адаптивной, «зелёной») даёт возможность городам заранее готовиться к ЧС. Программы повышения квалификации инженеров и чиновников («умные города», энергоэффективное строительство и др.) улучшают эксплуатацию систем жизнеобеспечения. Например, EPA США разработало онлайн-курс «Local Government Climate Adaptation Training» [2] для муниципальных служащих, обучающий адаптации городских служб к изменениям климата (на примере водоснабжения, очистки, экстренного реагирования). Обучение этому снижает уязвимость инфраструктуры.

• Губернативная устойчивость: образование усиливает компетенции органов власти и граждан. Тренинги для мэров, советников и общественных активистов повышают эффективность управления городом и демократическую вовлечённость населения. Люди начинают лучше понимать цели в области устойчивого развития (ЦУР) и задачи устойчивого развития, что ведёт к более взвешенным решениям. Например, на национальном уровне Японии правительство интегрировало ЦУР в школьные стандарты [3] и запустило программы повышения осведомлённости населения. Чем больше граждан понимают важность устойчивости, тем активнее они поддерживают муниципальные экологические и социальные инициативы.

Таким образом, образование влияет на широкий спектр показателей устойчивости:

через повышение экологической грамотности оно улучшает экологические индикаторы (снижение загрязнения, сохранение природы); через развитие социальных навыков и инклюзии – социальные (здоровье, образование, равенство); через рост квалификации кадров – экономические (инновации, продуктивность); через обучение менеджменту и участию – инфраструктурные и управленческие (устойчивое городское планирование, готовность к ЧС). Как показывают исследования [4], инвестиции в образование создают «эффект концентрации талантов» (усиливают инновационный потенциал) и «усиливают адаптивную способность» городов в кризисные периоды.

Для повышения устойчивости муниципалитетов применяются разнообразные формы и методы обучения, от формального образования до онлайн-курсов и сообщества практиков. Традиционное формальное образование (школы, ВУЗы) всё чаще включает в себя предметы и модули по устойчивому развитию. В Японии, например, Министерство образования [3] внесло цели устойчивого развития (ESD – Education for Sustainable Development) в государственные учебные стандарты начальной и средней школы. Однако одного формального обучения недостаточно: многие авторы отмечают, что неформальное и онлайн-обучение играет важную роль. Bertolin с соавт. [5] подчёркивают «двунаправленную» связь образования и устойчивости и указывают, что «формального и обязательного образования недостаточно», поэтому неформальные, информальные и онлайн-форматы (включая MOOCs) становятся мощным средством распространения ценностей и знаний ESD.

К неформальным методам можно отнести семинары для муниципальных служащих, сертифицированные тренинги, тематические мастер-классы и стажировки. Например, в Великобритании для сотрудников органов местного самоуправления разработаны курсы по «углеродной грамотности» (carbon literacy) [6]. Участники таких мастер-классов получают сертификат «углеродно грамотного» специалиста и разрабатывают план действий по снижению углеродного следа в своей работе. Эти тренинги дают практические навыки: они мотивируют сотрудников властей принимать решения по энергоэффективности, сокращению отходов и минимизации выбросов.

MOOCs (массовые открытые онлайн-курсы) широко используются за рубежом как форма обучения чиновников и населения. Например, французское Агентство развития (AFD) запустило бесплатный двухчасовой мини-MOOC «Financing the sustainable cities of tomorrow» [7], адресованный местным властям. Этот курс знакомит слушателей с финансовыми стратегиями устойчивого развития городов и включает выступления экспертов. В Китае и других странах действуют онлайн-платформы (типа Global MOOC Alliance), предлагающие курсы по климату, «умным городам» и зелёной экономике. Таким образом, MOOCs позволяют делиться лучшими практиками глобально и дают доступ к знаниям независимо от географии.

Кроме того, межсекторное обучение (partnerships) и сети профессионалов становятся важным методом. В Сингапуре, например, создан «Sustainability Learning Lab» при Национальном институте образования, объединяющий исследование и практику устойчивого обучения [8]. Лаборатория работает с учителями и общественными организациями в рамках национальной и региональной стратегии по ЦУР (Eco Stewardship Program). Международные партнёрства (например, программы обмена, совместные конференции) также служат способом обучения. Сингапурская программа сотрудничества [8] обучила около 120 тыс. чиновников более чем из 170 стран по темам образования, управления, водных ресурсов и др., а такие форумы как World Cities Summit объединяют мэров и экспертов для обмена знаниями по вопросам устойчивого развития городов.

Таким образом, современные методы обучения включают формальные образовательные программы (школы, ВУЗы, высшее образование), профессиональную подготовку и переподготовку (сертификационные курсы, семинары для управленцев), а также гибкие онлайн-инструменты (MOOCs, вебинары, образовательные платформы). Все эти формы призваны передавать как практические навыки (например, планирование «зелёной» инфраструктуры), так и формировать ценности устойчивости. При этом сочетание различных форм (комбинация очного и онлайн-обучения) даёт наилучший эффект: например, японский

опыт [3] показывает, что программы ESD эффективнее внедряются, когда их поддерживают и школы, и местные сообщества, и бизнес.

Зарубежный опыт

В США устойчивому развитию муниципалитетов уделяют внимание как на федеральном, так и на местном уровне. Американское Агентство по охране окружающей среды (EPA) разработало специальные онлайн-курсы и вебинары для местных властей. К примеру, видеокурс «Local Government Climate Adaptation Training» [2] помогает муниципальным служащим понять угрозы изменения климата и адаптировать городские службы (водоснабжение, очистку сточных вод, здравоохранение, реагирование на ЧС). Такой курс знакомит чиновников с успешными примерами адаптации (case studies) и предоставляет ресурсы для разработки собственных планов. Также EPA проводит тренинги по устойчивому управлению водными ресурсами и энергоэффективности, улучшая индикаторы экологической устойчивости.

Кроме того, США имеет множество организаций и сетей для обмена опытом между городами. Например, ICLEI – международная сеть городов за устойчивость, в США насчитывающая сотни муниципалитетов-членов. ICLEI USA [9] оказывает техническую поддержку городам, проводит коучинговые программы («Capacity Building Cohorts») и разрабатывает инструменты (например, для расчёта выбросов). Таким образом, объединение усилий через такие сети позволяет городам учиться друг у друга и внедрять передовые методы (например, комплексное планирование «зелёной инфраструктуры»).

Япония активно внедряет образование для устойчивого развития (ESD) во все уровни общества. Правительство Японии интегрировало цели устойчивости в школьные стандарты [3]: в 2020–2022 гг. вышли методические рекомендации по ESD для начальных, средних и старших школ [3]. Школьная программа содержит темы экологии, энергоэффективности, ответственности потребителей, а участие в ESD расширило и информированность родителей через вовлечение в школьные проекты. Это привело к высокому уровню осведомлённости населения о ЦУР (в 2023 г. 91,6% японцев знали о ЦУР) [10].

На муниципальном уровне Япония продвигает устойчивость через местные инициативы и законодательные акты. Закон об экологическом образовании 2003 г. (с поправками) и пятый Основной план по экологии [3] акцентируют подготовку «лидеров устойчивых сообществ» через ESD. Концепция «Регионального кругового и экологического пространства» (Regional CES) направлена на локальные ЦУР и подчёркивает интеграцию экологии, экономики и общества. Таким образом, японские муниципалитеты проводят регулярное обучение и семинары для своих руководителей по вопросам устойчивого развития (например, через RCE-сети – региональные центры компетенций ЮНЕСКО), а школы участвуют в проектах по «зелёной» экономике и энергоэффективности. Совокупно этот подход повышает показатели городских инфраструктур (более экологичные технологии) и социального развития (ответственное потребление).

Сингапур сочетает централизованное планирование и международное сотрудничество. На национальном уровне действует «Singapore Green Plan 2030», и в рамках него большое внимание уделяется просвещению граждан и госслужащих. При Национальном институте образования (NIE) создан «Sustainability Learning Lab» [8], где учёные и педагоги разрабатывают программы устойчивого развития для школ и университетов. Лаборатория организует семинары для учителей, сотрудничает с соседними странами (например, тренинг для китайских учителей устойчивого развития) и содействует интеграции ЦУР в образовательные стандарты страны.

Сингапур также проводит международные обучающие программы и форумы. Через «Программу сингапурского сотрудничества» (Singapore Cooperation Programme) [8] страна обучила более 120 тыс. государственных служащих из 170+ стран темам управления, образования, водных ресурсов и др. Саммиты глобальных городов (World Cities Summit) и мероприятия по водным ресурсам (Singapore International Water Week) позволяют местным чиновникам обмениваться опытом устойчивости. Таким образом, сингапурский подход

фокусируется на пересечении образования и дипломатии: он включает массовые образовательные инициативы дома и обучение международных партнёров, что повышает культуру устойчивости в собственном обществе и создаёт платформы для глобальных знаний.

Китай делает ставку на масштабные инвестиции в образование как движущую силу устойчивого развития. Исследования показывают [4], что инвестиции в образование в китайских городах приводят к существенному улучшению социально-экономических показателей: росту инновационного потенциала и конкурентоспособности («эффект концентрации талантов») и снижению социального неравенства. За счёт активного развития университетов и технологических институтов города получают новые решения для «зелёной» экономики.

В контексте устойчивых муниципалитетов китайские города также интегрируют образование в градостроение: здесь набирают популярность «умные» и «губернативные» города, где используются онлайн-платформы обучения для граждан (например, MOOC по устойчивому строительству, курсах ЦУР) и системы непрерывного обучения для чиновников. Анализ показывает [4], что качество образования прямо влияет на способность города к преодолению кризисов: повышение образовательных стандартов увеличивает адаптивность населения и скорость восстановления после чрезвычайных ситуаций. Таким образом, китайский опыт подчёркивает, что финансирование образования (особенно технологического и IT-образования) благоприятно сказывается на экономической устойчивости городов и их способности к инновационному развитию.

В Великобритании местные советы и организации объединяют кабинетное образование и тренинги. С 2020-х гг. в Лондоне и других городах внедряются программы для сотрудников муниципалитетов, включающие получение «сертификата углеродной грамотности» [6]. Местная Ассоциация власти (LGA) проводит мастер-классы по устойчивому развитию с обучением действиям по сокращению выбросов. Такие курсы помогают чиновникам разработать локальные климатические планы, включающие энергоэффективные меры, улучшение транспортной системы и снижение отходов.

Кроме того, Великобритания активно развивает Образовательные центры и сети по ESD. Например, продвигается концепция «Учебных городов» и «Учебных регионов», где создаются платформы обмена знаниями среди муниципалитетов. Часто местные университеты сотрудничают с городскими властями, разрабатывая программы «зелёной экономики» для предпринимателей и студентов. В результате, британские города демонстрируют рост числа «зелёных» рабочих мест и улучшение климатических индикаторов (например, Лондон ежегодно обучает сотни муниципальных служащих методам городской адаптации).

Германия имеет долгую традицию ЕОП (образования в целях устойчивого развития). Фактически, «Национальный план действий по ESD» [12] предусматривает структурное внедрение принципов устойчивости во все виды обучения. Он призывает создавать межсекторные коалиции между муниципалитетами, школами, вузами и НПО для «закрепления» ESD на местах. При этом Федеральное министерство образования профинансировало «Центр компетенций по ESD», начиная с 2020 г., для поддержки городов в интеграции устойчивости в местные образовательные стратегии. Например, в городе Мюнхен в 2018 г. был разработан городской план обучения (BNE Vision 2030) [12], где через общественные обсуждения определяли, какие навыки необходимы горожанам для устойчивого будущего. Организуются «Устойчивые мастерские» и «Рабочие группы» для обмена опытом между учебными заведениями и администрацией. Итог – активное вовлечение школьников и студентов в реальные проекты (энергетические кооперативы, эко-парки), что позволяет снижение коммунальных расходов и укрепление социальной сплочённости. Таким образом, в Германии образовательная политика акцентирована на сотрудничестве между государством, бизнесом и гражданским обществом.

В Швейцарии усилия по ЭСР носят в основном инициативный характер и часто идут снизу. Пример – программа NGO MyBluePlanet «KlimaSchule» (Климатическая школа) [13], стартовавшая в 2017 г. в школах страны. Она предлагает тематические циклы обучения по

энергии, транспорту, питанию и ресурсам на протяжении нескольких лет. Школы добровольно подключаются, создают «климатические советы», проводят тренинги для учителей и оптимизируют потребление ресурсов. Этот проект интегрирует устойчивость непосредственно в школьную жизнь и демонстрирует уменьшение экологического следа (напр., снижение энергопотребления на практике).

Государство при этом поддерживает программы экологического просвещения через федеральный отдел образования и финансирует исследовательские проекты по ESD. Региональные конференции «Учебные города» объединяют муниципалитеты (особенно немецкоязычные кантоны) для обмена опытом климатического образования. В отличие от централизованных программ Азии, швейцарский опыт опирается на самоорганизацию граждан (NGO и школы) и стимулирует устойчивость через локальные образовательные инициативы. Это приводит к тому, что показатели экологической устойчивости в кантонах с активными экопроектами стабильно растут.

Заключение

Обобщая мировой опыт, можно выделить несколько ключевых выводов. Во-первых, образование и устойчивость взаимосвязаны и дополняют друг друга: образование формирует устойчивую поведенческую основу и человеческий капитал, тогда как требования устойчивого развития становятся частью образовательных стандартов. Во всех рассмотренных странах образование рассматривается не только как источник знаний, но и как инструмент формирования ценностей («устойчивое мышление») у граждан и управленцев. Во-вторых, следует отметить многообразие подходов: развитые страны сочетают верхне- и нижнеуровневые инициативы. Например, Япония [3] и Германия [12] проводят масштабную интеграцию ЦУР в систему формального образования (школьные стандарты, национальные планы), тогда как Южная Корея [11] и швейцарские НПО [13] действуют через сети региональных центров и добровольные проекты. Оба подхода имеют ценность: единая национальная политика гарантирует широкое охватывание, а инициативы «снизу» гибки и локально адаптированы.

Третье: онлайн-обучение и международное сотрудничество играют растущую роль. Примеры Сингапура [8] и Франции [7] показывают, что MOOCs для органов управления и общественности делают знания доступными во многих странах, а международные саммиты и программы обучают чиновников на глобальной платформе. Это ускоряет обмен опытом и внедрение «лучших практик» в разных культурах. Четвёртое: наблюдается, что образование улучшает конкретные показатели устойчивости. В исследованиях выявлено [1, 4], что увеличение образовательных инвестиций ведёт к росту инновационной активности городов, снижению бедности и большей социальной сплочённости. Курсы по адаптации к климату [2] и углеродной грамотности [6] ведут к уменьшению экологического воздействия и улучшению качества жизни (например, программы энергоаудита для муниципалитетов позволяют экономить бюджетные средства на ЖКХ).

Наконец, сотрудничество с НКО и частным сектором является важным элементом. Во многих странах муниципалитеты привлекают университеты, бизнес-ассоциации и экологические организации для разработки учебных материалов и проведения тренингов [5, 8, 11-14]. Это обеспечивает практикоориентированность обучения и лучшую интеграцию теории в городские проекты [14]. Таким образом, образовательные инициативы служат связующим звеном между гражданами, властью и предпринимателями, повышая общую устойчивость системы.

Российской практике обучения для устойчивого развития муниципалитетов пока не хватает координации и масштабности. Исходя из анализа зарубежного опыта, можно предложить следующие рекомендации:

1. Интегрировать ЦУР и ESD в формальное образование. Следуя примеру Японии [3] и Германии [12], целесообразно внести темы устойчивого развития в стандарты российского школьного образования и вузов, а также в программы подготовки управленцев (магистратура и повышение квалификации).

2. Создать региональный центр компетенций или коалицию. Как в Тонгёне [11] и Мюнхене [12], муниципалитету Казани стоит объединить силы с университетами, бизнесом и НКО для централизованной поддержки ESD (образование для устойчивого развития). Это может быть «Центр устойчивого развития» при Администрации Казани, который будет координировать образовательные проекты, проводить семинары и онлайн-курсы для городских менеджеров. Финансирование такого центра можно частично обеспечить за счёт национальных грантов и фондов (например, Фонда «Сколково» или «Росразвития»).

3. Развивать цифровые образовательные ресурсы. Казани следует активнее использовать онлайн-платформы и МООС. Можно локализовать уже имеющиеся курсы на русском (например, «Безопасность жизнедеятельности» Stepik) и запускать собственные – нацеленные на муниципальных служащих и граждан. По примеру Франции [7] и Сингапура [8], важно делать курсы интерактивными и прикладными. Для власти это поможет быстро повысить цифровую грамотность по «зелёным» темам, а для населения – расширить доступ к знаниям о раздельном сборе отходов, энергоэффективности, адаптации к климату.

4. Провести обучение «на местах». Следует организовывать регулярные семинары и мастер-классы для чиновников всех уровней. Можно воспользоваться методикой «обучение служением» (service-learning), объединяя лекции с практическими проектами по благоустройству и экологии (это уже практикуется в отдельных российских вузах). Например, сотрудники мэрии Казани могут обучаться управлению «умными» сетями, а волонтёры – просвещать школьников по экоделам.

5. Стимулировать участие жителей через проектное обучение. Опыт Бельгии [14] и Швейцарии [13] показывает, что школьные и молодежные проекты (конкурсы, хакатоны, эко-программы) повышают экологическое поведение. Казани стоит расширять уже имеющиеся программы (экологические кружки, «зелёные классы») и поощрять инициативы молодёжи. Так можно улучшить социальную устойчивость: вовлечённость граждан, особенно молодёжи, создаёт чувство сопричастности к развитию города.

6. Мониторинг эффективности. Для оценки влияния обучения нужно ввести показатели образования на устойчивость (например, охват населения экологическими курсами, количество «экологичных школ», доля сертифицированных специалистов). Регулярный мониторинг позволит корректировать программы.

В итоге, комбинация этих мер поможет России и Казани использовать потенциал образования для повышения устойчивости. Интеграция международных практик и учёт местных условий создадут основу для подготовки информированного сообщества и компетентных управленцев, что существенно усилит экологические, социальные и экономические показатели городов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Bertolin M., Bankston A., Aguilar I.* и др. Education for Sustainable Development in Educating Cities. Sustainability, 2022. Vol. 14(12).

2. EPA (US Environmental Protection Agency). Local Government Climate Adaptation Training [Электронный ресурс]. — Апр. 2025. — Режим доступа: https://www.epa.gov/arc-x/local-government-climate-adaptation-training (дата обращения: 19.06.2025).

3. Ministry of Education Japan. Implementation Plan for Education for Sustainable Development in Japan (The Second ESD Implementation Plan). — Tokyo: Ministry of Education Japan, 2021.

4. *Shan J., Li X., Wang Y.* и др. Road to Resilient Cities: The Power of Education Investment from China's Cities // Sustainability. — 2025. — Т. 17, № 7. — Арт. 3213.

5. *Bertolin M., Bankston A., Aguilar I.* и др. Education for Sustainable Development in Educating Cities // Sustainability. — 2022. — Т. 14, № 12.

6. Three Point Five. Carbon Literacy Training for Local Authorities (Great Britain) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://carbonliteracy.com (дата обращения:19.06.2025).

7. AFD Campus. Financing the Sustainable Cities of Tomorrow (MOOC) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.afd.fr/en/afd-campus (дата обращения:19.06.2025).
8. Lee Hsien Loong. Foreword // Singapore Voluntary National Review 2018. — Singapore: Government of Singapore, 2018.
9. ICLEI USA (Local Governments for Sustainability). Our Approach [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://iclei.org/our-approach (дата обращения: 19.06.2025).
10. *Endo K., Sato I.* Aligning Policy, Business, and Society: Lessons from Japan's Approach to Adopt and Advance the SDGs / K. Endo, I. Sato. — Washington: Brookings Institute, 1 апр. 2025.
11. *Choi J., Sung K.* Education for Sustainable Development in South Korea: A Case Study of RCE Tongyeong // Journal of Curriculum Studies Research. — 2022. — Т. 4, № 2.
12. Ministry of Science and Education (Germany). Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) – Nationale Aktionsplan. — Berlin: BMBF, 2020.
13. MyBluePlanet. The Climate School Program – Switzerland [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://urban-arena.org (дата обращения:19.06.2025).
14. European Commission. EU Education and Training Monitor 2024. — Brussels: Directorate General for Education, Youth, Sport and Culture, 2024.

EDUCATIONAL STRATEGIES AS A FACTOR IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF MUNICIPALITIES: ANALYSIS OF INTERNATIONAL PRACTICES IN EDUCATIONAL IMPLEMENTATION

Shibaev P.B.
Supervisor: Muravyeva E.V., Head of the Department, Doctor of Pedagogical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The study examines international practices of using educational strategies as a key driver for sustainable development in municipalities. Drawing on case studies from the USA, Japan, Singapore, Germany, and others, it demonstrates how integrating formal education, non-formal training, and online learning enhances cities' environmental, social, and economic resilience.

СЕКЦИЯ 16 и 18
ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА, ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ»

УДК 004.942

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Ахметова И.Р.

Научный руководитель: Шалагин С.В., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Данная работа посвящена моделированию и анализу вычислительной системы на основе создания детерминированных и стохастических моделей. В первой части разработана имитационная модель, реализующая алгоритмическую схему системы для точного отображения её функционирования без учета случайных воздействий. Далее рассмотрены методы формирования и использования последовательностей равномерных случайных чисел, а также их статистическая оценка с целью обеспечения высокого качества генерации, что подтверждается анализом автокорреляционных характеристик и тестами равномерности. Представлены подходы к моделированию случайных величин с заданными законами распределения, демонстрирующие высокую точность полученных данных. В рамках работы построена стохастическая модель системы, включающая элементы неопределенности, что позволяет более реалистично оценивать риски и принимать обоснованные решения.

С развитием вычислительной техники значительное распространение получили методы имитационного моделирования для анализа компьютерных систем, для которых характерно влияние стохастических воздействий. В частности, для систем генерирования и обработки информации, включающих в себя однотипные компоненты: источники, блокираторы, накопители, каналы, терминалы (выходы) [1 – 3].

Объектом исследования является вычислительная система (ВС), предназначенная для обработки потоков заявок, где порядок их генерации и обработки определяется согласно заданному закону распределения. Предметом исследования является стохастическая модель ВС с заданным количеством источников, накопителей и каналов, которая позволяет определить закон генерирования и обработки заявок, выходные характеристики и точность их вычисления при проведении определенного числа экспериментов.

Цель исследования - получение средних выходных параметров стохастической модели ВС с определенной структурой при известных параметрах её элементов, а также определение количества испытаний, необходимых для достижения заданной точности в расчете средних значений и дисперсий выходных параметров моделируемой ВС.

1. Построение детерминированной модели вычислительной системы.

Имитационная модель (ИМ) системы представляет собой детализированное отображение функционирования реальной вычислительной системы (ВС) на основе алгоритмической Q-схемы (рисунок 1), позволяющей синхронизировать и анализировать процессы в условиях отсутствия случайных воздействий, а также обеспечивающей точность и правильность моделирования через последовательное выполнение вычислительных операций и временные диаграммы (рисунок 2). Заявки из источника I_1 генерируются с периодом, распределённым по показательно-степенному закону с математическим ожиданием (МО), равным 5 единиц модельного времени (е.м.в.); заявки из источника I_2 генерируются с периодом, значение которого равномерно распределено на интервале 5±3 е.м.в. Каналы $К_1$ и $К_2$ обрабатывают (задерживают) заявки на величины 4±2 и 4±1 е.м.в., соответственно. Между источниками и каналами находится общий накопитель ёмкостью 8, при этом заявки от первого и от второго источника разделаются и обрабатываются в первом и во втором канале, соответственно. Временная диаграмма на рисунке 2 приведена для детерминированной модели ВС: периоды генерирования и обработки заявок в источниках (I_1 и I_2) и каналах ($К_1$ и $К_2$) соответствуют значениям МО их периодов и равны: 5, 5, 4 и 4 е.м.в., соответственно. Условие окончания моделирования – обработка на $К_1$ 5000 заявок.

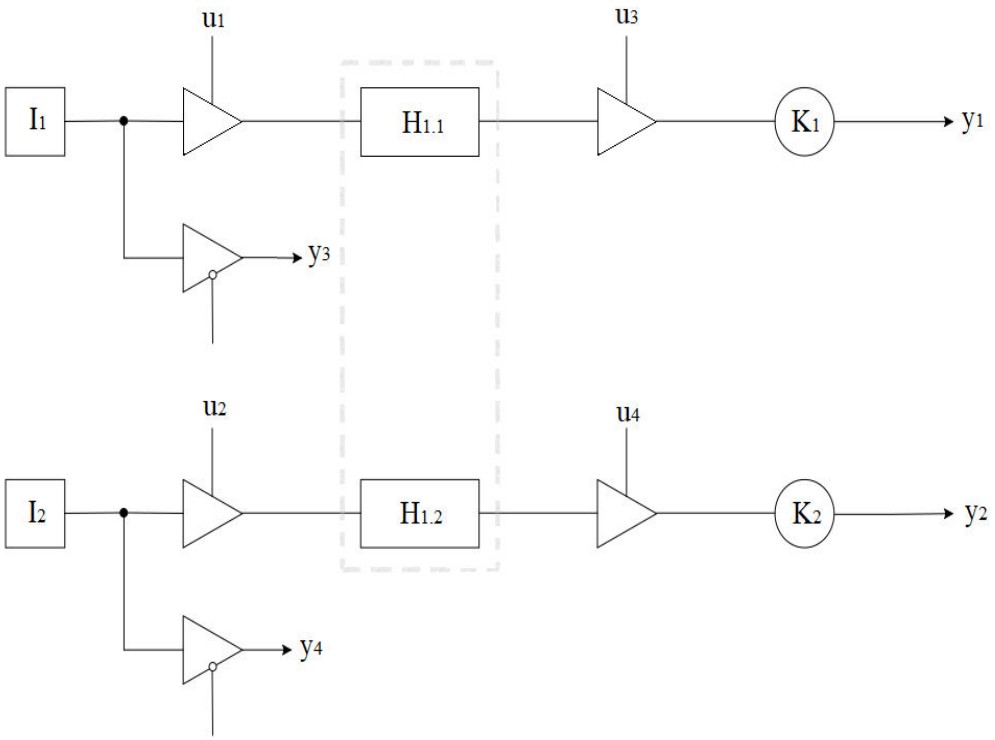


Рисунок 1. Q-схема вычислительной системы

Условия задачи:

$$u_1 = \begin{cases} 1: \text{если } |H_{1.1} + H_{1.2}| \le 8 \\ 0: \text{иначе (откат)} \end{cases},$$

$U_2 = U_1$ ($y_4 = y_3$)

$$u_3 = \begin{cases} 1: \text{если } K_1 \text{ свободен} \\ 0: \text{иначе} \end{cases}$$

$$u_4 = \begin{cases} 1: \text{если } (K_1 \text{ свободен}) \ (K_2 \text{ свободен}) \\ 0: \text{иначе} \end{cases}$$

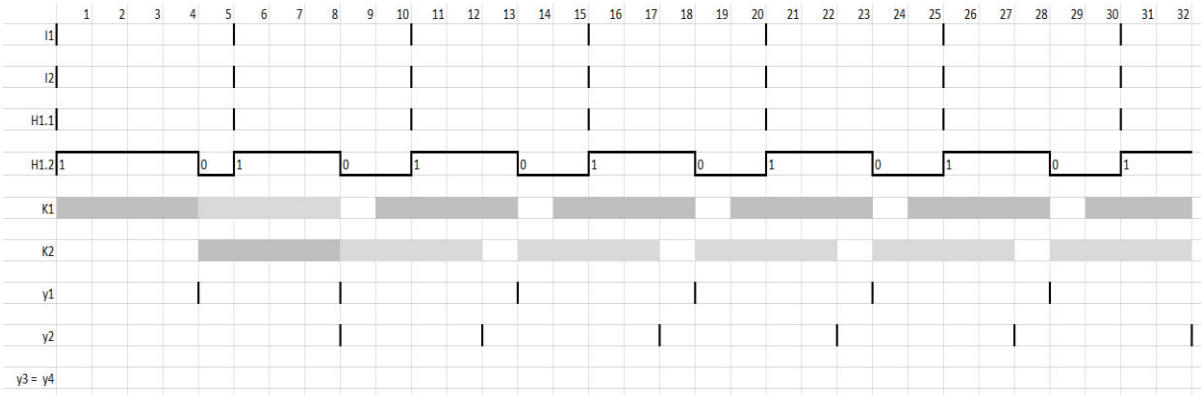


Рисунок 2. Временная диаграмма работы системы

Итоги:

	для T = 5	для T = 16	для T = 32
количество входов I_1	2	4	7
количество входов I_2	2	4	7
обработано в системе y_1	1	3	6
обработано в системе y_2	0	2	6
отказ перед $H_{1.2}$ ($y_3 = y_4$)	0	0	0

2. Формирование и использование последовательностей равномерного распределения чисел.

При реализации статистического моделирования на ЭВМ широко используют последовательности равномерных чисел, генерируемые как конгруэнтными процедурами, так

и стандартными функциями, такими как RANDOM. В таблице 1 приведены относительные погрешности теоретических оценок МО и дисперсии (Д) от их эмпирических оценок. Теоретические оценки МО и Д для последовательностей, равномерно распределённых на интервале от 0 до 1 равны 0,5 и 1/12, соответственно.

Таблица 1

Сравнение стандартного и конгруэнтного методов

Стандартный метод	Конгруэнтный метод
0.01 m	0.03 m
0.012 D	0.024 D

Анализ показывает, что стандартные методы обеспечивают более точное приближение теоретических характеристик МО и Д, что подтверждается сравнением результатов, приведённых в таблице 1.

3. Статистическое оценивание последовательностей случайных чисел

Эффективность оценки качества генерации случайных чисел определяется использованием различных параметров, таких как автокорреляция, критерий χ^2 (таблица 2) и тест серий, которые позволяют подтвердить равномерность и случайность генерируемых последовательностей. Анализ показывает, что стандартный метод генерации обеспечивает более высокое качество случайных чисел, демонстрируя меньшие автокорреляционные зависимости и лучшие результаты по тестам равномерности и случайности по сравнению с конгруэнтным методом (таблица 2). Гистограммы для последовательностей, сгенерированных указанными методами, демонстрируют их приближенность к равномерному распределению.

Таблица 2

Критерий хи-квадрат обоих методов

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,105	0,1008	0,1048	0,1018	0,0926	0,098	0,0972	0,106	0,0944	0,0994
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
критерий Хи2		1	Конгруэнтный метод						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,1086	0,1012	0,0926	0,1034	0,0946	0,0982	0,0964	0,1006	0,1102	0,0942
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
критерий Хи2		1	Стандартный метод						

Данные таблицы:

а) В первой строке представлены интервалы (от 1 до 10).

б) Во второй – значения каждой точки гистограммы делённое на общее количество значений, т.е. 5000.

в) В третьей строке указаны теоретические частоты равномерного распределения. Для равномерного распределения вероятность попадания каждого элемента в интервал должна быть одинаковой, т.е. 0,1.

г) Критерий Хи-квадрат, свидетельствует о том, что последовательность является равномерной.

Автокорреляция (таблица 3) показывает оценку зависимости между значениями одной последовательности. Для оценки использовали следующий алгоритм:

1) Определить 5 интервалов, смещая последовательности на ячейку вниз;

2) Определить ковариация для каждого из интервалов

3) Определить дисперсию для двух соседних выборок к каждому интервалу;

4) Для определения автокорреляции использованы значения, полученные с помощью ковариации первой и последующих выборок и с помощью деления ковариации со второго пункта на дисперсию.

Таблица 3

Автокорреляция обоих методов

Конгруэнтный метод	1	2	3	4	5
значения	0,037258	0,00715	0,009667	0,027804	0,015225
пороги	0,196987	0,19799	0,199008	0,200042	0,201092
Стандартный метод	1	2	3	4	5
значения	0,00217	0,028343	0,011801	0,013701	0,023924
пороги	0,196987	0,19799	0,199008	0,200042	0,201092

Тест серий проверяет случайность последовательностей по следующему алгоритму:

а) В соответствие исходной последовательности $x_1, x_2, \dots, x_n$ ставят бинарную последовательность $r_1, r_2, \dots, r_n$, где

$$r_1 = \begin{cases} 0, \text{если } X < 0.5 \\ 1, \text{если } X > 0.5 \end{cases}$$

б) В последовательности $r_1, r_2, \dots$, определяют количество серий S, состоящих из знаков одного вида;

в) Задают доверительную вероятность γ и определяют выполнение неравенства:

$$\frac{n+2}{2} - t_\gamma \sqrt{\frac{n-1}{2}} < S < \frac{n+2}{2} + t_\gamma \sqrt{\frac{n-1}{2}}$$

где n – количество чисел последовательностей, t_γ – это коэффициент доверительной вероятности (в данном случае значение равно 1,96), вместо S подставим полученные значения сумм:

аппарат.метод: 2403,01 < 2532,5 < 2599

прог.метод: 2403,01 < 2473,4 < 2599

Полученные значения находятся в пределах теоретических границ, что подтверждает случайность последовательности. Выбор сделан в пользу стандартного метода, т.к. тест серий показывает для него лучший результат: значение S для него ближе к середине интервала.

4. Формирование и использование случайных чисел с требуемым законом распределения.

При моделировании случайных величин с законами распределения, отличными от равномерного, используют стандартный программный метод генерации, что позволяет получать последовательности с заданными значениями МО и Д.

В таблице 4 приведено сравнение теоретического и практического значений МО и Д; разница МО составляет 0,066 единиц, в процентах это 0,0132, а Д – 0,42 и 0,084 соответственно. Относительная погрешность для МО и Д очень мала, что свидетельствует о точности полученных данных.

Таблица 4

Сравнение значений

	Математическое ожидание	Дисперсия
Теоретическое значение	5	5
Практическое значение	4,934	4,580
Относительная погрешность	0,0132%	0,084%

На основе сгенерированной последовательности построена гистограмма (рисунок 3):

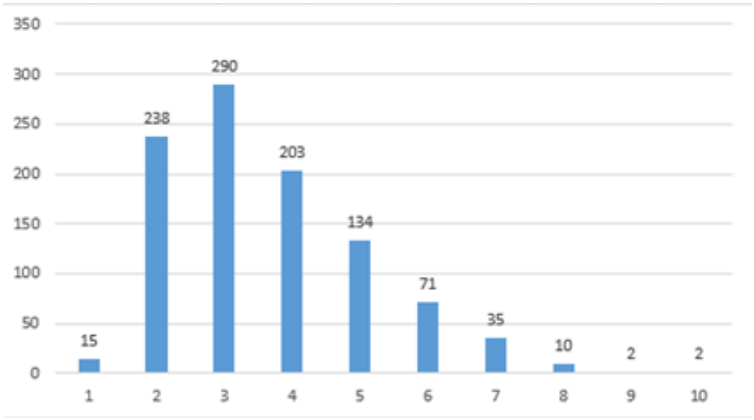


Рисунок 3. Гистограмма показательно-степенного закона

5. Построение стохастической модели вычислительной системы.

Стохастическая модель, включающая элементы случайности и неопределенности, позволяет реалистично имитировать работу ВС, оценивать риски и принимать обоснованные решения на основе анализа множества возможных сценариев. В процессе ее создания осуществляется переход от детерминированной модели к стохастической, что достигается использованием генераторов случайных чисел для моделирования случайных потоков.

Анализа результатов работы ВС выполнен на основе стохастических экспериментов по измерениям следующих параметров:

1. Общее число сгенерированных заявок 1 типа.
2. Общее число сгенерированных заявок 2 типа.
3. Число обработанных заявок 2 типа.
4. Общее количество потерянных заявок.
5. Время простоя 1 процессора.
6. Время простоя 2 процессора.
7. Общее количество тактов

Условие окончания стохастического моделирования – обработка на K_1 5000 заявок.

В итоге получены результаты, описывающие порядок функционирования ВС на основе её стохастической модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Макарова И.В.* Моделирование процессов и систем: учебное пособие для выполнения лабораторных работ и курсового проекта для студентов направления подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии / Макарова И.В., Маврин В.Г., Маврин Г.В. – Набережные Челны: изд-во НЧИ КФУ, 2018. – 130 с.

2. *Советов Б.Я.* Моделирование систем: учебник для академического бакалавриата/ Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – 7-е изд. – Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 343 с. – (Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-9916-3916-3. – Текст: электронный// Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: https://urait.ru/bcode/488217 (дата обращения: 24.06.2025).

3. *Плескунов М.А.* Теория массового обслуживания: учебное пособие/ М.А.Плескунов; М-во науки и высшего образования РФ, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022. – 264 с.

SIMULATION MODELING OF A COMPUTER SYSTEM USING RANDOM INFLUENCES

Akhmetova I.R.

Supervisor: Shalagin S.V., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper is devoted to the modeling and analysis of a computing system based on the creation of deterministic and stochastic models. In the first part, a simulation model has been developed that implements an algorithmic scheme of the system to accurately display its functioning without taking into account random influences. Next, methods of forming and using sequences of uniform random numbers are considered, as well as their statistical evaluation in order to ensure high-quality generation, which is confirmed by the analysis of autocorrelation characteristics and uniformity tests. Approaches to modeling random variables with specified distribution laws are presented, demonstrating the high accuracy of the data obtained. As part of the work, a stochastic model of the system was built, including elements of uncertainty, which allows for a more realistic assessment of risks and informed decision-making. As a practical example, an analysis of the system's operation was performed, the causes of inefficiency were identified, and improvement measures were proposed — changing the frequency of requests according to Laplace's law, adjusting intervals, and increasing storage capacity. Implemented models and recommendations contribute to improving the efficiency and reliability of the computing system.

УДК 004.031.6

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ПРОЦЕССОРОВ С АРХИТЕКТУРОЙ ARM

Белов Н.В.

Научный руководитель: Гатин Р.Р., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ. г. Казань)

Аннотация. В данной работе рассматривается архитектура процессоров ARM и их особенности. Приводятся примеры процессоров, базирующихся на данной архитектуре. Рассматриваются эмуляторы работы процессоров на основе архитектуры ARM и их возможное применение в учебном процессе.

В последнее время процессоры, базирующиеся на архитектуре ARM, находит всё большее применение в цифровой технике. По состоянию доля рынка процессоров на 2020 гол распределена следующим образом: процессоры на архитектуре x86 занимают 49 процентов, ARM-процессоры занимают 26 процентов, embedded-процессоры занимают 21 процента [1]. В связи с разработкой и внедрением процессоров архитектуры ARM в компьютеры от компании Apple доля отгрузки устройств, базирующихся на процессорах с архитектурой ARM увеличивается с каждым годом и к 2029 году прогнозируется, что количество серверов и ноутбуков на данной архитектуре будет составлять около 40% [2]. Причина такого спроса, и как разрабатывать системы, базирующиеся на данной архитектуре, представлена в следующих главах.

Рассмотрим некоторые особенности ARM-архитектуры:

- 32-битные и 64-битные процессоры. Современные ARM-процессоры поддерживают как 32-битные, так и 64-битные режимы.
- Низкое потребление энергии. За счёт упрощенной архитектуры и оптимизации команд ARM-процессоры обладают низким потреблением энергии, что делает их идеальными для мобильных и встроенных систем.
- Большая гибкость в реализации. ARM лицензирует свои ядра различным производителям, что позволяет им создавать процессоры с различными конфигурациями для разных нужд.

Основными элементами ARM-процессора являются ядро, система команд, память и кэш, шина и интерконнект. Имеется следующие типы ядер:

1) Cortex-A – предназначены для задач с высокой производительностью (смартфоны, серверы).

2) Cortex-R – для систем реального времени (автомобильная техника, промышленность).

3) Cortex-M – ориентированы на микроконтроллеры (интернет вещей, сенсоры).

Основными особенностями ядра являются его архитектура RISC и пайплайнинг, который состоит от 8 до 15 этапов.

Система команд (ISA)

- ARMv7 (AArch32): 32-битные инструкции (актуально для Cortex-M).
- ARMv8/ARMv9 (AArch64): 64-битные инструкции с расширениями (SVE, SME).
- Thumb-2: экономичный режим с 16/32-битными инструкциями для оптимизации памяти.

Память и кэш реализованы на базе гарвардской архитектуры: раздельный кэш для команд и данных (L1, L2).

- L1: 16–64 КБ (отдельно для инструкций и данных).
- L2: от 128 КБ до 1 МБ (общий кэш).
- L3: до 8 МБ (присутствует в топовых чипах, например, Cortex-X).

Шина и интерконнект

- AMBA (Advanced Microcontroller Bus Architecture):
- AXI – для высокоскоростных связей (между CPU, GPU и памятью).
- APB – для периферийных устройств с низким энергопотреблением.

Также, можно выделить дополнительные модули, применяемые для разных категорий процессора. Для процессоров Cortex-A можно выделить многоядерность, векторные расширения, NEON, встроенные графические ядра, AI-ускорители. Для процессоров Cortex-M отсутствие MMU, есть только MPU и небольшой кеш, Энергоэффективность и встроенные АЦП, ЦАП, таймеры, UART.

Примером процессора, базирующего на архитектуре ARM и применяемого для техники компании Apple процессор M2. CPU имеет восемь ядер (четыре высокопроизводительных и четыре энергоэффективных) и 128-битное расширение SVE2 для векторных вычислений. GPU имеет десять ядер Apple GPU. NPU содержит 16 ядер Neural Engine для задач искусственного интеллекта. Процессор может использовать оперативную память объёмом до 24 ГБ LPDDR5, используемая CPU и GPU одновременно.

Ключевые отличия ARM и x86

Архитектуры ARM и x86 доминируют в современных вычислениях, но имеют принципиальные различия в дизайне, производительности и сферах применения.

Таблица 1

Архитектура и наборы команд

Критерий	ARM	x86
Тип архитектуры	RISC (Reduced Instruction Set Computer)	CISC (Complex Instruction Set Computer)
Инструкции	Простые, фиксированной длины (32/64 бит)	Сложные, переменной длины
Параллелизм	Лучше подходит для многопоточности (больше ядер)	Оптимизирован для высоких тактовых частот
Энергопотребление	Крайне низкое (милливатты — ватты)	Высокое (десятки — сотни ватт)

Вывод по таблице:

- ARM – энергоэффективность, массовый параллелизм (мобильные устройства, серверы).
- x86 – высокая производительность на одно ядро (десктопы, высоконагруженные серверы).

Преимущества ARM-архитектуры для моделирования:

1) Энергоэффективность – низкое энергопотребление при высокой производительности (актуально для HPC и мобильных решений).

2) Масштабируемость – от простых микроконтроллеров (Cortex-M) до мощных серверных процессоров (Neoverse, Graviton).

3) Параллельные вычисления – поддержка многопоточности и векторных инструкций (NEON, SVE).

4) Гибкость – возможность использования в распределенных системах и кластерах.

Моделирование работы процессоров реализуется в программах эмуляторах. Они позволяют моделировать работу процессора в соответствии с его архитектурой, набором команд и другими особенностями. Такие программы позволяют реализовывать отладку прошивок и программ, не имея физически микросхемы. Данная функция позволяет отлаживать программы, предназначенные для работы на системах с архитектурой микропроцессора ARM. На данный момент выделяются несколько программы, позволяющие моделировать работу процессоров разной архитектуры. Программы делятся на платные и программы с открытым кодом.

Программы с открытым кодом:

- QEMU – инструмент для эмуляции архитектуры ARM.
- Gem5 – программный симулятор процессоров.

Платные программы:

- MATLAB/Simulink с поддержкой ARM-процессоров.
- Proteus VSM.

Основные возможности представленных систем:

1) В QEMU программы, предназначенные для работы на процессорах с архитектурой ARM на ЭВМ с архитектурой x86 с незначительной потерей производительности, а также поддержка большого количества архитектур и готовых плат, таких как Raspberry PI, STM 32 board (рис. 1).

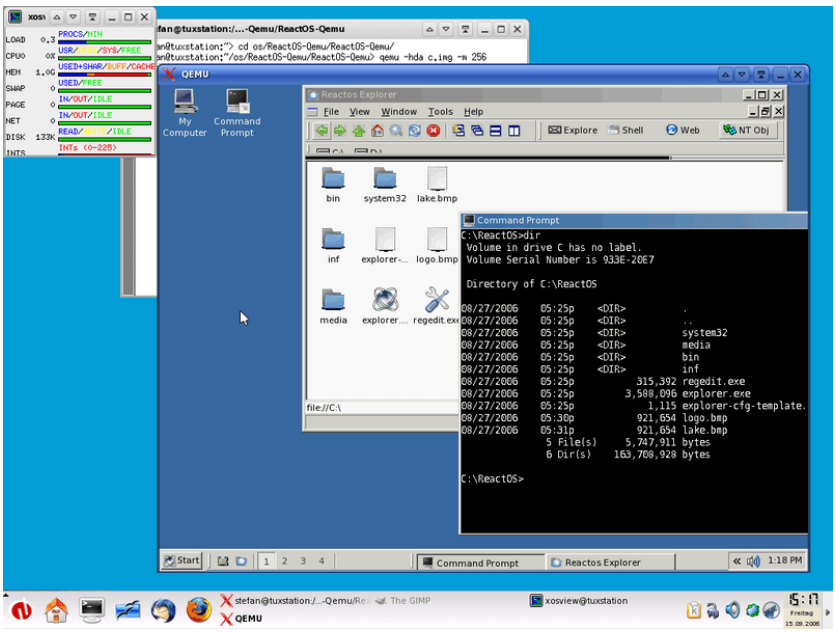


Рисунок 1. Окно QEMU при запуске на ОС Linux

Программа является бесплатной, что позволяет её применять в учебном процессе.

2) Gem5 является программой моделирования компьютерной архитектуры с разными микропроцессором. Данный эмулятор позволяет Он сочетает в себе моделирование на системном уровне и микроархитектуру, позволяя пользователям анализировать и тестировать множество конфигураций оборудования, архитектур и программных сред без доступа к какому-либо оборудованию или его разработки. Симулятор способен имитировать

современную операционную систему, работающую на системе симулятора, и поддерживает различные архитектуры наборов команд (ISA), включая x86, ARM, RISC-V [3] (рис. 2).

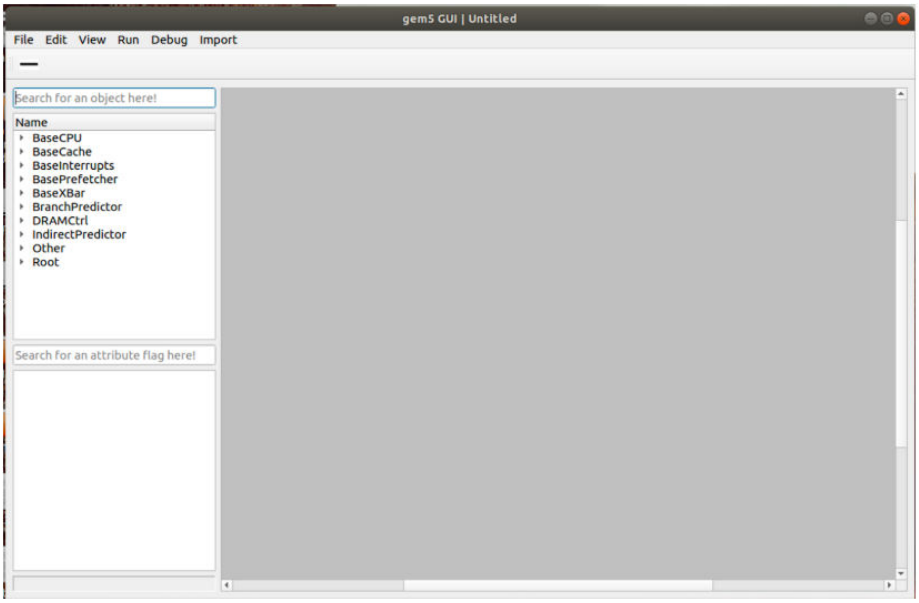


Рисунок 2. Графический интерфейс для удобства работы пользователя

3) MATLAB/Simulink позволяет моделировать системы на базе процессоров с разной архитектурой, включая ARM. Важной особенностью данной программы является применение смоделированных процессоров с другими системами (рис. 3).

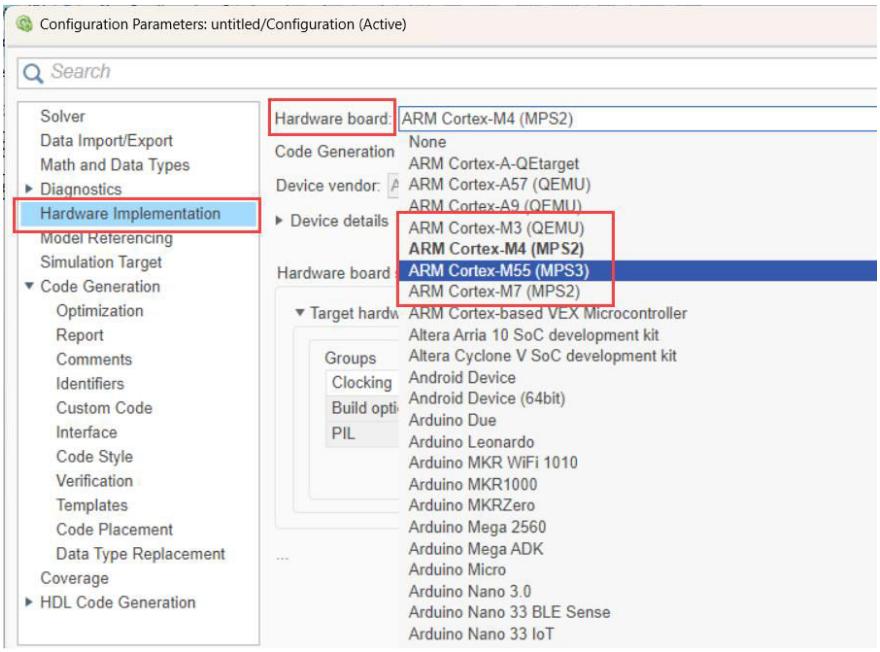


Рисунок 3. Конфигурационное окно MATLAB/Simulink для моделирования процессоров

Для работы в системе MATLAB/Simulink требуется дорогостоящая лицензия, имеются умеренно-высокие требования к производительности вычислительных систем.

4) Proteus VSM позволяет моделировать процессоры с типом ядра Cortex-M. Ярким представителем семейства таки процессоров являются микроконтроллеры STM32. В Proteus VSM возможно моделирование не только работы микроконтроллера STM32 но и внешних периферийных устройств, таких как жидкокристаллические дисплеи, цифровые и аналоговые датчики, интерфейсы и т.д. (рис. 4)[4-5].

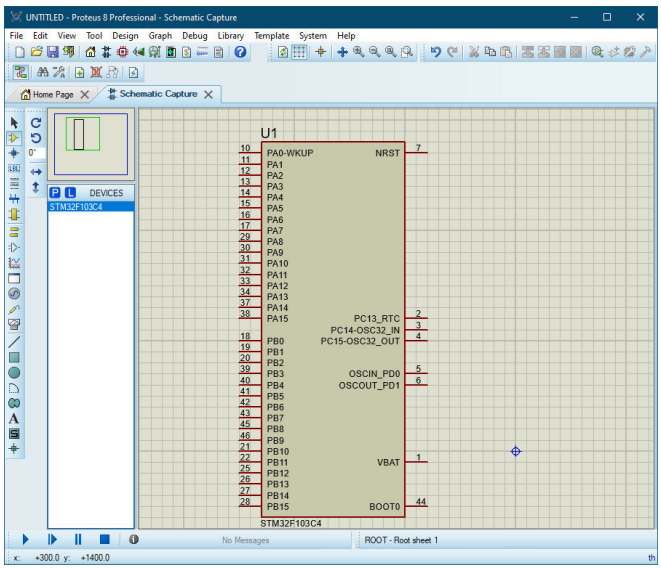


Рисунок 4. Рабочее пространство программы Proteus VSM и смоделированный микроконтроллер STM32F103C4

Также программа позволяет моделировать системы в режиме реального времени для отладки прошивки микроконтроллера [6,7].

Процессоры с архитектурой ARM применяются для высокопроизводительных систем, персональных компьютеров и встроенных системы. С каждым годом доля процессоров с данной архитектурой увеличивается. Необходимость предварительно отладки и настройки программ для систем с данной архитектурой увеличивается. Рассмотренные системы моделирования работы ARM процессоров позволяют отлаживать программы как для высокопроизводительных систем, так и для микроконтроллеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Состояние рынка процессоров в 2020 году. – Текст: электронный. – 2020. – URL: https://www.chipdip.ru/news/processor-market-2020 (дата обращения: 8.06.2025).

2. Перспективная архитектура x86S от Intel — все. Вспоминаем, что это было и зачем создавалось. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://habr.com/ru/companies/ru_mts/articles/874036/ (дата обращения: 8.06.2025).

3. gem5: gem5 GUI. – Текст: электронный. – 2020. – URL: https://www.gem5.org/2020/05/29/gem5-gui.html (дата обращения: 8.06.2025).

4. *Бикмухаметов Р.Р.* Применение контроллеров и макетных плат Arduino при решении задач лабораторных работ по дисциплинам «Микроконтроллеры" и "Микропроцессорные системы» / Р.Р. Бикмухаметов, Д.В. Ширшова // Наука сегодня: проблемы и перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции: в 2 частях, Вологда, 30 ноября 2016 года / Научный центр «Диспут». Том Часть 1. Вологда: ООО «Маркер». 2016. С. 19-20.

5. *Бикмухаметов Р.Р.* Организация вывода информации при проектировании лабораторных задач по дисциплинам «Микроконтроллеры» и «Микропроцессорные системы» / Р.Р. Бикмухаметов, Д.В. Ширшова // Наука сегодня: проблемы и перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции: в 2 частях, Вологда, 30 ноября 2016 года / Научный центр «Диспут». Том Часть 1. Вологда: ООО «Маркер». 2016. С. 21-22.

6. *Бикмухаметов Р.Р.* Применение датчиков и модулей Arduino для реализации проектов лабораторных работ по дисциплинам «Микроконтроллеры» и «Микропроцессорные системы» / Р.Р. Бикмухаметов, Д.В. Ширшова // Наука сегодня: проблемы и перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции: в 2 частях, Вологда, 30 ноября 2016 года / Научный центр «Диспут». Том Часть 1. Вологда: ООО «Маркер», 2016. С. 22-24.

7. *Гибадуллин Р.Ф.* Организация защищенной передачи данных в сенсорной сети на базе микроконтроллеров AVR / Р.Ф. Гибадуллин // Кибернетика и программирование. 2018. № 6. С. 80-86.

MODERN COMPUTER SIMULATION SYSTEMS FOR PROCESSORS WITH ARM ARCHITECTURE

Belov N.V.
Supervisor: Gatin R.R., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper examines the architecture of ARM processors and their features. Examples of processors based on this architecture are given. Processor emulators based on the ARM architecture and their possible application in the educational process are considered.

УДК 004.94

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Бурмистрова В.С.
Научный руководитель: Тимофеев И.И., старший преподаватель
(Альметьевский филиал Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н.Туполева-КАИ, г. Альметьевск)

Аннотация. В данной статье рассматривается роль современных технологий высокопроизводительных вычислений в научных исследованиях, анализируется переход от классических суперкомпьютеров к гибридным архитектурам, а также растущее влияние облачных высокопроизводительных платформ и технологий искусственного интеллекта. Подробно описаны ключевые применения высокопроизводительных вычислений в таких областях, как климатическое моделирование, геномика, астрофизика и разработка новых материалов, особое внимание уделяется текущим вызовам, включая проблемы энергопотребления и сложности программирования. Приводятся примеры успешного внедрения технологий высокопроизводительных вычислений в реальные научные проекты, а также обсуждаются вызовы и перспективы дальнейшего развития высокопроизводительных вычислений.

Высокопроизводительные вычисления (ВПВ) – область вычислительной техники, которая занимается решением сложных задач, требующих огромных вычислительных ресурсов, которые невозможно обработать на обычных персональных компьютерах или серверах. Основная цель высокопроизводительных вычислений - достичь максимальной производительности для решения научных, инженерных или бизнес-задач за максимально короткое время. ВПВ позволяют решать задачи такой сложности и объема, которые ранее были недостижимы для экспериментальных или теоретических методов. Ключевые элементы ВПВ охватывают суперкомпьютеры, кластерные комплексы, облачные среды и результативное ПО для распределенных вычислений [1,2]. Подобные системы активно используются в различных сферах, например, научных изысканиях, моделировании физических явлений, климатологии, биоинформатике, а также в индустрии и финансах.

Преимущества ВПВ: существенное сужение времени вычислений, способность обрабатывать огромные массивы данных, улучшенная точность моделирования и анализа данных. Среди недостатков стоит отметить высокие требования к инфраструктуре и сложности разработки параллельных программ [3,4].

Современные технологии высокопроизводительных вычислений стали основным двигателем научного прогресса, преобразовав многие области исследований из теоретических и экспериментальных в расчетные.

Ключевые роли высокопроизводительных вычислений в науке:

– обработка больших данных: актуальные научные исследования связаны с формированием и разбором крупных массивов информации;

– моделирование и симуляции сложных систем: ВПВ позволяют создавать сложные модели природных и технических процессов, это помогает ученым проводить эксперименты, которые экономят время и ресурсы по сравнению с лабораторными исследованиями;

– ускорение научных открытий: высокопроизводительные вычисления значительно сокращают время, необходимое для проведения расчетов и анализа;

– интеграция междисциплинарных исследований: ВПВ способствуют объединению данных и методов из разных научных дисциплин, что расширяет возможности комплексного анализа и способствует появлению новых направлений исследований;

– расширение возможностей научных исследований: современные технологии ВПВ позволяет ученым решать ранее недоступные задачи, открывая новые области исследований и ускоряя развитие научных гипотез и теорий;

Классические суперкомпьютеры прошлого основывались на тысячах многоядерных центральных процессоров (CPU). Однако закон Мура постепенно замедляется, и для достижения новых уровней производительности потребовался парадигмальный сдвиг. Современные суперкомпьютеры, входящие в топ-500 рейтинга, практически все построены по гибридной архитектуре CPU + GPU. Графические процессоры (GPU), изначально созданные для обработки графики, оказались идеальными для распараллеливания массовых вычислений благодаря своей массово параллельной архитектуре [5].

Облачные высокопроизводительные платформы и технологии искусственного интеллекта оказывают глубокое воздействие на многочисленные аспекты бизнеса и повседневной жизни.

Рассмотрим некоторые важные пункты:

– повышение эффективности: облачные платформы предоставляют доступ к мощным вычислительным ресурсам;

– оптимизация расходов: использование облачных технологий позволяет компаниям сократить расходы на ИТ-инфраструктуру за счет оплаты только необходимых ресурсов в конкретный момент времени;

– гибкость и масштабируемость: облачные решения характеризуются высокой степенью масштабирования;

– доступность передовых технологий: облачные платформы предоставляют доступ к современным технологиям искусственного интеллекта, включая машинное обучение, обработку естественного языка и компьютерное зрение, что упрощает их внедрение для компаний любого размера;

– улучшение качества принятия решений: искусственный интеллект на облачных платформах может анализировать значительные объемы данных и предоставлять ценную информацию, что способствует принятию более обоснованных бизнес-решений;

– сотрудничество и интеграция: облачные технологии способствуют более эффективному сотрудничеству между командами, позволяя нескольким пользователям одновременно работать с проектами и данными, а также обеспечивая легкую интеграцию различных систем и инструментов.

Облачные высокопроизводительные платформы и технологии искусственного интеллекта взаимно дополняют друг друга, создавая мощную основу для цифровой трансформации и инноваций. Их влияние распространяется на научные открытия, развитие бизнеса и улучшение качества жизни, открывая новые горизонты для технологического прогресса. Переход к смешанным архитектурам, подразумевающим наличие в вычислительной системе всевозможных ускорителей, позволяет сделать качественный рывок

в решении задач, требующих существенных вычислительных ресурсов: искусственного интеллекта, математического моделирования, анализа изображений, робототехники и прочее. Модификация архитектуры влечет за собой необходимость корректировки способов структурирования вычислительных операций, распределения ресурсов между приложениями, методик создания, тестирования и запуска программ, а также анализа эффективности работы вычислительной системы. Современные методики и подходы к организации вычислительных процессов в вычислительных комплексах представляют собой фундамент для разработки результативной системы, предназначенной для предоставления услуг по проведению научных расчетов. Эта система опирается на гибридные вычислительные комплексы с высокой производительностью.

Применение высокопроизводительных вычислений в научных исследованиях:

– климатическое моделирование: создание точных глобальных климатических моделей, предсказание последствий изменения климата и разработка сценариев его смягчения требуют колоссальных вычислительных ресурсов для обработки петабайты данных и симуляции сотен параметров;

– геномика и биоинформатика: высокопроизводительные вычисления ускоряют расшифровку геномов, поиск новых лекарств через виртуальный скрининг миллионов молекул и моделирование белковых структур;

– астрофизика: обработка данных с телескопов, симуляция формирования галактик, столкновения черных дыр;

– разработка новых материалов: наука о материалах на стыке физики и химии использует высокопроизводительные вычисления для компьютерного дизайна материалов с заданными свойствами еще до их синтеза в лаборатории.

Несмотря на впечатляющий прогресс, область высокопроизводительных вычислений сталкивается с серьезными вызовами:

– энергопотребление: сверхмасштабные системы употребляют десятки мегаватт энергии. Разработка энергоэффективных архитектур и систем охлаждения-критически важная задача;

– сложность программирования: написание эффективного кода для гибридных систем требует высокой квалификации и остается узким местом;

– передача данных: проблема «стены памяти»- когда процессоры простаивают в ожидании данных из памяти – становится главным ограничителем производительности.

Примеры успешного внедрения высокопроизводительных вычислений в ключевые научные проекты:

1. предсказание изменения климата: создание максимально точных цифровых «двойников» Земли для прогнозирования последствий глобального потепления, изменения концентрации углерода, таяния ледников и повышения уровня моря. Климатические модели разбивают атмосферу, океан и поверхность суши на трехмерные ячейки. Чем мельче сетка, тем точнее прогноз, но тем больше вычислений требуется. Эти модели легли в основу отчетов межправительственной группы экспертов по изменению климата и являются главным научным аргументом для выработки международной климатической политики;

2. открытие бозона Хиггса: анализ петабайты данных, генерируемых в результате столкновений протонов, для обнаружения редких частиц, предсказанных стандартной моделью. Данные с детекторов обрабатываются глобальной распределенной сетью, которая объединяет вычислительные центры по всему миру, это один из крупнейших проектов в области обработки данных. Результатом стало успешное открытие бозона Хиггса в 2012 году, что стало триумфом теоретической и экспериментальной физики, невозможным без высокопроизводительных вычислений;

3. Расшифровка генома и персонализированная медицина: анализ полных геномов сотен тысяч людей для выявления генетических маркеров, связанных с заболеваниями (раком, диабетом, болезнью Альцгеймера), и разработка методов персонализированного лечения. Выравнивание коротких последовательностей ДНК с рефренным геномом и их сборка — это

вычислительно сложная задача. Анализ полногеномных ассоциативных исследований требует обработки массивных матриц данных и сложной статистики. Без кластеров ВПВ такой анализ был бы невозможен. Результатом послужило открытие сотен генетических вариантов, влияющих на предрасположенность к болезням, развитие генетических тестов и целевых методов лечения;

4. Разработка новых материалов и лекарств: предсказание свойств новых материалов или молекул-кандидатов в лекарства без дорогостоящего и долгого их синтеза в лаборатории. Методы квантовой механики (например, теория функционала плотности - DFT) позволяют смоделировать поведение электронов в веществе. Эти расчеты невероятно ресурсоемки и требуют суперкомпьютеров даже для относительно небольших систем. Результатом является создание более эффективных катализаторов для удобрений разработка новых сплавов, открытие новых классов лекарственных соединений.

Эти примеры наглядно демонстрируют, что высокопроизводительные вычисления перестали быть инструментом только для теоретиков. Они стали ключевой экспериментальной установкой, "цифровой лабораторией", которая позволяет проводить исследования в тех областях, где натурные эксперименты слишком дороги, опасны или просто невозможны.

В перспективе развитие высокопроизводительных вычислений будет идти по пути:

– достижения устойчивого эксаскального уровня;

– конвергенции с квантовыми вычислениями;

– развития специализированных ускорителей для конкретных задач, таких как искусственный интеллект;

– повышения уровня абстракции в программировании через использование искусственного интеллекта для автоматической оптимизации кода.

Ключевые вызовы дальнейшего развития высокопроизводительных вычислений:

– энергопотребление и тепловыделение: проблема - мощнейшие суперкомпьютеры уже потребляют десятки мегаватт энергии. При сохранении текущих тенденций их аппетиты скоро сравняются с потреблением небольшого города. Это делает эксплуатацию невероятно дорогой и экологически проблемной.

– параллелизм и программный кризис: уже невозможно значительно наращивать тактовую частоту процессоров. Единственный путь — увеличение числа ядер. Но чтобы использовать тысячи или миллионы ядер, задачи нужно уметь эффективно распараллеливать.

– пропускная способность и задержки в системах ввода-вывода и сетях: вычислительные узлы могут генерировать данные быстрее, чем система способна их сохранить на диск или передать по сети. Это создает "узкие места", когда мощные процессоры простаивают в ожидании данных. Требуются новые, более быстрые и эффективные протоколы передачи данных, системы хранения и межсоединения.

– надежность и отказоустойчивость: в системе с миллионами компонентов (процессоров, модулей памяти, дисков) сбои оборудования и программного обеспечения становятся не исключением, а повседневной нормой. Алгоритмы и системы должны быть спроектированы так, чтобы предвидеть сбои и устойчиво их переносить без потери результатов и времени.

– стоимость и доступность: создание и обслуживание сверхмощных систем доступно лишь единицам: крупнейшим государствам и корпорациям.

Перспективы дальнейшего развития высокопроизводительных вычислений связаны с преодолением текущих ограничений. Ниже представлены ключевые направления и тенденции, определяющие будущее ВПВ;

– масштабирование и суперкомпьютеры экзафлопсного уровня: стремление к созданию систем, способных достигать производительности более одного экзафлопса. Это позволит решать самые сложные научные, инженерные и аналитические задачи, такие как моделирование климатических изменений, биомедицина и робототехника;

– интеграция новых архитектурных решений: использование чипов с большим числом ядер, архитектур на базе графических процессоров и тензорных процессоров, а также развитие квантовых и оптических вычислений. Это повысит производительность и энергоэффективность систем;

– параллелизм и масштабируемость: разработка новых методов и алгоритмов, максимально использующих преимущества параллельных платформ, что позволит эффективно управлять огромными объемами данных и сложными вычислительными задачами;

– энергоэффективность: важным направлением является снижение энергопотребления высокопроизводительных систем за счет новых материалов, систем охлаждения и оптимизированных архитектур, что сделает их более устойчивыми и доступными;

– облачные и распределенные вычисления: развитие распределённых систем и облачных платформ предоставит доступ к ВПВ более широкому кругу ученых и инженеров, обеспечивая высокую масштабируемость и гибкость;

– экологическая устойчивость и безопасность: учитывая рост потребления ресурсов, особое значение приобретает создание экологически чистых и безопасных решений в области ВПВ.

Развитие высокопроизводительных вычислений будет значительным образом способствовать прогрессу в области науки, технологий и промышленности, открывая новые горизонты для исследований и создания инновационных продуктов.

В результате анализа современных тенденций использования высокопроизводительных вычислений в науке и технике можно выделить основные перспективные направления развития вычислительной отрасли, связанные с внедрениями технологий цифровой экономики:

– технологии обработки больших данных, дающие возможность извлечения знаний из имеющихся больших массивов данных. Науки с интенсивным использованием данных сегодня активно развиваются и их методы применяются в сопредельных областях знания, где традиционно накапливаются большие объемы данных: астрономия, геномика, протеомика, социальные науки;

– технологии искусственного предполагающие получение знаний информационной системой в процессе ее работы и дальнейшее их использование в виде «обученной системы» для решения прикладных задач схожей направленности;

– технологии беспроводной связи, предоставляющие возможности построения сетей и обеспечения управления любыми техническими устройствами.

Современные тренды высокопроизводительных вычислений:

– эксафлопсные вычисления: современные суперкомпьютеры (например, Frontier) достигают производительности в эксафлопсы;

– конвергенция HPC и AI: HPC-системы используются для обучения больших моделей ИИ, а ИИ, в свою очередь, оптимизирует HPC-приложения;

– квантовые вычисления: исследуются гибридные архитектуры, где классические HPC-системы работают вместе с квантовыми компьютерами;

– энергоэффективность: разработка новых систем охлаждения (жидкостное охлаждение) и энергоэффективных архитектур;

– облачный сервис высокопроизводительных вычислений: предоставление HPC-ресурсов через облака (AWS, Azure, Google Cloud).

Современные технологии высокопроизводительных вычислений продолжают развиваться, предоставляя ученым все более мощные инструменты для проведения исследований. Развитие архитектурных решений, программных технологий и методов организации вычислительных процессов позволяет решать задачи, которые еще недавно считались недоступными для компьютерного моделирования. Дальнейший прогресс в области HPC будет связан с преодолением вызовов энергоэффективности, программной сложности и управления большими данными, а также с интеграцией новых вычислительных парадигм, таких как искусственный интеллект и квантовые вычисления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Райхлин В.А.* Конструктивное моделирование систем информатики / В.А. Райхлин, И.С. Вершинин, Р.Ш. Минязев, Р.Ф. Гибадуллин ; Под ред. В.А. Райхлина. – Казань: Издательство «Фэн» Академии наук Республики Татарстан, 2016. – 312 с. – ISBN 978-5-9690-0303-3.

2. *Гибадуллин Р.Ф.* Разделение пространственных данных для масштабируемой обработки запросов / Р.Ф. Гибадуллин, А.Д. Леонов, М.Ю. Перухин // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 8. – С. 83-86.

3. *Гибадуллин Р.Ф.* Реализация механизма репликации в СУБД Postgre SQL / Р.Ф. Гибадуллин, А.М. Зиннатов, М.Ю. Перухин, Р.Н. Гайнуллин // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 24. – С. 100-101.

4. *Гибадуллин Р.Ф.* Ускорение AES шифрования на аппаратно-программной платформе NVIDIA CUDA / Р.Ф. Гибадуллин, А.С. Яковлев, А.А. Новиков, М.Ю. Перухин // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 12. – С. 97-103.

5. *Савельев А.Г.* Анализ эффективности использования графических процессоров для ускорения обработки SQL-запросов / А.Г. Савельев, И.С. Вершинин, Р.Ф. Гибадуллин // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2017): сборник трудов III международной конференции и молодежной школы, Самара, 25–27 апреля 2017 года / Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева. – Самара: Предприятие «Новая техника», 2017. – С. 1672-1675.

MODERN HIGH-PERFORMANCE COMPUTING TECHNOLOGIES IN SCIENTIFIC RESEARCH

Burmistrova V.S.

Supervisor: Timofeev I.I., Senior Lecturer

(Almetyevsk Branch of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Almetyevsk)

Abstract. This article examines the role of modern high-performance computing technologies in scientific research, analyzes the transition from classical supercomputers to hybrid architectures, as well as the growing influence of cloud-based high-performance platforms and artificial intelligence technologies. Key applications of high-performance computing in fields such as climate modeling, genomics, astrophysics, and new materials development are described in detail, with special attention being paid to current challenges, including energy consumption and programming difficulties. Examples of successful implementation of high-performance computing technologies in real scientific projects are given, and challenges and prospects for further development of high-performance computing are discussed.

УДК 519.237.5:378.1

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ЗАВИСИМОСТЕЙ МЕЖДУ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИН В ВУЗЕ

Вагизов Т.Р.

Научный руководитель: Зайдуллин С.С., доцент, к. т. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ г. Казань*)

Аннотация. В данной статье рассматривается применение регрессионных моделей для анализа зависимостей между результатами освоения дисциплин в ВУЗе на примере обезличенных исторических данных успеваемости студентов КНИТУ-КАИ.

Введение

Высшее образование является одним из важнейших инструментов в формировании будущего нашей страны. Оно имеет целью не только подготовку высококвалифицированных кадров, но и обеспечение развития личности и общества в целом [1]. Поэтому повышение его качества является важной задачей.

В процессе обучения студенты осваивают различные дисциплины, многие из которых могут быть связаны между собой, как явно, так и не явно. Поиск подобных зависимостей может помочь улучшить учебную программу, за счет более глубокого понимания взаимосвязей между дисциплинами, входящих в неё.

В качестве инструмента анализа зависимостей используется математическое моделирование. Для построения моделей зависимостей автор предлагает использовать регрессионный анализ – набор статистических методов исследования влияния одной или нескольких независимых переменных (регрессоров) на зависимую переменную [2].

В данной работе будут построены регрессионные модели для некоторых пар вида «рассматриваемая дисциплина» - «предшествующие дисциплины». То есть для каждой модели в качестве зависимой переменной будет рассматриваться оценка по рассматриваемой дисциплине, а в качестве независимых переменных оценки по некоторым предшествующим дисциплинам.

Построение регрессионных моделей

Построение регрессионной модели можно разделить на 4 этапа [3]:

1. проведение экспериментов по измерению отклика системы при заданных входных параметрах и составление таблиц результатов экспериментов по принципу «входы»-«выход»;
2. выбор типа модели регрессии;
3. вычисление коэффициентов модели регрессии по методу наименьших квадратов;
4. проверка модели регрессии на адекватность.

Рассмотрим подробнее каждый этап.

Проведение экспериментов и составление таблиц результатов

В случае анализа зависимостей между дисциплинами эксперименты проводить не нужно, так как данные для анализа уже представлены в информационной системе ВУЗа.

Выбор типа функции регрессии.

В качестве типа модели регрессии будет взята линейная регрессия, представленная ни рисунке 1 [4].

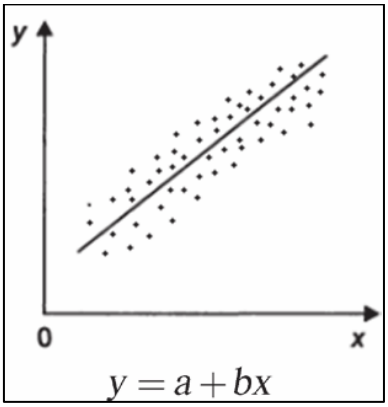


Рис. 1. Линейная регрессия

Вычисление коэффициентов по методу наименьших квадратов.

Пусть между величинами $x_1, \dots, x_n$ и y существует функциональная зависимость, но ее аналитический вид неизвестен. Нужно найти эмпирическую формулу (1):

$$y = f(x_1, \dots, x_n, a_1, \dots, a_m), \quad (1)$$

где $a_1, \dots, a_m$ – параметры,

значения которой при $(x_{1i}, \dots, x_{ni})$ возможно мало отличались бы от опытных значений $y_i (i = 1,2,\dots,k)$ Важно, что здесь не ставится задача полного равенства значений функции и экспериментальных данных в точках $(x_{1i}, \dots, x_{ni})$, а лишь минимального отличия их значений.

Если в эмпирическую формулу (1) подставить исходные значения $(x_{1i}, \dots, x_{ni})$, то получатся теоретические значения:

$$y_i^T = f(x_{1i}, \dots, x_{ni}, a_1, \dots, a_m). \quad (2)$$

Разности $y_i^T - y_i$ называются отклонениями и представляют собой расстояния по вертикали от фактических точек до графика эмпирической функции. Согласно методу наименьших квадратов наилучшими коэффициентами $a_1, \dots, a_m$ считаются те, для которых сумма квадратов отклонений найденной эмпирической функции от заданных значений функции будет минимальной.

$$S(a_1, \dots, a_m) = \sum_{i=1}^{k} (y_i^T - y_i)^2 = \\ = \sum_{i=1}^{k} (f(x_{1i}, \dots, x_{ni}, a_1, \dots, a_m) - y_i)^2 \to \min \ . \quad (3)$$

Для того, чтобы найти набор коэффициентов $a_1, \dots, a_m$, которые доставляют минимум функции S, определяемой формулой (3), используем необходимое условие экстремума функции нескольких переменных – равенство нулю градиента функции (вектора частных производных). В результате получим систему уравнений для определения коэффициентов $a_1, \dots, a_m$:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial S}{\partial a_1} = 0 \\ \dfrac{\partial S}{\partial a_2} = 0 \\ \dots \\ \dfrac{\partial S}{\partial a_m} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Таким образом, нахождение коэффициентов сводится к решению системы (4).

Проверка на адекватность.

После того, как аналитическая модель построена (определены коэффициенты выбранной эмпирической функции), необходимо оценить, насколько точно выбранная модель отражает реальную зависимость.

Чтобы выяснить, насколько точно построенная модель отражает эмпирические данные нелинейной системы (в общем случае произвольной), вводится еще одна характеристика – коэффициент детерминации. Он показывает, насколько хорошо уравнение, полученное с помощью регрессионного анализа, объясняет взаимосвязи между переменными системы.

Для его описания рассмотрим полную (5), остаточную (6) и регрессионную (7) сумму квадратов.

$$S_{\text{полн}} = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2 ; \quad (5)$$

$$S_{\text{ост}} = \sum_{i=1}^{n} (y_i - y_i^T)^2 ; \quad (6)$$

$$S_{\text{регр}} = \sum_{i=1}^{n} (y_i^T - \bar{y})^2 . \quad (7)$$

Коэффициент детерминации определяется по формуле:

$$R^2 = 1 - \frac{S_{\text{ост}}}{S_{\text{полн}}} . \quad (8)$$

Чем меньше остаточная сумма квадратов относительно полной суммы квадратов, тем выше значение коэффициента детерминации R^2. Этот коэффициент отражает долю изменчивости зависимой переменной, объясняемой построенной регрессионной моделью. Значение $R^2 = 1$ указывает на функциональную зависимость, то есть модель идеально описывает данные. Напротив, R^2 близкое к 0 означает, что модель слабо объясняет изменчивость данных и непригодна для прогнозирования значений y.

Выбор зависимых дисциплин и дисциплин регрессоров.

Опираясь на экспертную оценку изучаемых тем, выберем из учебного плана КНИТУ-КАИ зависимые дисциплины и дисциплины, от которых они могут зависеть [5].

«Основы теории игр и исследования операций» – дисциплина, изучаемая в 7 семестре. При изучении данной дисциплины студенты активно используют полученные ранее знания в рамках дисциплин «Линейная алгебра и аналитическая геометрия» (1 семестр) и «Дискретная математика» (2 и 3 семестры).

«Управление программными проектами» – дисциплина, изучаемая на 8 семестре. Материал данной дисциплины во многом опирается на материал таких дисциплин как «Проектирование и архитектура программных систем» (6 семестр), «Конструирование и тестирование программного обеспечения» (5 семестр) и «Введение в программную инженерию» (5 семестр).

«Специальные разделы математической логики» – дисциплина, изучаемая в 4 семестре. Она опирается на материал дисциплин «Дискретная математика» (2 и 3 семестры) и «Математическая логика и теория алгоритмов» (3 семестр).

Результаты построения регрессионных моделей.

Для построения моделей автором была написана программа на языке JavaScript. Она обрабатывает данные, полученные из информационной системы ВУЗа, и строит по ним линейную модель регрессии. Результаты построения моделей для выбранных дисциплин представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты построения регрессионных моделей

Зависимая дисциплина	Дисциплины регрессоры	Функция аппроксимации	R^2
Основы теории игр и исследования операций (7 семестр)	X_1 – линейная алгебра и аналитическая геометр (1 семестр); X_2 – дискретная математика (2 семестр); X_2 – дискретная математика (3 семестр).	$y = 42.381 - 0.074x_1 + 0.226x_2 + 0.275x_3$	0,66
Управление программными проектами (8 семестр)	X_1 – введение в программную инженерию (5 семестр); X_2 – конструирование и тестирование программного обеспечения (5 семестр); X_3 – Проектирование и архитектура программных систем (6 семестр).	$y = 62.778 + 0.754x_1 - 0.075x_2 - 0.431x_3$	0,68
Специальные разделы математической логики (4 семестр)	X_1 – дискретная математика (2 семестр); X_2 – дискретная математика (3 семестр); X_3 – математическая логика и теория алгоритмов (3 семестр).	$y = 42.637 + 0.28x_1 - 0.376x_2 + 0.189x_3$	0,4

Анализ результатов

Как видно из таблицы модели для дисциплин «Основы теории игр и исследования операций» и «Управление программными проектами» имеют невысокий коэффициент детерминации (обычно модель считают значимой при $R^2 > 0{,}8$), что свидетельствует о

наличии линейной зависимости, однако не очень сильной. Примечательно наличие отрицательных коэффициентов в функциях регрессии. Это означает, что более высокая оценка по соответствующей коэффициенту дисциплине приводит к меньшей оценке зависимой дисциплины.

Модель для дисциплины «Специальные разделы математической логики» имеет низкий коэффициент детерминации (меньше 0,5), что говорит о слабой линейной связи между зависимой дисциплиной и дисциплинами регрессии. Низкий коэффициент детерминации несколько противоречит ожиданиям, потому что дисциплины регрессоры связаны по содержанию с зависимой дисциплиной.

Таким образом автором показано, что применение регрессионных моделей для анализа зависимостей между результатами освоения дисциплин в ВУЗе возможно. Однако в силу неоднозначности результатов по некоторым дисциплинам очевидно необходимы дальнейшие исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 24.04.2024) «Об образовании в Российской Федерации» [Электронный ресурс] // СПС «КонсультантПлюс». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/ (дата обращения: 01.03.2025).

2. Лекция 7. РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ [Электронный ресурс] // Национальное агентство финансовых исследований – URL: https://nafi.ru/upload/spss/Lection_7.pdf (дата обращения: 05.04.2025).

3. Компьютерное моделирование [Электронный ресурс]: электронный курс. – URL: https://stepik.org/course/61480/syllabus (дата обращения: 01.04.2025).

4. Нелинейная регрессия [Электронный ресурс] // Bstudy. – URL: https://bstudy.net/1010295/ekonomika/nelineynaya_regressiya (дата обращения: 21.04.2025).

5. Учебный план образовательной программы бакалавриата [Электронный ресурс] – URL: https://umk.kai.ru/2019_%D0%A3%D0%9F1_79_27_1145208.PDF (дата обращения: 05.04.25).

APPLICATION OF REGRESSION MODELS FOR ANALYSIS OF RELATIONSHIPS BETWEEN ACADEMIC PERFORMANCE IN UNIVERSITY COURSES

Vagizov T.R.

Supervisor: Zaydullin S.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. This article explores the use of regression models for analyzing relationships between students academic performance in courses at a higher education institution, using anonymized historical performance data from KNRTU-KAI students.

УДК 004.9:378

ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ЗАВИСИМОСТЕЙ В ПРОЦЕССАХ ФОРМИРОВАНИЯ НАВЫКОВ ОБУЧАЮЩИХСЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО СЛЕДА

Вагизов Т.Р.

Научный руководитель: Зайдуллин С.С., доцент, к. т. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ г. Казань*)

Аннотация. В данной статье рассматривается разработка приложения для анализа зависимостей в процессах формирования навыков обучающихся на основе цифрового следа и способы его применения на практике.

Введение

Высшее образование имеет огромную роль в формировании будущего страны. Развитие эффективности высшего образования — важная задача, требующая глубокого понимания процессов протекающих при обучении студентов.

Одна из основных проблем образование — отток студентов из высших учебных учреждений. Причины отчисления студентов могут быть самые разнообразные: низкая мотивация, не способность справиться с академической нагрузкой, личные обстоятельства. Снизить влияние этих причин можно благодаря индивидуальному подходу к студентам или оптимизации программы обучения.

Реализованное приложение

Для анализа зависимостей в процессах формирования навыков обучающихся было разработано веб приложение, написанное на языке JavaScript, с использованием фреймворка Express JS, No-SQl базы данных MongoDB и библиотеки React.

Express.js — это фреймворк для Node.js, который упрощает создание серверных приложений и RESTful API. Он предоставляет инструменты для обработки HTTP-запросов, маршрутизации, работы с промежуточным ПО (middleware) и интеграции с базами данных, такими как MongoDB [1].

MongoDB — это NoSQL-база данных, которая хранит данные в виде JSON-подобных документов. Она обеспечивает высокую производительность, горизонтальную масштабируемость и удобство работы с данными, что делает её отличным выбором для современных веб-приложений [2].

Реализация системы в виде веб приложения облегчает ее использование для потенциальных пользователей, так как такое приложение не требует установки и обновления на стороне пользователя. Использование библиотеки React делает программу более производительной и облегчает ее поддержку и расширение, благодаря использованию компонентного подхода и технологии Virtual DOM [3].

Приложение позволяет пользователю (сотруднику университета) загрузить в него архив с ведомостями учета качества учебной работы для обработки данных в них (рис. 1).

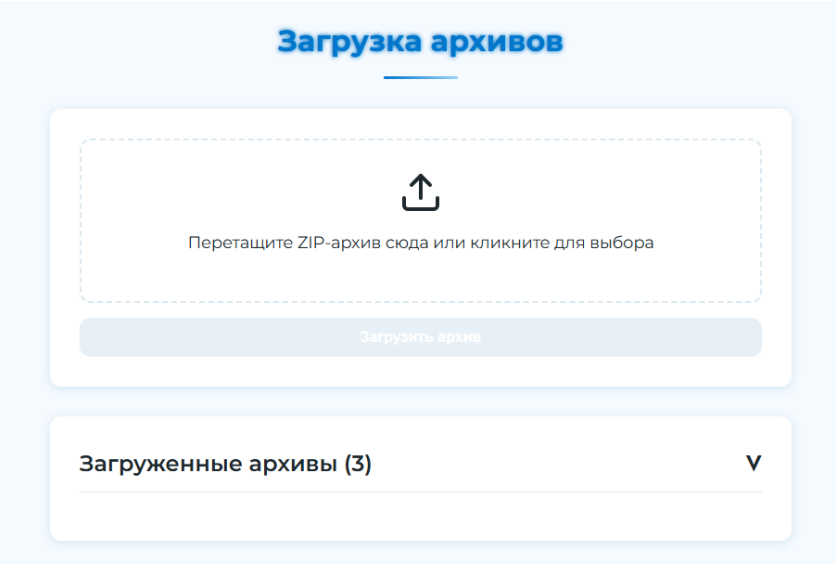


Рис. 1. Страница загрузки архива с ведомостями

В качестве метода поиска зависимостей используется регрессионный анализ. В приложении реализован конструктор построения регрессионных моделей зависимостей между результатами освоения дисциплин (рис. 2).

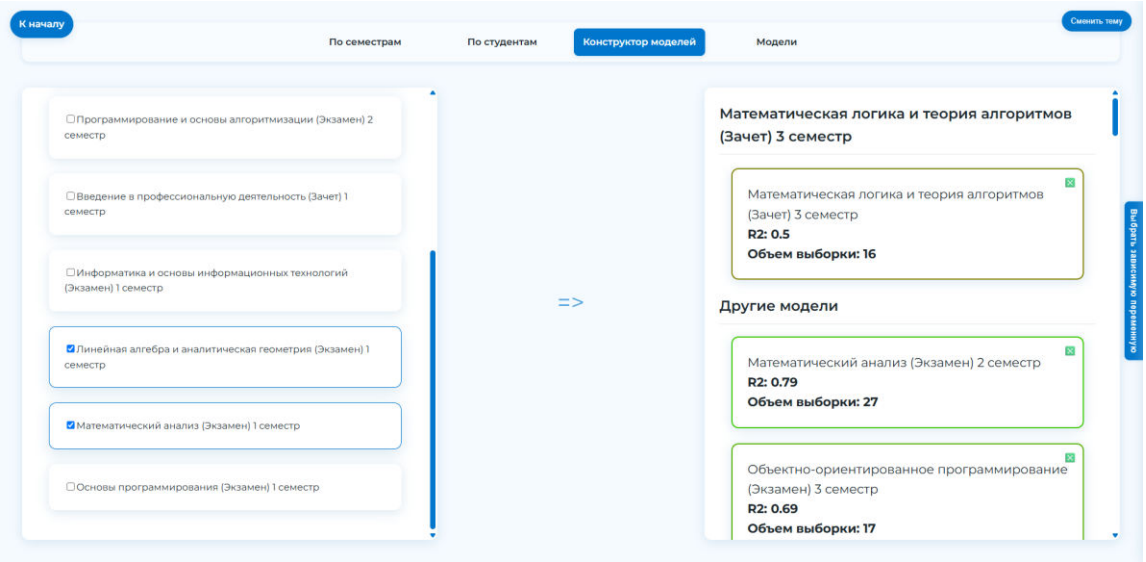


Рис. 2. Конструктор моделей

Пользователь может выбрать зависимую предполагаемо зависимую дисциплину и посмотреть, как она зависит от выбранных дисциплин регрессоров (дисциплины, изучаемые студентами до зависимой дисциплине). Пользователь может сохранить модель для дальнейшего дополнения модели (добавления в него данных других студентов) и использования её для прогнозирования оценок студентов по еще не пройденным дисциплинам (рис. 3).

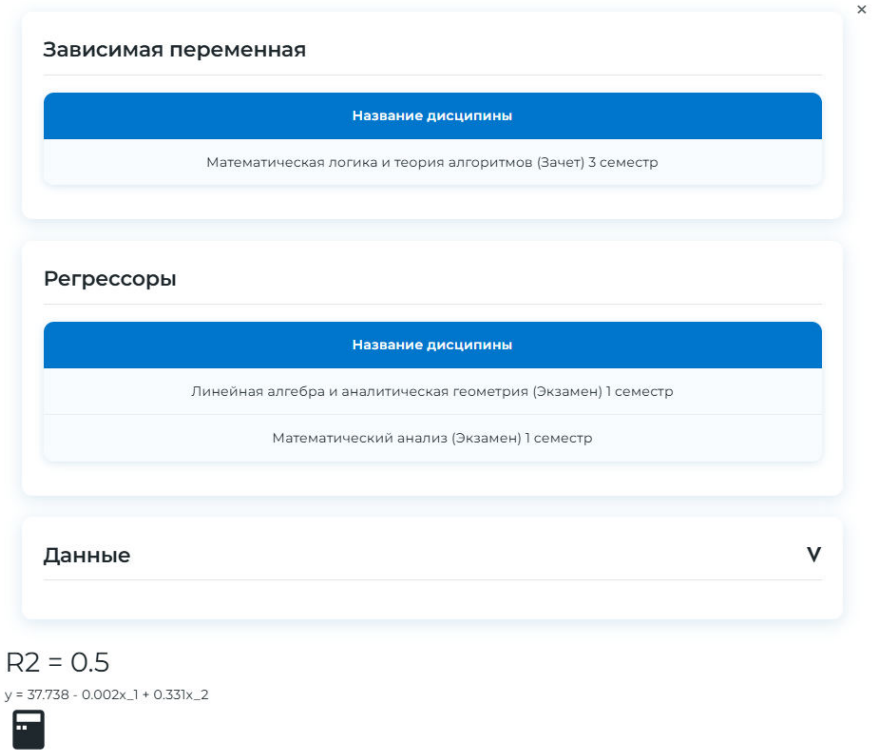
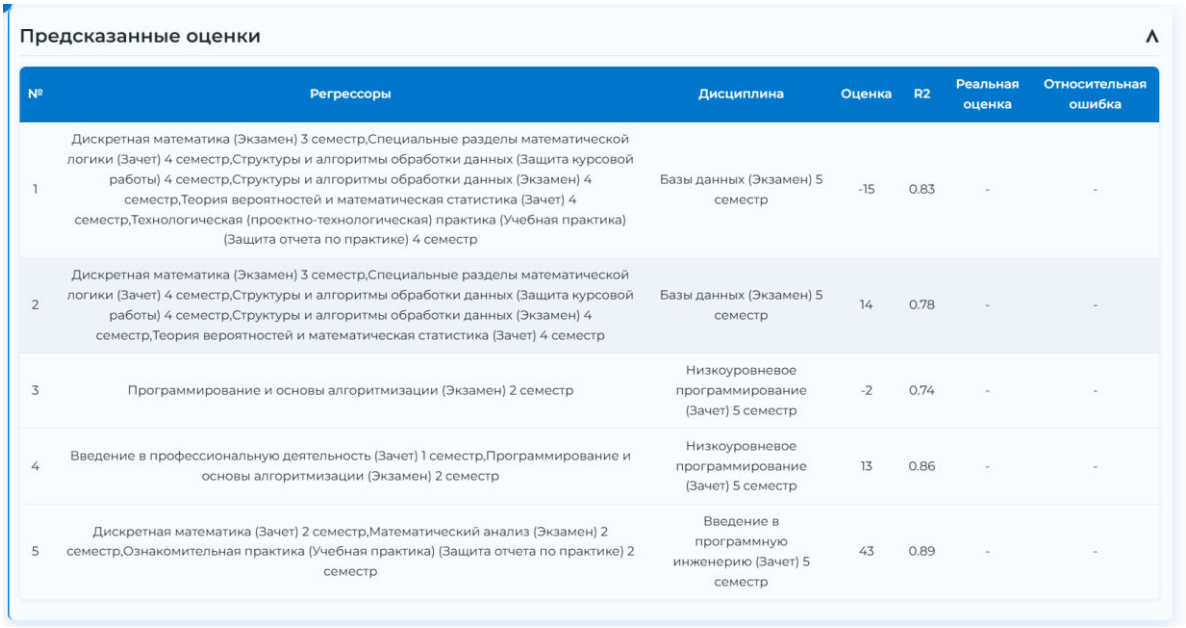


Рис. 3. Окно просмотра модели

Также в приложении реализовано создание линейных регрессионных моделей количества академических задолженностей в зависимости от количества задолженностей и среднего балла за предыдущий семестр.

Помимо создания моделей приложение позволяет просматривать оценки студентов, упоминаемых в загруженных ведомостях. Реализация диаграмм распределения оценок, систем

фильтрации и сортировки данных делает процесс просмотра данных о студентах более комфортным, по сравнению с просмотром этой информации в ведомостях напрямую. Не маловажным является то, что помимо реальных данных, пользователь может видеть и спрогнозированные на основании построенных моделей (рис. 4).

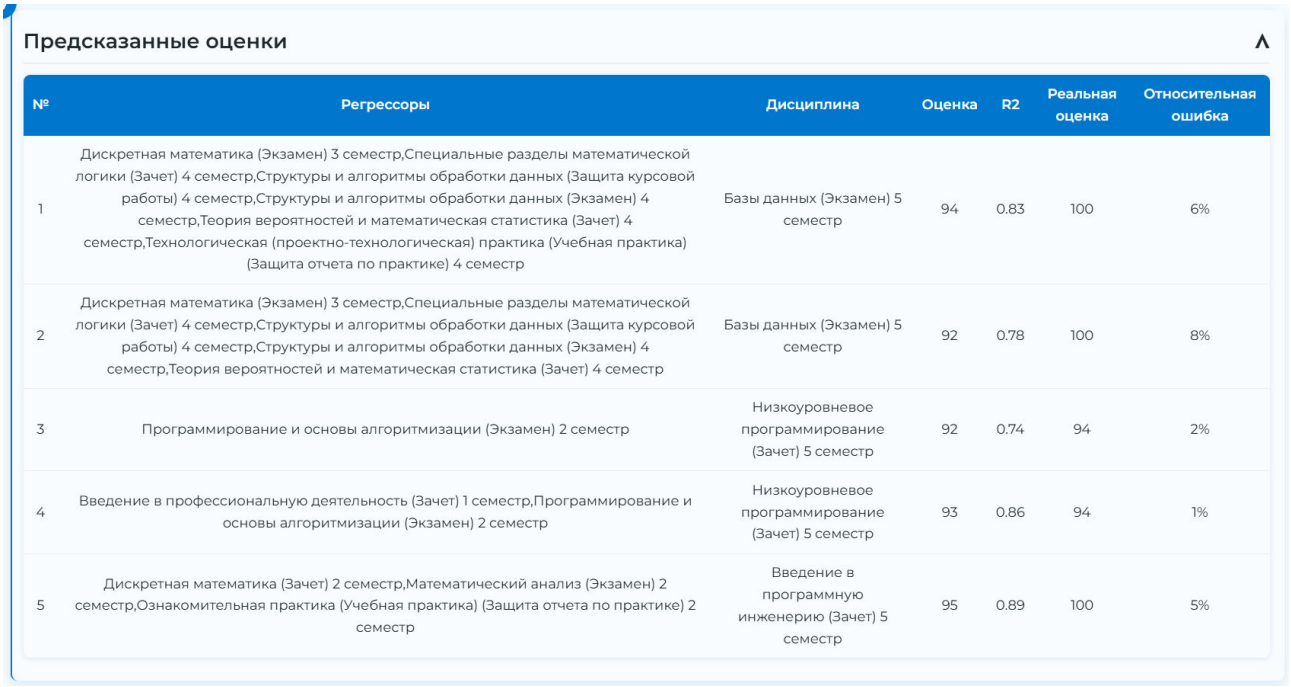


Предсказанные оценки

№	Регрессоры	Дисциплина	Оценка	R2	Реальная оценка	Относительная ошибка
1	Дискретная математика (Экзамен) 3 семестр,Специальные разделы математической логики (Зачет) 4 семестр,Структуры и алгоритмы обработки данных (Защита курсовой работы) 4 семестр,Структуры и алгоритмы обработки данных (Экзамен) 4 семестр,Теория вероятностей и математическая статистика (Зачет) 4 семестр,Технологическая (проектно-технологическая) практика (Учебная практика) (Защита отчета по практике) 4 семестр	Базы данных (Экзамен) 5 семестр	-15	0.83	-	-
2	Дискретная математика (Экзамен) 3 семестр,Специальные разделы математической логики (Зачет) 4 семестр,Структуры и алгоритмы обработки данных (Защита курсовой работы) 4 семестр,Структуры и алгоритмы обработки данных (Экзамен) 4 семестр,Теория вероятностей и математическая статистика (Зачет) 4 семестр	Базы данных (Экзамен) 5 семестр	14	0.78	-	-
3	Программирование и основы алгоритмизации (Экзамен) 2 семестр	Низкоуровневое программирование (Зачет) 5 семестр	-2	0.74	-	-
4	Введение в профессиональную деятельность (Зачет) 1 семестр,Программирование и основы алгоритмизации (Экзамен) 2 семестр	Низкоуровневое программирование (Зачет) 5 семестр	13	0.86	-	-
5	Дискретная математика (Зачет) 2 семестр,Математический анализ (Экзамен) 2 семестр,Ознакомительная практика (Учебная практика) (Защита отчета по практике) 2 семестр	Введение в программную инженерию (Зачет) 5 семестр	43	0.89	-	-

Рис. 4. Оценки, предсказанные помощью моделей.

Если некоторые оценки уже существуют, есть возможность сравнения оценок предсказанных с помощью моделей и реальных оценок (рис. 5).



Предсказанные оценки

№	Регрессоры	Дисциплина	Оценка	R2	Реальная оценка	Относительная ошибка
1	Дискретная математика (Экзамен) 3 семестр,Специальные разделы математической логики (Зачет) 4 семестр,Структуры и алгоритмы обработки данных (Защита курсовой работы) 4 семестр,Структуры и алгоритмы обработки данных (Экзамен) 4 семестр,Теория вероятностей и математическая статистика (Зачет) 4 семестр,Технологическая (проектно-технологическая) практика (Учебная практика) (Защита отчета по практике) 4 семестр	Базы данных (Экзамен) 5 семестр	94	0.83	100	6%
2	Дискретная математика (Экзамен) 3 семестр,Специальные разделы математической логики (Зачет) 4 семестр,Структуры и алгоритмы обработки данных (Защита курсовой работы) 4 семестр,Структуры и алгоритмы обработки данных (Экзамен) 4 семестр,Теория вероятностей и математическая статистика (Зачет) 4 семестр	Базы данных (Экзамен) 5 семестр	92	0.78	100	8%
3	Программирование и основы алгоритмизации (Экзамен) 2 семестр	Низкоуровневое программирование (Зачет) 5 семестр	92	0.74	94	2%
4	Введение в профессиональную деятельность (Зачет) 1 семестр,Программирование и основы алгоритмизации (Экзамен) 2 семестр	Низкоуровневое программирование (Зачет) 5 семестр	93	0.86	94	1%
5	Дискретная математика (Зачет) 2 семестр,Математический анализ (Экзамен) 2 семестр,Ознакомительная практика (Учебная практика) (Защита отчета по практике) 2 семестр	Введение в программную инженерию (Зачет) 5 семестр	95	0.89	100	5%

Рис. 5. Оценки, предсказанные помощью моделей.

Также пользователь может видеть реальное и спрогнозированное количество задолженностей студента за каждый семестр (рис. 6).

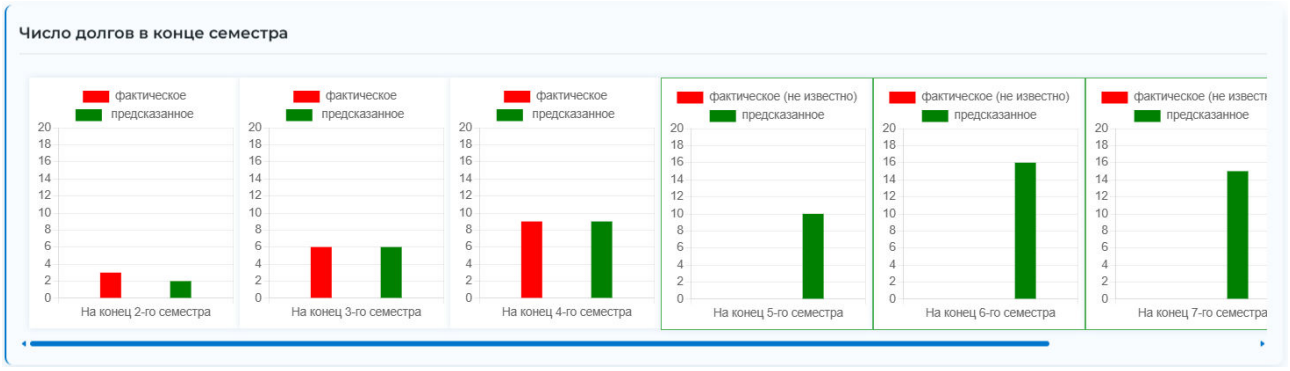


Рис. 6. Диаграммы реального и спрогнозированного количества задолженностей

Использование приложения

Данные, спрогнозированные на основании построенных моделей, могут позволить заранее выявлять опасные ситуации и предотвращать их развитие до отчисления. Администрация институтов и кафедр, опираясь на прогнозы модели, сможет своевременно оказывать воздействие на студентов из группы риска, как напрямую, так и через их наставников. Такой «индивидуальный» подход позволит сократить количество отчислений в университете.

Также приложение может использоваться в исследовательских целях. Благодаря быстрому получению данных из ведомостей и удобному построению моделей, исследователи могут эффективно изучать зависимости в процессах обучения.

Развитие приложения

Приложение имеет большой потенциал для развития. На текущий момент реализовано построение только линейных моделей. Добавление широкого выбора моделей может значительно улучшить эффективность программы. Помимо построения регрессионных моделей возможно добавление других математических инструментов исследования.

Заключение

Разработанное приложение может помочь повысить эффективность высшего образования, путем внедрения более индивидуального подхода в обучении и улучшения понимания процессов обучения, однако для подтверждения его эффективности требуется проверка в реальных условиях. Также возможно дальнейшее развитие приложения, путем добавления большего количества математических инструментов

.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Express.js [Электронный ресурс] // Express.js. – URL: https://expressjs.com/ (дата обращения: 10.05.2025).

2. MongoDB Documentation [Электронный ресурс] // MongoDB Inc. – URL: https://www.mongodb.com/docs/ (дата обращения: 10.05.2025).

3. React Documentation [Электронный ресурс] // React. – URL: https://react.dev/ (дата обращения: 10.05.2025).

APP FOR ANALYZING DEPENDENCIES IN STUDENT SKILL FORMATION PROCESSES BASED ON DIGITAL SHADOW

Vagizov T.R.

Supervisor: Zaydullin S.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article discusses the development of an application for analyzing dependencies in student skill formation processes based on digital shadow and its practical applications.

УДК 004.056

КИБЕРУГРОЗЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

Воронов И.Д.
Научный руководитель: Додонов А.В., старший преподаватель
(Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти)

Аннотация. В статье рассматриваются современные киберугрозы для АСУ ТП и комплексный подход к их защите, сочетающий технические и организационные меры. Также внимание уделено практической реализации сетевой сегментации с использованием виртуальных сред, а также будущим тенденциям в области безопасности промышленных систем.

Системы операционного управления (Industrial Control Systems) — это интегрированные комплексы, состоящие из аппаратных модулей и специализированного программного обеспечения, которые применяются для автоматизации и контроля физических процессов на производстве. Важное отличие таких систем от полностью автономных (как, например, роботизированные комплексы Fanuc) заключается в обязательном участии человека-оператора в контуре управления, что само по себе формирует дополнительный вектор для потенциальных атак.

В зависимости от решаемых задач, автоматизированные системы принято классифицировать на: системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), системы управления предприятиями (АСУ П), системы управления инженерной и транспортной инфраструктурой (АСУ ИТИ).

В данной статье основное внимание уделяется первому типу систем.

АСУ ТП — это основа современного производства, обеспечивающая непрерывный мониторинг и управление промышленным оборудованием. Подобные комплексы развернуты на всех значимых объектах реального сектора экономики: от нефтегазодобычи и энергетики до машиностроения и химической промышленности. Основу производства составляют технологические объекты управления (ТОУ) — единицы оборудования, работу которых и обеспечивает АСУ ТП.

Рассмотрим для примера энергетический сектор. Критически важным ТОУ здесь является система релейной защиты и автоматики (РЗА) энергоблока или подстанции. Ее задача — мгновенно отключать оборудование при коротких замыканиях, перегрузках или скачках напряжения, чтобы предотвратить физическое разрушение дорогостоящих активов — генераторов, трансформаторов, турбин. Датчики (трансформаторы тока и напряжения) в реальном времени передают данные на микропроцессорные терминалы РЗА, которые, в свою очередь, управляются вышестоящей системой SCADA. Она агрегирует информацию, предоставляет диспетчеру визуализированную картину состояния сети и позволяет вручную вмешиваться в процесс.

Ярким примером целевой атаки на подобную инфраструктуру считается инцидент с червем Industroyer (CrashOverride) [1]. Данное вредоносное ПО было специально разработано для атаки на энергосистемы. Оно умело взаимодействовало с промышленными протоколами (такими как IEC 60870-5-101/104, IEC 61850), которые используются для управления распределительными устройствами на подстанциях. Злоумышленник, получив доступ к сети, мог дистанционно отправлять команды на выключатели, искусственно вызывая их отключение и приводя к масштабным веерным отключениям электроэнергии, что и произошло в Киеве в 2016 году.

Это подводит нас к ключевому вопросу о векторах атак на АСУ ТП. В случае с BlackEnergy [2], который атаковал энергетический сектор Украины еще в 2015 году, первоначальное заражение произошло через фишинговые рассылки, содержавшие вредоносные вложения в документы Office. После компрометации рабочих станций

сотрудников злоумышленники перемещались по сети, получая доступ к системам SCADA/HMI.

Основные угрозы для АСУ ТП включают: несанкционированный доступ к сетям управления (получение контроля над серверами SCADA позволяет злоумышленникам не только считывать телеметрию, но и подавать ложные команды на оборудование, блокировать аварийные сигналы или изменять уставки контроллеров, что ведет к физическим разрушениям), внедрение специализированного вредоносного ПО (речь идет о троянах и червях, наподобие Havex [3], который в 2013-2014 годах через зараженные установочные файлы ПО для промышленных систем собирал данные о сетях и активах компаний энергетического и космического секторов).

Обеспечение киберустойчивости автоматизированных систем управления технологическими процессами требует реализации многоуровневой защиты, сочетающей технические и организационные меры. Фундаментальным принципом является строгое разделение сетевой инфраструктуры АСУ ТП и корпоративных сетей предприятия. Для этого создается буферная демилитаризованная зона (ДМЗ), представляющая собой изолированный сегмент, через который осуществляется весь регламентированный обмен данными. Такая архитектура предотвращает прямое взаимодействие извне с критическими компонентами, такими как серверы SCADA и программируемые логические контроллеры (ПЛК). Даже в случае компрометации узла в ДМЗ злоумышленник не сможет напрямую атаковать управляющую сеть благодаря правилам строгого межсетевого экранирования, разрешающим только заранее определенные и минимально необходимые соединения.

Важнейшим элементом защиты является реализация строгого контроля доступа. Многофакторная аутентификация (MFA) становится обязательным требованием для любого входа в контур управления, значительно усложняя компрометацию учетных данных. Управление учетными записями, включая принцип наименьших привилегий, регулярный аудит и немедленную деактивацию уволенных сотрудников, минимизирует риски внутренних угроз. Отдельное внимание уделяется контролю съемных носителей информации. Ведение их строгого учета, сканирование специализированными средствами и ограничение их использования позволяют блокировать один из ключевых векторов проникновения вредоносного ПО, такого как черви и шифровальщики, а также предотвращать утечку критической конфигурационной информации и промышленных секретов.

Непосредственная защита серверов SCADA и инженерных станций включает в себя комплекс мер по укреплению их периметра и внутренней безопасности. Это достигается за счет развертывания межсетевых экранов нового поколения (NGFW), систем предотвращения вторжений (IPS) и обнаружения аномальной сетевой активности (IDS), настроенных на анализ промышленных протоколов. Регулярное и своевременное обновление операционных систем и прикладного программного обеспечения для устранения известных уязвимостей является обязательной процедурой. Дополнительный уровень защиты обеспечивают специализированные средства антивирусной защиты, совместимые с промышленными системами и работающие в режиме белых списков, что исключает выполнение несанкционированного кода.

Неотъемлемой частью стратегии безопасности являются регулярные проверки на проникновение (пентесты), моделирующие действия злоумышленника, и учебные программы для персонала. Пентесты позволяют выявить скрытые уязвимости в архитектуре до их эксплуатации злоумышленниками. Обучение же сотрудников, от инженеров до операторов, правилам кибергигиены и методам выявления фишинговых атак направлено на снижение рисков, связанных с человеческим фактором, который часто остается самым слабым звеном в системе защиты.

Целью практического исследования является моделирование базовых принципов защиты автоматизированных систем управления технологическими процессами с использованием программных инструментов, доступных на стандартном персональном компьютере. Основная задача заключается в создании изолированной сетевой среды,

демонстрирующей эффективность сегментации и правил фильтрации трафика для снижения киберрисков

Для реализации практической части потребуется установить бесплатное программное обеспечение: виртуальную машину VirtualBox и дистрибутив Linux pfSense, представляющий собой специализированный межсетевой экран. Настройка начинается с создания трех виртуальных сетевых адаптеров в VirtualBox: первый адаптер будет имитировать подключение к условной корпоративной сети (NAT), второй и третий адаптеры будут использоваться для организации внутренних сегментов. После этого создается виртуальная машина для pfSense, где назначаются созданные сетевые интерфейсы: WAN (внешняя сеть), LAN (внутренняя сеть АСУ ТП) и OPT1 (дополнительный интерфейс для DMZ).

На следующем этапе производится базовая настройка pfSense через веб-интерфейс. На интерфейсе LAN устанавливается статический IP-адрес из диапазона, зарезервированного для сети управления (например, 192.168.10.1), а на интерфейсе OPT1 (DMZ) назначается адрес из другого подсети (например, 192.168.20.1). Далее создаются две дополнительные виртуальные машины: первая будет играть роль сервера в DMZ (например, виртуальный хост с Ubuntu Server), а вторая — имитировать критический компонент АСУ ТП в защищенном сегменте (например, ПЛК или сервер SCADA на базе легковесного Linux).

Ключевой этап заключается в настройке правил межсетевого экрана в pfSense. На интерфейсе WAN создается правило, разрешающее только входящие SSH-подключения к серверу в DMZ и запрещающее любой другой трафик. На интерфейсе DMZ создается правило, разрешающее только исходящие соединения с сервером АСУ ТП на конкретный порт (например, 502 для протокола Modbus TCP) и блокирующее все остальные попытки связи внутрь защищенного сегмента. На интерфейсе LAN (сеть АСУ ТП) правило по умолчанию должно запрещать любой входящий трафик извне, разрешая только инициированные изнутри соединения.

Тестирование конфигурации проводится путем попыток установить соединение между сегментами. Команда ping с сервера DMZ на адрес компонента АСУ ТП должна быть заблокирована. Попытка подключения по SSH с корпоративной сети к серверу АСУ ТП также должна завершиться неудачей. При этом SSH-доступ к серверу в DMZ и инициированное изнутри соединение от компонента АСУ ТП к серверу в DMZ (если это разрешено правилами) должны оставаться работоспособными, что подтверждает правильность изоляции критических активов.

Выводы: Проведенное моделирование наглядно демонстрирует, что даже с помощью бесплатного программного обеспечения можно реализовать фундаментальные принципы безопасности АСУ ТП. Грамотная сегментация сети и строгое ограничение трафика между сегментами с помощью правил межсетевого экрана эффективно предотвращают несанкционированный доступ к критическим компонентам извне. Данный подход значительно усложняет для злоумышленника движение по сети даже в случае компрометации одного из периферийных узлов, создавая необходимый барьер для защиты технологических процессов. Практическая конфигурация подтверждает, что реализация подобных мер является технически выполнимой и обязательной на этапе проектирования любой промышленной системы.

Проведенный анализ позволяет утверждать, что обеспечение информационной безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами представляет собой критически важную и комплексную задачу, требующую непрерывного развития и адаптации. Современные АСУ ТП, являясь основой критической информационной инфраструктуры, сталкиваются с постоянно эволюционирующим ландшафтом киберугроз, что подтверждается историей целевых атак, подобных Stuxnet, Triton и Industroyer.

Результаты исследования демонстрируют, что эффективная защита промышленных систем возможна только при реализации многоуровневой стратегии безопасности, сочетающей технические меры защиты (сетевая сегментация, межсетевое экранирование, MFA) с организационными мероприятиями (регулярный аудит, обучение персонала).

Практическая часть работы подтвердила, что базовые принципы безопасности АСУ ТП могут быть успешно реализованы с использованием доступных программных инструментов, что особенно важно для образовательных целей и тестирования конфигураций.

В перспективе развитие безопасности АСУ ТП будет определяться несколькими ключевыми тенденциями. Возрастет роль искусственного интеллекта и машинного обучения для прогнозирования и обнаружения аномалий в работе промышленных систем. Активное внедрение стандартов Zero Trust Architecture станет новым этапом в обеспечении безопасности критической инфраструктуры. Одновременно с этим будет усиливаться регуляторное давление и совершенствоваться нормативная база, что потребует от организаций более строгого соответствия стандартам безопасности.

Особое значение приобретет развитие методов киберфизической безопасности, обеспечивающих не только защиту данных, но и физическую сохранность оборудования. Увеличение числа подключенных IoT-устройств в промышленных сетях потребует разработки новых протоколов безопасности и методов аутентификации.

Таким образом, будущее безопасности АСУ ТП лежит в создании интеллектуальных, адаптивных и самообучающихся систем защиты, способных противостоять рассмотренным кибератакам, обеспечивая непрерывность и надежность технологических процессов. Только комплексный и проактивный подход к безопасности позволит обеспечить устойчивое развитие промышленной инфраструктуры в условиях цифровой трансформации и растущих киберрисков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ландшафт угроз для систем промышленной автоматизации [Электронный ресурс]: URL:htpps://ics-cert.kaspersky.ru/publications/reports/2017/09/28/threat-landscape-for-industrial-automation-systems-in-h1-2017.

2. APT-атаки BlackEnergy на Украине [Электронный ресурс]: URL: https://www.kaspersky.ru/resource-center/threats/blackenergy.

3. Havex "охотится" на ICS/SCADA-системы [Электронный ресурс]: URL: https://www.securitylab.ru/news/454394.php.

CYBERTHREATS OF INFORMATION SECURITY OF INDUSTRIAL CONTROL SYSTEMS

Voronov I.D.

Supervisor: Dodonov A.V., Senior Lecturer

(Togliatti State University, Togliatti)

Abstract. The article examines modern cyber threats to ICS/SCADA systems and a comprehensive approach to their protection, combining technical and organizational measures. Special attention is paid to the practical implementation of network segmentation using virtual environments and future trends in industrial security.

УДК 681.586

ИЗМЕРИТЕЛЬ РАССТОЯНИЯ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Гринин М.О.

Научный руководитель: Борисов А.Н., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена разработке прибора на базе ATmega 328 (Arduino Nano), который должен помочь водителю в сложных дорожных условиях. Прибор сочетает функции измерения расстояния до объектов с использованием ультразвукового датчика HC-SR04 и

контроля состояния водителя, а именно пульса и давления. Для повышения точности измерений используются медианный фильтр и алгоритм «бегущее среднее» с ошибкой около 1 мм. Низкая стоимость, компактная конструкция, простое управление делают его доступным для массового внедрения. Программная реализация осуществляется в среде Arduino IDE с применением специализированных библиотек.

При управлении автотранспортными средствами возникают ситуации, связанные с неблагоприятными погодными условиями, например, туман, дождь, снег, ночное время движения и др. В таких условиях для водителя значительно усложняется управление. Часто из-за плохой видимости трудно различить впереди идущий транспорт. Кроме того, в таких напряженных и длительных условиях может изменяться состояния водителя.

В данной статье рассматривается разработка прибора, позволяющая отслеживать положение впереди идущего транспорта, наличия разного типа помех на пути движения с помощью измерения расстояния до обнаруженных объектов. Другой важной функцией прибора является контроль за состоянием водителя при управлении транспортным средством в тяжелых климатических условиях. Использование такого прибора выполнять определенные действия по предотвращению возникновения опасных ситуаций.

Для выявления отрицательных, влияющих на вождение проблем, необходимо провести измерения и обработку некоторых параметров. Первое – это измерение расстояния между транспортным средством и впереди обнаруженным объектом.

На практике для измерения расстояния применяется различные типы датчиков, использующих свойства звуковых волн. Анализ и сравнение различных видов дальномеров, позволил выбрать в качестве датчика для измерения расстояния ультразвуковой дальномер.

Другим важным параметром является состояние водителя. В тяжелых условиях у водителя может возникнуть состояние сильной усталости, сонливости, напряженности, стрессовости.

Анализируя график суточного давления и пульса, можно заметить, что при значительной усталости давление человека резко снижается. При этом частота пульса у водителя может как уменьшаться до 50-55 ударов в минуту или увеличиваться до 150 ударов в минуту. В качестве датчика для измерения пульса выбран датчик давления.

Информация об измеряемых параметров после обработки цифровым устройством поступает на дисплей, и по показаниям водитель принимает решения о дальнейшем движении. Очевидно, что в неблагоприятной информации, человеку надо обратить на это внимание, чтобы не попасть в аварийную ситуацию.

Развитие средств вычислительной, микропроцессорной техники привело к появлению микроконтроллеров (МК), представляющих собой как бы маленький компьютер на одной небольшой микросхеме (БИС). Использование в микроконтроллере достаточно мощного вычислительного устройства значительно снижает размеры, энергопотребление и стоимость построенных на его базе устройств. Это приводит к широкому применению МК в недорогих, малогабаритных приборах во многих областях.

Для реализации прибора для измерения расстояния и контроля за состоянием человека основным узлом является микроконтроллер ATmega 328, установленный на плате Arduino Nano, имеющей разьем USB Mini-B. Платформа Adruino – это наиболее простая и удобная платформа для разработки электронных устройств. Простота и удобство заключается в использовании понятного языка программирования. Программирование микроконтроллера осуществляется через последовательную шину USB. Чтобы запрограммировать Arduino необходимо иметь среду разработки Arduino.

В рассматриваемом приборе используется принцип работы ультразвукового датчика расстояния HC-SR04 [1]. Новизной данного устройства является применение медианного фильтра, а также фильтра «бегущее среднее», что привело к высокой точности измерений (около 1 мм). При всем этом стоимость будет достаточно небольшой, по сравнению с готовыми устройствами на рынке, что является основным фактором.

Для измерения пульса можно применить датчик пульсовой волны, однако применять отдельный датчик для измерения пульса не имеет смысла. Так как с помощью датчика пульсовой волны можно регистрировать не только пульс, но и давление. К ним относятся контактные, бесконтактные датчики формы пульсовых волн.

В схеме прибора главным управляющим электронным элементом является микроконтроллер ATmega 328, установленный на плате Arduino Nano. Основной функцией микроконтроллера является формирование запускающего импульса для ультразвукового датчика, измерение значения эхо-сигнала, вывод полученных данных по измерению на дисплей.

Для вывода показаний используется дисплей TM74HC595. Как указывалось выше, для измерения расстояния от водителя автотранспорта до объекта используется ультразвуковой датчик HC-SR04.

Для сборки всех компонентов в единое устройство используется корпус из ABS пластика в который, помещаются все компоненты. Вся электроника размещена на двух монтажных платах: микроконтроллер ATmega 328, установленный на плате Arduino Nano, ультразвуковой датчик размещенный на макетной плате. Применение макетных плат, широко используется в электронных схемах. Плата имеет гнезда для подключения электронных компонентов и проводов.

Подключение ультразвукового датчика, установленного на макетной плате, производится следующим образом.

Датчик имеет 4 вывода, расположенных в один ряд: питание «GND» и «VCC», рабочие Trig и Echo. Первые два подключены к выводам GND и VCC контроллера, последние два – к любым цифровым пинам. Для подключения датчика к контроллеру нужно соединить вывод Trig датчика с 10-м пином контроллера, а Echo – с 11-м. Проверить правильность подключения датчика можно по специальной программе.

Важной задачей при разработке прибора является написание программы для используемых устройств. Так как был выбран микроконтроллер, установленный на плате Arduino, то программа должна соответствовать данному микроконтроллеру. Соответственно, программа написана в специализированной программной среде Arduino IDE.

Для удобной работы с платами Arduino существует официальная среда программирования Arduino IDE, работающая под Windows, Mac OS и Linux. Arduino IDE - это система программных средств, используемая пользователями для разработки программного обеспечения на все платформы Arduino. Система имеет встроенные стандартные библиотеки, а также может работать с библиотеками, созданными зарубежными программистами, облегчающее написания программ. Данное программное обеспечение позволяет использовать для написания рабочих программ язык программирования C++ с некоторыми особенностями [2].

Перед загрузкой рабочей программы задаются необходимые параметры в меню «Tools»; «Board и Tools»; «Serial Port». Определение порта USB в Windows ОС производится в поле «Последовательной шины USB» в Диспетчере устройств. Для передачи данных можно использовать последовательную шину RS232.

Для работы дисплея используется библиотека «TM74HC595Display.h», а для работы с датчиком расстояния библиотека «NewPing.h».

Требуется обязательное подключение библиотек [3-5] и создание массива для хранения трёх последних измерений.

Для того чтобы заработали пины, которые заранее были обьявлены, нужно задать им значение: OUTPUT - выводить сигнал, INPUT_PULLUP - принимать сигнал. Далее по схеме нужно, запитать исходные компоненты, питания «+» будет значение 1 и для питания «-» будет значение 0, соответственно.

После подпрограммы установки и настройки исходных данных для работы, используется разработанный основной алгоритм вычисления расстояния.

Как он работает? Каждые 50 мс производится измерение и вывод на индикатор, а каждые 300 мс вывода дисплей перестает работать, так как индикатор сделан на чипе без динамической индикации, поэтому приходится тратить ресурсы Arduino, на то чтобы 3300 раз в секунду посылать сигнал на индикатор, чтобы он корректно показывал значения. Далее получается значение с датчика, которое записывается массив, если переключатель режима находится в нижним положение, то прибавляем к значению с датчика длину корпуса дальномера, равная 10 см. В самом коде программы есть закомментированный код, в котором более подробно описана каждая строчка алгоритма.

Для более эффективного и точного измерения расстояния в миллиметрах, применяется медианный фильтр, который из 3-х последних значений находит среднее, но не усредняет его. Например, в ситуации, когда с датчика расстояния поступают значения: 48, 64, 52; медианный фильтр выберет значение 52, так как это значение находится по середине по сравнению с другими. Без данного фильтра значение было бы равно примерно 54,66, что плохо влияет на точность измерения. Медианный фильтр – это эффективная процедура обработки сигналов, подверженных воздействии импульсных помех.

Далее с медианного фильтра значение поступает на фильтр «бегущее среднее», причём коэффициент фильтра зависит от разности между последними измерениями, такая фильтрация позволила получить точность близкую к 1 мм. «Бегущее среднее» или как его еще называют «Скользящее среднее», используется с данными временных рядом для сглаживания краткосрочных колебаний, благодаря данному фильтру значения не очень сильно колеблются.

В конце программы формируются символы для отображения на дисплее устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Galadima A.A.* Arduino as a learning tool // 2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO). IEEE, 2014. P. 1-4.

2. *Ismailov A.S. et al.* Study of arduino microcontroller board // Science and Education. 2022. Т. 3. № 3. С. 172-179.

3. *Гибадуллин Р.Ф.* Сервер и клиент систем управления картографическими базами данных / Р.Ф. Гибадуллин, С.В. Пыстогов, И.С. Вершинин // Инновационные технологии XXI века: материалы Международной научно-практической конференции, Казань, 17 апреля 2015 года / Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. Казань: Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, 2015. С. 5-8.

4. *Гибадуллин Р.Ф.* Предпосылки к разработке высокопроизводительной системы распознавания текстовых изображений / Р.Ф. Гибадуллин, И.Н. Шафигуллин // Информатика: проблемы, методология, технологии: материалы XV международной научно-методической конференции, Воронеж, 12–13 февраля 2015 года. Vol. Том 3. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2015. P. 164-169.

5. *Гибадуллин Р.Ф.* Исследование производительности технологий OpenMP и OpenCL / Р.Ф. Гибадуллин, Р.Ш. Минязев, А.А. Баев // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2018. № 2(38). С. 43-50.

MICROCONTROLLER BASED DISTANCE METER

Grinin M.O.

Supervisor: Borisov A.N., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article is devoted to the development of a device based on ATmega 328 (Arduino Nano), which is designed to assist drivers in challenging road conditions. The device combines the functions of measuring the distance to objects using an HC-SR04 ultrasonic sensor and monitoring the driver's condition, namely their pulse and blood pressure. To increase measurement accuracy, a median filter and a “moving average” algorithm with an error of about 1 mm are used.

Low cost, compact design, and simple operation make it accessible for mass implementation. Software implementation is carried out in the Arduino IDE environment using specialized libraries.

УДК 004.312

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ БЛОКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЛУЧАЙНЫХ ДВОИЧНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ С ГРАФИЧЕСКИМ ИНТЕРФЕЙСОМ НА ПЛИС

Ермолин А.А.
Научный руководитель: Гумиров А.И., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Рассматривается схемотехническое проектирование и аппаратная реализация блока оценки качества случайных двоичных последовательностей с графическим интерфейсом на ПЛИС. Блок оценки качества может применятся в криптографии, телекоммуникациях, системах моделирования и образовательных проектах для быстрой визуальной оценки случайности бинарных данных. Представлены результаты проектирования в виде функциональных схем, описанных как графическим способом, так и на языке VHDL, приведены оценки аппаратных затрат и результат работы устройства.

В современных системах информационной безопасности особую роль играют криптографические алгоритмы [1-2], основанные на использовании случайных двоичных последовательностей (СДП). Эти последовательности служат фундаментом для таких критически важных операций, как генерация криптографических ключей и реализация протоколов защищенной связи. Эффективным инструментом первичной оценки СДП выступает метод визуализации "распределение на плоскости" [2], позволяющий через графическое представление выявлять явные закономерности и аномалии в работе генераторов. Такой подход сочетает наглядность с достаточной информативностью для оперативного анализа.

Работа обладает рядом существенных достоинств, прежде всего высокой актуальностью темы, поскольку разработка аппаратных методов оценки случайных двоичных последовательностей находит непосредственное применение в таких важных областях, как криптография, телекоммуникации и системы защиты информации. Практическая значимость исследования подтверждается созданием функционального блока, позволяющего оперативно оценивать качество случайных последовательностей, что особенно ценно при верификации генераторов псевдослучайных чисел, а применение VGA-интерфейса обеспечило наглядную и удобную визуализацию результатов.

Целью данной работы является создание универсального аппаратного комплекса для генерации и визуальной оценки случайных двоичных последовательностей, реализованного на различных платформах ПЛИС (Xilinx Spartan-3A и Altera DE10-Lite). Разрабатываемая система интегрирует три типа генераторов - детерминированные, псевдослучайные и истинно случайные, и обеспечивает их оперативный анализ через графический интерфейс на базе VGA. Особое внимание уделено кроссплатформенной реализации, позволяющей сравнивать эффективность работы системы на принципиально разных архитектурах программируемой логики. Схемотехническое проектирование модулей устройства выполнено в САПР ISE WebPACK 14.7 [3-5] и в САПР Quartus Prime Lite Edition 17.0.0 [6-7] с применением языка описания аппаратуры VHDL, а аппаратная реализация версий устройства – на ПЛИС XC3S700A типа FPGA фирмы Xilinx и ПЛИС 10M50DAF484C7G типа FPGA фирмы Altera. Для представления результатов оценки качества случайных двоичных последовательностей используется их графическая визуализация на VGA мониторе, сопряженном с отладочной платой, с формированием характерных изображений.

Разработанный комплекс генераторов представляет собой универсальную аппаратную платформу для генерации и анализа трех принципиально различных типов двоичных последовательностей [8-9]. В состав системы входят детерминированные генераторы, формирующие повторяющиеся тестовые последовательности с заданными свойствами для проверки корректности работы системы, псевдослучайные генераторы на основе 8-битных регистров сдвига [10] с линейной обратной связью (LFSR) в конфигурации Галуа с характеристическим полиномом:

$$x^8 + x^6 + x^5 + x^4 + 1,$$

обеспечивающие период повторения 255, а также истинно случайные генераторы (TRNG), использующие физические источники энтропии через кольцевые осцилляторы с элементами задержки, учитывающие джиттер тактового сигнала и температурные флуктуации.

Ключевой особенностью комплекса является архитектура, обеспечивающая исключительную чистоту эксперимента за счет активации только одного выбранного генератора в каждый момент времени, что полностью исключает взаимное влияние источников при переключении. Система оснащена надежной защитой от дребезга контактов при управлении и поддерживает работу на двух различных платформах - Xilinx Spartan-3A и Altera DE10-Lite. Особенностью вывода данных является их кодирование в тайловую графику с соотношением 8×8 пикселей на один бит информации. Комплекс обладает модульной архитектурой, позволяющей использовать его как в качестве автономного устройства, так и в составе более сложных систем на кристалле.

На рисунке 1 показан интерфейс комплекса источников бинарной последовательности.

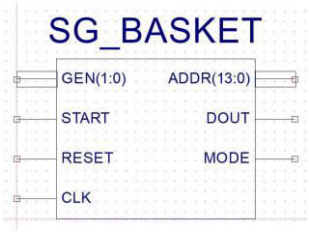


Рисунок 1. Интерфейс корзины источников данных

После подачи на вход GEN(1:0) номер активного источника модуль ожидает сигнала START и фронта сигнала синхронизации. Далее с выхода DOUT снимается генерируемая бинарная последовательность, а также адрес для записи выходного значения в буфер. Сигналом MODE выбирается режим записи, либо чтения памяти. Низким сигналом на RESET можно вернуть все источники в начальное состояние и остановить работу комплекса. На вход CLK подается частота синхронизации, которую можно выбирать в модуле SYNC_BLOCK. Выбрать можно одну из четырех частот: 10 кГц, 1 МГц, 12.5 МГц и 50 МГц. Интерфейс модуля SYNC_BLOCK представлен на рисунке 2. Коэффициент деления рассчитывается по формуле:

$$CF = \frac{F_{\text{вх}}}{2 * F_{\text{вых}}},$$

где $F_{\text{вх}}$ – входная частота, $F_{\text{вых}}$ – выходная частота.

Для стабилизации работы кнопок и устранения дребезга контактов был спроектирован компонент BS_HDL. Он отслеживает стабильность входного сигнала в течении заданного числа тактов t и если сигнал сохраняет новое значение в течение всех t тактов, то он передается на выход схемы.

Рисунок 2. Интерфейс делителя частоты

Для быстрого вывода и оценки качества последовательности был спроектирован (рис. 3) модуль захвата и отображения данных на монитор [11-13] с помощью языка VHDL.

Рисунок 3. Интерфейс блока захвата и вывода

Входные сигналы:

1. CLK0 – Тактовый сигнал 50 МГц для генерации VGA-таймингов.
2. CLK1 – Тактовый сигнал для записи данных от блока генерации последовательностей (SG_BASKET).
3. RESET – Сброс (активный уровень '1'), обнуляет видеопамять и счетчики развертки.
4. DIN – Входной бит данных, записываемый в видеопамять.
5. ADDR – 14-битный адрес видеопамяти (диапазон 0–4799).
6. MODE – Режим работы:
   - '1' – запись данных (активируется по CLK1),
   - '0' – чтение (отображение на VGA).

Выходные сигналы:

1. H_SYNC – Горизонтальный синхроимпульс для VGA.
2. V_SYNC – Вертикальный синхроимпульс для VGA.
3. RED – 4-битный выход красного цвета.
4. GREEN – 4-битный выход зеленого цвета.
5. BLUE – 4-битный выход синего цвета.

Этот интерфейс позволяет гибко управлять отображением бинарных данных на VGA-дисплее с минимальными задержками. Модуль обеспечивает отображение захваченной двоичной последовательности на графическом дисплее с интерфейсом VGA в разрешении 640×480 пикселей при частоте обновления 60 Гц. Основная функция - визуализация битовых данных в виде сетки 80×60 блоков (рис 4), где каждый блок размером 8×8 пикселей соответствует одному биту из входной последовательности. Для большей наглядности используем тайловую графику, то есть каждый бит будет представлять собой символ 8x8 пикселей.

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 4. Схематичное представление символов ‘0’ белого цвета и ‘1’черного цвета

Для наглядного представления архитектуры разработанного решения на рис. 5-6 представлены идентичные между собой итоговые функциональные схемы блока оценки качества случайных двоичных последовательностей в разных средах разработки. Схема устройства отражает ключевые компоненты системы и их взаимосвязи, включая блоки

генерации случайных последовательностей различных типов, модуль управления выбором активного источника, схему формирования выходного сигнала и компонент захвата и визуализации через VGA-интерфейс. Особое внимание на схеме уделено организации тактовых сигналов и синхронизации между модулями, что обеспечивает корректную работу всего комплекса в различных режимах функционирования. Представленная схема позволяет наглядно оценить как общую структуру системы, так и особенности взаимодействия ее составных частей при генерации и обработке случайных последовательностей.

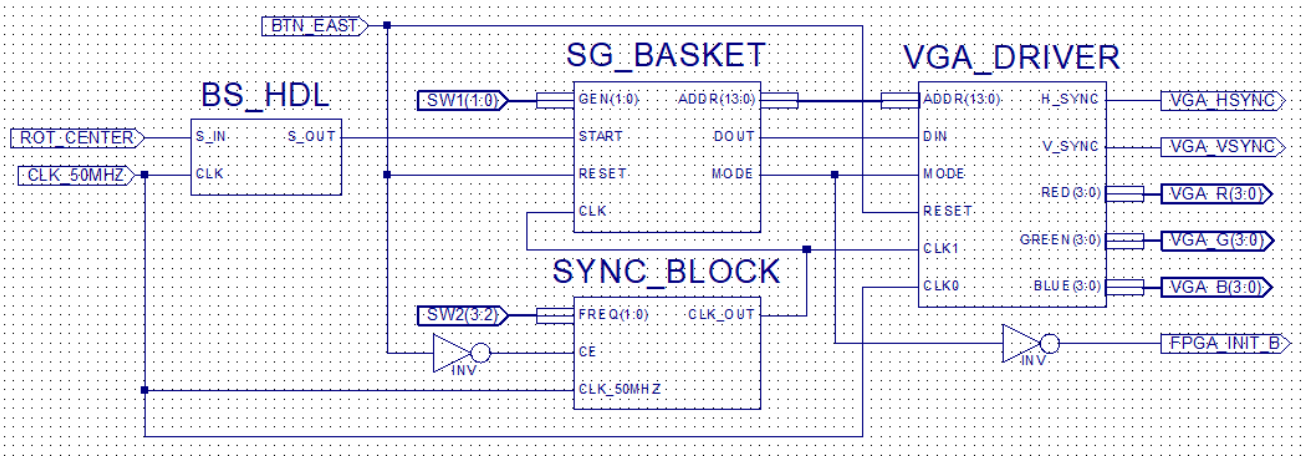


Рисунок 5. Итоговая функциональная схема в среде проектирования ISE Design Suite

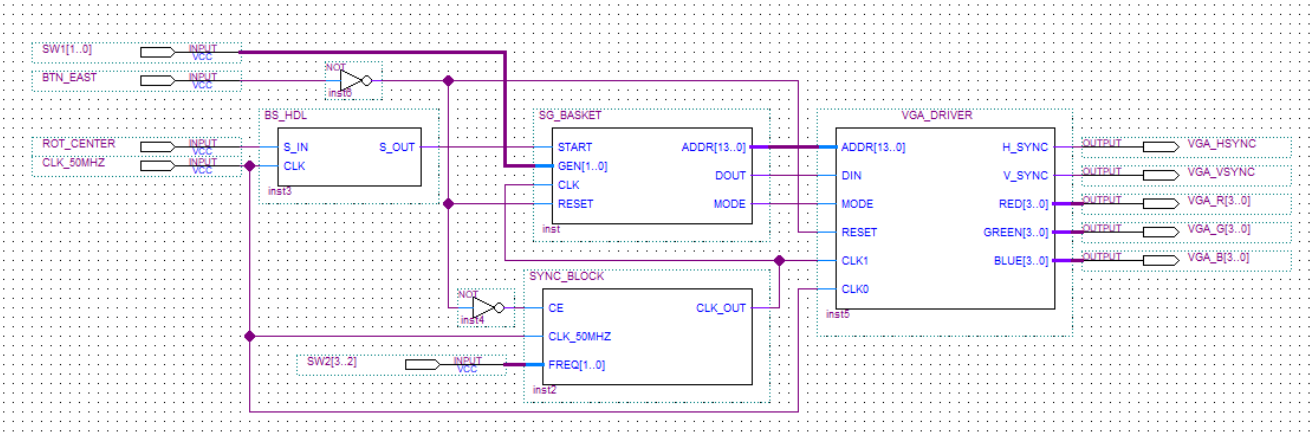


Рисунок 6. Итоговая функциональная схема в среде проектирования Quartus Prime

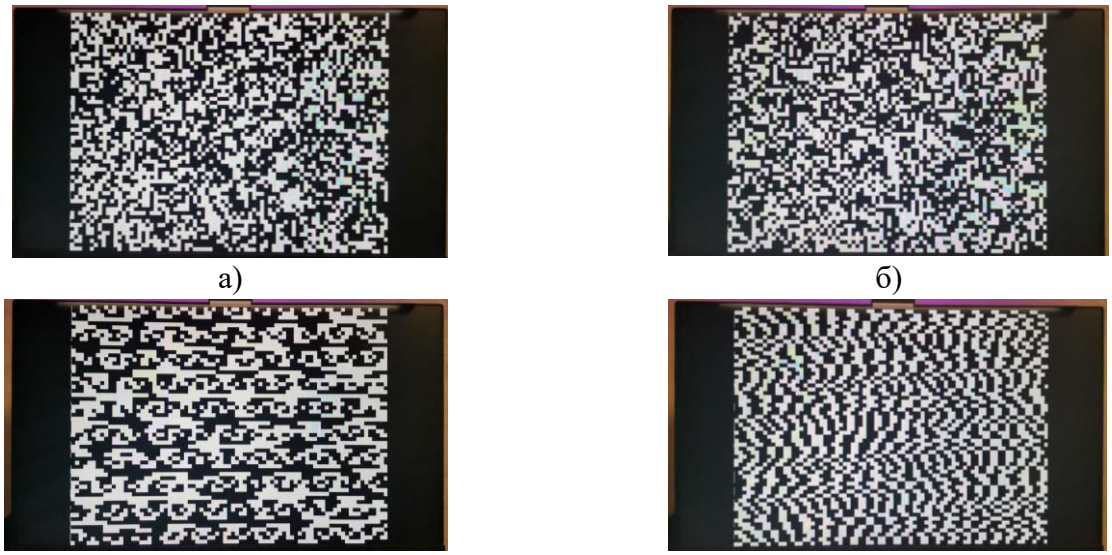
Результаты (рис 7 (а,б)) продемонстрировали полное совпадение полученных последовательностей с ожидаемыми шаблонами. Это подтверждает корректную работу детерминированных генераторов и соответствие реализации функциональным требованиям.

а) б) в)

Рисунок 7. Результат работы первого (а), второго (б), ГПСП (в) источника на 10КГц и 1МГц на плате Altera и на плате Xilinx

Повторяющаяся картина ГПСП (рис 7 (в)), не изменяющаяся при смене частоты, указывает на детерминированную природу генератора и наличие устойчивого паттерна, что ограничивает его применение в задачах, требующих высокой энтропии.

Особое внимание уделено тестированию генератора истинно случайных последовательностей (ГИСП) на разных платформах. Рассмотрим результаты на плате DE10-Lite. Проведено тестирование генератора ГИСП на низкой частоте 10 кГц (рис. 8 (а)). Визуально последовательность выглядит хаотично, без заметных закономерностей.



а) б) в) г)

Рисунок 8. Результат теста ГИСП на плате Altera частоте 10 КГц (а), на частоте 1 МГц (б), на частоте 12.5 МГц (в), на частоте 50 МГц (г).

На частоте 1 МГц (рис.8 (б)). Генератор работает стабильно, скорость выдачи битов увеличилась в 100 раз. Графический тест подтверждает высокую энтропию и производительность. На частоте 12.5 МГц появляются небольшие периодические узоры, указывающие на ухудшение случайности (рис. 8 (в)) при тестировании с тактовой частотой 50МГц (рис. 8 (г)) четкие повторяющиеся паттерны подтверждают непригодность данной архитектуры для таких высоких частот. Наглядно видно по ярко выраженному узору, что этот источник имеет зависимости.

Таким образом, работа блока оценки качества протестирована на двух различных отладочных платах, работает исправно на обеих платформах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Шнайер Брюс.* Прикладная криптография: протоколы, алгоритмы и исходный код на С, 2-е юбил. изд.: Пер. с англ. – СпБ: ООО «Альфа-книга», 2017. – 1040 с.: ил. – Парал. тит. англ.

2. *Конышев М.Ю., Баранов В.А., Близнюк В.И.* [и др]. Методы анализа и синтеза двоичных случайных последовательностей. – Орёл: ФГКВОУ ВО «Академия ФСО России», 2020. – 120 с.

3. ISE In-Depth Tutorial, UG695 (v 12.3) September 21, 2010. – URL: https://japan.xilinx.com/htmldocs/xilinx12_4/ise_tutorial_ug695.pdf (дата обращения:23.02.2025).

4. *Кузелин М.О., Кнышев Д.А., Зотов В.Ю.* Современные семейства ПЛИС фирмы Xilinx. Справочное пособие. – М: Горячая линия – Телеком, 2004. – 440 с.

5. Spartan-3A/3AN FPGA Starter Kit Board User Guide, UG334 (v1.1) June 19, 2008. – URL: https://docs.xilinx.com/v/u/en-US/ug334 (дата обращения: 03.03.2025).

6. Intel® Quartus® Prime Standard Edition User Guide: Design Recommendations: [электронный ресурс]. - Version 21.1. - Santa Clara: Intel Corporation, 2021. - 178 p. - (Intel®

Quartus® Prime Standard Edition User Guides). - URL: https://www.intel.com/content/dam/www/programmable/us/en/pdfs/literature/ug/ug-qps-design-recommendations.pdf (дата обращения: 07.03.2025).

7. Intel DE10-Lite User Manual, 2017. – 34 p. – URL: https://www.intel.com/content/dam/www/programmable/us/en/pdfs/literature/manuals/ug-de10-lite.pdf (дата обращения: 07.03.2025)

8. *Песошин В.А., Кузнецов В.М.* Генераторы псевдослучайных и случайных чисел на регистрах сдвига: Монография. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2007. – 296 с.

9. *Кузнецов В.М.* Генераторы случайных и псевдослучайных последова-тельностей на цифровых элементах задержки (основы теории и методы построения). Дис. докт. техн. наук: 05.13.05. - Казань, 2011.

10. Регистр сдвига с линейной обратной связью // Википедия. [2022]. – URL: https://ru.wikipedia.org/?curid=1421854&oldid=127364195 (дата обращения: 19.03.2025).

11. *Pong P. Chu.* FPGA Prototyping by VHDL Examples: Xilinx Spartan-3 Version (1st Edition). John Wiley & Sons, 2008. – 468 p.

12. *Kozlov E.* Prerequisites for developing the computer vision system for drowning detection / E. Kozlov, R. Gibadullin // E3S Web of Conferences: X International Annual Conference “Industrial Technologies and Engineering” (ICITE 2023), Shymkent, Kazakhstan, 09–10 ноября 2023 года. – Les Ulis: EDP Sciences - Web of Conferences, 2024. – P. 02031. – DOI 10.1051/e3sconf/202447402031.

13. *Shakirzyanov M.* Prerequisites for the development of the system of automatic comparison of video and audio tracks by the speaker's articulation / M. Shakirzyanov, R. Gibadullin, M. Nuriyev // E3S Web of Conferences: V International Scientific Forum on Computer and Energy Sciences (WFCES 2023), Almaty, Kazakhstan, 18–19 мая 2023 года. – Almaty: EDP Sciences, 2023. – P. 02029. – DOI 10.1051/e3sconf/202341902029.

HARDWARE IMPLEMENTATION OF A BLOCK FOR EVALUATING THE QUALITY OF RANDOM BINARY SEQUENCES WITH A GRAPHICAL INTERFACE ON AN FPGA

Ermolin A.A.

Supervisor: Gumirov A.I., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Circuit design and hardware implementation of the random binary sequence quality assessment unit with a graphical interface on the FPGA are considered. The quality assessment block can be used in cryptography, telecommunications, modeling systems, and educational projects to quickly visually evaluate the randomness of binary data. The design results are presented in the form of functional diagrams described both graphically and in the VHDL language, estimates of hardware costs and the result of the device ' s operation are given.

УДК 004.312 + 004.315

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАЛЬКУЛЯТОРА НА БАЗЕ ПРОГРАММИРУЕМОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Загранчук В.Н.

Научный руководитель: Гумиров А.И., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье предлагается оригинальное решение по реализации цифрового калькулятора на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) с использованием различных методов проектирования, машинного кода и IP-ядер. Необходимость разработки таких проектов обусловлена практическим отсутствием открытых

источников, сочетающих в себе как аппаратные, так и программные решения реализации проектов на ПЛИС. Разработанное устройство предоставляет возможность развития навыков в цифровой схемотехнике, архитектуре вычислительных устройств и языке описания аппаратуры VHDL, а также практическое применение готовых схемотехнических блоков IP-ядер.

Калькулятор реализует выполнение базовых арифметических операций: сложение, вычитание, умножение и деление. Вычисления выполняются над целыми четырехразрядными положительными и отрицательными десятичными числами. Под результат отводится восемь разрядов в десятичном формате. Пользовательский интерфейс включает в себя стандартную компьютерную клавиатуру с интерфейсом PS/2 и ЖК-дисплей.

Цель работы заключается в разработке аппаратно-программного калькулятора на ПЛИС, поддерживающего базовые арифметические операции: сложение, вычитание, умножение и деление.

Схемотехническое проектирование и функциональное моделирование блоков калькулятора выполнены с помощью ПО САПР ISE Design Suite v14.7, применялись технологии графического проектирования и языка описания аппаратуры VHDL [1,2]. Для аппаратной реализации используется отладочная плата Spartan-3A Starter Kit. Ввод данных реализуется с помощью стандартной компьютерной клавиатуры MITSUMI IZI TK-105M с интерфейсом PS/2. Вывод информации осуществляется на встроенный ЖК-дисплей с контроллером ST7066U.

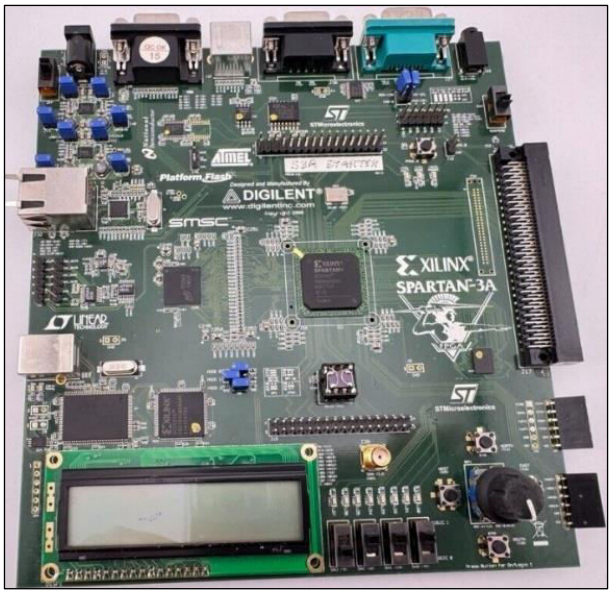


Рисунок 1. Отладочная плата Spartan-3A Starter Kit оснащенная встроенным ЖК-дисплеем

Интерфейс калькулятора представлен на рисунке 2, блок объединяет все функциональные узлы в единую схему, обеспечивая целостную работу калькулятора на аппаратном уровне.

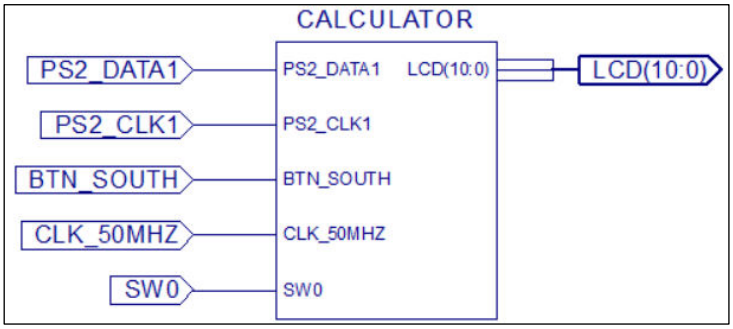


Рисунок 2. Интерфейс блока калькулятора

Модуль CALCULATOR содержит следующие входы и выходы:
– «PS2_DATA1» – вход линии данных от клавиатуры PS/2;
– «PS2_CLK1» – вход линии синхронизации клавиатуры PS/2;
– «BTN_SOUTH» – вход возврата в начальное состояние системы;
– «CLK_50MHZ» – тактовый вход;
– «SW0» – вход сигнала разрешения синхронизации;
– «LCD (10:0)» – выход сигнала шины команд и данных для дисплея.
На рисунке 3 представлена функциональная схема калькулятора.

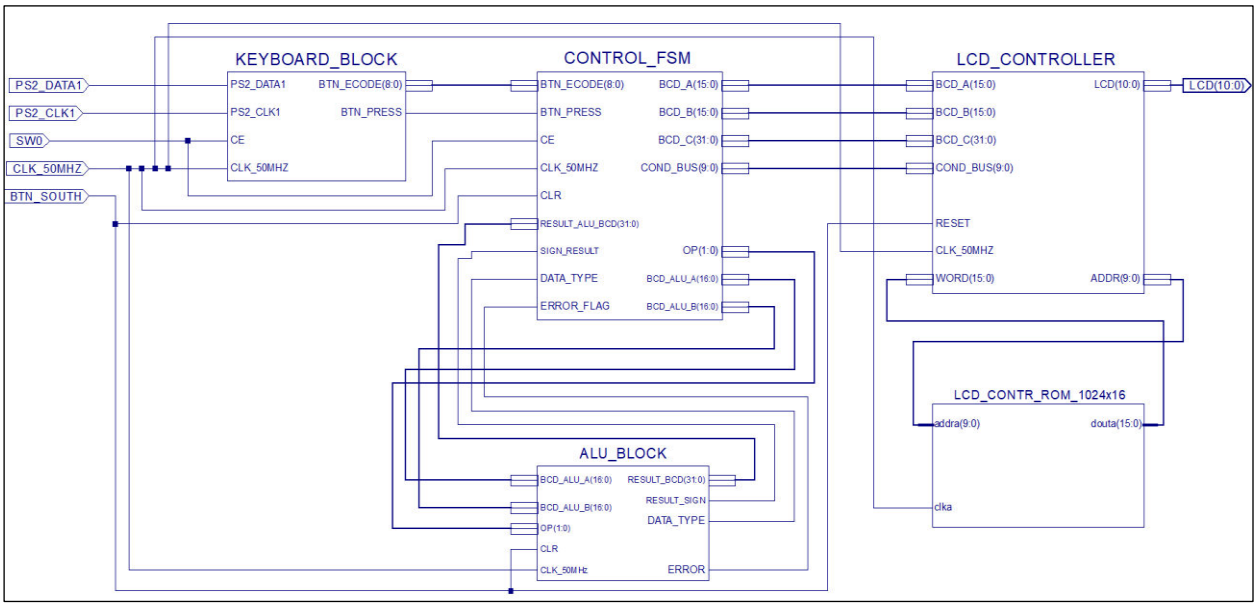


Рисунок 3. Функциональная схема калькулятора

Схема калькулятора работает по общему тактовому сигналу CLK_50MHZ, что обеспечивает синхронность работы всех компонентов схемы. Для дополнительной синхронизации и управления активностью компонентов системы предусмотрен сигнал CE, который активируется при помощи SW0. При возникновении зависания или ошибок предусмотрен сигнал сброса BTN_SOUTH, обеспечивающий возврат всей схемы в начальное состояние. Таким образом, архитектура калькулятора представляет собой согласованное взаимодействие всех аппаратных компонентов.

Все модули схемы калькулятора описаны на языке описания аппаратуры VHDL [3]. Листинги описаний блоков в данной статье не приводятся в силу их большого объема, не укладывающегося в формат данной статьи.

KEYBOARD_BLOCK – блок обработки нажатий клавиш от клавиатуры с интерфейсом PS/2 [4]. Данный модуль реализует взаимодействие пользователя с системой. Функциональная схема блока обработки нажатий клавиш, представлена на рисунке 4, включает в себя следующие компоненты:

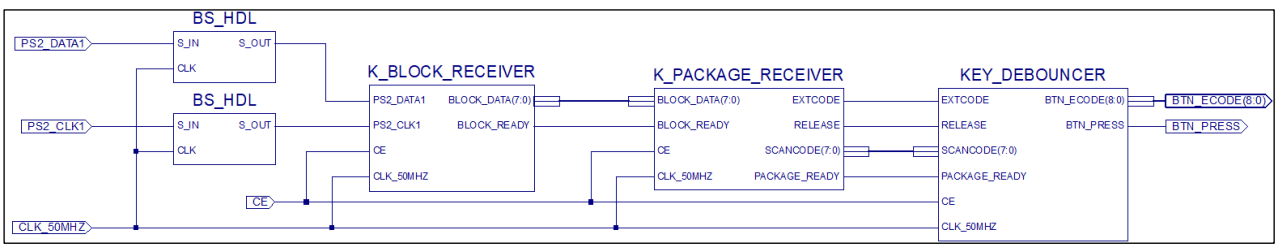


Рисунок 4. Функциональная схема блока обработки нажатий клавиш

BS_HDL – блок предназначен для подавления помех и ложных срабатываний, которые могут возникать при изменении сигналов, поступающих от клавиатуры. Интерфейс PS/2 использует две линии: линия данных – PS2_DATA1 и линия синхронизации PS_CLK1. Обе линии подвержены дребезгу и нуждаются в фильтрации поступающих сигналов. Таким образом один BS_HDL фильтрует линию данных, второй BS_HDL фильтрует линию синхронизации.

K_BLOCK_RECEIVER – реализует побитовый прием сигналов, поступающих от клавиатуры, и формирует из них полноценный 8-битный код. Модуль основан на двух процессах: один отслеживает временные ограничения на прием символа, второй – осуществляет захват и проверку последовательности бит.

K_PACKAGE_RECEIVER – обрабатывает последовательность байтов, поступающих от клавиатуры и определяет произошедшее событие: нажатие клавиши, отпускание клавиши, получение расширенного кода клавиши или ошибка передачи.

KEY_DEBOUNCER – блок реализует подавление множественных нажатий при удержании клавиши и формировании сигнала, подтверждающего факт нажатия.

CONTROL_FSM – устройство управления вводом-выводом данных на основе конечного автомата [5]. Данный блок является центральным связующим узлом схемы калькулятора, осуществляющим координацию процессов обмена данными между всеми компонентами схемы. Он принимает сканкоды клавиш, определяет тип команды, формирует управляющие сигналы и операнды, а также управляет отображением через шину условий COND_BUS. После выполнения операции устройство управления обрабатывает результат и флаги (знак, тип данных, ошибка) от блока АЛУ и передает их в драйвер дисплея.

ALU_BLOCK – арифметико-логическое устройство. Данный модуль является главным вычислительным узлом схемы калькулятора. Модуль поддерживает операции сложения, вычитания, умножения и деления над положительными и отрицательными операндами, поступающими в двоично-десятичном формате.

Перед интеграцией блока АЛУ в схему калькулятора выполнялось функциональное моделирование в симуляторе ISim для проверки корректности вычислений и формировании выходных информационных сигналов. Функциональное моделирование блока АЛУ представлено на рисунке 5. Для выполнения моделирования были использованы следующие входные сигналы:

На входы операндов подаются следующие значения: A = 00250, B = 00250;

На вход кода операции OP(1:0) последовательно подаются сигналы, соответствующие операциям: 00 – сложению, 01 – вычитанию, 10 – умножению, 11 – делению;

На вход CLK_50MHZ подается тактовый сигнал частотой 50 МГц.

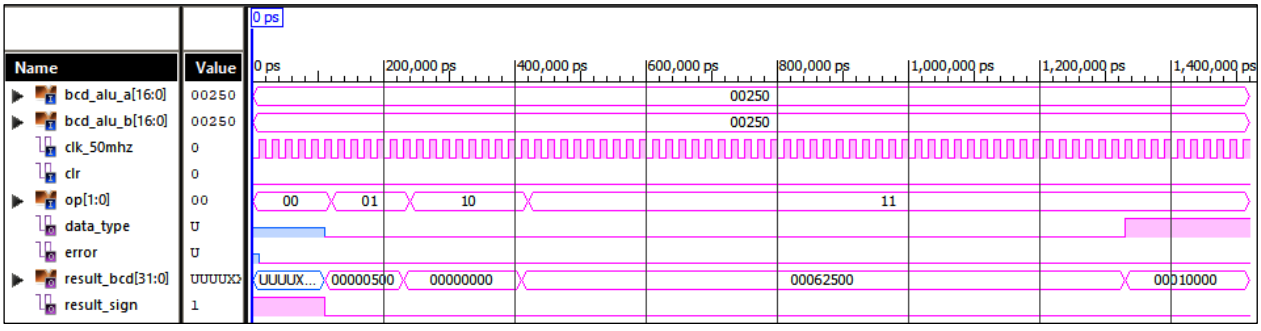


Рисунок 5. Функциональное моделирование блока АЛУ

По результатам функционального моделирования были получены оценки быстродействия блока АЛУ, приведенные в таблице 1. При тактовой частоте f *50 МГц*, длительность одного такта T составляет: $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \times 10^6} = 20$ нс.

Таблица 1

Оценка быстродействия блока АЛУ

Арифметическая операция	Задержка в тактах	Задержка в наносекундах $t = N_{тактов} \times T$	Пропускная способность $R = \frac{F}{N_{тактов}}$
Сложение	6	120 нс	8,33 млн/сек
Вычитание	6	120 нс	8,33 млн/сек
Умножение	9	180 нс	5,56 млн/сек
Деление	46	920 нс	1,09 млн/сек

По полученным оценкам быстродействия видно, что операции сложения и вычитания демонстрируют максимальную производительность, умножение выполняется всего за 9 тактов благодаря использованию встроенного аппаратного умножителя. Операция деления требует значительно больше времени, поскольку IP-ядро делителя реализовано программным способом. В целом, для реализации калькулятора АЛУ полностью удовлетворяет требованиям по производительности.

Функциональная схема блока АЛУ представлена на рисунке 6.

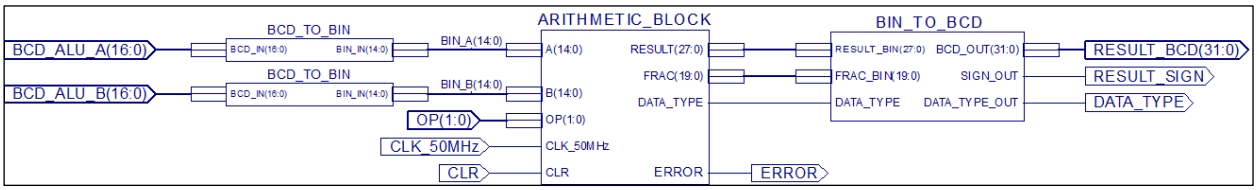


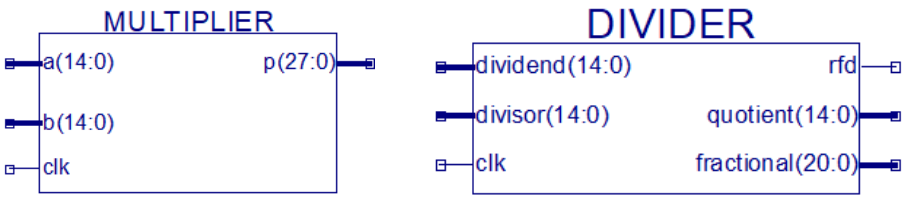
Рисунок 6. Функциональная схема блока АЛУ

Функциональная схема блока АЛУ включает в себя следующие модули:

На входах расположены два преобразователя двоично-десятичного кода (ДДК) в двоичный код (ДК) BCD_TO_BIN. Преобразование ДДК в ДК реализуется с помощью сдвига вправо и коррекции значений для сохранения правильного представления числа [6].

На выходе расположен преобразователь ДК в ДДК BIN_TO_BCD, реализующий преобразование как целой, так и дробной части числа. Преобразование целой части основано на последовательных сдвигах справа налево и коррекции 4-битных значений. Для преобразования дробной части используется метод последовательных десятичных переводов, имитирующих умножение дробной части на 10 с выделением целых десятичных разрядов [6].

Центральным вычислительным модулем схемы блока АЛУ является ARITHMETIC_BLOCK основанный на конечном автомате [7]. Данный модуль реализует выполнение базовых арифметических операций над 15-битными двоичными операндами в дополнительном коде. Операции сложения и вычитания реализованы с помощью операторов VHDL, а умножение и деление – с использованием готовых IP-ядер. Интерфейсы IP-ядер умножителя и делителя представлены на рисунке 7 (а, б).



а) б)

Рисунок 7. Интерфейсы IP-ядер умножителя (а) и делителя (б)

Драйвер дисплея представляет собой комплексное устройство, состоящее из управляющего модуля LCD_CONTROLLER и блока памяти LCD_CONTR_ROM_1024x16, в котором хранится программа, написанная в двоичном коде. Контроллер основан на принципе

микропрограммного управления. Команды хранятся в ПЗУ LCD_CONTR_ROM_1024x16 и имеет 16-битный формат: старшие 5 бит (WORD(15:11)) выделяются под тип команды, младшие 11 бит (WORD(10:0)) содержат аргументы необходимые для исполнения. Выполнение команд происходит последовательно, с возможностью изменения порядка за счет условных и безусловных переходов.

Модуль LCD_CONTROLLER принимает на вход двоично-десятичные операнды A и B, результат C, а также шину условий COND_BUS. Вектор условий COND_BUS определяет, что будет отображено на дисплее (вывод операндов, наличие знаков, тип операции, отображение результата и ошибки). Выходной сигнал LCD представляет собой 10-битную шину, на которую выдаются данные для символьного дисплея. Адрес текущей команды передается на внешний ПЗУ через шину ADDR.

Программная часть драйвера включает в себя 16 инструкций: команды задержки, команды условного и безусловного перехода, команды вывода информации на дисплей, команды вызова подпрограмм. Основная программа состоит из 87 строк памяти, а подпрограмма занимает 106 строк. В основной программе хранятся команды переходов и вызова подпрограммы. Подпрограмма выполняет инструкции отображения указателей, операндов, результата, а также задержек и возврата.

На рисунке 8 представлен стенд для тестирования устройства, включающий в себя отладочную плату Spartan-3A Starter Kit и стандартную компьютерную клавиатуру с интерфейсом PS/2.

Рисунок 8. Отладочная плата Spartan-3A Starter Kit и стандартная компьютерная клавиатура с интерфейсом PS/2

После подготовки стенда выполнялось тестирование устройства. Тестирование осуществлялось как над положительными, так и над отрицательными числами. Также рассматривались случаи предельных значений и особых случаев, таких как деление на ноль. Результаты тестирования представлены на рисунке 9.

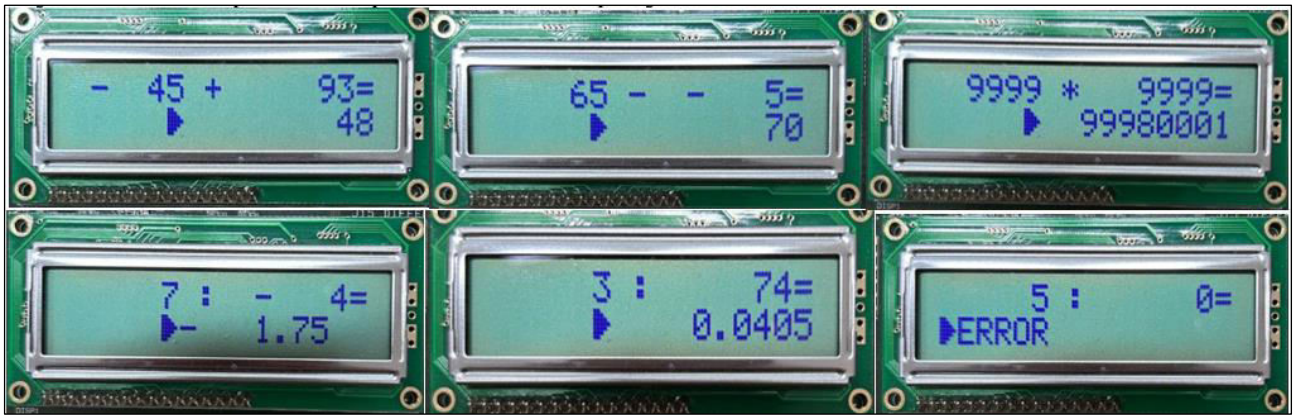


Рисунок 9. Результаты тестирования устройства

В ходе тестирования операций сложения, вычитания, умножения и деления калькулятор продемонстрировал корректную обработку положительных и отрицательных чисел, предельных значений и особых случаев, таких как деление на ноль. Все тесты подтвердили точность и надежность реализованных операций, а также правильную работу интерфейса отображения.

Средствами САПР ISE Design Suite v14.7 WebPack выполнены оценки аппаратных затрат ресурсов кристалла ПЛИС XC3S700A на реализацию калькулятора. Информация об использовании ресурсов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Оценки аппаратных затрат на реализацию устройства

Наименование ресурса кристалла	Использовано единиц ресурса	Доступно единиц ресурса	Процент использования
Занятые секции КЛБ	2 298	5 888	39%
Триггеры КЛБ	2 425	11 776	20%
Таблицы преобразования LUT	2 396	11 776	20%
Количество блоков ввода-вывода	16	372	4%
Аппаратные IP-ядра встроенных умножителей MULTI18x18SIO	1	20	5%
Аппаратные IP-ядра блочной памяти RAMB16BWE	1	20	5%

Наиболее загруженными оказались секции КЛБ (39%), это обусловлено использованием программного IP-ядра делителя. Триггеры и таблицы LUT указывают умеренную загруженность (20%) логики. Аппаратные IP-ядра умножителей и блочной памяти используются минимально (5%). Использование ресурсов находится в безопасных пределах, что подтверждает эффективность реализации калькулятора. Таким образом, проект демонстрирует эффективное распределение аппаратных ресурсов, оставляя возможность для масштабирования [8-12] или добавления новых функций.

В данной работе была выполнена реализация цифрового калькулятора на базе ПЛИС, объединяющего в себе аппаратные и программные решения, включая применение VHDL, машинного кода и IP-ядер. Разработка актуальна ввиду отсутствия открытых решений, сочетающих подобные технологии. Проект может служить учебной платформой для освоения цифровой схемотехники, архитектуры вычислительных систем и практического применения VHDL и IP-ядер, что делает его полезным как для образовательных целей, так и для дальнейшего развития в области проектирования ПЛИС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Xilinx Spartan-3A FPGA Family: Data Sheet (DS529). – Текст: электронный. – 2021. – URL: https://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds529.pdf (дата обращения: 17.04.2025).

2. Xilinx ISE Design Suite: Programming Guide (UG334). – Текст: электронный. – 2012. – URL: https://www.xilinx.com/support/documentation/sw_manuals/xilinx14_7/devref.pdf (дата обращения: 17.04.2025).

3. *Бибило П.Н.* Основы языка VHDL: учеб. пособие для студ. вузов / П.Н. Бибило. Москва: ЛИБРОКОМ, 2016. 386 с.

4. *Pong P.Ch.* FPGA Prototyping by VHDL Examples: Xilinx Spartan-3 Version / Pong P. Ch. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008. 468 p.

5. *Соловьев В.В.* Проектирование конечных автоматов. Теория и практика / В.В. Соловьев. Москва: Горячая линия – Телеком, 2024. 360 с.

6. *Строгонов А.В.* Проектирование устройств цифровой обработки сигналов для реализации в базисе программируемых логических интегральных схем: учеб. пособие / А.В. Строгонов. Воронеж: ВГТУ, 2013. 323 с.

7. *Харрис Д.М., Харрис С.Л.* Цифровая схемотехника и архитектура компьютера: RISC-V / пер. с англ. В.С. Яценкова, А.Ю. Романова. Москва: ДМК Пресс, 2021. 810 с.

8. *Райхлин В.А.* Конструктивное моделирование систем информатики / В.А. Райхлин, И.С. Вершинин, Р.Ш. Минязев, Р.Ф. Гибадуллин ; Под ред. В.А. Райхлина. – Казань : Издательство «Фэн» Академии наук РТ, 2016. – 312 с. – ISBN 978-5-9690-0303-3.

9. *Гибадуллин Р.Ф.* Разделение пространственных данных для масштабируемой обработки запросов / Р.Ф. Гибадуллин, А.Д. Леонов, М.Ю. Перухин // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 8. – С. 83-86.

10. *Гибадуллин Р.Ф.* Реализация механизма репликации в СУБД Postgre SQL / Р.Ф. Гибадуллин, А.М. Зиннатов, М.Ю. Перухин, Р.Н. Гайнуллин // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 24. – С. 100-101.

11. *Гибадуллин Р.Ф.* Ускорение AES шифрования на аппаратно-программной платформе NVIDIA CUDA / Р.Ф. Гибадуллин, А.С. Яковлев, А.А. Новиков, М.Ю. Перухин // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 12. – С. 97-103.

12. *Савельев А.Г.* Анализ эффективности использования графических процессоров для ускорения обработки SQL-запросов / А.Г. Савельев, И.С. Вершинин, Р.Ф. Гибадуллин // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2017) : сборник трудов III международной конференции и молодежной школы, Самара, 25–27 апреля 2017 года / Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева. – Самара: Предприятие "Новая техника", 2017. – С. 1672-1675.

DESIGN OF A CALCULATOR BASED ON A PROGRAMMABLE LOGICAL INTEGRAL CIRCUIT

Zagranchuk V.N.

Supervisor: Gumirov A.I., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article proposes an original solution for implementing a digital calculator based on a programmable logic integrated circuit (FPGA) using various design methods and IP cores. The need to develop such projects is due to the lack of open-source solutions that combine both hardware and software implementations for FPGA projects. The developed device provides an opportunity to develop skills in digital circuit design, computer architecture, and VHDL hardware description language, as well as to use ready-made IP core circuit blocks.

УДК 004.312 + 004.432

РЕАЛИЗАЦИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ С ПЛИС

Закиров И.Р.

Научный руководитель: Гумиров А.И., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Рассматривается схемотехническое проектирование асинхронного приёмопередатчика с интерфейсом RS-232 и его аппаратная реализация на ПЛИС XC3S700A фирмы Xilinx, а также программная реализация графического приложения на языке программирования C#. Данный комплекс может применяться при обмене данными между ПЛИС и ПК, при построении логического анализатора, что необходимо для оценки качества переданных или полученных данных. Представлен аппаратно-программный комплекс,

который содержит как модули на VHDL, так и приложение с пользовательским интерфейсом на C#. Приведена оценка аппаратных затрат.

Интерфейс RS-232 был разработан в 1960-х годах и предназначался для связи между компьютерами и модемами. Однако благодаря своей простоте, надёжности и низкой стоимости реализации он получил широкое применение в самых различных областях, включая промышленную автоматизацию, медицинское оборудование, различные встраиваемые системы и многие другие [1]. Основное назначение интерфейса RS-232 — обеспечение последовательной передачи данных между двумя устройствами на относительно короткие расстояния (обычно до 15 метров). Передача данных происходит без использования общего тактового сигнала между устройствами. Стандарт RS-232 определяет не только электрические характеристики сигналов, но и формат данных, который включает стартовый бит, 5–8 бит данных, опциональный бит чётности и один или два стоповых бита. Скорость передачи данных может варьироваться от 75 до 115200 бод, что позволяет адаптировать интерфейс под различные задачи [2].

Целью данной работы является реализация аппаратно-программного комплекса для обмена данными между компьютером и ПЛИС.

Схемотехническое проектирование и функциональное моделирование приёмопередатчика выполнены в САПР ISE Design Suite v14.7 с применением технологий графического проектирования и языка описания аппаратуры VHDL [3, 4]. Используется отладочная плата Spartan-3A Starter Kit, показанная на рис. 1.

Рисунок 1. Вид отладочной платы Spartan-3A Starter Kit

На самой плате для обмена данными нам понадобятся разъёмы RS-232, male и female версии, показанные на рис. 2.

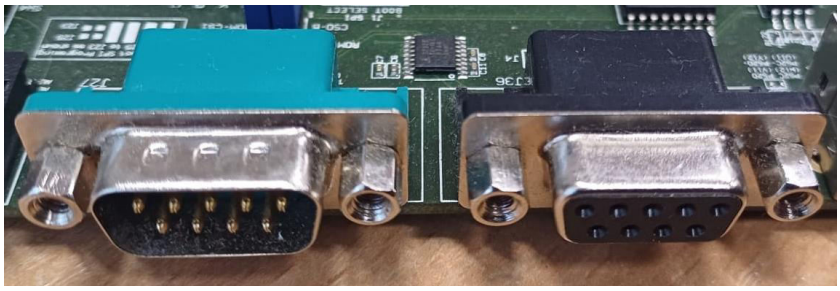


Рисунок 2. male и female версии RS-232

Плата обладает встроенным последовательным портом RS-232, который напрямую подключён к ПЛИС и может быть использован для отладки и обмена данными с ПК [5]. Так

же на плате присутствует ЖК-дисплей, что позволит нам выводить на него принятые или полученные данные.

На рис. 3. показан формат передаваемого символа RS-232, который состоит из стартового бита, информационных бит, опционального бита четности и стопового бита.

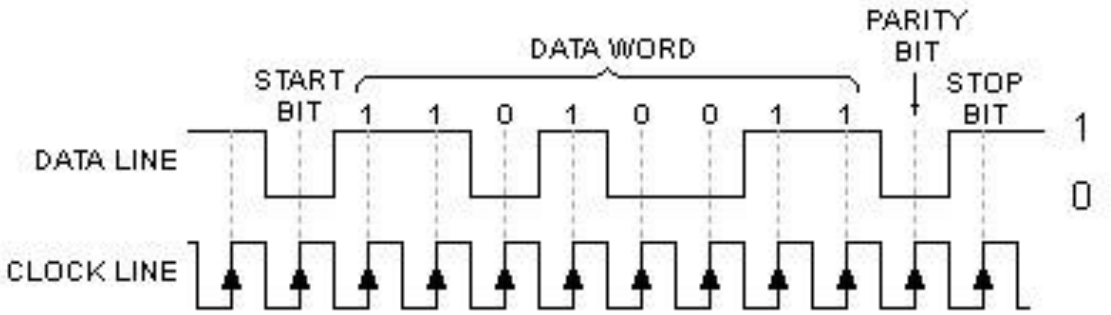


Рисунок 3. Формат передаваемого символа RS-232

RS-232, он же COM-порт представляет из себя 9-ти пиновый разъем. Однако для передачи данных нам достаточно использовать всего 3 линии (рис.4). Линия RxD отвечает за прием данных, TxD – за передачу, а GND – заземление [2].

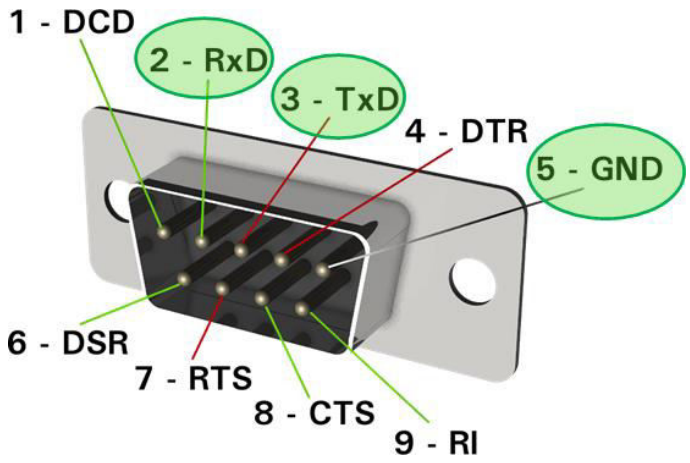


Рисунок 4. Используемые для передачи данных линии RS-232

Следующим этапом разработаем сам асинхронный приёмопередатчик на ПЛИС. Его интерфейс и назначение входов и выходов показано на рис. 5.

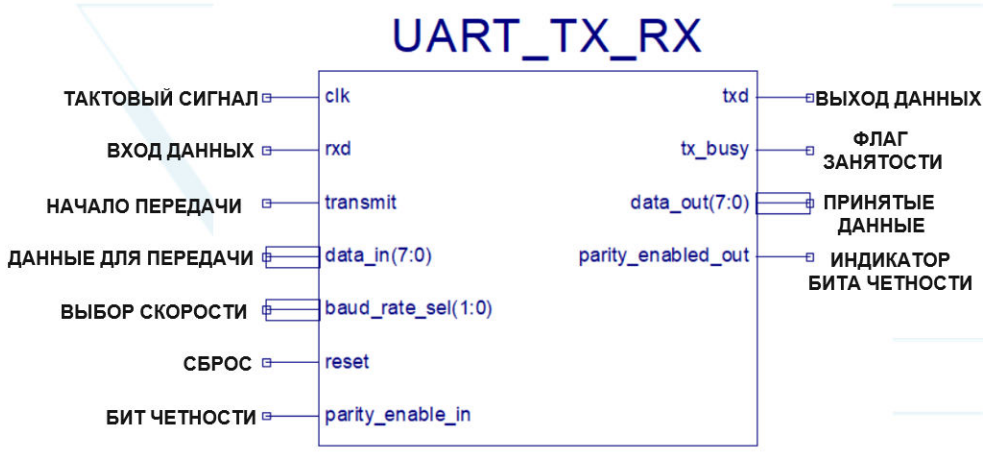


Рисунок 5. Интерфейс асинхронного приемопередатчика

В нашей реализации присутствует возможность выбора скорости работы с данными, активация бита четности. Сам приемопередатчик описан на VHDL (Листинг 1).

Листинг 1

VHDL-описание интерфейса асинхронного приёмопередатчика

```
entity UART_TX_RX is
   Port (
      clk            : in  STD_LOGIC;
      reset          : in  STD_LOGIC;
      rxd            : in  STD_LOGIC;
      txd            : out STD_LOGIC;
      data_in        : in  STD_LOGIC_VECTOR(7 downto 0);
      transmit       : in  STD_LOGIC;
      data_out       : out STD_LOGIC_VECTOR(7 downto 0);
      tx_busy        : out STD_LOGIC;
      baud_rate_sel  : in  STD_LOGIC_VECTOR(1 downto 0);
      parity_enable_in : in  STD_LOGIC;
      parity_enabled_out: out STD_LOGIC
   );
end UART_TX_RX;
```

Наш приемопередатчик должен отправлять на ПК данные, а также выводить их на символьный дисплей. Нам необходимо разработать функциональную схему тестирования приемопередатчика (рис. 6).

Для отправки чисел на ПК будем использовать генератор псевдослучайных чисел на РСЛОС в конфигурации Галуа. Он будет отправлять определенную повторяющуюся последовательность чисел, а компьютер должен будет ее принять.

Разработаем и драйвер ЖК-дисплея для отображения переданных и полученных данных. Их мы будем сравнивать с теми, которые отображаются на ПК и, таким образом, сделаем вывод о правильности работы приемопередатчика.

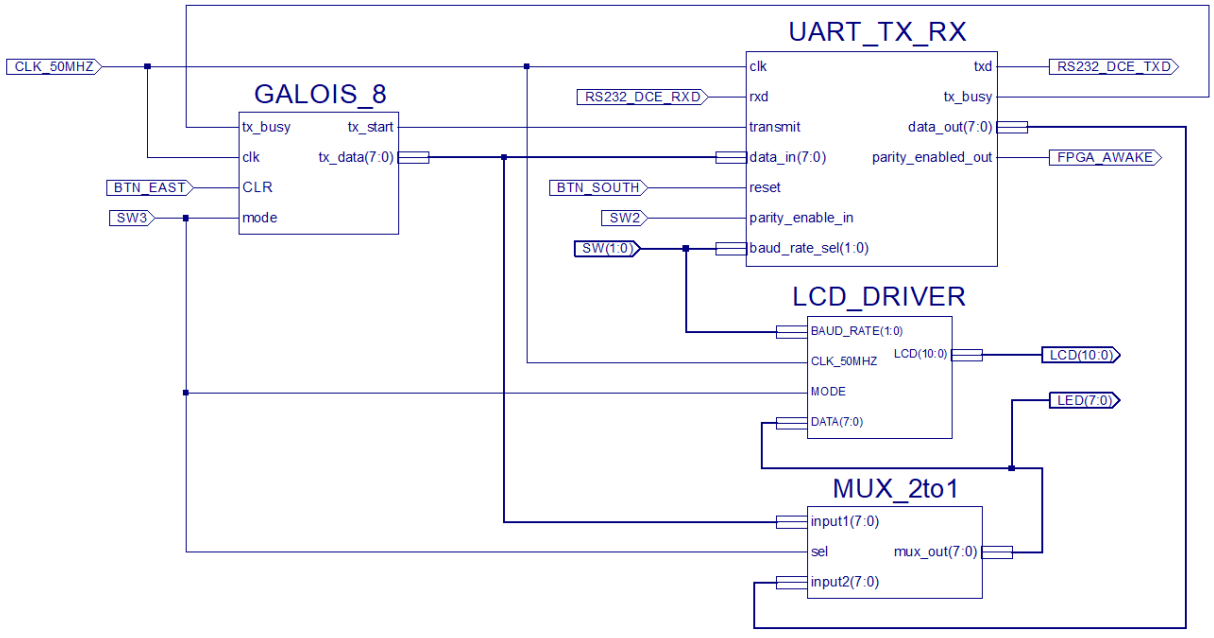


Рисунок 6. Функциональная схема тестирования асинхронного приемопередатчика

На схеме изображены:

GALOIS 8: генератор псевдослучайных чисел;

UART_TX_RX – асинхронны приемопередатчик;
LCD_DRIVER – драйвер ЖК-дисплея;
MUX_2to1 – мультиплексор.

Мультиплексор в данной схемы нужен для правильного вывода переданного или полученного числа.

Аппаратные затраты на реализацию асинхронного приемопередатчика представлены на рис. 7. Данные были взяты из САПР ISE Design Suite.

Параметр	Использовано	Доступно	Использование
Количество триггеров (Slice Flip Flops)	235	11 776	1%
Количество 4-входовых ЛОГОВ (LUTs)	476	11 776	4%
Количество занятых срезов (Slices)	350	5 888	5%
└ Срезов, содержащих только связанную лог	350	350	100%
└ Срезов, содержащих несвязанную логику	0	350	0%
Общее количество 4-входовых LUTs	618	11 776	5%
└ Использовано как логика	476	—	—
└ Использовано как маршрутизатор	142	—	—

Рис. 7 – Аппаратные затраты на реализацию асинхронного приемопередатчика.

Число задействованных триггеров всего 1% от доступного числа, также как и 4% использованных LUT-таблиц, что говорит о минимальных аппаратных затратах на реализацию, что является плюсом.

Для разработки приложения на ПК была использована интегрированная среда разработки Microsoft Visual Studio и объектно-ориентированный язык программирования C#. Интерфейс разработанного приложения представлен на рис. 8.

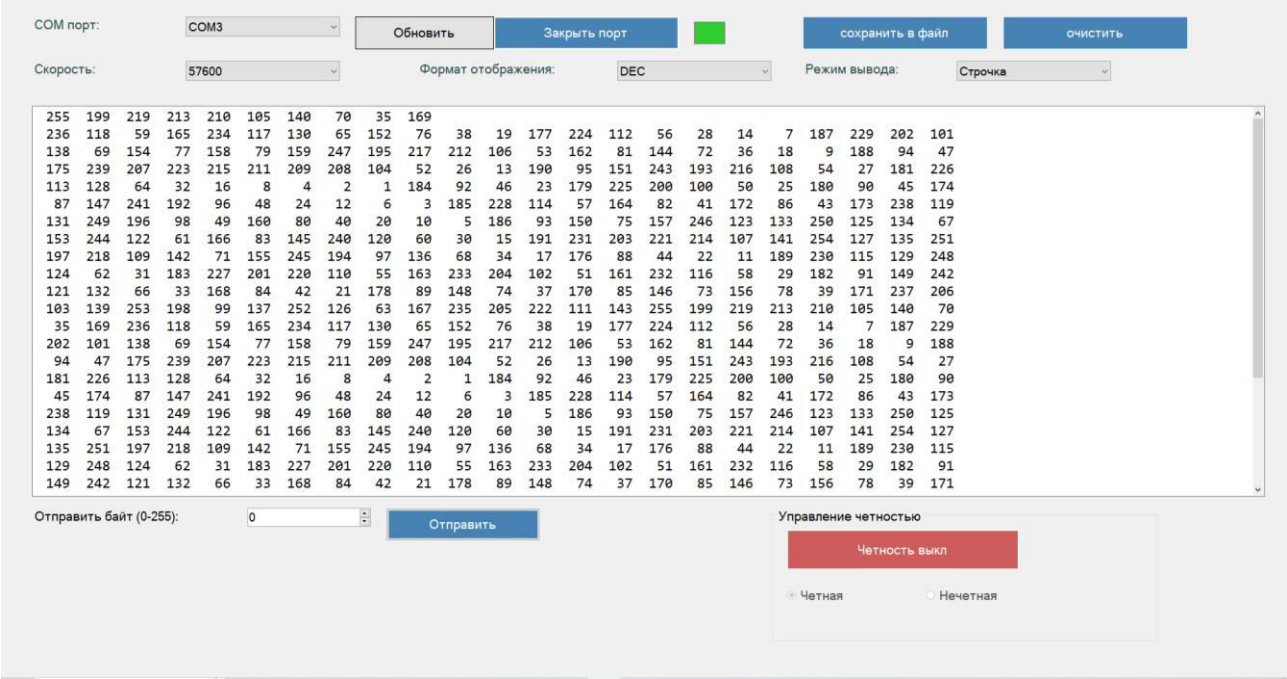


Рисунок 8. Графический интерфейс приложения на C#

Приложение поддерживает возможность выбора скорости работы с данными, выбор контроля четности, сохранение полученных данных в файл, а также отправка данных по последовательному интерфейсу. Поскольку COM-порт на современных компьютерах

отсутствует, то воспользуемся преобразователем интерфейсов USB – RS-232, выполненным на микросхеме CH340 (рис. 9).

Рисунок 9. Преобразователь USB – RS-232

Данный конвертер предназначен для преобразования интерфейса USB в асинхронный последовательный интерфейс UART [6].

Программа обеспечивает отправку чисел (0–255) вручную и позволяет включать/отключать бит чётности (Parity), а также выбирать его тип (чётный/нечётный). Все принятые данные отображаются в окне журнала, с возможностью сохранения в файл. Реализована адаптация интерфейса под изменение размеров окна, а также визуальная индикация состояния соединения.

Приложение предназначено для отладки и демонстрации работы аппаратного асинхронного приёмопередатчика на ПЛИС, включая поддержку пользовательских команд настройки через последовательный порт.

Построенный аппаратно-программный комплекс, состоящий из ноутбука, преобразователя USB – RS-232 и ПЛИС, показан на рис. 10.

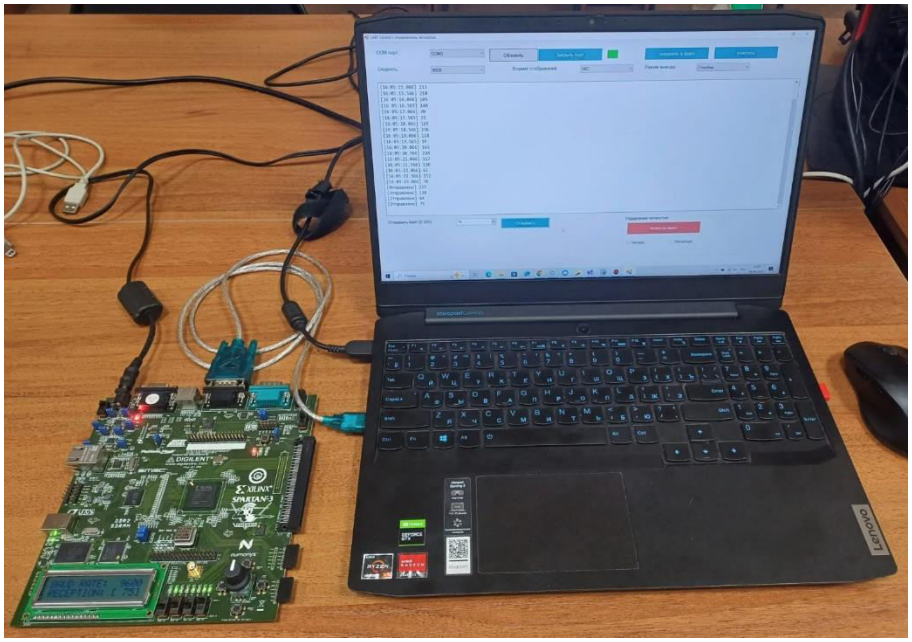


Рисунок 10. Общий вид аппаратно-программного комплекса.

На символьном дисплее отображается текущая скорость работы с данными и переданное или полученное число (рис.11). Понятное дело, что скорости работ компьютера и платы должны совпадать – это необходимо для корректного обмена данными. Если мы

установим различные скорости, то принимающее устройство не сможет распознать какое число пришло.

Рисунок 11. Отображение данных на символьном дисплее.

Комплекс был протестирован в диапазоне стандартных скоростей обмена (9600, 19200, 38400, 57600, 115200 бод) с включенным и выключенным битом чётности. Для верификации использовалась как ручная отправка чисел из приложения C# [7-11] на ПЛИС с их отображением на ЖК-дисплее, так и автоматическая передача последовательностей от ГПСЧ на ПЛИС с их приёмом и анализом в ПО ПК. Во всех случаях наблюдалось полное соответствие переданных и принятых данных. Зафиксированная стабильность работы подтверждает корректность реализации UART на ПЛИС и взаимодействия с пользовательским ПО.

Созданный аппаратно-программный комплекс является эффективным инструментом для задач отладки взаимодействия ПЛИС с ПК, может служить основой для построения простых логических анализаторов или систем сбора данных и легко адаптируется для использования в учебном процессе, системах промышленной автоматизации и встраиваемых устройствах, требующих последовательной коммуникации. Его ключевые преимущества — низкая ресурсоёмкость реализации на ПЛИС и удобство управления со стороны пользовательского ПО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. EIA/TIA-232-F: Interface Between Data Terminal Equipment and Data Circuit-Terminating Equipment Employing Serial Binary Data Interchange. – USA: EIA, 1997. – 150 p.

2. UART Communication Protocol: Fundamentals and Applications // All About Circuits, 2022. – [Электронный ресурс] URL: https://www.allaboutcircuits .com/technical-articles/uart-communication-protocol (дата обращения: 18.05.2025).

3. Xilinx Spartan-3A FPGA Family: Data Sheet (DS529). – Xilinx, 2021. – [Электронный ресурс] URL: https://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds529.pdf (дата обращения: 18.05.2025).

4. Xilinx ISE Design Suite: Programming Guide (UG334). – Xilinx, 2012. — [Электронный ресурс] URL: https://www.xilinx.com/support/documentation/sw_manuals/xilinx14_7/devref.pdf (дата обращения: 18.05.2025).

5. Реализация UART на ПЛИС: основы проектирования // Дзен. – [Электронный ресурс] URL: https://dzen.ru/a/Xv65DkX9vgM2S5g0 (дата обращения: 18.05.2025).

6. CH340/CH341 USB-to-Serial IC Technical Manual. – Nanjing Qinheng Microelectronics, 2022. – [Электронный ресурс] URL: http://www.wch-ic.com/downloads/CH341DS1_PDF.html (дата обращения: 18.05.2025).

7. *Райхлин В.А.* Конструктивное моделирование систем информатики / В.А. Райхлин, И.С. Вершинин, Р.Ш. Минязев, Р.Ф. Гибадуллин; Под ред. В.А. Райхлина. – Казань : Издательство «Фэн» Академии наук Республики Татарстан, 2016. – 312 с. – ISBN 978-5-9690-0303-3.

8. *Гибадуллин Р.Ф.* Разделение пространственных данных для масштабируемой обработки запросов / Р.Ф. Гибадуллин, А.Д. Леонов, М.Ю. Перухин // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 8. – С. 83-86.

9. *Гибадуллин Р.Ф.* Реализация механизма репликации в СУБД Postgre SQL / Р.Ф. Гибадуллин, А.М. Зиннатов, М.Ю. Перухин, Р.Н. Гайнуллин // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 24. – С. 100-101.

10. *Гибадуллин Р.Ф.* Ускорение AES шифрования на аппаратно-программной платформе NVIDIA CUDA / Р.Ф. Гибадуллин, А.С. Яковлев, А.А. Новиков, М.Ю. Перухин // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 12. – С. 97-103.

11. *Савельев А.Г.* Анализ эффективности использования графических процессоров для ускорения обработки SQL-запросов / А.Г. Савельев, И.С. Вершинин, Р.Ф. Гибадуллин // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2017) : сборник трудов III международной конференции и молодежной школы, Самара, 25–27 апреля 2017 года / Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева. – Самара: Предприятие «Новая техника», 2017. – С. 1672-1675.

IMPLEMENTATION OF A HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR DATA EXCHANGE WITH FPGA

Zakirov I.R.

Supervisor: Gumirov A.I., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article discusses the circuit design of an asynchronous transceiver with an RS-232 interface and its hardware implementation on the XC3S700A FPGA from Xilinx, as well as the software implementation of a graphical application in the C# programming language. This system can be used for data exchange between the FPGA and a PC, as well as for building a logic analyzer to evaluate the quality of transmitted or received data. The article presents a hardware and software system that includes both VHDL modules and a C# application with a user interface. An estimate of hardware costs is given.

УДК 004.056.5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЯ АССОЦИАТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ В POSTGRESQL

Зиалтдинов Р.Э.

Научный руководитель: Гибадуллин Р.Ф., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В современном цифровом обществе защита персональных и конфиденциальных данных становится не только вопросом этики, но и юридическим обязательством. В этой связи актуальность приобретают методы контроля доступа к данным, позволяющие обеспечить безопасное предоставление информации различным категориям пользователей. Одним из эффективных подходов является использование технологии динамической маскировки данных, которая позволяет скрывать или изменять данные в реальном времени в зависимости от контекста запроса. В данной статье рассматривается проектирование системы динамической маскировки данных в реляционной системе управления базами данных PostgreSQL с применением языка программирования C#. Особое внимание уделено архитектурному решению системы, основанному на разделении логики обработки данных, управления политиками и взаимодействия с базой данных.

С развитием цифровых технологий объемы обрабатываемых данных резко возросли, что сделало их ключевым активом для бизнеса и государственных структур. При этом увеличение числа инцидентов, связанных с утечкой персональных данных, привело к необходимости усиления правового регулирования в сфере защиты информации. В

Российской Федерации одним из важнейших нормативных актов стало Федеральное законодательство №152-ФЗ «О персональных данных», обязывающее организации обеспечивать конфиденциальность и защиту такой информации. Нарушение этих требований может повлечь административную ответственность, штрафы и ущерб репутации компании.

Для бизнеса это означает необходимость внедрения современных механизмов контроля доступа и обработки данных, которые бы соответствовали требованиям законодательства, были масштабируемыми и гибкими в управлении. Особенно остро эта задача стоит в организациях, где разные категории сотрудников имеют доступ к одной и той же информационной системе, но должны видеть лишь ту информацию, которая соответствует их роли и полномочиям. Динамическая маскировка данных предлагает одно из возможных решений, позволяя фильтровать и модифицировать данные на лету, без изменения исходных записей в базе данных [1,2].

Существует множество подходов к защите данных: шифрование, ограничение доступа по ролям, использование виртуальных приватных сетей и другие. Однако все они предполагают либо защиту данных в состоянии покоя, либо жесткие ограничения на доступ. Динамическая маскировка данных представляет собой более гибкий и тонкий механизм, который позволяет показывать пользователям разные версии одних и тех же данных в зависимости от их атрибутов [3,4].

Преимущества данного подхода включают:

– гибкость: возможность определения политики маскировки на уровне конкретных строк и столбцов;

– транспарентность: пользователь получает данные в привычном формате, но с ограниченной информацией;

– централизованное управление: политики можно централизованно управлять и быстро менять без изменения самой структуры БД;

– соблюдение законодательства: система позволяет легко реализовать принцип минимального раскрытия информации, что важно для соответствия требованиям ФЗ-152.

Этот метод особенно полезен в таких сферах, как здравоохранение, финансы, образование и государственные органы, где доступ к чувствительной информации строго регламентирован.

Реляционные базы данных играют ключевую роль в хранении и обработке информации. Выбор СУБД напрямую влияет на возможности реализации механизмов защиты. PostgreSQL – одна из самых мощных и гибких открытых СУБД, которая поддерживает широкий спектр функций, необходимых для создания систем динамической маскировки данных [5,6].

PostgreSQL имеет следующие преимущества:

– открытый исходный код: позволяет не только бесплатно использовать СУБД, но и глубоко интегрироваться с ней, анализировать внутренние механизмы и адаптировать под свои нужды [4];

– поддержка Row-Level Security (RLS): встроенная возможность ограничивать доступ к строкам на основе условий, что делает PostgreSQL естественной средой для реализации строковой маскировки [5];

– расширяемость: можно создавать собственные функции, типы данных и операторы, что открывает возможности для гибкой реализации атрибутной маскировки;

– стабильность и надежность: PostgreSQL известна своей высокой степенью отказоустойчивости, что критично для корпоративных систем;

– сообщество и документация: большое сообщество разработчиков и подробная документация обеспечивают стабильную поддержку и развитие экосистемы вокруг СУБД.

Именно сочетание открытости, гибкости и богатого функционала делает PostgreSQL оптимальным выбором для реализации системы динамической маскировки данных [7,8].

Архитектура системы динамической маскировки данных строится на принципах многоуровневости и модульности, чтобы обеспечить гибкость, масштабируемость и простоту поддержки. Основные компоненты системы:

Фронтенд реализуется с помощью фреймворка Blazor на языке C#, что позволяет создавать интерактивные веб-приложения с использованием .NET. Пользовательский интерфейс служит точкой входа для клиентских приложений и обеспечивает работу с данными через API.

API выступает в роли посредника между пользовательским интерфейсом и базой данных. Он принимает запросы, передает их на обработку, применяет политики маскировки и формирует ответ. Реализация на C# позволяет легко интегрировать бизнес-логику и обеспечить высокую производительность.

Механизм защиты анализирует исходный SQL-запрос, определяет целевые таблицы и поля, применяет условия фильтрации строк и преобразования значений. Поддерживаются различные алгоритмы маскировки: частичное скрытие, замена символами, хэширование и другие.

Система управления политиками хранит правила маскировки в централизованном виде, что позволяет динамически обновлять их без изменения структуры БД. Каждая политика содержит:

- целевой объект (таблица, поле),
- условие фильтрации (например, "пользователь – сотрудник отдела X"),
- метод сокрытия (например, "скрыть последние 4 цифры номера телефона").

PostgreSQL выступает в роли источника данных и выполняет SQL-запросы, модифицированные механизмом трансформации. PostgreSQL обеспечивает хранение данных, выполнение запросов и поддерживает RLS для дополнительного уровня фильтрации.

Рисунок 1. Диаграмма компонентов системы

На данном этапе проектирования также рассматриваются вопросы кэширования политик, парсинга SQL-запросов и оптимизации производительности. Предполагается использование шаблонов проектирования, таких как "Стратегия" и "Интерсептор", для гибкой настройки логики маскировки.

В рамках статьи рассмотрены вопросы проектирования системы динамической маскировки данных, ориентированной на использование в условиях строгих требований к защите информации. Предложенный архитектурный подход, основанный на разделении

уровней приложения, механизма маскировки и базы данных, позволяет достичь высокой степени гибкости и управляемости.

Использование языка C# и фреймворка Blazor обеспечивает удобство разработки, интеграции и масштабируемости решения. Такой подход позволяет создать универсальную платформу, которую можно адаптировать под различные бизнес-сценарии, включая медицинские, финансовые и государственные системы.

Перспективы дальнейшей работы связаны с реализацией системы, тестированием её производительности, интеграцией с внешними системами авторизации (например, LDAP, OAuth2), а также исследованием возможностей автоматического анализа чувствительных данных для формирования политик маскировки.

Таким образом, разработка системы динамической маскировки данных на основе PostgreSQL и C# представляет собой современное и перспективное решение, способное удовлетворить потребности бизнеса в области обеспечения конфиденциальности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Исаева М.Ф. Реализация многоуровневой модели разграничения доступа в базах данных под управлением системы управления базами данных Microsoft SQL Server / М.Ф. Исаева, М.Л. Глухарев, К.А. Ветлугин // Интернет-журнал Науковедение. 2017. Т. 9, № 3. С. 31.

2. *Потапова А.М.* Модификация архитектуры программного комплекса в условиях ограничения доступа к данным / А.М. Потапова, И.Г. Приступа // Отраслевые задачи в эпоху цифровизации. Перспективы реализации и риски: Материалы Международной практической конференции, Москва, 22–23 апреля 2020 года. Москва: Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", 2020. С. 326-329.

3. *Лось В.П.* Разработка ресурсно-эффективной технологии динамического маскирования конфиденциальной информации в реляционных базах данных / В.П. Лось, Д.Д. Маланьин // Информация и безопасность. 2023. Т. 26, № 4. С. 551-560.

4. *Щеглов К.А.* Технология защиты данных, обрабатываемых в распределенных информационных системах / К.А. Щеглов, А.Ю. Щеглов // Информационные технологии. 2015. Т. 21, № 6. С. 433-439.

5. *Олейник, П.П.* Организация серверного уровня доступа к данным объектной системы, построенной на основе систем управления реляционными базами данных / П.П. Олейник // Автоматизация и современные технологии. 2009. № 6. С. 15-19.

6. *Гибадуллин Р.Ф.* Сервер и клиент систем управления картографическими базами данных / Р.Ф. Гибадуллин, С.В. Пыстогов, И.С. Вершинин // Инновационные технологии XXI века : материалы Международной научно-практической конференции, Казань, 17 апреля 2015 года / Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. Казань: Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, 2015. С. 5-8.

7. *Гибадуллин Р.Ф.* Предпосылки к разработке высокопроизводительной системы распознавания текстовых изображений / Р.Ф. Гибадуллин, И.Н. Шафигуллин // Информатика: проблемы, методология, технологии: материалы XV международной научно-методической конференции, Воронеж, 12–13 февраля 2015 года. Vol. Том 3. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2015. Р. 164-169.

8. *Гибадуллин Р.Ф.* Исследование производительности технологий OpenMP и OpenCL / Р.Ф. Гибадуллин, Р.Ш. Минязев, А.А. Баев // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2018. № 2(38). С. 43-50.

DESIGNING AN ASSOCIATIVE DATA PROTECTION MODULE IN POSTGRESQL

Zialtdinov R.E.

Supervisor: Gibadullin R.F., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In today's digital society, the protection of personal and confidential data is becoming not only an ethical issue, but also a legal obligation. In this regard, data access control methods are becoming relevant to ensure the safe provision of information to various categories of users. One effective approach is to use Dynamic Data Masking technology, which allows you to hide or modify data in real time, depending on the context of the request. This article discusses the design of a dynamic data masking system in a PostgreSQL relational database management system using the C# programming language. Special attention is paid to the architectural solution of the system based on the separation of data processing logic, policy management and interaction with the database.

УДК [378.147:004]:519.816

РАЗРАБОТКА ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СРЕДЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ И АНАЛИЗА УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: РЕАЛИЗАЦИЯ В СИСТЕМЕ АОС МПР

Кадыков И.Д.

Научный руководитель: Бродский А.В., доцент, к. т. н.

(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва)

Аннотация. В статье вводится классификация образовательных технологий на «горизонтальные» (универсальные системы управления обучением) и «вертикальные» (предметно-ориентированные) системы и обосновывается необходимость последних для дисциплин, требующих формирования практических навыков. На примере разработки модуля преподавателя для системы АОС МПР представлен подход к проектированию такой «вертикальной» среды. Описаны архитектурные решения и функционал для автоматизации контроля и анализа учебного процесса, а также предложена модель интеграции со стандартными системами управления обучением.

1. Введение

При цифровизации высшего образования возникает задача по созданию программных инструментов для эффективного формирования практических навыков, особенно в тех областях, где требуется системный подход к решению задач. Существующие образовательные технологии можно разделить на два основных типа: горизонтальные и вертикальные платформы.

Горизонтальные платформы, такие как системы управления обучением (СУО) Moodle или Canvas, представляют собой решения широкого профиля [1,2]. Их архитектура предназначена для выполнения универсальных задач: управления учебными материалами, администрирования курсов и проведения стандартного тестирования. Сила таких систем в их универсальности, позволяющей обслуживать множество дисциплин с помощью единого набора инструментов. Модель данных таких платформ оперирует общими сущностями: «курс», «пользователь», «задание».

Вертикальные платформы, напротив, являются глубоко специализированными системами, созданными для конкретной предметной области. Их архитектура и функционал проектируются для поддержки уникальных учебных процессов и оперируют предметно-ориентированными понятиями. Примерами могут служить интерактивные тренажеры для обучения пилотов или виртуальные химические лаборатории. Если горизонтальные системы обеспечивают широту и административную основу образовательного процесса, то вертикальные — его глубину в части формирования практических навыков.

Примером такой вертикальной платформы является разработанный на кафедре 609 НИУ МАИ программный комплекс АОС МПР (автоматизированная обучающая система для задач принятия решений в матричном виде). Его основное назначение — предоставление студентам интерактивной среды для решения прикладных задач принятия решений. В системе студент оперирует основными сущностями предметной области: он учится формулировать

задачи, выделять из их описания альтернативы (возможные варианты решения) и свойства (критерии оценки), а затем формировать из них матрицы вида «объект-характеристика-оценка». Ключевой особенностью АОС МПР является фокус на сравнительном анализе: студент может применять к одной и той же матрице различные методы (например, принципы Парето, гарантированного результата) и наглядно исследовать, как изменение исходной информации или выбор метода влияет на практический результат.

Именно на базе этой студентоориентированной системы и был разработан модуль преподавателя. Целью данной статьи является представление этого модуля как примера практической реализации вертикальной образовательной среды. В работе решаются следующие задачи:

1. Описывается архитектура модуля, основанная на расширении предметно-ориентированной модели данных.
2. Демонстрируется, как такая архитектура позволяет автоматизировать и обогатить педагогический процесс.
3. Анализируется потенциал системы как аналитической платформы для сбора и визуализации учебных данных.
4. Предлагается модель совместного использования вертикальной системы с горизонтальными СУО.

2. Проектирование цифровой среды для управления практической работой

Внедрение модуля преподавателя расширяет функционал АОС МПР, предоставляя инструменты для организации и анализа учебного процесса. Общая логика взаимодействия участников в рамках системы представлена на рисунке 1

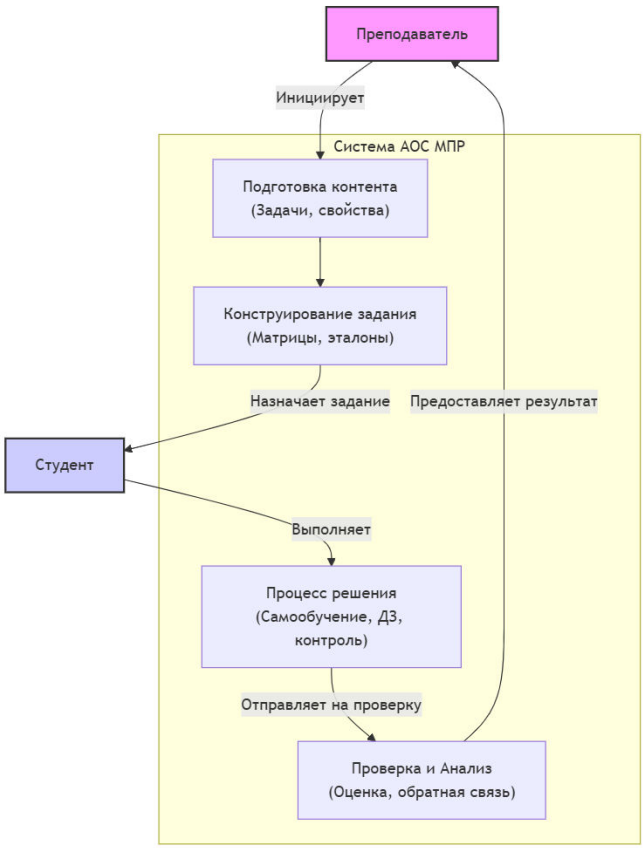


Рисунок 1. Концептуальная схема взаимодействия в АОС МПР

Схема иллюстрирует полный педагогический цикл, в котором система выступает в роли центральной среды, обеспечивающей взаимодействие между преподавателем и студентом. Преподаватель управляет учебным процессом через свой модуль, создавая и

назначая задания. Студент взаимодействует с системой через студенческий модуль для выполнения этих заданий.

По замыслу, архитектура модуля преподавателя построена на трех ключевых принципах, которые дополняют и развивают возможности, заложенные в студенческой части системы.

2.1. Принцип «Конфигурируемого» Задания

В отличие от традиционного подхода, где задание представляет собой статический документ, в АОС МПР используется понятие конфигурируемого задания. Это сложный цифровой объект, которым преподаватель может управлять. Основой этого принципа является разделение учебных материалов на «атомарные» задачи, хранящиеся в банке заданий, и «контрольные работы», которые собираются из этих задач. Такой модульный подход позволяет быстро создавать новые задания на основе уже существующих. Процесс конструирования задания позволяет преподавателю не просто писать текст, а собирать его в интерактивном мастере: устанавливать дидактические ограничения (например, разрешить использование только определенных методов решения), а также создавать эталонное решение для последующей полуавтоматической проверки. Такой подход предоставляет преподавателю инструменты для педагогического проектирования, позволяя тонко настраивать сложность и фокус каждого задания.

2.2. Принцип «Прозрачности» Процесса Решения

Традиционная модель контроля является «черным ящиком». Архитектура АОС МПР спроектирована для поддержки "прозрачного" процесса. Инструменты мониторинга (информационная панель) позволяют преподавателю в реальном времени отслеживать статусы выполнения работ. Ключевым элементом является механизм проверки и оценки. Он спроектирован так, чтобы предоставить преподавателю всю необходимую информацию для вынесения объективного решения. Пример интерфейса проверки представлен на рисунке 2

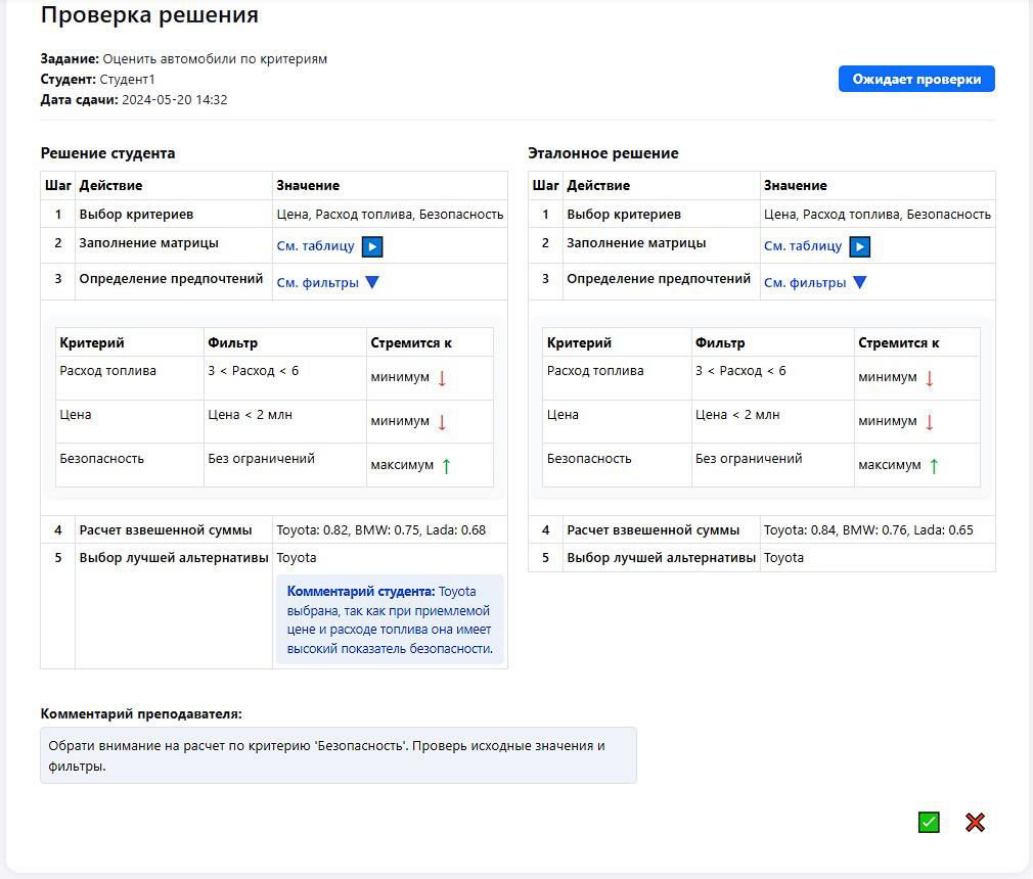


Рисунок 2. Пример интерфейса проверки решения

Как показано на рисунке, интерфейс построен по принципу параллельного сравнения: преподавателю одновременно доступны как решение студента (слева), так и эталонное решение (справа). Важно отметить, что сравнению подлежит не только итоговый ответ, но и весь ход решения: выбранный набор критериев, заданные фильтры и предпочтения, а также промежуточные результаты вычислений. Это позволяет выявить ошибку на том конкретном шаге, где она была допущена. Такая компоновка позволяет быстро выявлять расхождения не только в итоговом ответе, но и на промежуточных этапах, таких как выбор критериев или определение предпочтений. Кроме того, система предоставляет поля для развернутой обратной связи, позволяя преподавателю оставить контекстный комментарий к работе, а студенту — пояснить логику своего выбора, позволяя преподавателю анализировать весь ход решения в рамках проблемно-ориентированного сценария «Задача → Матрица».

2.3. Принцип «Непрерывной» Обратной Связи

Модуль преподавателя спроектирован для поддержки цикла непрерывной коммуникации. Система предоставляет инструменты как для индивидуальной, так и для групповой обратной связи. Комментарий преподавателя отображается студенту непосредственно в интерфейсе решения. Кроме того, для каждого задания создается ветка для обсуждения, где студенты могут задавать вопросы и получать на них ответы, видимые всей группе. Эта функциональность способствует превращению процесса проверки из финального этапа в непрерывный диалог.

Для наглядной демонстрации целостного педагогического процесса, реализуемого в системе, была разработана следующая схема (Рисунок 3).

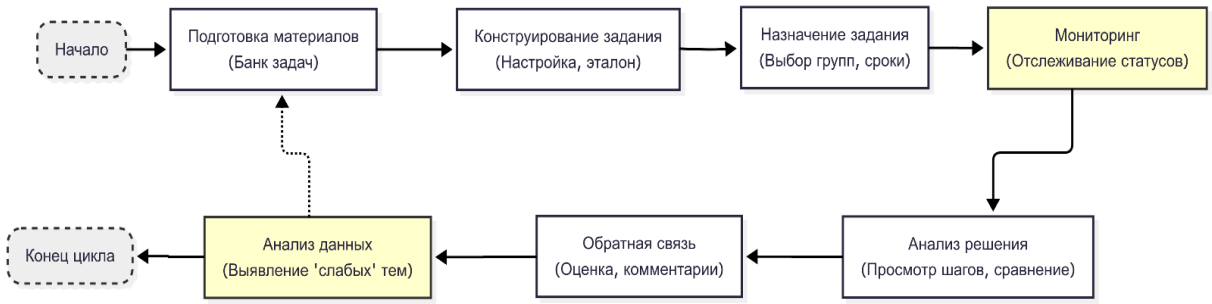


Рисунок 3. Схема циклового педагогического процесса в АОС МПР

Схема формализует рабочий процесс преподавателя в системе. Верхний уровень диаграммы отражает фазу подготовки учебных материалов, соответствующую принципу «конфигурируемого задания». Нижний уровень иллюстрирует фазу исполнения и контроля, которая реализует принципы «прозрачности процесса» и «непрерывной обратной связи». Завершающий этап анализа данных является ключевым, поскольку он замыкает педагогический цикл. Как показано пунктирной связью, результаты анализа служат основанием для корректировки учебных материалов для следующей итерации, демонстрируя итеративную, управляемую данными модель педагогического процесса.

3. От контроля к пониманию: аналитические возможности системы

Помимо автоматизации рутинных процессов, одной из ключевых проектных задач модуля преподавателя является предоставление инструментов для анализа учебной деятельности [3]. Аналитический функционал проектируется, чтобы помочь преподавателю понять «как» и «почему» студенты достигают тех или иных результатов, превращая систему из инструмента контроля в инструмент педагогической диагностики.

3.1. Сбор образовательных данных как основа аналитики

Возможность сбора глубоких аналитических данных является прямым следствием предметно-ориентированной («вертикальной») архитектуры системы. В отличие от универсальных СУО, которые воспринимают студенческую работу как непрозрачный «файл», АОС МПР оперирует структурированными, семантически насыщенными данными. Каждое действие студента — выбор критерия, изменение значения в матрице, применение метода —

является осмысленным событием, которое может быть зафиксировано и проанализировано. Именно эта структурированность данных создает предпосылки для перехода от простого контроля к учебной аналитике. Предметно-ориентированная природа АОС МПР создает возможность для сбора не только итогового результата, но и контекстных данных о самом процессе решения. Архитектура системы предусматривает логирование таких метрик, как общее время выполнения, количество попыток и последовательность примененных методов. Важно отметить, что сбор таких данных возможен именно благодаря тому, что все действия студента происходят внутри единой, контролируемой среды. В отличие от традиционного подхода, где студент решает задачу во внешних редакторах (например, MS Excel) и присылает только итоговый файл, АОС МПР фиксирует сам процесс работы, что и формирует основу для дальнейшего анализа. Этот массив данных должен сформировать цифровой след учебной деятельности, который служит основой для последующего анализа.

3.2. Инструменты анализа и представления данных

По замыслу, собранные данные будут агрегироваться и представляться преподавателю на аналитической информационной панели. Этот инструмент визуализации призван позволить быстро оценивать ситуацию в группе и выявлять общие тенденции: общую успеваемость, наиболее сложные для группы задания или методы, вызывающие систематические трудности. Таким образом, информационная панель — это инструмент, который потенциально способен переводить сырые данные в осмысленную информацию для принятия педагогических решений.

3.3. Пример применения: от данных к педагогическому решению

Практическая ценность аналитического модуля лучше всего демонстрируется на гипотетическом примере. Предположим следующую ситуацию: преподаватель, используя аналитические инструменты, замечает, что по одной из контрольных работ успеваемость группы значительно ниже. Система показывает, что большинство неудовлетворительных результатов связано с задачами на определенный метод. Просмотрев несколько работ, он может выявить типовую ошибку. На основе полученной информации преподаватель принимает целенаправленное решение: для всей группы он может отправить дополнительные материалы, акцентируя внимание именно на проблемном этапе, а для конкретного студента, на основе анализа того, как именно он проводит процесс решения, может построить или модифицировать траекторию его индивидуального обучения, предложив дополнительное, более простое задание.

4. Модель совместного использования: интеграция с системами управления обучением

Архитектура АОС МПР изначально предусматривает модель совместного использования, при которой специализированная система не заменяет, а дополняет и расширяет возможности СУО общего назначения.

4.1. Механизм интеграции на основе отраслевого стандарта

Для технической реализации такой модели в архитектуру заложена поддержка стандарта взаимодействия обучающих инструментов [4]. Этот протокол определяет безопасный обмен информацией между основной платформой (СУО) и внешними образовательными приложениями. Процесс интеграции включает три ключевых обмена данными: запрос на запуск, который обеспечивает бесшовную аутентификацию студента, и возврат результата, который позволяет автоматически передавать оценку из АОС МПР в электронный журнал основной системы.

4.2. Преимущества интеграционной модели

Предложенная модель совместного использования дает ряд существенных преимуществ: для образовательного учреждения — возможность обогащать учебный процесс, не отказываясь от внедренной СУО; для преподавателя — упрощение работы за счет сбора оценок в едином журнале; для студента — создание единого, бесшовного образовательного пространства. Кроме того, такой подход решает проблему администрирования. Вместо того чтобы преподавателю пришлось вручную регистрировать студентов в еще одной системе и

распределять их по группам, интеграция позволяет автоматически синхронизировать списки обучающихся из основной СУО. Это значительно снижает организационную нагрузку на преподавателя и минимизирует возможные ошибки при ведении учета. Таким образом, АОС МПР проектируется не как изолированное приложение, а как встраиваемый компонент современной цифровой образовательной среды.

Заключение

В данной работе был представлен пример практической реализации «вертикальной» образовательной среды на базе автоматизированной обучающей системы АОС МПР. Была описана разработка модуля преподавателя, который решает двойственную задачу: с одной стороны, автоматизирует рутинные педагогические процессы, с другой — предоставляет аналитические инструменты для более глубокого понимания учебной деятельности студентов.

Ключевым выводом исследования является то, что будущее эффективного цифрового образования в дисциплинах, связанных с анализом и решением слабоструктурированных задач, лежит в модели совместного использования универсальных («горизонтальных») платформ и предметно-ориентированных («вертикальных») систем. Разработанный модуль демонстрирует, как «вертикальная» система, благодаря своей глубокой предметной модели, способна реализовать функционал, принципиально недоступный в рамках архитектуры СУО общего назначения.

Предложенный подход к проектированию и реализованный функционал создают надежный фундамент для дальнейшего развития системы. Ближайшие шаги включают расширение библиотеки реализованных методов принятия решений, а также внедрение более сложных инструментов оценки, таких как оценочные рубрики. В долгосрочной перспективе собранные данные о процессе решения могут послужить основой для будущих исследований в области интеллектуализации обучения, открывая возможности для разработки алгоритмов, способных предсказывать типовые ошибки, генерировать автоматические подсказки и, что наиболее важно, предоставлять преподавателю рекомендации по модификации индивидуальных образовательных траекторий для каждого студента. Таким образом, разработанная система является не только готовым инструментом, но и платформой для будущих исследований в области адаптивного обучения [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гаевская Е.Г.* Технологии сетевого дистанционного обучения: Учебное пособие. СПб.: Факультет филологии и искусств СПбГУ, 2007. 81 с.

2. *Трайнев В.А., Трайнев И.В.* Информационные коммуникационные педагогические технологии (обобщения и рекомендации): уч. пособие. 3-е изд. М.: Дашков и К°, 2012. 280 с.

3. *Сименс Дж., Лонг Ф.* Учебная аналитика: Видение и реальность // Вопросы образования. 2014. № 1. С. 96–117.

4. Learning Tools Interoperability (LTI) Overview. – Текст: электронный. – URL: https://www.imsglobal.org/activity/learning-tools-interoperability (дата обращения: 23.07.2025).

5. *Brusilovsky P*. Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems // International Journal of Artificial Intelligence in Education. 2003. Vol. 13. № 2-4. P. 159–172.

DEVELOPMENT OF A DOMAIN-SPECIFIC ENVIRONMENT FOR LEARNING ACTIVITY MANAGEMENT AND ANALYSIS: A CASE STUDY OF THE AOS MPR SYSTEM

Kadykov I.

Supervisor: Brodskiy A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow*)

Abstract. This paper introduces a classification of educational technologies into «horizontal» (general-purpose Learning Management Systems) and «vertical» (domain-specific) systems, arguing for the necessity of the latter for disciplines that require practical skills development. Using the

development of a teacher's module for the AOS MPR system as a case study, the paper presents a design approach for such a «vertical» environment. It describes architectural solutions and functionalities for automating the control and analysis of the learning process. Additionally, a model for integrating the specialized system with standard Learning Management Systems is proposed.

УДК 004.738.5:005.334

РАЗВЁРТЫВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ КОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ MATRIX В КОРПОРАТИВНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ

Майоров Б.А.
Научный руководитель: Володин С.М., доцент, к. т. н.
(Московский финансово-юридический университет МФЮА, г. Москва)

Аннотация. В докладе рассматривается внедрение децентрализованной коммуникационной системы Matrix в корпоративной среде. Описаны актуальность применения Matrix для защищённых внутренних коммуникаций, преимущества протокола Matrix и экосистемы (Synapse, Element, Synapse-admin), архитектура системы, подход к развёртыванию с использованием Docker, аспекты безопасности и администрирования, интеграция Matrix в инфраструктуру предприятия, а также возможности масштабирования и обновления системы.

Растущие требования к безопасности и контролю над данными в корпоративных коммуникациях обусловили интерес к децентрализованным мессенджерам [1-3]. Традиционные решения вроде Slack и Microsoft Teams являются облачными и проприетарными, что вызывает озабоченность по поводу конфиденциальности и зависимости от внешних поставщиков. В условиях импортозамещения и стремления к цифровому суверенитету организации ищут альтернативы, обеспечивающие полный контроль над информацией. Matrix выступает перспективным решением, позволяющим развернуть собственный корпоративный мессенджер с открытым кодом. Актуальность внедрения Matrix связана с возможностью хранения всех данных на своих серверах, отсутствием внешней цензуры и надзора, а также с экономией на лицензиях по сравнению с коммерческими продуктами. Например, Element (клиент для Matrix) распространяется бесплатно с открытой лицензией, тогда как корпоративные тарифы проприетарных платформ обходятся дорого. Благодаря открытым стандартам и сильному шифрованию Matrix уже внедряется в госсекторе некоторых стран как безопасная альтернатива коммерческим мессенджерам. Все это подтверждает актуальность использования Matrix в корпоративной инфраструктуре для защищённой и независимой связи.

Преимущества системы Matrix. Matrix – открытый протокол обмена сообщениями в режиме реального времени, изначально разработанный для децентрализованных защищённых коммуникаций. Ключевое преимущество Matrix – децентрализация: система поддерживает федерацию серверов, то есть разные серверы Matrix могут соединяться друг с другом. Это означает отсутствие единой точки отказа и полное владение своими данными организацией, развернувшей сервер. Данные переписки хранятся на локальном сервере компании, что повышает конфиденциальность и надежность. Кроме того, Matrix изначально спроектирован с учётом сквозного шифрования (E2EE): обмен сообщениями между клиентами может шифроваться таким образом, что никто, кроме участников чата, не сможет прочитать содержимое. В клиенте Element E2EE включено по умолчанию, обеспечивая приватность переписки (даже администратор сервера не видит сообщения). Реализованы механизмы управления ключами шифрования, включая кросс-подписывание устройств и резервное копирование ключей, что позволяет безопасно использовать несколько устройств для одного аккаунта. Надёжность Matrix-сети также выше за счёт того, что при отказе одного узла связь

между другими участниками сохраняется – система устойчива к сбоям. Независимость от единого вендора и открытый исходный код обеспечивают возможность аудитора проверки безопасности и гибкой доработки под свои нужды. Также Matrix [4] обладает широкими функциональными возможностями: поддерживаются передачи файлов, голосовые и видеозвонки (через интеграцию с Jitsi или специальный модуль Element Call), поиск по сообщениям (в том числе в зашифрованных чатах), реакции и т.д. Важное преимущество для корпоративного использования – расширяемость и интеграция: через механизм мостов Matrix может объединяться с внешними системами (Slack, Microsoft Teams, Telegram, Signal, IRC и др.), позволяя сотрудникам в Matrix-чате общаться с внешними контактами. Также доступны виджеты и боты для интеграции со сторонними сервисами (например, оповещения из систем непрерывной интеграции, трекеров задач или CRM). Наконец, к Matrix можно подключать различные клиенты на всех популярных платформах – помимо Element существуют десятки альтернативных приложений (Desktop и мобильных), совместимых по протоколу. Таким образом, Matrix предлагает богатый функционал современного корпоративного мессенджера при высоком уровне безопасности и контроле.

Архитектура и компоненты Matrix. Архитектурно Matrix представляет собой сеть homeserver-ов (домашних серверов) и клиентских приложений [5]. Каждый участник сети регистрируется на конкретном сервере (домашнем сервере), но благодаря федерации пользователи разных серверов могут общаться друг с другом, как при обмене электронной почтой. В центре корпоративной установки Matrix находится сервер Synapse – основная реализация homeserver-а от организации Matrix.org. Synapse написан на Python и хранит данные о пользователях, комнатах (чатах) и сообщениях, обычно используя базу данных (в тестовом режиме SQLite, а в промышленной эксплуатации – PostgreSQL). Поверх Synapse работает слой клиент-серверного API, по которому подключаются приложения-клиенты (например, Element). Element – это один из официальных клиентов Matrix, предоставляющий удобный пользовательский интерфейс для переписки, организации комнат, аудио/видео звонков и пр. Доступны версии Element для Web (Element Web), настольных ОС (Windows, Linux, macOS) и мобильных устройств (Android, iOS). Для корпоративной среды удобным вариантом является веб-клиент Element Web, который можно развернуть во внутренней сети и открыть через браузер. На рисунке 1 показан пример интерфейса десктопной версии Element, где пользователь видит главную страницу с добавленными людьми и комнатами.

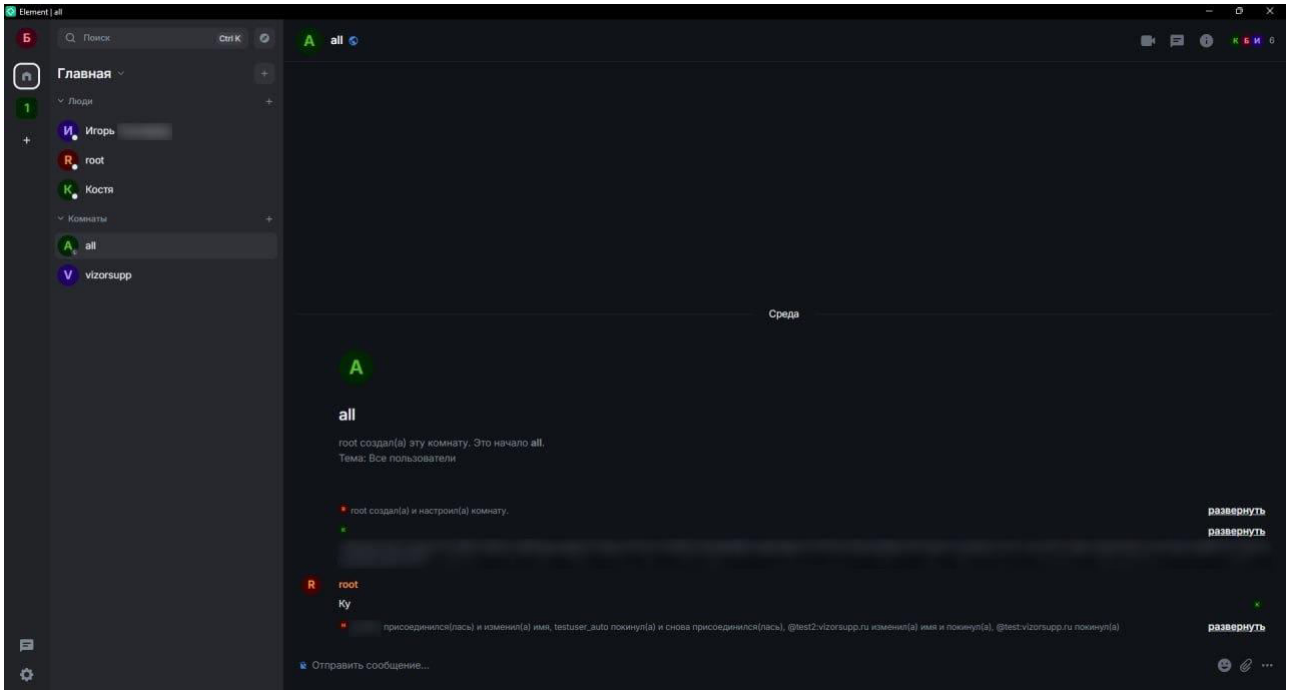


Рисунок 1. Веб-интерфейс главной страницы Element

В экосистему также входит Synapse-admin – внешняя утилита с веб-интерфейсом, предназначенная для администрирования сервера Synapse. Дело в том, что изначально Synapse не предоставляет графическую панель управления: управление пользователями и настройками осуществляется либо через конфигурационные файлы, либо через API/консольные команды. Synapse-admin (иногда называемый Synapse admin UI) решает эту проблему, предлагая удобный интерфейс для таких задач, как создание и удаление пользователей, просмотр и модерация комнат, управление правами и др. На рисунке 2 представлена упрощённая схема архитектуры системы Matrix: пользовательские клиенты Element подключаются к своему домашнему серверу Synapse, который может федеративно обмениваться данными с другими серверами; для администрирования используется отдельный веб-интерфейс Synapse-admin; также показаны мосты, связывающие Matrix с внешними сервисами.

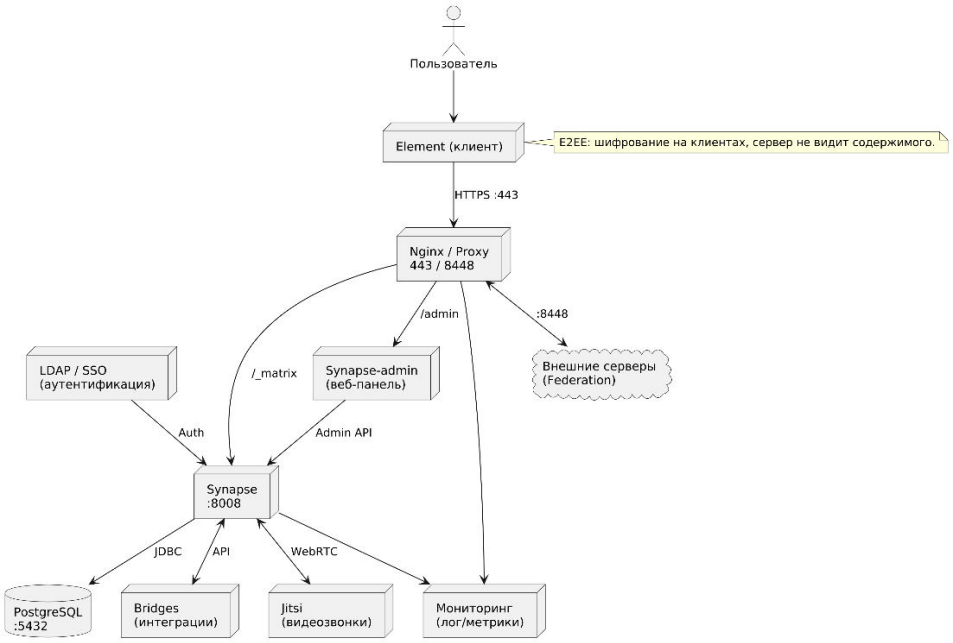


Рисунок 2. Архитектура системы Matrix

В развёртывании Matrix на собственных серверах большую роль играет гибкость: Synapse можно установить напрямую на сервер (Ubuntu, Debian и др.) или упаковать в контейнеры. Современный подход для быстрого развертывания – использование Docker и оркестрации docker-compose. Это позволяет упростить установку всех необходимых компонентов и их зависимостей. Например, с помощью docker-compose можно запустить несколько контейнеров, отвечающих за разные части системы Matrix. Типовая конфигурация включает: контейнер synapse-app с самим приложением Synapse; контейнер synapse-db с сервером баз данных (как правило, PostgreSQL) для хранения данных Matrix; контейнер element с веб-клиентом Element; и контейнер nginx или другого прокси-сервера, который выполняет роль веб-прокси/балансировщика для раздачи веб-клиента и обработки HTTPS-трафика. Такая модульность облегчает как первоначальную установку, так и дальнейшее обслуживание системы. При использовании docker-compose (смотреть рисунок 3) развёртывание сводится к написанию YAML-файла с описанием сервисов и их параметров (образы, переменные окружения, сетевые порты, точки монтирования томов для хранения данных и конфигов). В случае Synapse важно предварительно сгенерировать файл конфигурации (homeserver.yaml), где указывается доменное имя сервера (например, matrix.company.ru), параметры базы данных и прочие настройки. Это можно сделать командой generate из официального образа Synapse. Далее конфигурация дополняется вручную: настраивается подключение к внешней базе (PostgreSQL), параметры федерации (если планируется связь с внешними узлами), политики регистрации пользователей и т.д. Для Element Web обычно требуется отдельный файл config.json, в котором прописывается URL

домашнего сервера Matrix и другие опции клиента; этот файл можно скачать из репозитория Element и подключить в контейнере. Nginx настраивается для раздачи статического контента Element Web и проксирования API-запросов к Synapse. При необходимости Nginx же отвечает за терминацию TLS (HTTPS), то есть хранение SSL-сертификатов компании и шифрование трафика. Таким образом, используя Docker, компания получает воспроизводимое и портативное развертывание Matrix: все компоненты изолированы, их можно запускать на любом сервере или в облаке, а обновление сводится к замене образов на новые версии.

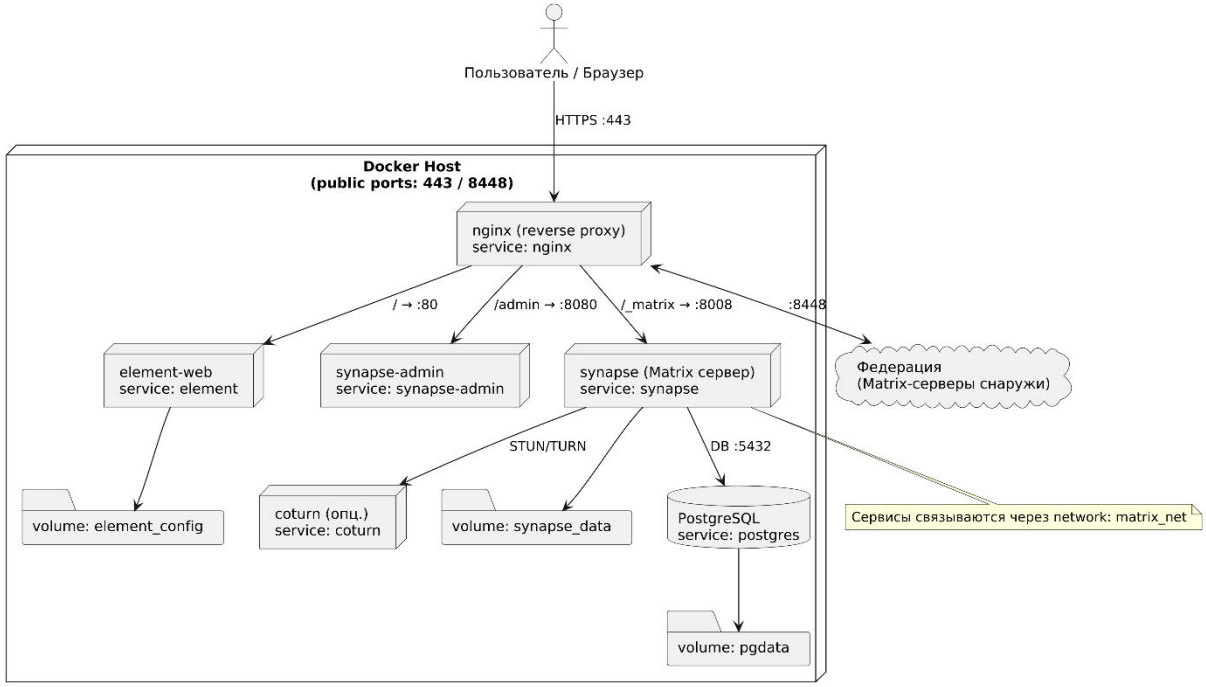


Рисунок 3. Схема развёртывания Matrix с использованием Docker Compose

Безопасность, настройка и администрирование. Система Matrix изначально спроектирована с упором на безопасность. Как отмечалось, все приватные чаты в Element имеют сквозное шифрование по умолчанию. В групповых комнатах шифрование можно включить при создании (например, в Element есть опция «Encrypt this room» – после активации все сообщения в комнате будут E2E-зашифрованы, и отключить это нельзя). Для хранения и резервирования ключей шифрования сервер Synapse может интегрироваться с внешним хранилищем ключей (или использовать встроенные механизмы через клиент). В корпоративной среде администратор может настроить политики безопасности: требовать верификации новых устройств пользователями (чтобы предотвратить атаки посредника), включить двухфакторную аутентификацию (непосредственно Matrix этого не предоставляет, но можно реализовать на уровне SSO), ограничить доступ к серверу по IP или использовать VPN для доступа к мессенджеру внутри офиса. Сам сервер Synapse следует размещать за файрволом и прокси-сервером с включённым SSL. Минимальная рекомендация — выдача серверу Matrix валидного TLS-сертификата и обслуживание запросов на портах 443 (и 8448 для федерации) для безопасной коммуникации как с клиентами, так и с другими серверами.

Администрирование Synapse включает несколько направлений: управление пользователями, управление комнатами, мониторинг состояния сервера и обновление конфигурации. Управление пользователями в Synapse может выполняться через административный API или вспомогательные инструменты. Например, чтобы создать учётную запись, администратор может вызвать команду register_new_matrix_user (при отключенной саморегистрации) или воспользоваться веб-интерфейсом Synapse-admin. Synapse позволяет интегрировать аутентификацию с LDAP/Active Directory, что важно для корпоративной среды: сотрудники могут входить в Matrix под своими корпоративными логинами. Для этого в конфигурации Synapse настраивается внешний провайдер auth_provider

(например, ldap_auth_provider) с указанием параметров LDAP-сервера (адрес, базовый DN, фильтр поиска пользователей и пр.). Также поддерживаются SSO (Single Sign-On) механизмы через SAML или OpenID Connect, позволяющие единую точку входа в корпоративные приложения, включая Matrix. Управление комнатами включает модерацию содержимого (удаление сообщений, блокировка нарушителей) и настройку прав доступа. Matrix реализует разграничение прав в комнатах через роли (power levels): администратор сервера может назначать/снимать права администратора комнаты, принудительно удалять комнаты или приглашать/удалять пользователей. Synapse хранит всю историю сообщений (если не настроено автоудаление), поэтому для соответствия корпоративным политикам может потребоваться регулярное резервное копирование базы данных или включение функций ограничения времени хранения сообщений (data retention policies). Вопрос мониторинга решается стандартными средствами – Synapse предоставляет метрики, которые можно интегрировать в системы мониторинга (например, Prometheus), отслеживая нагрузку, задержки, количество пользователей онлайн и т.п. В случае сбоя или утечки информации, благодаря полному контролю над сервером, компания способна оперативно провести аудит переписки (кроме содержания E2EE-чата, которое недоступно серверу) и восстановить работу. Наличие Synapse-admin значительно упрощает типовые административные задачи: через веб-панель администратор может просматривать список пользователей, их статус, при необходимости сбросить пароли или деактивировать учётные записи, просмотреть список всех комнат на сервере и удалить нежелательные комнаты, а также управлять настройками сервера (например, включать/отключать регистрацию, приглашения, федерацию с внешними узлами). На рисунке 4 показан пример интерфейса панели администрирования Synapse (Synapse-admin), где администратор видит инструменты управления пользователями и другие функции.

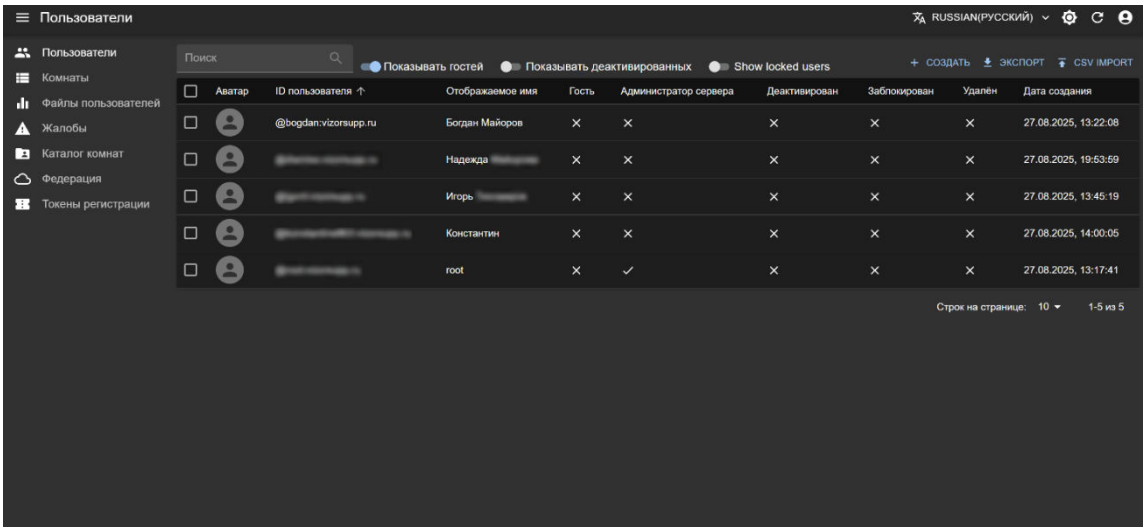


Рисунок 4. Веб-интерфейс панели администрирования Synapse

Интеграция Matrix в корпоративную ИТ-инфраструктуру. Одно из сильных качеств Matrix – возможность интегрировать систему в существующую среду компании. Directory Services: как упоминалось, Matrix-сервер может использовать корпоративный каталог (LDAP/AD) для аутентификации, обеспечивая единое управление учетными записями. Это значит, что при увольнении сотрудника достаточно отключить его в LDAP, и доступ в корпоративный мессенджер будет закрыт. Single Sign-On: интеграция с SSO позволяет пользователям входить в Element через корпоративный портал единой аутентификации, упрощая доступ и повышая безопасность (можно навязать политики сложности паролей, 2FA и др. на уровне SSO). Почта и уведомления: Matrix можно связать с почтовыми системами – например, настроить отправку email-уведомлений о пропущенных сообщениях или приглашениях в комнату. Интеграция с корпоративными приложениями: благодаря

открытому API Matrix (Client-Server API, Application Service API и др.) возможна глубокая интеграция с другими системами. Существуют боты и шлюзы для соединения Matrix-чатов с Jira, GitLab, GitHub, Trello и другими инструментами разработки и управления проектами – это позволяет получать уведомления о событиях (например, о новых задачах, коммитах, сборках) прямо в рабочие чаты. Bridges (мосты) с внешними мессенджерами дают возможность постепенно мигрировать на Matrix, не теряя связи с теми, кто пока остается в старых мессенджерах. Например, отдел может пользоваться Matrix, общаясь через мост с подрядчиками в Slack или клиентами в Telegram. Внутри компании Matrix может служить единым коммуникационным узлом, объединяя разрозненные каналы. Также для видеоконференций Matrix легко дополняется платформой Jitsi: внедрение Matrix зачастую идёт в паре с установкой Jitsi-Meet для видеосвязи. Element имеет встроенную поддержку Jitsi-видеочатов – достаточно развернуть собственный сервер Jitsi и указать его URL в настройках. В результате сотрудники получают интегрированный инструмент: текстовый чат и видеозвонки под полным контролем компании. Гибкость кастомизации Matrix тоже важна для корпоративных нужд: при необходимости можно разработать собственные плагины, расширяющие функциональность (например, добавить систему тикетов или опросов прямо в мессенджер). Таким образом, Matrix не изолирован, а способен стать частью экосистемы предприятия, повышая эффективность рабочих процессов.

Масштабирование и обновление системы. По мере роста организации и увеличения числа пользователей требования к производительности коммуникационной платформы возрастают. Matrix-сервер Synapse исторически был достаточно ресурсоёмким, однако к 2025 году его производительность значительно улучшена, и он успешно работает в разного масштаба инсталляциях – от небольших офисов до крупных публичных серверов с сотнями тысяч пользователей. Для масштабирования внутри организации существуют несколько подходов. Вертикальное масштабирование подразумевает выделение серверу более мощного оборудования: увеличения объёма оперативной памяти (Synapse активно кэширует данные в RAM), переход на более быстрый SSD-накопитель для базы данных, добавление ядер CPU. Synapse хорошо масштабируется на уровне СУБД – используя PostgreSQL, можно настроить кластерную базу (репликацию) для разгрузки чтения или повысить отказоустойчивость. Горизонтальное масштабирование Matrix достигается через запуск Synapse в многопроцессовом режиме: существуют конфигурации с worker-процессами, когда отдельные компоненты Synapse (например, обработчик исходящей федерации, обработчик медиа-файлов, сервер PUSH-уведомлений и др.) выносятся в отдельные процессы или даже на отдельные машины, работающие совместно. Такой подход позволяет распределить нагрузку между несколькими узлами и избежать «узких мест». Например, при большом числе одновременных подключений или высоком трафике федерации можно выделить отдельный сервер для этих задач. Также возможно запустить несколько экземпляров Synapse, обслуживающих разные подразделения компании, и объединить их в «закрытую федерацию» – это улучшит локальную отзывчивость и распределит пользователей по серверам (каждый сервер обслуживает свой офис или отдел, но все вместе связаны федеративно).

Обновление Matrix-сервера необходимо проводить регулярно, так как сообщество Matrix активно выпускает исправления безопасности и новые возможности [6]. Обновление Synapse в случае Docker-развертывания упрощается до перезапуска контейнера с более свежим образом (при сохранении конфигов и данных). При этом рекомендуется сначала обновить тестовый стенд, поскольку новые версии могут требовать изменений в конфигурации. Synapse обладает механизмом миграции схемы базы данных – при старте новой версии он автоматически обновит структуру БД, если это нужно. Тем не менее, важно перед обновлением делать резервную копию (дамп) базы данных и конфигурационных файлов. Обновление клиентов (Element) также должно учитываться: веб-клиент Element можно обновлять заменой статических файлов на новые версии из репозитория. В мобильных и десктопных приложениях обновления происходят через соответствующие магазины приложений или путем переустановки. С точки зрения непрерывной эксплуатации, полезно

настроить мониторинг обновлений (например, следить за анонсами Matrix.org) и планировать обновление в удобное для всех время.

В области корпоративных коммуникаций явно прослеживается тренд перехода к открытым децентрализованным решениям. Matrix зарекомендовал себя как надёжная платформа [7], способная обеспечить высокий уровень безопасности и гибкости, необходимый современным организациям. Развернув Matrix в своей инфраструктуре, компания получает полное владение каналами связи, может интегрировать мессенджер с внутренними сервисами и адаптировать его под свои процессы. При грамотной эксплуатации (настройке резервного копирования, мониторинга, безопасных политик доступа) Matrix способен заменить собой иностранные мессенджеры и создать единое пространство для корпоративного взаимодействия. Таким образом, внедрение децентрализованной системы Matrix позволяет повысить информационную безопасность предприятия и обеспечить автономность его цифровых коммуникаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Жилина* А.А. Обеспечение безопасности виртуальной инфраструктуры, построенной на базе микросервисной архитектурыс использованием оркестратора KUBERNETES / А.А. Жилина, С.М. Володин // Информационная безопасность: вчера, сегодня, завтра: Сборник статей по материалам V Международной научно-практической конференции, Москва, 14 апреля 2022 года. – Москва: Российский государственный гуманитарный университет, 2022. – С. 66-72. – EDN EEQZKM.

2. *Гибадуллин Р.Ф.* Сервер и клиент систем управления картографическими базами данных / Р.Ф. Гибадуллин, С.В. Пыстогов, И.С. Вершинин // Инновационные технологии XXI века : материалы Международной научно-практической конференции, Казань, 17 апреля 2015 года / Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. Казань: Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, 2015. С. 5-8.

3. RUVDS. Element/Matrix — достойная альтернатива Slack и Mattermost [Электрон. ресурс] // Хабр. – 2022. – Режим доступа: https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/702494/.

4. Dmitriy Mosk. Развёртывание Matrix Synapse с Docker Compose [Электрон. ресурс] // Dmosk.ru. – Режим доступа: https://www.dmosk.ru/scripts.php?object=compose-matrix-synapse.

5. Matrix.org. Руководство по установке Synapse [Электрон. ресурс] – URL: https://matrix-org.github.io/synapse/latest/setup/installation.html.

6. GitHub. Synapse-Admin — Панель администрирования Matrix Synapse [Электрон. ресурс] – URL: https://github.com/Awesome-Technologies/synapse-admin.

7. Matrix.org. Документация по протоколу Matrix [Электрон. ресурс] – URL: https://spec.matrix.org/latest/.

DEPLOYMENT AND OPERATION OF THE DECENTRALIZED COMMUNICATION SYSTEM MATRIX IN THE CORPORATE INFRASTRUCTURE

Mayorov B.A.

Supervisor: Volodin S.M., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Moscow University of Finance and Law MFUA, Moscow)

Abstract. This report examines the implementation of the decentralized Matrix communication system in a corporate environment. It describes the relevance of using Matrix for secure internal communications, the advantages of the Matrix protocol and its ecosystem (Synapse, Element, Synapse-admin), the system architecture, the deployment approach using Docker, aspects of security and administration, the integration of Matrix into the enterprise infrastructure, as well as the possibilities for system scaling and updating.

УДК 531.551.5

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ НАГЛЯДНОГО УЧЕБНОГО ПРИБОРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ОРБИТЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Мерзликин Т.А.

Научный руководитель: Скворцова Е.В.

(Благотворительный фонд «Образование+»,

Средняя общеобразовательная школа №12, г. Королёв)

Аннотация. Цель работы заключается в наглядном представлении эллипса как орбиты космического аппарата. Для достижения этой цели потребовалось создать лабораторный прибор с наклонной плоскостью, на котором в простом виде отображаются характеристики эллиптической орбиты. Особенностью нового прибора стала наглядная иллюстрация взаимосвязи характеристик эллипса с его формой при изменении угла наклона плоскости. Особенно простым оказалось представление эксцентриситета эллипса синусом угла отклонения наклонной плоскости от вертикали – это главный новый результат работы.

К.Э.Циолковский отметил «Четыре способа носиться над сушей и водой» [1]. Предметом изучения в этой работе является четвёртый способ движения. Сейчас его называют орбитальным движением космических аппаратов (КА). Основоположник теоретической космонавтики отмечал, что для этого способа не нужно затрат энергии, разве что в самом начале, то есть при выведении на орбиту. В школьном курсе физики изучают только простейшие орбиты, круговые. На практике часто используются эллиптические орбиты. Даже если предполагается круговая орбита, всегда есть ошибки, которые делают её слегка эллиптической. Параболические и гиперболические орбиты в этой работе не изучаются, потому что не удовлетворяют тезису К.Э.Циолковского «бесконечно долго носиться над Землёй» - это отлётные от планеты траектории [1]. Многообразие эллиптических орбит определяется параметрами эллипсов. Эти параметры являются исходными данными для начала баллистических расчётов [2]. Эллиптические траектории используют при орбитальном маневрировании, например, при орбитальном переходе Гомана с одной круговой орбиты на другую [3]. Специалист в области баллистики должен в совершенстве владеть характеристиками эллипса и законами Кеплера. Работа посвящена методике первого ознакомления учеников средней школы, даже ВУЗов, с параметрами эллипса как орбиты КА. На основе живого созерцания строится переход к более сложным абстрактным моделям баллистики [2].

Цель работы заключается в наглядной иллюстрации эллипса как орбиты КА и определении характеристик траектории с обязательным выделением фокуса эллипса как центра тяготения по первому закону Кеплера.

Казалось бы, такая задача уже полностью решена компьютерной техникой. Например, в работах Евгения Ивановича Бутикова в Санкт-Петербургском государственном университете главной целью является, наоборот, компьютерное моделирование [4]. Но если обратиться к рисунку эллиптической орбиты, то автор искусственно обходит некоторые вопросы. Например, на картинке не важно положение второго фокуса эллипса. В предлагаемой работе, наоборот, каждое свойство эллипса предлагается иллюстративно показать на лабораторной установке. Причём требуется создать не компьютерную модель, а лабораторную, в которой расстояния можно измерить линейкой, углы – транспортиром, время – секундомером. Важность такого учебного пособия можно показать на примере построения эллипса. Компьютер его сразу построит на экране, но никто не поймёт, как это делается. Но зато с помощью нитки и мела на школьной доске появляется понятная линия.

Компьютерная модель предназначена для студентов. Они изучают эллипс на первом курсе ВУЗа. Но что делать, если в школе понадобилась эллиптическая деталь? В седьмом классе ученица делала такие детали по шаблону. Но шаблон тоже надо сначала изготовить.

Для этого Сычева Ярослава вспомнила художественный фильм «Двенадцать стульев», потом стала делать наклонные срезы цилиндров [5]. В таком способе получения эллипса заключается главная идея предлагаемой работы. В наклонном сечении кругового цилиндра будет эллипс. Цель работы заключается в создании учебной установки для школьников. Значит, главным показателем качества должна быть наглядность. С такой же целью создаёт компьютерные и натурные модели Николай Николаевич Андреев в Математическом институте им. В.А.Стеклова Российской академии наук [6]. В той же лаборатории создана учебная установка «Эллиптический бильярд». На ней наглядно показаны две точки фокусов эллипса [7].

Предлагаемая исследовательская работа состоит из нескольких частей. В первой части решена частная задача о наглядном представлении характеристик эллипса. Требуется показать на учебном пособии модель эллиптической орбиты КА и влияние характеристик эллипса на его форму. Особое внимание требуется уделить шести характеристикам эллипса.

1. Нужна измерительная иллюстрация фокуса эллиптической орбиты, потому что в нём находится центр тяготения. Для космического аппарата – это центр Земли.

2. Нужна измерительная иллюстрация параметра эллипса, потому что он определяет уравнение траектории.

3. Нужна измерительная иллюстрация эксцентриситета эллипса как характеристики вытянутости орбиты. Этот пункт составляет главное назначение первой части работы.

4. Нужна большая полуось эллипса, потому что она определяет период обращения по второму закону Кеплера, а также требуемую энергию для выведения КА на орбиту.

5. Нужна малая полуось как вспомогательная характеристика.

6. Нужно межфокусное расстояние, потому что оно определяет эксцентриситет орбиты. Этот пункт дополняет понятие эксцентриситета и обобщение центра окружности.

Получилось, что нужны все характеристики, но не формальные, а в наглядных, доступных для понимания, простых иллюстрациях, с возможностью измерения линейкой.

Сначала надо знать, что показывать на модели. Надо показать все основные характеристики эллипса. Главные формулы показаны на схеме на рис.1.

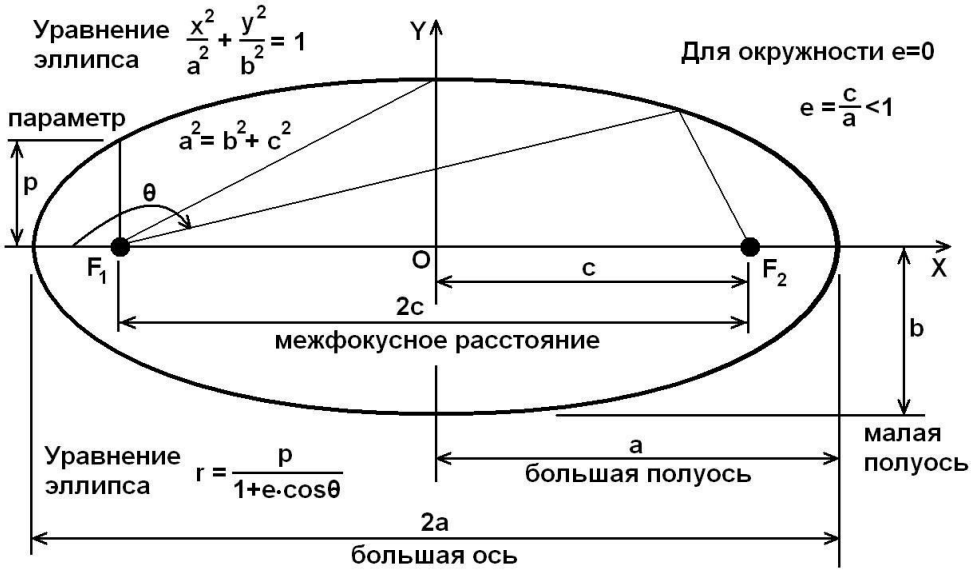


Рис. 1. Характеристики эллипса, которые надо показать на учебной модели

Одни характеристики показать очень просто. Например, большая ось – это длина эллипса, малая ось – его ширина. Менее очевидным является эксцентриситет, который определит положение фокусов. По первому закону Кеплера в фокусе расположен центр тяготения. Если на модели фокус будет обозначен, то сразу можно измерить параметр. Но если есть параметр, то сразу записывается баллистическое уравнение орбиты, то есть уравнение в полярных координатах, где истинная аномалия является полярным углом, отсчитывается от перигея. Все эти величины представлены на рис.1, их надо показать на создаваемой модели.

Математические расчёты предложенной учебной модели иллюстрируются схемой, представленной на рис.2. Первая часть лабораторной установки состоит из электродвигателя, который изображён слева, и прикреплённой к его валу штанге. На одном конце штанги закреплена лазерная указка, на другом конце штанги установлен противовес. Для изучения формы эллипса достаточно применить электродвигатель постоянного тока с напряжением питания 6-12 В. Но для демонстрации движения КА по эллиптической орбите нужен шаговый двигатель с адаптером и программным обеспечением – эта часть работы пока не рассматривается, отложена на следующий этап. Вращающаяся лазерная указка фомирует яркий луч красного или зелёного цвета, который описывает круговую цилиндрическую поверхность. Радиус вращения луча достаточно произвольный, но учитывается при расчёте параметров эллипса. В первой установке он выбран r=100 мм, чтобы получить окружность вращения диаметром 200 мм. Рядом с электродвигателем расположена наклонная плоскость, изготовленная из листового материала пластмассы или фанеры. Это прямоугольник со сторонами, например, 250x1000 мм, чтобы формируемый лазерным лучом эллипс полностью помещался на таком наклонном экране. На одной стороне листа установлен шарнир, позволяющий изменять угол α отклонения листа от вертикального положения от 0^0 до 90^0. Если лист установлен вертикально, то луч лазерной указки покажет окружность, если наклонно - эллипс. При быстром вращении движение точки не будет восприниматься, будет видна непрерывная линия.

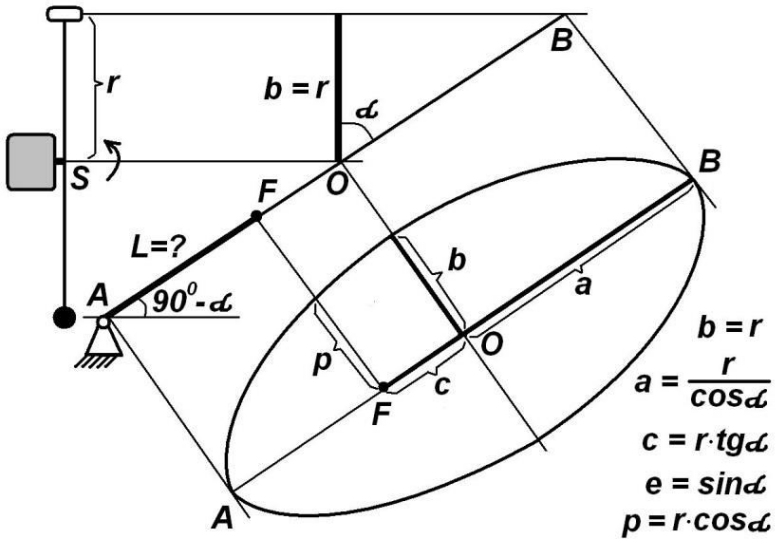


Рис. 2. Математическая модель нового учебного прибора

Определение характеристик эллипса выполнено по известным геометрическим формулам [2]. Проще всего определить малую полуось, потому что она равна радиусу штанги $b = r$. Большая полуось эллипса $a = OB = \frac{r}{\cos\alpha}$. Параметр эллипса $p = \frac{b^2}{a} = r \cdot \cos\alpha$. Самый интересный результат получился для эксцентриситета – это синус угла отклонения плоскости от вертикали. Ни в одной учебной установке или лабораторной работе не удалось найти аналогичного результата. Полученную формулу очень просто реализовать в новой установке. Для этого надо иллюстративно, наглядно представить синус угла отклонения плоскости от вертикали, или, что то же самое по тригонометрической формуле приведения, косинус угла наклона плоскости к горизонтали. Предлагается следующая схема. Эксцентриситет эллипса $e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} = \sin\alpha$. Половина межфокусного расстояния $c = e \cdot a = r \cdot tg\alpha$. В таком приборе особенно интересна формула для эксцентриситета, потому что её очень просто реализовать практически и наглядно для обучаемых. Для этого пластина сделана длиной ровно 1 метр, то

есть AB=1000 мм. В точке B крепится на нити вертикальный отвес, а в точке A – горизонтальная линейка с началом отсчёта от точки A. На этой линейке веритикальный отвес из точки B покажет длину катета треугольника, противолежащего углу α, которая устно пересчитывается в эксцентриситет. Например, при угле $\alpha = 30^0$ отвес показывает 500 мм, значит, на пластине высвечивается модель эллиптической орбиты КА с эксцентриситетом $e = \sin 30^0 = 0,5$. Первое важное преимущество созданной модели заключается в простом и наглядном геометрическом представлении эксцентриситета как характеристики вытянутости эллиптической орбиты.

Новое – это хорошо забытое старое. Суть работы для иллюстрации эксцентриситета заключается в применении обычного плотницкого ватерпаса, или отвеса. Но главная новизна в том, что подвес надо выполнить ровно в 1000 мм от шарнира. Тогда ватерпас покажет синус угла отклонения от вертикали, то есть величину эксцентриситета. Если горизонтальная линейка градуирована в миллиметрах, то величина эксцентриситета будет показана в промилях, если в сантиметрах, то в процентах. Отклоняя плоскость на разные углы, можно сразу следить за формой эллипса от лазерного луча быстро вращающейся указки и величиной эксцентриситета эллипса. Такой метод наглядности понятия эксцентриситета выносится на защиту, его иллюстрация показана на рис.3.

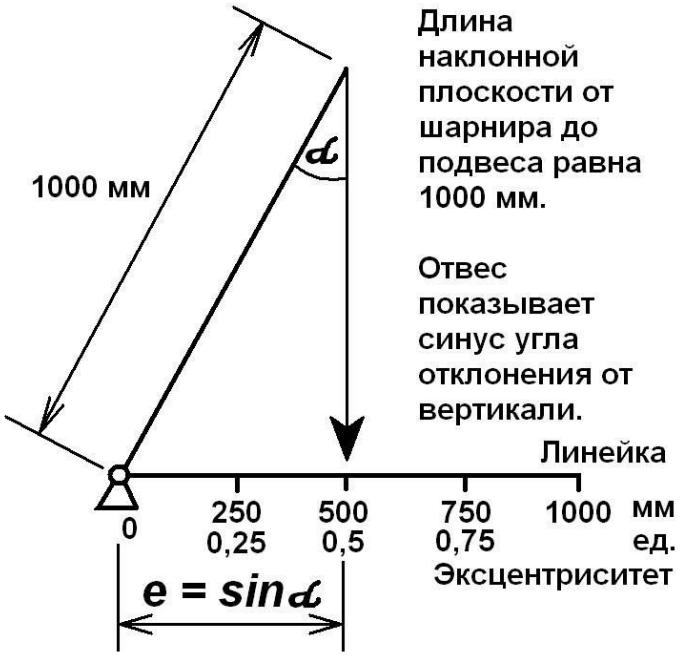
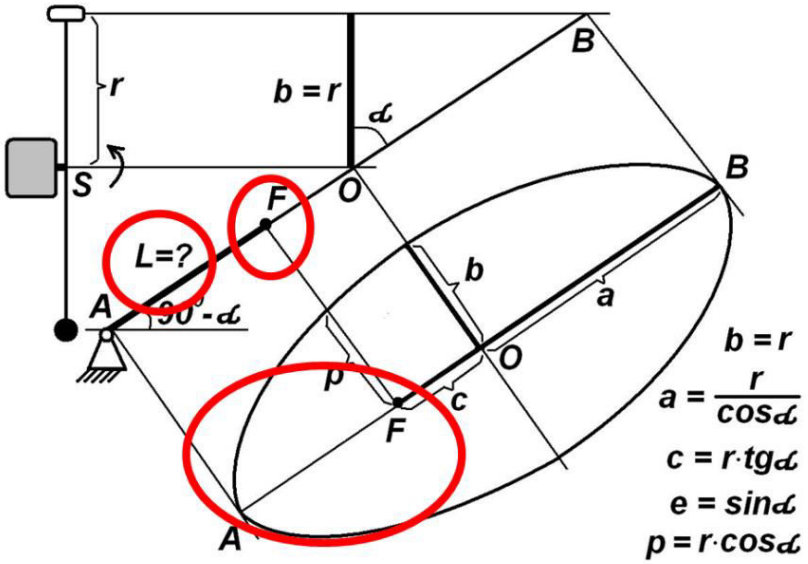


Рис. 3. Наглядное геометрическое представление эксцентриситета эллипса

Осталось показать положение фокуса F эллипса, ближайшего к шарниру A. Проще всего это сделать линейкой, закреплённой на пластине по большой оси эллипса с началом отсчёта в центре O эллипса и направлением к точке A. Половина межфокусного расстояния $c = r \cdot tg\alpha$ уже определена, поэтому достаточно для заданного угла α и радиуса r отложить на линейке половину межфокусного расстояния c, сделать отметку или прикрепить в этой точке линейки любой указатель. Но надо помнить, что центр эллипса O не имеет фиксированного положения, он перемещается по наклонной плоскости при изменении угла α её отклонения от вертикали. В лабораторной установке есть только одна фиксированная точка – это шарнир A, расположенный на основании стола у нижнего положения луча лазерной указки. Значит, отсчёт положения фокуса L надо вести именно от этого шарнира A. Вычисляем расстояние L. При нулевом угле α отклонения эллипс превращается в окружность, оба фокуса совпадают с центром окружности в точке O. Таким действием наглядно показано влияние

эксцентриситета эллипса на его вытянутость. Методика иллюстрации положения фокуса в лабораторной модели показана на рис.4.



$$L = a - c = \frac{r}{\cos\alpha} - r \cdot tg\alpha = r\left(\frac{1}{\cos\alpha} - tg\alpha\right) = r \cdot \frac{1-\sin\alpha}{\cos\alpha}$$

Рис. 4. Иллюстрация положения фокуса эллипса на лабораторной установке

Смещение фокусов эллипса от его геометрического центра позволяет в первом приближении, в самом начале знакомства с этой фигурой, представить её как обобщение окружности. Если в окружности один центр, то в эллипсе два таких центра-фокуса. Начертить эллипс можно провисающей нитью прижатой к этим двум центрам. Но если эти центры-фокусы постепенно сближать, то эллипс тоже постепенно стремится к окружности. Предлагаемая лабораторная установка позволяет не только показывать влияние отстояния фокусов эллипса друг от друга на вытянутость фигуры, но дополнительно вспомнить учение Гипатии Александрийской. Следовательно, предлагаемый учебный прибор хорошо согласуется с историей науки, знание которой мотивирует к познанию и значительно упрощает усвоение нового материала.

Таким образом, создана наглядная учебная установка и геометрическая модель эллиптической орбиты КА. Главным достижением и преимуществом в предлагаемой учебной установке стала доступная и понятная иллюстрация эксцетриситета эллипса как характеристики вытянутости орбиты космического аппарата.

Следующей задачей стало моделирование движения КА по эллиптической орбите, но для решения этой задачи понадобится шаговый электродвигатель и специальная программа, чтобы показать действие второго и третьего законов Кеплера и неравномерность движения КА по эллипсу. Это ближайшая перспектива работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Циолковский К.Э.* Четыре способа носиться над сушей и водой / Журнал «Воздухоплавание», №6-7, с.10-11, 1924. – Электронный ресурс: https://www.tsiolkovsky.org/ru/kosmicheskaya-filosofiya/chetire-sposoba-nositsya-nad-sushei-i-vodoi-1924/.

2. *Авдеев Ю.Ф., Беляков А.И., Брыков А.В. и др.* Полёт космических аппаратов: Примеры и задачи: Справочник / Под общ. ред. Г.С.Титова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.

3. *Екимовская А.А.* Использование энергии вращения для орбитального перехода Гомана / В сборнике: Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация". Сборник статей по материалам Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю.Абдуллазянова. Казань, 2022. С. 547-550. – https://elibrary.ru/item.asp?id=49225965.

4. *Бутиков Е.И.* Движение космических тел в компьютерных моделях. – Санкт-Петербургский государственный университет, Физический факультет. – СПб: 2007. – Электронный ресурс: https://butikov.itmo.ru/Lectures/Motion.pdf.

5. *Сычева Я.Е.* Наклонное эллиптическое колесо для рыхлых поверхностей / Материалы IX Всероссийской молодёжной научно-практической конференции «Девятые Колачёвские чтения 2024», посвящённой 90-летию со дня рождения Ю.А.Гагарина. – Ступинский филиал Московского авиационного института. – Москва: ИНФРА-М, 2024. – 211 с.: ил. – ISBN 978-5-16-020230-3. - С.195-196. – Электронный ресурс: https://kolachevconf.ru/.

6. *Андреев Н.Н.* Косые колёса / Математические этюды. – Электронный ресурс: https://etudes.ru/models/skewed-wheels/.

7. *Андреев Н.Н.* Эллиптический бильярд / Математические этюды. – Электронный ресурс: https://etudes.ru/models/conic-sections-elliptical-billiard/.

MATHEMATICAL CALCULATION OF A VISUAL EDUCATIONAL DEVICE FOR STUDYING THE PARAMETERS OF AN ELLIPTICAL ORBIT OF A SPACE VEHICLE

Merzlikin T.A.

Supervisors: Skvortsova E.V.

(Charity Foundation "Education+", Secondary comprehensive school No. 12", the city of Korolev)

Abstract. The aim of the work is to visually represent an ellipse as a spacecraft orbit. To achieve this goal, it was necessary to create a laboratory device with an inclined plane, on which the characteristics of an elliptical orbit are displayed in a simple form. A special feature of the new device was a visual illustration of the relationship between the characteristics of an ellipse and its shape when the angle of inclination of the plane changes. The representation of the eccentricity of an ellipse by the sine of the angle of deviation of the inclined plane from the vertical turned out to be especially simple - this is the main new result of the work.

УДК 004

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНТРОЛЛЕРА СВЯЗИ

Прусакова Е.С., Набиуллин И.И.

Научный руководитель: Вершинин И.С., заведующий кафедрой, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена проектированию интерфейсного модуля-контроллера связи, обеспечивающего сетевое взаимодействие абонентов по общей шине (ОШ) через централизованный арбитр. На примере курсовой работы по дисциплине «Схемотехника ЭВМ» рассмотрены ключевые аспекты реализации последовательного интерфейса, включая обнаружение управляющих сигналов, формирование ответов и передачу данных. Приведены расчёты энергопотребления схемы на базе микросхем ТТЛ-серий [1].

Задание:

К общей шине (ОШ) подключены несколько абонентов, каждый из которых функционирует автономно в соответствии с управляющей информацией, полученной от специального устройства – арбитра общей шины. Эта шина включает 3 линии связи: одну информационную и две синхронизирующие. Подача информации ведется в последовательном

коде. При этом синхроимпульсы C_1 отмечают начало каждого байта, а C_2 синхронизируют подачу отдельных битов. Основная тактовая частота 1 МГц. Длительность синхроимпульсов 0,25мкс [2].

При необходимости связи арбитр вырабатывает общий для всех абонентов сигнал ВНИМАНИЕ и затем - АДРЕС нужного абонента. Этот абонент, после идентификации своего адреса, выдает в шину сигнал ГОТОВ, либо ЗАНЯТ в зависимости от своего состояния. Получив сигнал готовности, арбитр сразу же формирует непрерывную многобайтную посылку - информационное сообщение, которое замыкается сигналом КОНЕЦ ПЕРЕДАЧИ. Приняв эту посылку, абонент отвечает сигналом КОНЕЦ ПРИЁМА при отсутствии ошибок передачи, либо сигналом ПОВТОРИТЬ ПЕРЕДАЧУ, если обнаружена ошибка. В последнем случае арбитр повторяет весь цикл связи заново.

Информационное сообщение имеет символьный характер. Каждый символ занимает 1 байт (8 разрядов). Алфавит сообщений содержит всего 200 символов [3]. Оставшиеся 56 символов могу быть использованы в качестве сигналов связи: ГОТОВ, ВНИМАНИЕ и др.
Для реализации связи каждому абоненту передаётся интерфейсный модуль-контроллер связи. Сигналы ГОТОВ и ПОВТОРИТЬ ПЕРЕДАЧУ вырабатываются контроллером по получении от своего абонента сигналов конца работы (КР) и ошибки передачи (ОП) соответственно. Информация выдается абоненту в параллельном коде. На рис. 1 и в табл. 1 представлены расположение синхроимпульсов и коды сигналов соответственно.

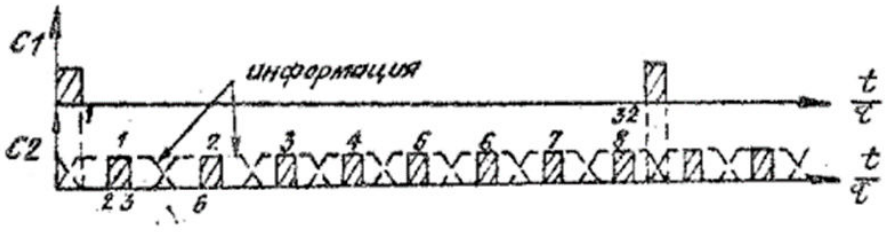


Рисунок 1. Расположение синхроимпульсов

Таблица 1

Коды сигналов

Сигналы (Вариант 12.)	**Код**	
	Десятичный код	Двоичный код
Внимание	251	11111011
Адрес	35	00100011
Готов	202	11001010
Занят	112	01110000
Конец передачи	152	10011000
Конец приема	82	01010010
Повторить передачу	243	11110011

Схему можно условно разделить на три функциональные части:

- Блок обнаружения управляющих сигналов от арбитра.
- Блок формирования ответных сигналов арбитру.
- Блок транзита.

В регистр DD1 последовательно со входа DR (со сдвигом вправо) по тактовому импульсу C_2 заносится информационный сигнал. Предполагается, что посылаемые арбитром 8-битные символы поступают, начиная со старшего бита. Поэтому при занесении каждого последующего бита содержимое регистра сдвигается вправо [3].

Далее при помощи четырех компараторов DD2-DD5 производится идентификация сигналов ВНИМАНИЕ, АДРЕС, ГОТОВ, КОНЕЦ ПЕРЕДАЧИ [3].

В компараторе DD2 производится идентификация младших разрядов сигналов ВНИМАНИЕ или АДРЕС. В компараторе DD3 – старших. В компараторе DD4 производится идентификация младших разрядов сигналов ГОТОВ или КОНЕЦ ПЕРЕДАЧИ. В компараторе DD5 – старших. Результаты дешифрации объединяются при помощи элементов И DD13.1-DD13.2.

Сеанс связи начинается с того, что арбитр подает на шину сигнал ВНИМАНИЕ. Результат идентификации этого слова записывается в триггер DD10.1 по фронту байтового тактового импульса C_1.

В следующем байте после сигнала ВНИМАНИЕ следует сигнал АДРЕС, уникальный для каждого абонента сети. Чтобы соблюдать это правило в схеме присутствует элемент И DD13.3. Результат идентификации адреса заносится в триггер DD10.2 по фронту следующего импульса C_1. После получения сигнала АДРЕС абонент посылает сигнал ГОТОВ. Результат идентификации сигнала записывается в триггер DD11.1 при условии, что в предыдущем байте был сигнал АДРЕС. Это условия проверяется элементом И DD13.4.

Таблица 2

Коды сигналов обнаружения управляющих сигналов от арбитра

	Код		Код старших разрядов		Код младших разрядов	
Сигнал	Десятичный код	Двоичный код	10-ый	2-ый	10-ый	2-ый
Внимание	251	11111011	15	1111	11	1011
Адрес	35	00100011	2	0010	3	0011
Готов	202	11001010	12	1100	10	1010
Конец передачи	152	10011000	9	1001	8	1000

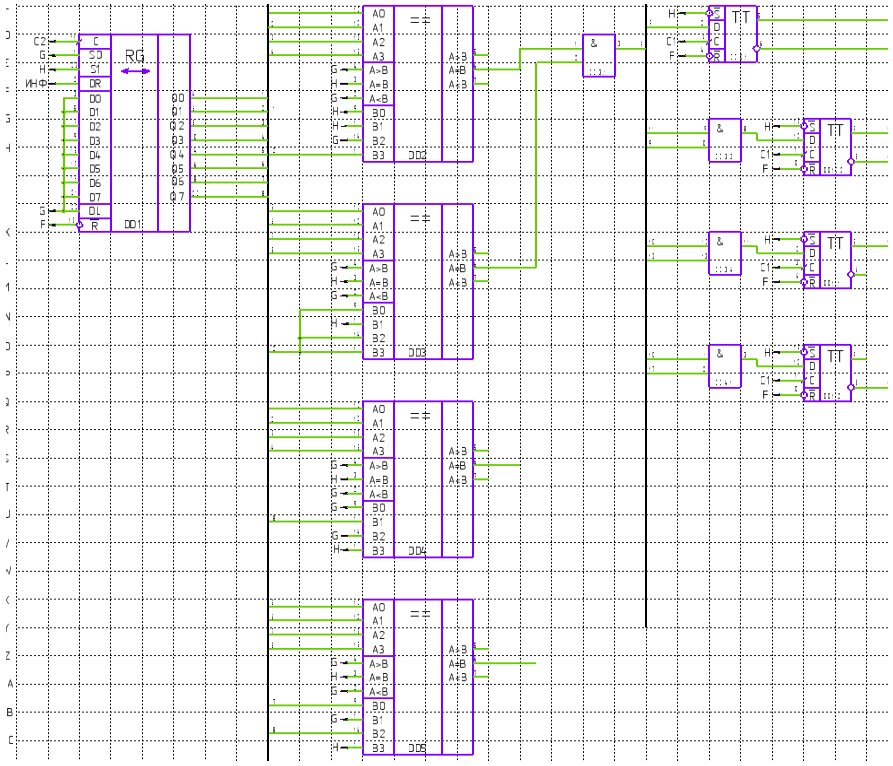


Рисунок 2. Схема блока обнаружения управляющих сигналов от арбитра

Прямой сигнал с этого триггера DD11.1 подается на триггер DD12. Для установки в состояние «1» на вход D подается «1», а на вход C_1 этот же сигнал, проходящий через элемент

задержки DD16.1-DD16.2. Триггер находится в этом состоянии до принятия сигнала КОНЕЦ ПЕРЕДАЧИ.

Идентификация сигнала КОНЕЦ ПЕРЕДАЧИ происходит аналогично сигналу АДРЕС. Принятый сигнал записывается в триггер DD11.2 при условии, что мы находимся в состоянии принятия информационного сообщения (прямой сигнал с триггера DD12 равен «1»). Это условие проверяется с помощью элемента И DD14.1.

Перед началом отправки ответного сигнала, в счетчик DD7 параллельно загружается комбинация «1111» по низкому потенциалу $\overline{C1}$, поданному на вход $\overline{PE}$. По сигналу C_2 счетчик увеличивает свое значение на 1.

Мультиплексор DD8 открывает свой выход на 1 байт после сигнала АДРЕС, а DD9 после сигнала КОНЕЦ ПЕРЕДАЧИ, чтобы ответить на них. Для этого на вход $\overline{EO}$ мультиплексора DD8 подается инвертированный сигнал с триггера DD10.2, а на вход $\overline{EO}$ мультиплексора DD9 подается инвертированный сигнал с триггера DD11.2. На входы DD8 подается такая комбинация, что в зависимости от сигнала КР (1 или 0) устанавливается соответствующий сигнал ответа (ГОТОВ или ЗАНЯТ). Аналогично на входах DD9 в зависимости от сигнала ОП (1 или 0) формируется соответствующий ответ (ПОВТОРИТЕ ПЕРЕДАЧУ или КОНЕЦ ПРИЕМА) [4].

Счетчик и мультиплексоры предназначены для того, чтобы преобразовать параллельный код ответа в последовательный для отправки арбитру по ОШ [4]. Выходы счетчика Q0-Q2 подключены к входам A0-A2 мультиплексоров. Выбор, с какого мультиплексора формируется ответ зависит от триггеров DD10.2 и DD11.2. Когда инверсный сигнал с триггера 10.2 равен «0» на ОШ подается сигнал с мультиплексора DD8 ГОТОВ или ЗАНЯТ в ответ на сигнал АДРЕС от арбитра. Когда инверсный сигнал с триггера 11.2 равен «0» – на ОШ подается сигнал с мультиплексора DD9 ПОВТОРИТЕ ПЕРЕДАЧУ или КОНЕЦ ПРИЕМА в ответ на сигнал КОНЕЦ ПЕРЕДАЧИ от арбитра. По завершении ответа выход мультиплексора закрывается (состояние Z).

Таблица 3

Коды сигналов формирования ответных сигналов арбитру

Готов	1	1	0	0	1	0	1	0
Занят	0	1	1	1	0	0	0	0
MS (D7-D0)	КР	1	$\overline{КР}$	$\overline{КР}$	КР	0	КР	0
Конец приема	1	1	1	1	0	0	1	1
Повторить передачу	0	1	0	1	0	0	1	0
MS (D15-D8)	ОП	1	ОП	1	0	0	1	ОП

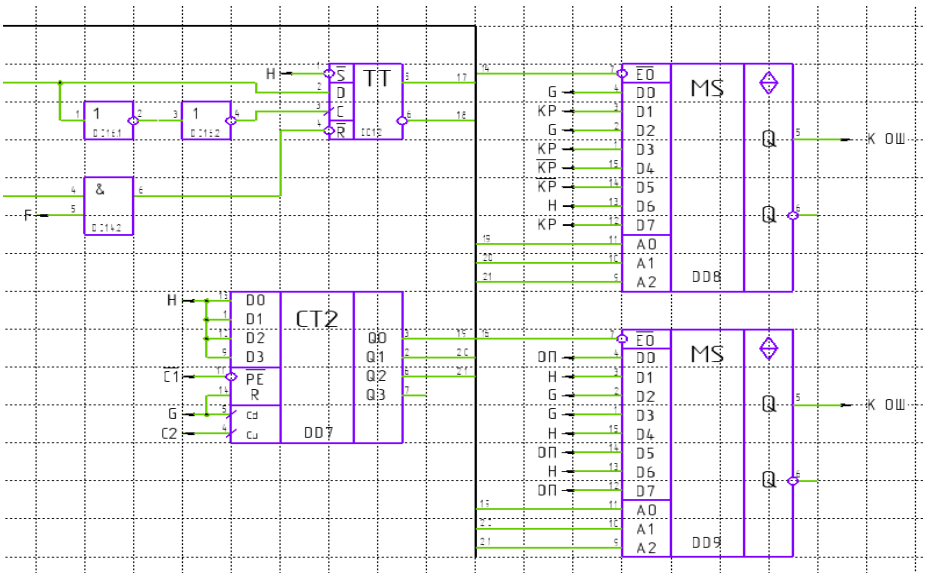


Рисунок 3. Схема блока формирования ответных сигналов арбитру

Информационное сообщение передается путем дублирования сигнала с регистра DD1 в буферный регистр DD6 с каждым приходом фронта сигнала C_1 [5]. Но выход регистра DD6 открыт тогда, когда происходит принятие информационного сообщения, то есть инверсный выход триггера DD12 равен «0». Также проверяется, был ли идентифицирован сигнал КОНЕЦ ПЕРЕДАЧИ (сигнал с DD13.2). Для этого в схеме есть элемент ИЛИ (DD15), сигнал с которого подается на вход $\overline{OE}$ регистра DD6. По приходу сигнала КОНЕЦ ПЕРЕДАЧИ триггер DD12 будет сброшен по входу $\overline{R}$ и вывод информации из DD6 будет запрещен.

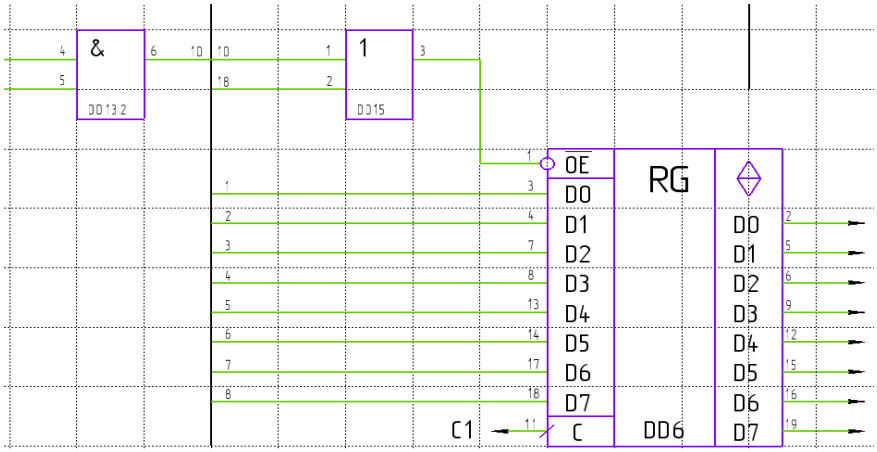


Рисунок 4. Схема блока транзита

В данной статье рассмотрено проектирование интерфейсного контроллера связи, обеспечивающего взаимодействие абонентов через общую шину под управлением централизованного арбитра [6]. Предложенная схема включает три ключевых блока: обнаружение управляющих сигналов, формирование ответов и транзит данных. Использование компараторов, триггеров и мультиплексоров на базе ТТЛ-микросхем позволило реализовать надёжный обмен информацией с поддержкой обработки ошибок.

Практическая значимость работы подтверждается корректной работой алгоритмов идентификации сигналов (ВНИМАНИЕ, АДРЕС, ГОТОВ) и их ответной обработки. Расчёты энергопотребления и временные параметры соответствуют заданным требованиям (тактовой частоте 1 МГц).

Дальнейшее развитие проекта может включать оптимизацию схемы для повышения скорости передачи или адаптацию под другие стандарты связи. Предложенное решение демонстрирует эффективность применения цифровой схемотехники для задач сетевого взаимодействия и может быть использовано в учебных и промышленных проектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Шило В.Л.* Популярные цифровые микросхемы. М.: Радио и связь, 1982.

2. *Райхлин В.А.* Основы цифровой схемотехники: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Информатика и вычислительная техника" / В.А. Райхлин ; В.А. Райхлин ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Казанский гос. технический ун-т им. А. Н. Туполева. Изд. 2-е, перераб. и доп. Казань: [Изд-во Казан. гос. технического ун-та], 2006. 394 с.

3. *Шило В.Л.* Популярные цифровые микросхемы. М.: Радио и связь, 1982.

4. *Файзулаев Б.Н.* Применение интегральных микросхем в электронно-вычислительной технике. М.: Радио и связь, 1986.

5. Т*окхейм Р.* Основы цифровой электроники. М.: Мир, 1988. 391 с.

6. *Horowitz P. Hill W.* The art of electronics //Cambridge: Cambridge University Press2 Edition. 1989.

DESIGNING A COMMUNICATION CONTROLLER

Prusakova E.S., Nabiullin I.I.
Supervisor: Vershinin I.S., Head of the Department, Doctor of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article is devoted to the design of an interface module-a communication controller that provides network interaction of subscribers over a common bus (OSH) through a centralized arbitrator. Using the example of coursework in the discipline "Computer Circuitry", the key aspects of the implementation of a serial interface are considered, including the detection of control signals, the formation of responses and data transmission. Calculations of the energy consumption of a circuit based on TTL-series microcircuits are presented.

УДК 004

ОПТИМИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА СРЕДСТВАМИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРОВ ТТЛ

Семенов Д.Г.
Научный руководитель: Вершинин И.С., заведующий кафедрой, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье рассматриваются принципы работы и схемотехнические особенности генераторов на элементах ТТЛ (транзисторно-транзисторная логика). Основное внимание уделено разработке средств моделирования генераторов импульсов.

Транзисторно-транзисторная логика (ТТЛ) – это тип цифровой логики, построенной на биполярных транзисторах. ТТЛ-схемы обеспечивают быструю работу, высокую помехоустойчивость и стандартные уровни логических сигналов, что делает их удобными для проектирования различных логических устройств, включая генераторы. Генераторы на ТТЛ (ИС-генераторы) строятся на базе стандартных логических элементов, таких как инверторы, элементы И, ИЛИ.

Среди типов генераторов, реализуемых на ТТЛ, можно выделить [1-4]:

1. Автоколебательные генераторы
2. Ждущие генераторы, которые создают одиночный импульс при подаче запускающего сигнала.
3. Ждущие генераторы с бистабильной ячейкой (БЯ)
4. Автоколебательные генераторы с БЯ

Такие схемы легко реализуются, позволяют точно задавать параметры импульсов и устойчиво работают в условиях типичных нагрузок.

В архитектуре ЭВМ генераторы играют критически важную роль, поскольку от стабильности и точности их работы зависит функционирование всей системы.

Была разработана система моделирования, которая позволяет обучающимся моделировать работу различных типов генераторов ТТЛ. Система реализована в виде веб-приложения [5]. Система включает в себя ждущие генераторы, автоколебательные релаксаторы и схемы с бистабильными ячейками. На рис. 1 представлен автоколебательный генератор.

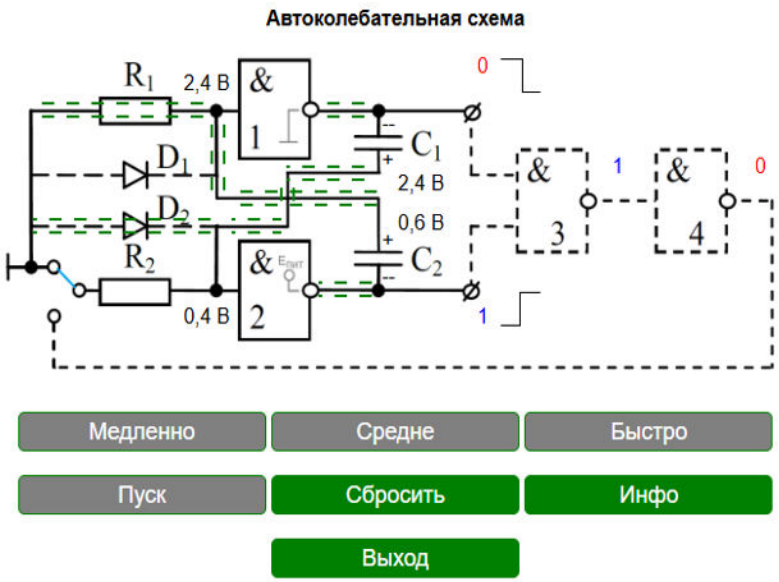


Рисунок 1. Автоколебательный генератор

Обучающиеся могут наблюдать за генерируемыми на выходе сигналами, а также за протеканием токов в процессе генерации. Процесс протекания тока реализован в виде анимации (зеленая пунктирная линия).

Также в системе реализовано моделирование работы ждущего генератора (рис. 2), применяемого для генерации одиночных импульсов фиксированной длительности. Это полезно в интерфейсах, где необходимо генерировать одиночный сигнал ответа или подтверждения при внешнем событии. На рис. 2 показан момент подачи кратковременного входного воздействия (переключатель подключен к 0).

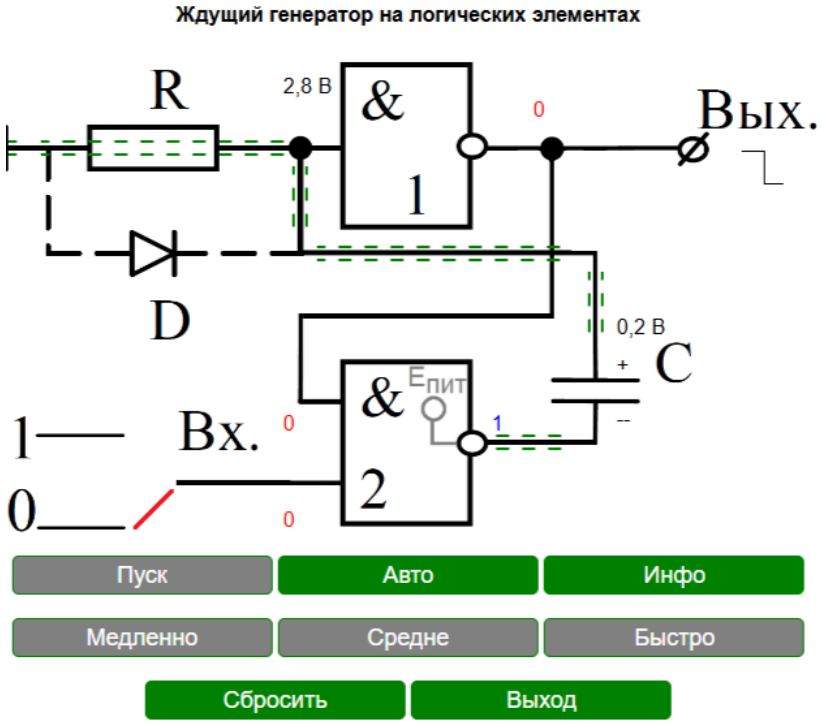


Рисунок 2. Ждущий генератор

В этом случае схема выходит из устойчивого состояния и начинается генерация импульса. При этом элемент 2 закрывается (на выходе 1), элемент 1 открывается, начинается заряд конденсатора. Ток его заряда показан в виде анимированной зеленой штриховой линии.

По мере заряда конденсатора уменьшается потенциал на входе элемента 1, что приводит в конечном итоге к закрытию этого элемента, открытию элемента 2, быстрому разряду конденсатора через прямосмещенный диод Д и возврату схемы в устойчивое состояние.

Этот процесс представлен на рис. 3.

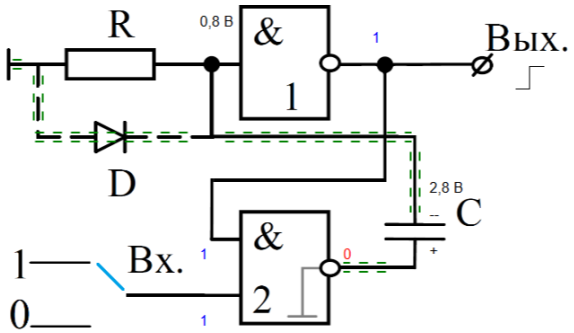


Рисунок 3. Ждущий генератор на этапе разряда конденсатора

Аналогично в системе можно рассмотреть и уяснить принципы работы ждущего генератора с БЯ (рис. 4). Бистабильная ячейка на схеме выделена пунктиром. Необходимость использования бистабильной ячейки связана с тем, что в ранее рассмотренных схемах времязадающие конденсаторы подключены непосредственно к выходу. В результате сигналы на выходах несколько отличаются от прямоугольных.

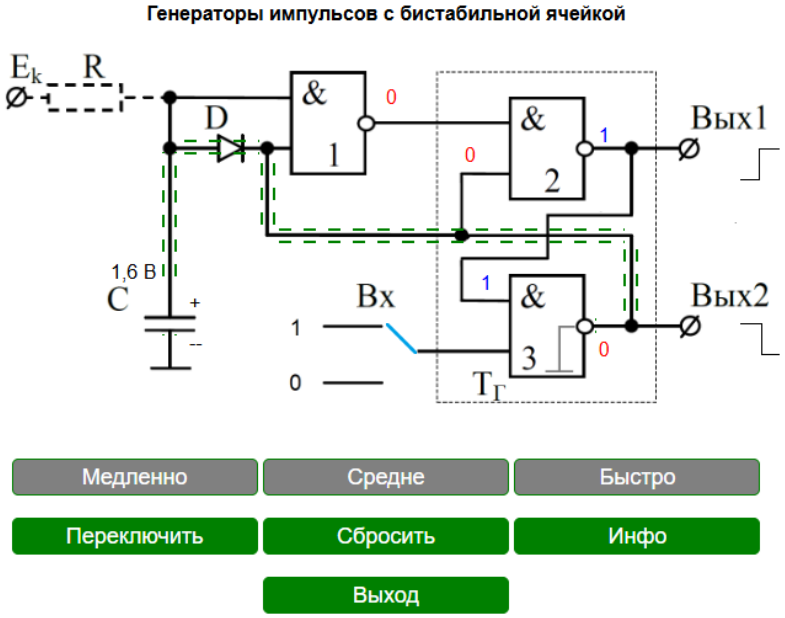


Рисунок 4. Ждущий генератор с бистабильной ячейкой

При переходе к использованию бистабильных ячеек времязадающая емкость в процессе заряда будет отключена от выхода, что приводит к генерации прямоугольного импульса.

Заключение

В статье подведены итоги проведенных исследований по созданию программы моделирования работы генераторов импульсов, построенных с использованием логических элементов ТТЛ. Рассмотрены принципы работы автоколебательного и ждущего генераторов импульсов, а также ждущего генератора с бистабильной ячейкой, приведены примеры, иллюстрирующие работу данных схем в динамике в процессе заряда и разряда времязадающих конденсаторов.

Моделирование работы генераторов ТТЛ представляет собой важный и эффективный инструмент, который позволяет значительно повысить качество и доступность инженерного

образования. Благодаря использованию программных средств моделирования, процесс обучения становится более интерактивным, наглядным и гибким. Обучающиеся получают возможность без ограничений проводить эксперименты, учиться на реальных примерах и развивать свои практические навыки.

Моделирование позволяет не только снижать стоимость образовательного процесса, но и предоставляет новые возможности для реализации учебных курсов, включая дистанционное обучение. В будущем такие инструменты могут стать неотъемлемой частью учебного процесса в области цифровой схемотехники, что способствует более глубокому пониманию принципов работы сложных электронных систем и подготовке специалистов, способных решать задачи в области микроэлектроники и цифровых технологий.

На текущем этапе разработка планируется к внедрению в образовательный процесс КНИТУ-КАИ для проведения обучения по дисциплине «Схемотехника» в рамках направления 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Райхлин В.А. Основы цифровой схемотехники. Учебное пособие для вузов. – Казань: Изд-во КГТУ им. А.Н. Туполева, 2000. – 352 с.

2. Арсентьев С.А., Вершинин И.С. Цифровая схемотехника. Учеб. пособие. – Казань: Изд-во КГТУ им. А.Н. Туполева, 2008. – 28 с.

3. Бахвалов И.Н. Трофимов Ю.В. Цифровая электроника: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2018. – С. 312-320.

4. Витрук Н.П. Микроэлектроника и цифровые устройства: моделирование и проектирование. - СПб.: Питер, 2020. – С. 288-290.

5. *Николаев А.С.* Разработка веб-приложений: HTML, CSS, JavaScript. – М.: Диалектика, 2021. – С. 400.

OPTIMIZATION OF THE EDUCATIONAL PROCESS BY MODELING THE OPERATION OF TTL GENERATORS

Semenov D.G.

Supervisor: Vershinin I.S., Head of the Department, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article discusses the principles of operation and circuit design features of TTL (transistor-transistor logic) generators. The main focus is on the development of pulse generator modeling tools.

УДК 519.633.2

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ РЕШЕТОЧНЫХ УРАВНЕНИЙ БОЛЬЦМАНА ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОЙ АНИЗОТРОПНОЙ ДИФФУЗИИ

Чумарин Г.А.

(Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва)

Аннотация. В работе рассматривается задача восстановления повреждённых областей изображений на основе уравнения нелинейной анизотропной диффузии. В качестве численного алгоритма решения используется схема на основе решеточного уравнения Больцмана с пятью дискретными скоростями и множественными временами релаксации. Предложен алгоритм ускорения расчетов на основе технологии OpenMP распараллеливания кода. Рассмотрено приложение нового метода, оценена точность алгоритма на тестовой выборке из 10000 изображений.

Введение

Метод решеточных уравнений Больцмана (РУБ) изначально создавался как инструмент решения уравнений динамики сплошной среды, в частности уравнений Навье–Стокса [1]. Сегодня его применение существенно шире: от многофазных течений и аэроакустики до задач разреженного газа [2, 3]. Также было построено большое число схем для описания диффузионных процессов [4–9], включая и анизотропные случаи [10, 11]. Решение уравнений диффузии с помощью РУБ нашло применение в обработке изображений: для подавления шума [12,13], выделения контуров [14], в построении гауссовых пирамид для SIFT-алгоритмов [15] и во многих других приложениях [16–20].

Задачи реконструкции изображений имеют много общего с задачами шумоподавления, и поэтому активно развивались методы на основе уравнений диффузионного типа и дифференциальных уравнений более высокого порядка получили распространение [21–25]. В данной работе мы применяем РУБ для решения уравнения нелинейной анизотропной диффузии с целью восстановления повреждённой области изображения.

С помощью описанного в работах [26, 27] подхода, в каждой точке поврежденной области строится структурный тензор, определяющий направление наименьшего изменения интенсивности, изофот. Тензор диффузии строится так, чтобы диффузионный процесс активно протекал вдоль изофот, а перпендикулярно им – слабо. Тогда однородные по интенсивности цвета структуры на границе повреждённой области будут продолжены внутрь.

В качестве численного метода используется решеточное уравнение Больцмана с несколькими временами релаксации. На основе технологии OpenMP разработан алгоритм оптимизации вычислений. Метод протестирован на выборке из 10 000 изображений размером 256×256 пикселей, для которых случайным образом задавались повреждённые участки. Оценена точность восстановления и скорость работы программной реализации.

Решеточное уравнение Больцмана для нелинейной анизотропной диффузии

Рассмотрим изображение в оттенках серого, которое можно описать функцией интенсивности $I(t,\boldsymbol{x})$ где $\boldsymbol{x}=(x,y)\in\mathbb{R}^2$. Эволюция этой функции подчиняется уравнению нелинейной анизотропной диффузии

$$\frac{\partial I}{\partial t}=\nabla\cdot(\boldsymbol{D}\nabla I), \qquad (1)$$

где элементы матрицы $\boldsymbol{D}$ являются функциями от интенсивности цвета, её производных, задавая направление и степень диффузии. В задачах обработки изображений такое уравнение применяют для подавления шума, усиления когерентности и выделения контуров [15, 16, 27].

Для численного решения уравнения (1) воспользуемся решеточным уравнением Больцмана с пятью дискретными скоростями и шестью временами релаксации

$$\mathbf{f}(t+\delta t,\boldsymbol{x}+\mathbf{c}\delta t)-\mathbf{f}(t,x)=\delta t\boldsymbol{M}^{-1}\boldsymbol{S}\boldsymbol{M}(\mathbf{f}^{\mathrm{eq}}-\mathbf{f})(\mathrm{t},\mathbf{x}), \qquad (2)$$

где $\boldsymbol{c}=\left(c_1,c_2,c_3,c_4,c_5\right)$, $\mathbf{f}=\left(f_1,f_2,f_3,f_4,f_5\right)$, $f_i\geq 0$ – есть дискретно-скоростные функции распределения, которые соответствуют дискретным скоростям $\boldsymbol{c}_i$

$$c_1=(0,0),\qquad c_{2,3}=(\pm\mathrm{c},0),\quad c_{4,5}=(0,\pm\mathrm{c}),\quad \mathrm{c}=\frac{\delta x}{\delta t}>0,$$

также

$$M=\begin{pmatrix}1&1&1&1&1\\0&1&-1&0&0\\0&0&0&1&-1\\4&-1&-1&-1&-1\\0&1&1&-1&-1\end{pmatrix},\quad S^{-1}=\begin{pmatrix}\tau_1&0&0&0&0\\0&\tau_{xx}&\tau_{xy}&0&0\\0&\tau_{xy}&\tau_{yy}&0&0\\0&0&0&\tau_4&0\\0&0&0&0&\tau_5\end{pmatrix},$$

где $\tau_1,\ \tau_4, \tau_5, \tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ есть времена релаксации, $c = \dfrac{\delta x}{\delta t}$, здесь δx есть шаг решетки, то есть расстояние между узлами решетки, в данном исследовании $\delta x = 1$, и δt есть шаг по времени, также

$$f_i^{eq} = \frac{I}{5} = \frac{1}{5}(f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5)$$

есть состояние локального равновесия. Отметим, что узлы решетки $\boldsymbol{x} = (x, y)$ соответствуют положению пикселей на изображении, уравнение (2) описывает пространственно-временную эволюцию функций распределения и, соответственно, интенсивности $I \geq 0$.

Эта модель второго порядка по времени и пространству эквивалентна исходному уравнению диффузии. Параметры диффузионного тензора связаны с временами релаксации через разложение Чепмена–Энскога [11, 15]. Обнаружение и усиление изофот основано на вычислении структурного тензора [26, 27], который зависит от градиентов интенсивности, сглаженных Гауссовым фильтром с маленьким стандартным отклонением. Его собственные значения $\lambda_1 \leq \lambda_2$ и векторы $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2$ позволяют выделить изофоты – направления слабого изменения интенсивности. Для восстановления изображения диффузионный процесс организуется так, чтобы сглаживание шло вдоль $\mathbf{v}_1$, продолжая изофоты внутрь повреждённых областей, и ослаблялось вдоль градиента.

Соответствующая диффузионная матрица имеет вид

$$\boldsymbol{D} = \Lambda\, \boldsymbol{diag}\left(\mu_1, \mu_2\right) \Lambda^T,$$

где Λ есть матрица, столбы которой есть вектора $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2$, также $\boldsymbol{diag}\left(\mu_1, \mu_2\right)$ есть диагональная матрица с диагональными элементами

$$\mu_1 = \alpha + c_1 \exp\left(-\frac{c_2}{\left|\lambda_1 - \lambda_2\right|}\right),\ \ \mu_2 = \alpha,$$

где $c_1 \gg \alpha > 0,\ c_2 > 0$. В случае однородного фона имеем $\mu_1 = \mu_2 = \alpha$, так как в этом случае $\lambda_1 = \lambda_2$ и диффузионный процесс изотропен. Если в точке на изображении $\lambda_2 \gg \lambda_1$ то в окрестности точки выражены направления, вдоль которых интенсивность почти постоянна, и направления, вдоль которых интенсивность меняется сильно. Тогда в направлении изофот диффузионное сглаживание происходит с коэффициентом диффузии $\mu_1 \approx \alpha + c_1$, а вдоль градиента интенсивности с коэффициентом диффузии $\mu_2 \approx \alpha \ll \mu_1$.

Таким образом, если за A область на изображении Ω, $A \subset \Omega$, в которой значения интенсивности неизвестны, процесс восстановления изображения сводится к численному решению следующей задачи:

$$\frac{\partial I}{\partial t} = \nabla \cdot (\boldsymbol{D} \nabla I),\ \ \mathrm{t} \geq 0,\ \boldsymbol{x} \in A, \tag{3}$$

$$I|_{t=0} = 0, \quad \boldsymbol{x} \in A; \quad I = I_0, \quad \boldsymbol{x} \in \partial A, \quad t \geq 0,$$

где I_0 – известные значения интенсивности (они определены в области $\boldsymbol{x} \in \Omega \backslash A$). Задача (3) определяет процесс восстановления изображения в области A и решается с помощью схемы (2).

Алгоритм параллельных расчетов

Для реализации численного решения задачи (3) была разработана параллельная программа на языке C++ с использованием библиотеки OpenCV и технологии OpenMP. Основная цель – ускорить расчёты за счёт распараллеливания ресурсоёмких этапов.

Обработка организована циклом по парам «изображение–маска». Маска задаёт область повреждения (белая область), за пределами которой интенсивность фиксирована. На входе изображение нормализуется и переводится в формат с плавающей точкой; область вычислений сужается до прямоугольника, содержащего маску, что уменьшает количество обрабатываемых пикселей. Начальные функции распределения и равновесные распределения

задаются пропорционально интенсивности. Далее выполняется временной цикл, разбитый на четыре блока, распараллеленных с помощью OpenMP:

1. Вычисление градиентов и структурного тензора: Используются явные двойные циклы по области обработки. Для больших изображений внешний цикл распараллеливается директивой #pragma omp parallel for schedule(static), что даёт равномерное распределение нагрузки.

2. Сглаживание структурного тензора: Каждая из трёх компонент обрабатывается в отдельном потоке (#pragma omp parallel sections). Вместо GaussianBlur применена sepFilter2D с заранее вычисленным одномерным ядром Гаусса, что позволяет сократить издержки и ускорить вычисления.

3. Построение тензора диффузии и шаг столкновения: Для каждого пикселя находятся собственные значения и векторы структурного тензора, формируется матрица диффузии, затем выполняется шаг столкновения в пространстве моментов. Наружные циклы распараллеливаются с динамическим распределением (schedule(dynamic,chunk)).

4. Шаг адвекции: На заключительном этапе значения функций распределения обновляются в каждом пикселе, одновременно пересчитываются интенсивность и равновесные распределения. Этот шаг также реализован в виде параллельного двойного цикла.

Численные эксперименты

В первом эксперименте для проверки метода использовалось тестовое изображение cameraman размером 256×256 пикселей (рис. 1).

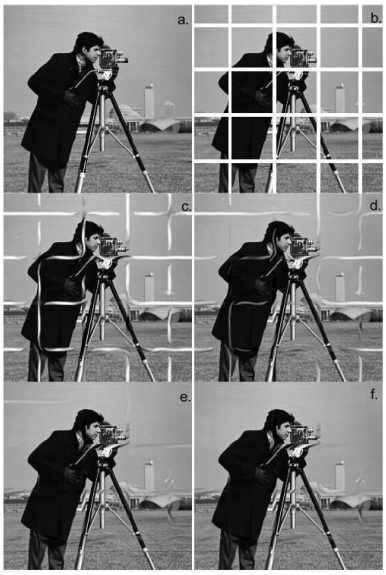


Рис. 1. Изображение cameraman. **a.** начальное изображение; **b.** поврежденное изображение **c.** результат в момент времени $t=8$; **d.** результат в момент времени $t=16$; **e.** результат в момент времени $t=64$; **f.** результат в момент времени $t=192$.

Повреждения представляли собой сетку толщиной 5 пикселей, проходящую через всё изображение. В расчетах задавались параметры: $\alpha=0.05$, $c_1=300$, $c_2=0.0001$.

Радиус фильтра Гаусса в структурном тензоре $r=10$, что превышает толщину сетки и позволяет учесть информацию из неповреждённых областей. Предварительное сглаживание не применялось. Временной шаг $\delta t=0.25$, шаг сетки $\delta x=1$. К стационарному состоянию решение приходит при $t\geqslant 100$. На рис. 1f показан результат для $t=192$. Горизонтальные и вертикальные полосы на изображении практически полностью устранены.

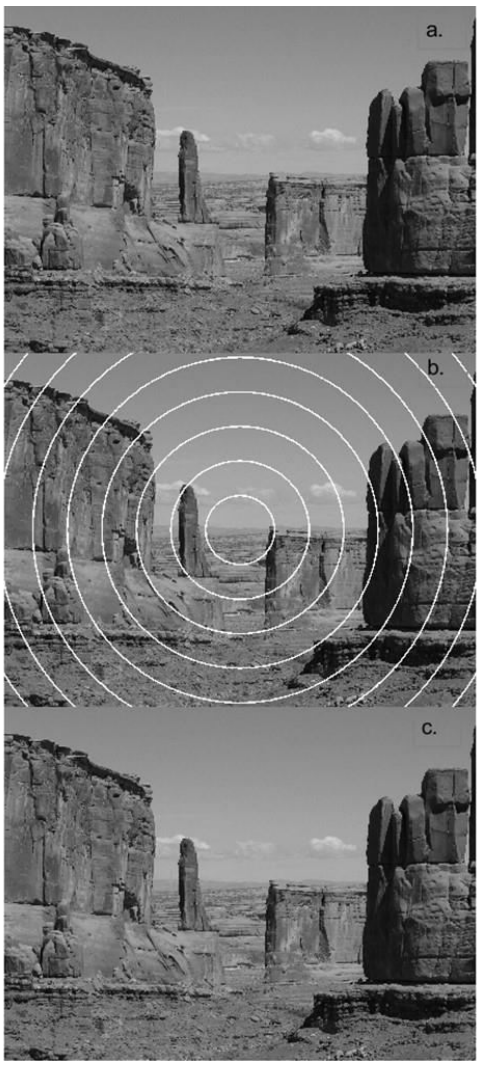


Рис. 2. Изображение parkavenue. **a**. начальное изображение; **b**. поврежденное изображение; **c**. результат в момент времени $t = 500$.

Далее рассматривалось изображение parkavenue высокого разрешения 2048×1536. В этом случае эффект параллельных вычислений проявляется особенно сильно. Повреждения задавались в виде концентрических окружностей толщиной 5 пикселей. Параметры: $\delta t = 0.5$, $r = 15$, остальные – как в первом эксперименте. Для времени $t = 500$ получено восстановленное изображение без заметных искажений, исключая небольшие отклонения на границе «ландшафт–небо» (рис. 2). Полный цикл из 1000 временных шагов занял 66 секунд с OpenMP и 155 секунд без параллелизации (процессор Intel i9-11900KF, 8 ядер). Общий выигрыш составил 2.35 раза. Для блока, отвечающего непосредственно за схему решётки Больцмана (2), ускорение достигло четырёхкратного: 21 секунду против 84. Эффект параллельных вычислений для встроенных процедур пакета OpenCV, использовавшихся для сглаживания структурного тензора, был гораздо слабее, чем для решеточного уравнения Больцмана (2).

В третьем эксперименте для оценки качества и производительности метод был протестирован на 10 000 изображениях из базы Places [28], приведённых к размеру 256×256 и оттенкам серого. Повреждённые области задавались случайным образом в виде объединения эллипсов суммарной площадью около 500 пикселей. Параметры: $\delta t = 0.5$, 150 временных шагов, $r = 15$. Среднее время обработки одного изображения составило 0.08 с (всего 788 с для выборки). Качество оценивалось через индекс структурного сходства (SSIM). Среднее значение SSIM по выборке составило 0.751 при стандартном отклонении 0.127; минимальное значение — 0.275, максимальное — 1. Примеры восстановления пяти изображений приведены на рис. 3.

Рис. 3. Изображения places. Первый столбец – изображения с поврежденной областью, средний столбец – результат обработки, правый столбец – исходные изображения.

Заключение

В работе предложен метод восстановления изображений на основе нелинейной анизотропной диффузии, реализованный через параллельный алгоритм решётки Больцмана. Метод показал эффективность при устранении протяжённых дефектов и был протестирован на выборке из 10 000 изображений: среднее значение индекса SSIM составило 0.751, что подтверждает устойчивость подхода к разнообразным повреждениям. Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением метода на цветные изображения и развитием параллельных реализаций, включая использование графических процессоров. Кроме того, интерес представляет адаптация решётки Больцмана к моделям диффузии более высокого порядка, что может повысить качество восстановления сложных структур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *McNamara G., Zanetti G.* Use of the Boltzmann equation to simulate lattice gas automata // Phys. Rev. Lett. 1988. V. 61. P. 2332–2335.

2. *Krüger T., Kusumaatmaja H., Kuzmin A., Shardt O., Silva G., Viggen E.* The Lattice Boltzmann Method. Principles and Practice. Springer, 2017.

3. *Succi S.* Lattice Fluid Dynamics: Thirty-five Years Down the Road // Comptes Rendus. Mécanique. 2022. V. 350. P. 1–12.

4. *Chai Z., Zhao T.S.* Lattice Boltzmann model for the convection-diffusion equation // Phys. Rev. E. 2013. V. 87. 063309.

5. *Chen Y., Chai Z., Shi B.* A general fourth-order mesoscopic multiple-relaxation-time lattice Boltzmann model and its macroscopic finite-difference scheme for two-dimensional diffusion equations // J. Comput. Phys. 2024. V. 509. 113045.

6. *Suga S.* Numerical Schemes Obtained from Lattice Boltzmann Equations for Advection Diffusion Equations // Int. J. Mod. Phys. C. 2006. V. 17. P. 1563–1577.

7. *Suga S.* Stability and accuracy of lattice Boltzmann schemes for anisotropic advection-diffusion equations // Int. J. Mod. Phys. C. 2009. V. 20. P. 633–650.

8. *Suga S.* An Accurate Multi-level Finite Difference Scheme for 1D Diffusion Equations Derived from the Lattice Boltzmann Method // J. Stat. Phys. 2010. V. 140. P. 494–503.

9. *Wolf-Gladrow D.* Lattice Boltzmann Equation for Diffusion // J. Stat. Phys. 1995. V. 79. P. 1023–1032.

10. *Chai Z., Shi B., Guo Z.* A Multiple-Relaxation-Time Lattice Boltzmann Model for General Nonlinear Anisotropic Convection-Diffusion Equations // J. Sci. Comput. 2016. V. 69. P. 355–390.

11. *Yoshida H., Nagaoka M.* Multiple-relaxation-time lattice Boltzmann model for the convection and anisotropic diffusion equation // J. Comput. Phys. 2010. V. 229. P. 7774–7795.

12. *Chang Q., Yang T.* A Lattice Boltzmann Method for Image Denoising // IEEE Trans. Image Process. 2009. V. 18. P. 2797–2802.

13. *Jawerth B., Lin P., Sinzinger E.* Lattice Boltzmann Models for Anisotropic Diffusion of Images // J. Math. Imag. Vision. 1999. V. 11. P. 231–237.

14. *Chen J., Chai Z., Shi B., Zhang W.* Lattice Boltzmann method for filtering and contour detection of the natural images // Comput. Math. Appl. 2014. V. 68. P. 257–268.

15. *Ilyin O.* Lattice Boltzmann Algorithm for Vessel Enhancement Problems // Lobachevskii J. Math. 2024. V. 45. P. 5823–5830. DOI: 10.1134/S1995080224606714.

16. *Ilyin O.* Hybrid Lattice Boltzmann Model for Nonlinear Diffusion and Image Denoising // Mathematics. 2023. V. 11. 4601.

17. *Ilyin O.* Lattice Boltzmann model for diffusion equation with reduced truncation errors: Applications to Gaussian filtering and image processing // Appl. Math. Comput. 2023. V. 456. 128123.

18. *Michelet J., Tekitek M.M., Berthier M.* Multiple Relaxation Time Lattice Boltzmann Schemes for Advection-Diffusion Equations with Application to Radar Image Processing // J. Comput. Phys. 2022. V. 471. 111612.

19. *Nguyen K.L., Tekitek M., Delachartre P., Berthier M.* Multiple Relaxation Time Lattice Boltzmann Models for Multigrid Phase-Field Segmentation of Tumors in 3D Ultrasound Images // SIAM J. Imag. Sci. 2019. V. 12. P. 1324–1346.

20. *Zhang W., Shi B.* Application of Lattice Boltzmann Method to Image Filtering // J. Math. Imag. Vis. 2012. V. 43. P. 135–142.

21. *Barbu T.* Detail-preserving fourth-order nonlinear pde-based image restoration framework // J. Image Graphics. 2020. V. 8. P. 5–8.

22. *Burger M., He L., Schönlieb C.-B.* Cahn–Hilliard Inpainting and a Generalization for Grayvalue Images // SIAM J. Imag. Sci. 2009. V. 2. P. 1129–1167.

23. *Duan J., Ward W., Sibbett L., Pan Z., Bai L.* Introducing diffusion tensor to high order variational model for image reconstruction // Digital Signal Processing. 2017. V. 69. P. 323–336.

24. *Papafitsoros K., Schönlieb C.-B.* A combined first and second order variational approach for image reconstruction // J. Math. Imaging Vis. 2014. V. 48. P. 308–338.

25. *Zou Q.* An image inpainting model based on the mixture of Perona–Malik equation and Cahn–Hilliard equation // J. Appl. Math. Comput. 2021. V. 66. P. 21–38. DOI: 10.1007/s12190-020-01422-8.

26. *Weickert J.* Anisotropic Diffusion in Image Processing. Stuttgart: B.G. Teubner, 1998.

27. *Weickert J.* Coherence-Enhancing Diffusion Filtering // Intern. J. Comput. Vis. 1999. V. 31. P. 111–127.

28. *Zhou B., Lapedriza A., Khosla A., Oliva A., Torralba A.* Places: A 10 million Image Database for Scene Recognition // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 2018. V. 40. P. 1452–1464.

PARALLEL ALGORITHM FOR IMAGE RESTORATION BASED ON THE LATTICE BOLTZMANN EQUATION FOR NONLINEAR ANISOTROPIC DIFFUSION

Chumarin G.A.

(Federal Research Center «Computer Science and Control» of the Russian Academy of Sciences, Moscow)

Abstract. This work addresses the problem of restoring damaged regions in images using the nonlinear anisotropic diffusion equation. As a numerical algorithm, we employ a scheme based on the lattice Boltzmann equation with five discrete velocities and multiple relaxation times. An acceleration strategy is proposed using OpenMP-based parallelization. The method is applied to image restoration tasks, and the accuracy of the algorithm is evaluated on a test set of 10,000 images.

УДК 629.7.018.4

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ О НАГРУЖЕННОСТИ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Шульга А.А., Аликин Н.А.

(ПАО «Яковлев», г. Москва)

Аннотация. В работе представлено описание программного комплекса *Lavas*, разработанного авторами на языке программирования *Python*. Комплекс обладает эргономичным пользовательским интерфейсом и предназначен для автоматизированной обработки и анализа больших массивов данных, полученных при проведении физических (стендовые и лётные испытания самолёта) и численных (расчёты с использованием метода конечных элементов, метода конечных объемов и др.) экспериментов, в части прочности, вибраций и акустики.

Введение

В настоящее время неотъемлемой частью разработки, сертификации и поддержки эксплуатации пассажирской авиационной техники является получение и анализ данных, регистрируемых в процессе проведения стендовых и лётных испытаний, а также при эксплуатации самолёта.

На этапе отработки прочности в ходе сертификационных испытаний ведётся непрерывная запись большого количества сигналов различной природы (силовые факторы, вибрации, уровни звукового давления, ход и перемещение различных штоков, углы отклонения элементов управления и прочие параметры полёта). При высокой частоте дискретизации и продолжительности полёта объём регистрируемых данных оказывается достаточно большим – десятки и сотни Гб. Анализ такого объёма данных является крайне трудоёмким процессом, а её ускорение – актуальной задачей.

Для анализа полётных данных довольно распространённым решением является разработка скриптов/макросов на языках программирования *Python*, *C++*, системах компьютерной алгебры *Mathcad*, *Wolfram Mathematica*, пакете *MATLAB* и программе для работы с таблицами *Excel*. При этом для решения задачи обработки сигналов каждый раз реализуется похожий функционал, поскольку используются общепринятые алгоритмы. Такой подход не является эффективным.

Использование готовых продуктов также имеет недостатки, такие как: высокая стоимость лицензии; ограничение доступа к зарубежным решениям; невозможность в большинстве случаев добавить функции, требуемые для решения новых задач, и т. д.

С целью решения описанных проблем авторами был разработан программный комплекс для анализа больших массивов данных, получаемых с самолётных датчиков, в котором были собраны актуальные и широко применяемые методы и алгоритмы цифровой обработки сигналов в части прочности и вибраций. Их реализация, а также удобный и понятный пользовательский интерфейс, выполнены на высокоуровневом языке программирования *Python*.

Описание программного комплекса

Расчётный программный комплекс, получивший название *Lavas* (аббр. от англ. *Load Analyser for Vibration, Acoustics and Strength*), позволяет проводить обработку и анализ больших массивов данных, полученных при проведении физических (стендовые и лётные испытания самолёта) и численных (расчёты с использованием метода конечных элементов, метода конечных объемов и др.) экспериментов, в части прочности, вибраций и акустики.

Разработанный авторами комплекс преимущественно применяется для демонстрации соответствия авиационных конструкций требованиям отраслевых норм. Предусмотрена возможность сравнения результатов анализа с допускаемыми уровнями и значениями, принятыми в авиации. Такие требования для бортового оборудования приведены в КТ-160G/14G (раздел 8 «Вибрация») [1].

Комплекс адаптирован для обработки больших массивов данных за счёт: применения эффективных библиотек *Python*, использующих параллельные вычисления; реализации нескольких потоков выполнения программы, позволяющих пользователю продолжать работу в комплексе во время выполнения длительных вычислений.

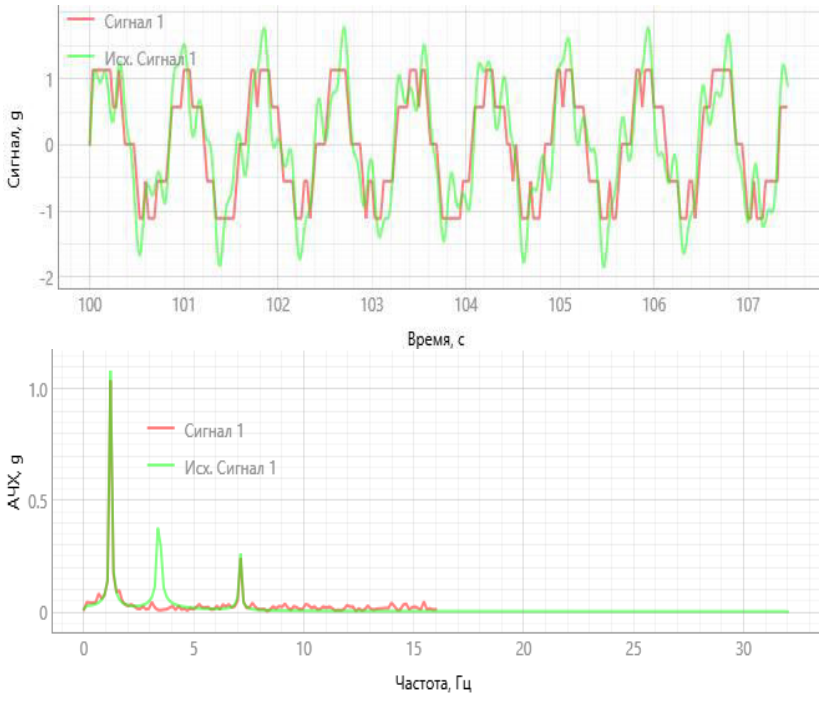


Рисунок 1.Временная реализация (сверху) и амплитудный спектр (снизу) исходного и обработанного сигналов

Реализованы следующие методы цифровой обработки сигналов [2]: фильтрация – для выделения интересующих диапазонов частот, устранения нежелательных шумов и помех в определённых частотных диапазонах; прореживание – для снижения объёма обрабатываемых данных и ускорения последующего анализа; квантование – для имитирования работы аналого-цифрового преобразователя (который преобразует аналоговый сигнал в цифровую форму для дальнейшего анализа); сглаживание – для устранения шумов и выбросов, а также для получения более гладкой временной реализации. Например, на рисунке 1 приведён пример цифровой обработки короткого сигнала с частотой дискретизации 64 Гц: фильтрация в диапазоне от 2 до 5 Гц, прореживание с шагом, равным 2, и квантование с числом классов 5.

Обработка сигнала в соответствии с заданными настройками может проводиться в двух режимах: в простом – изменяются исходные сигналы; в итерационном –изменяются сигналы, изменённые на предыдущей итерации.

Разработанный комплекс позволяет анализировать сигналы в частотной области [3]: проводить анализ спектра по выборочным реализациям сигнала, что увеличивает скорость анализа и помогает выделить выбросы; строить графики амплитудно-частотной характеристики, спектральной плотности мощности (СПМ) и среднеквадратического значения (СКЗ); рассчитывать СКЗ в заданном диапазоне частот; выполнять сравнение СПМ и значений СКЗ сигналов с кривыми вибраций по КТ-160G/14G или с кривыми, загруженными пользователем. Так, на рисунке 2 приведён пример сравнения полётных вибраций магистрального пассажирского самолёта (сигналы 1-6) с некоторыми кривыми вибраций из КТ-160G/14G (B2, B, B3, C, D, E).

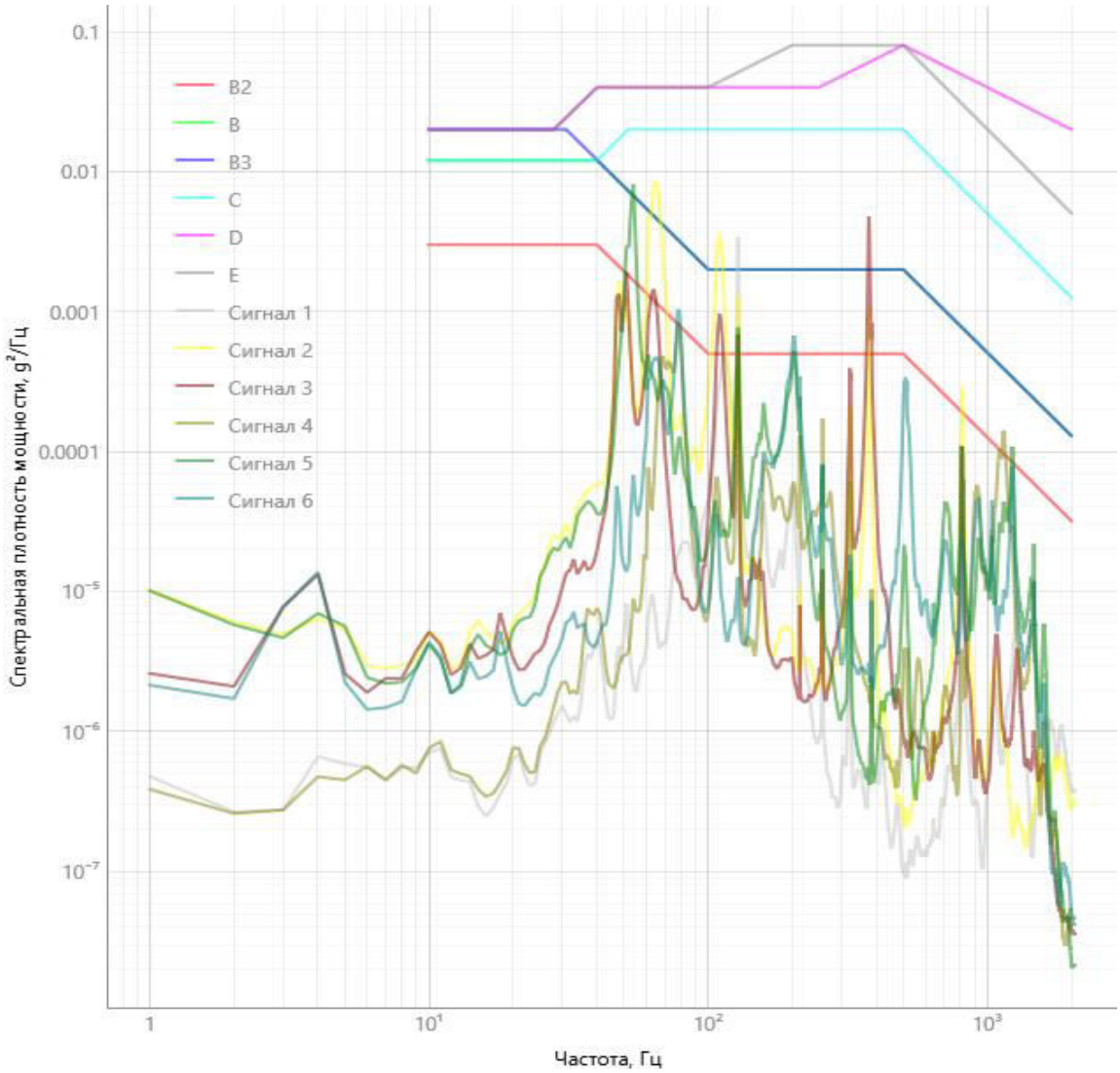


Рисунок 2. Графики СПМ в сравнении с кривыми вибрации по КТ-160G/14G

Для реализации описанного функционала использованы следующие библиотеки *Python*: *PySide6* – для создания пользовательского интерфейса; *PyQtGraph* – для отображения графиков больших массивов данных; *Pandas* и *Dask* – для быстрого чтения файлов с данными; *SciPy* – для базовых алгоритмов работки сигналов; *NumPy* – для работы с большими массивами данных; *Numba* – для ускорения выполнения авторских реализаций алгоритмов обработки сигналов.

С помощью инструмента *PyInstaller* программный комплекс собран в единый исполняемый файл, который не требует от пользователя установки интерпретатора языка *Python* и загрузки использованных в комплексе библиотек.

Заключение

Программный комплекс *Lavas*, разработанный авторами для анализа больших массивов данных о нагруженности авиационных конструкций, позволяет проводить цифровую обработку сигналов и анализировать их спектры.

Комплекс успешно применён при подтверждении соответствия: конструкции авиационной техники – требованиям АП-25 [4] (раздел С «Прочность», п. 305(е) и п. 571), а также бортового оборудования – положениям КТ-160G/14G (раздел 8 «Вибрация») [1].

Предполагаемыми направлениями развития являются внедрение алгоритмов расчёта повреждаемости конструкций; добавление новых методов обработки и анализа сигналов, например, удаления шумов от работы наземных приборов; использование бинарного формата для увеличения скорости открытия файла и сохранения результатов в комплексе; добавление планировщика задач для автоматизации обработки большого числа файлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Квалификационная требования КТ-160G/14G. Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования (внешние воздействующие факторы – ВВФ). Требования, нормы и методы испытаний. Межгосударственный авиационный комитет. Авиационный регистр. 2015. – 462 с.

2. *Рабинер Л., Гоулд Б.* Теория и применение цифровой обработки сигналов. — М.: Мир, 1978. – 848 с.

3. *Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н*. Цифровая обработка сигналов: учеб. Пособие для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1990. – 256 с.

4. Авиационные правила. Часть 25. Нормы лётной годности самолётов транспортной категории // Межгосударственный авиационный комитет. Авиационный регистр. 7-е издание с поправками 1-10.– 2022.

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE COMPLEX FOR ANALYZING BIG DATA ON THE LOAD OF AVIATION STRUCTURES

Shulga A.A., Alikin N.A.

(PJSC «Yakolev», Moscow)

Abstract. The paper presents a software complex *Lavas* being developed by the authors on the *Python* programming language. This complex features an ergonomic user interface and is designed for the automated processing and analysis of large datasets obtained from physical (ground and flight tests of aircraft) and numerical (calculations using the finite element method, finite volume method, etc.) experiments, focusing on strength, vibrations, and acoustics.

СЕКЦИЯ 17
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 004.9

ПРИМЕНЕНИЕ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ АВИАЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ахметзянова Р.Р.

Научный руководитель: Медведев М.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Аннотация. Статья посвящена использованию технологии дополненной реальности (англ. Augmented Reality, AR) в подготовке специалистов авиационного производства, что является важным направлением развития образовательных технологий в отрасли. Исследуются возможности AR при создании интерактивных обучающих модулей, которые позволят моделировать сложные технологические процессы без риска для оборудования и сотрудников. Также в данной статье рассматриваются преимущества и недостатки технологии, примеры успешного внедрения технологии на производстве. В статье подчеркиваются перспективы развития дополненной реальности в авиационной промышленности, что является необходимым условием для повышения конкурентоспособности и технологического развития.

Авиационная промышленность – одна из самых технически сложных отраслей в мире, так как летательный аппарат состоит из миллионов деталей, и каждая играет важную роль в обеспечении надежности и безопасности полетов. И неисправности, и ошибки при сборке или обслуживании недопустимы, так как могут повлиять на работу всего летательного аппарата и стоить человеческих жизней. На сегодняшний день традиционные методы обучения не справляются с растущими требованиями к скорости и качеству подготовки специалистов. В этом случае необходимо использовать современные технологии и инновационные решения. Одним из самых перспективных инструментов является технология дополненной реальности (англ. Augmented Reality, AR), позволяющая значительно повысить качество и наглядность образовательного процесса. Это открывает перспективные возможности для моделирования сложных производственных операций, подготовки сотрудников без риска для оборудования и здоровья, а также для сокращения времени адаптации специалистов.

Термин дополненная реальность впервые ввел в 1990 году инженер-исследователь корпорации Boeing Том Коделл. Он использовал это понятие для описания цифровых экранов, которые применялись в процессе сборки самолетов. Рабочие носили портативные компьютеры и могли просматривать чертежи и инструкции через шлемы с полупрозрачными дисплейными панелями [1].

На сегодняшний день дополненная реальность представляет собой технологию, которая накладывает различные цифровые объекты, подсказки или анимации в реальном мире с помощью специальных очков, планшетов, смартфонов и других устройств. Если виртуальная реальность это новая, созданная с помощью компьютерной графики, среда, то AR не заменяет окружающий мир, а дополняет его цифровыми объектами и при этом сохраняется связь с физическим миром.

Дополненная реальность включает в себя такие технологии как компьютерное зрение (область, связанная с обработкой и анализом визуальных данных), 3D-моделирование (процесс создания различных трехмерных объектов), система трекинга движений (отслеживание движений и положения оператора) и др. [2]. Проекты дополненной реальности можно разделить условно на 2 вида: с использованием маркеров и безмаркерные. AR-маркер это изображение, которое будет искать приложение в реальном мире [3].

Эти технологии позволяют создавать интерактивные инструкции, тренажеры и системы поддержки принятия решений прямо на рабочем месте. Например, будущие авиаинженеры смогут "разбирать" и "собирать" двигатели, шасси или системы управления прямо в воздухе перед собой.

Системы дополненной реальности могут использоваться для ускорения ремонта. Например, пользователь наводит камеру на деталь самолета, и система подсвечивает зоны вероятных неисправностей, показывает пошаговую инструкцию и необходимые инструменты для ремонта. А эксперты могут удаленно подключаться и помогать сотрудникам в режиме реального времени. Соответственно, технология также может использоваться для повышения квалификации сотрудников и проведения занятий в дистанционном формате. Более того возможно наложение 3D-моделей новых деталей на реальные объекты, что ускоряет процесс проектирования. Инженеры смогут увидеть, как изменения повлияют на конструкцию.

Существует множество примеров успешного внедрения технологии дополненной реальности в промышленность. Например, корпорация Boeing активно использует AR на ключевых этапах производства, добиваясь впечатляющих результатов. Один из самых ярких примеров – прокладка электропроводки в грузовом самолете Boeing 747-8 Freighter. Каждое такое воздушное судно требует более 209 километров проводов – это как расстояние от Москвы до Твери на поезде. Традиционные методы монтажа занимают огромное количество времени и высока вероятность человеческих ошибок. Поэтому Boeing внедрил AR-очки с платформой Skylight, которые проецируют пошаговые инструкции в поле зрения рабочих. Теперь сотрудники видят: куда нужно проложить кабель, какие детали использовать, как проверить соединения. Благодаря данной инновационной технологии скорость монтажа выросла на 25%, количество ошибок сократилось, а голосовые команды и сканирование штрихкодов ускорили процесс [4].

Lockheed Martin также внедрила технологию дополненной реальности в процесс сборки истребителей пятого поколения. Специалисты, оснащённые умными очками, получают визуальные подсказки, что кардинально меняет подход к производству. Эта инновация позволяет: в реальном времени отображать схемы сборки сложных узлов, точно позиционировать детали с цифровой маркировкой. Благодаря этому скорость производства выросла на 30%, а количество ошибок сократилось до минимальных значений. Технология особенно полезна при работе с уникальными компонентами истребителей F-35, где традиционные методы контроля занимали много времени [4,5].

Первый в России опыт промышленного применения дополненной реальности в авиастроении был реализован на авиационном заводе имени Ю.А. Гагарина в Комсомольске-на-Амуре. Именно здесь, в рамках гособоронзаказа в 2020 году, началась серийная сборка истребителей пятого поколения Су-57 с использованием передовых цифровых технологий. Специалисты предприятия используют AR-устройства для точного позиционирования деталей при сборке. Виртуальная 3D-модель агрегата в реальном времени проецируется на физический сборочный образец, создавая эффект "цифрового двойника". Особое значение имеет система маркеров, определяющих опорные точки конструкции, на них базируется вся цифровая разметка. После монтажа каждого узла система позволяет: автоматически верифицировать расположение деталей, выявлять отклонения от проекта, оптимизировать процесс приемки агрегатов. Дополненная реальность также нашла применение в покрасочных работах. Система точнее определяет границы цветовых зон, снижает вероятность ошибок при нанесении покрытий, сокращает время технологических операций. По предварительным данным, использование технологии дополненной реальности позволило: повысить точность сборки на 40%, сократить время производственного цикла, минимизировать количество доработок [6].

Можно выделить следующие преимущества технологии дополненной реальности: снижение затрат на обучение (нет необходимости в дорогих физических макетах, достаточно цифровых 3D-моделей), сокращение времени адаптации, минимизация ошибок за счет пошаговых подсказок, возможность удаленной проверки (специалист из другого города может подключаться и давать подсказки в реальном времени). Но у всех технологий есть как достоинства, так и недостатки. Внедрение технологии AR сталкивается со следующими сложностями: высокая стоимость оборудования, каждая модель самолета требует уникального программного обеспечения, которое нужно разрабатывать, технические ограничения

(задержки в передаче изображения могут мешать работе, точность трекинга неидеальна для микроскопических деталей).

Для разработки проектов расширенной реальности часто используется игровой движок Unity, так как является кроссплатформенным, универсальным движком, имеется большое количество инструментов для разработки таких проектов. Для начала работы используется XR Interaction Toolkit – высокоуровневая система взаимодействия на основе компонентов в Unity, которая предоставляет набор инструментов для реализации взаимодействия пользователя с 3D-объектами и пользовательским интерфейсом в XR-сценах, упрощая кроссплатформенную разработку.

Для разработки приложений дополненной реальности в Unity также используется пакет AR Foundation, который предоставляет разработчикам возможности определения положения и ориентации устройства в пространстве, обнаружения плоскостей, добавления и отслеживания точек взаимодействия в реальном мире.

AR Foundation и XR Interaction Toolkit позволяют работать со сложным оборудованием, деталями и процессами. С помощью AR Foundation определяются реальные поверхности для размещения 3D-моделей, а XR Interaction Toolkit предоставляет возможность взаимодействовать с виртуальными моделями: вращать, приближать, рассматривать детали. Это способствует более точной проверке конструкций и эффективному обучению специалистов. Кроме того, можно оценить эргономику конструкции и её взаимодействие с другими системами, что позволяет выявлять проблемы на этапе проектирования.

В рамках исследования возможностей применения дополненной реальности при обучении процессам изготовления деталей было разработано демонстрационное приложение (см. рис. 1). Оно позволяет визуализировать и взаимодействовать с виртуальными моделями оборудования и деталей в режиме реального времени, получать пошаговые инструкции, а также выполнять практические задания в иммерсивной среде. Это способствует эффективному усвоению теоретических знаний и развитию практических навыков.

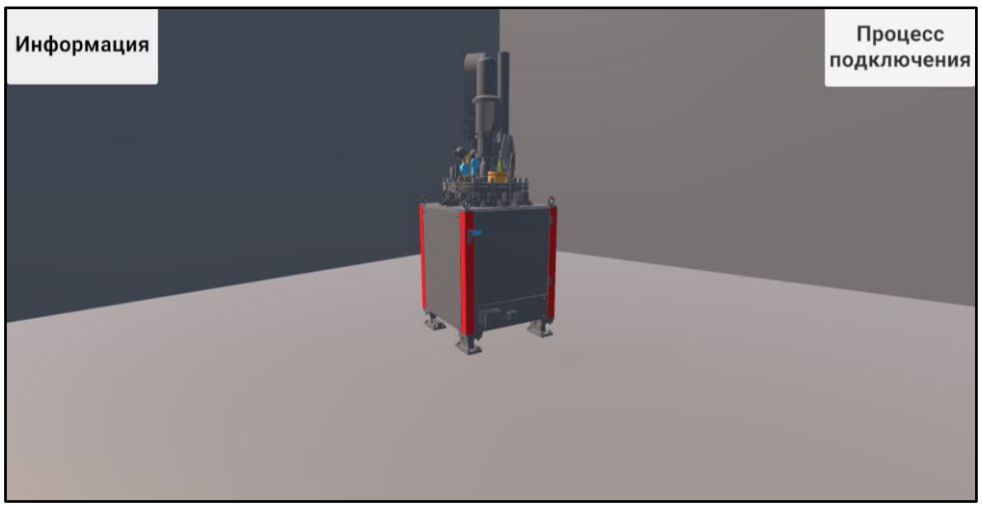


Рис. 1. Пример модели и интерфейса проекта дополненной реальности

Таким образом, применение дополненной реальности при подготовке специалистов и в производственных процессах позволяет сократить время и расходы, повысить качество и минимизировать ошибки. Дополненная реальность – это не будущее, а настоящее авиационной промышленности. Компании, которые внедряют эти технологии сегодня, получают конкурентное преимущество завтра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Иванова А*. Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения // Стратегические решения и риск-менеджмент. — 2018. — Вып. 3 (108). — ISSN 2618-947X. Архивировано 20 июля 2020 года.

2. *Москалец Г.В*. Опыт проектирования дополненной реальности в Unity, с использованием Vuforia и маркеров Aruco / Г.В. Москалец, И.А. Трещев // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению: Материалы Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 07–11 февраля 2022 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 128-130.

3. *Маслова Ю.А., Белов Ю.С.* ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ // E-Scio. 2022. №2 (65). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-dopolnennoy-realnosti (дата обращения: 10.07.2025).

4. *Расторгуева А.И., Колтаков А.А., Илларионов В.В.* Применение приложений на основе технологии дополненной реальности в целях подготовки военных авиационных специалистов // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2017. №1 (1). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-prilozheniy-na-osnove-tehnologii-dopolnennoy-realnosti-v-tselyah-podgotovki-voennyh-aviatsionnyh-spetsialistov (дата обращения: 10.07.2025).

5. *Азевич А.И*. Дополненная реальность и дополненная виртуальность как виды иммерсионных технологий обучения / А.И. Азевич // Фундаментальные проблемы обучения математике, информатике и информатизации образования: Сборник тезисов докладов международной научной конференции, посвященной 180-летию педагогического образования в г. Ельце, Елец, 25–27 сентября 2020 года. – Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2020. – С. 116-118.

6. *Евтодьева М.Г.* Аддитивное производство и дополненная реальность как новые производственные технологии в авиационной отрасли / М. Г. Евтодьева // Вестник МГИМО Университета. – 2020. – Т. 13, № 5. – С. 307-330. – DOI 10.24833/2071-8160-2020-5-74-307-330.

APPLICATION OF AUGMENTED REALITY FOR TRAINING AVIATION PRODUCTION SPECIALISTS

Akhmetzyanova R.R.

Supervisor: Medvedev M.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article is devoted to the use of augmented reality technology (English Augmented Reality, AR) in the training of aviation production specialists, which is an important and modern area of development of educational technologies in the industry. The capabilities of AR when creating interactive training modules are investigated, which will allow you to simulate complex technological processes without risk for equipment and staff. This article also discusses the advantages and disadvantages of technology, examples of the successful implementation of AR projects in production. The article emphasizes the prospects for the development of augmented reality in the aviation industry, which is a prerequisite for increasing competitiveness and technological development.

УДК 004

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ВЫДАЧИ И ПОЛУЧЕНИЯ ПОСЫЛОК НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Васильев Е.Э., Милошина А.И., Котляр Д.И.

Научный руководитель: Котляр Дмитрий Игоревич, к. т. н.

(Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева, г. Рыбинск)

Аннотация. В данном докладе рассматривается программное обеспечение, предназначенное для автоматизации процессов выдачи и получения посылок, изготавливаемой службами предприятия. Описываются ключевые функциональные

возможности системы, включая аутентификацию пользователей, назначение прав доступа, настройку параметров системы и взаимодействие с постаматом.

Система представляет собой веб-приложение, предназначенное для автоматизации выдачи и приёма посылок. Основные программные модули разработаны на языках Java (Kotlin) [1], Python [2] и TypeScript. Пользовательский интерфейс создан с использованием современной библиотеки NG-ZORRO, что обеспечивает удобство и отзывчивость системы.

Благодаря веб-архитектуре приложение не требует мощного оборудования от пользователей, делая его доступным для широкого круга клиентов. Рекомендуемые системные требования включают 4 ГБ оперативной памяти и двухъядерный процессор с частотой от 1,8 ГГц. Для работы с системой достаточно любого современного WEB-браузера, что обеспечивает совместимость с различными операционными системами. Доступ к веб-клиенту осуществляется через стандартные WEB-браузеры, такие как Google Chrome, Mozilla Firefox и Яндекс.Браузер, путем ввода адреса приложения в адресной строке.

Архитектура системы состоит из двух основных компонентов:

1. **ПО постамата** – отвечает за взаимодействие с пользователем и управление оборудованием.
2. **Серверное ПО** – реализует бизнес-логику и хранение данных.

Доступ к веб-клиенту осуществляется через стандартные браузеры.

В основе разработки системы лежит современный стек технологий:

- Язык программирования **Kotlin**
- Система сборки **Gradle** для управления зависимостями
- База данных **PostgreSQL** [3] для хранения информации

Такой подход обеспечивает высокую производительность, гибкость и масштабируемость приложения. Разделение на **Frontend** и **Backend** позволяет выстроить чёткую архитектуру, упрощая разработку, тестирование и дальнейшую поддержку системы.

Особое внимание в системе уделено аутентификации пользователей, обеспечивающей безопасность и конфиденциальность данных. Выполнить аутентификацию можно следующими способами:

1. Ввод логина и пароля: Традиционный способ аутентификации, требующий ввода учетных данных, зарегистрированных в системе.
2. Ввод логина и пароля LDAP: Использование корпоративного каталога LDAP для аутентификации пользователей, что позволяет централизованно управлять учетными записями и упрощает процесс авторизации. Меню аутентификации представлено на рисунке 1.

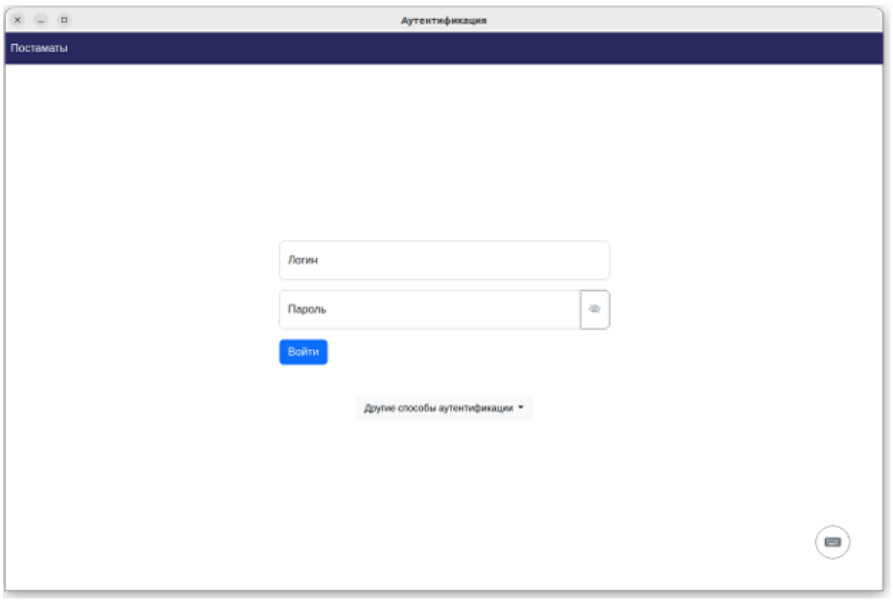


Рисунок 1. Страница аутентификации

3. Считывание данных с HID-карты: Аутентификация с использованием бесконтактных карт HID, что обеспечивает быстрый и удобный доступ к системе. Этот способ особенно полезен для работников, которым требуется частый доступ к постамату.

Для доступа к различным разделам и совершению различных действий группе пользователей системы назначаются отдельные права доступа. Права доступа назначаются на группу и наследуются от родительской группы к дочерней.

Интерфейс «Настройки системы» позволяет администраторам гибко настраивать параметры системы в соответствии с потребностями предприятия.

Интерфейс «Настройки системы» включает в себя следующие пункты:

1. Наименование приложения: возможность задать собственное название, отображаемое в ключевых местах системы.

2. Способы аутентификации: настройка доступных пользователю способов аутентификации в системе (ввод логина/пароля, LDAP, HID-карта). Это позволяет адаптировать систему к различным требованиям безопасности и удобства.

3. Предоставлять выбор ячейки при создании посылки: если опция включена, отправитель сам выбирает одну из доступных ячеек на постамате при создании посылки. В ином случае отправитель может выбрать только геометрические размеры ячеек, а конкретная ячейка соответствующих размеров назначается автоматически.

4. Несколько получателей посылки: возможность отправителю указать несколько получателей при создании посылки. Если опция выключена, у посылки может быть только один получатель.

5. Плановый период получения посылки: период получения посылки по умолчанию, после которого посылка будет считаться не полученной, а получателю придёт уведомление о необходимости забрать посылку.

6. Время бездействия постамата: через указанное время бездействия пользователя на постамате произойдет автоматический выход данного пользователя из своего аккаунта.

Навигация в приложении осуществляется с помощью бокового меню. Боковое меню навигации представлено на рисунке 2.

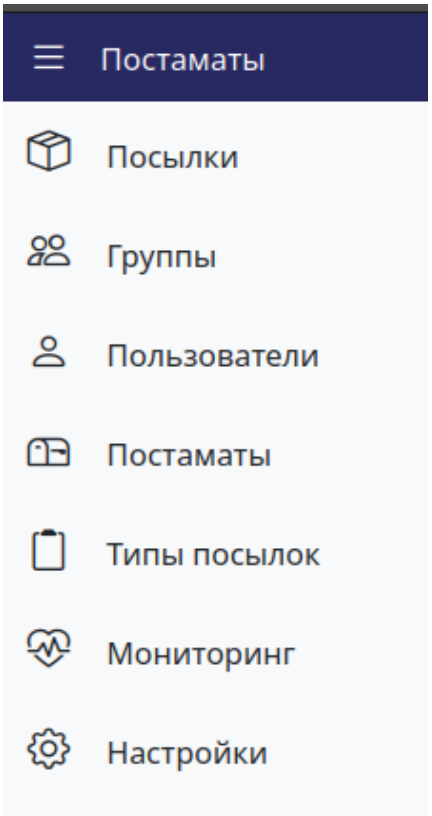


Рисунок 2. Меню навигации

Пункт «Мои посылки» доступен всем аутентифицированным пользователям. Нажатие на данный пункт меню осуществит навигацию пользователя на страницу «Начальная страница». Для упрощения представления не все странице будут представлены, а только некоторые для лучшего понимания реализации приложения.

Пункт «Постамат» доступен только с интерфейса постамата, пользователям, которые обладают правом «Открытие ячеек постамата». Нажатие на данный пункт меню осуществит навигацию пользователя на страницу «Управления постаматом».

Пункт «Посылки» доступен пользователям, которые могут видеть посылки (почтальонам с правом чтения посылок и получателям). Нажатие на данный пункт меню осуществит навигацию пользователя на страницу «Журнал посылок».

Пункт «Группы» доступен пользователям, которые могут видеть и редактировать или добавлять новые группы. Нажатие на данный пункт меню осуществит навигацию пользователя на страницу «Журнал групп».

Пункт «Пользователи» доступен пользователям, которые могут видеть и редактировать или добавлять новых пользователей. Нажатие на данный пункт меню осуществит навигацию пользователя на страницу «Журнал пользователей»

Пункт «Постаматы» доступен пользователям, которые могут видеть и редактировать или добавлять новые постаматы. Нажатие на данный пункт меню осуществит навигацию пользователя на страницу «Журнал постаматов».

Пункт «Типы посылок» доступен пользователям, которые могут видеть и редактировать или добавлять новые типы посылок.

Пункт «Мониторинг» доступен пользователям, которые обладают правом «Мониторинг состояния постаматов». Нажатие на данный пункт меню осуществит навигацию пользователя на страницу «Мониторинг постаматов».

Пункт «Настройки» доступен пользователям, которые могут видеть и редактировать настройки приложения. Нажатие на данный пункт меню осуществит навигацию пользователя на страницу «Настройки».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Девяткин Е.Е.* Kotlin. Программирование для профессионалов / Е.Е. Девяткин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2021. – 592 с.

2. *Лутц М.* Изучаем Python / М. Лутц. – СПб.: Символ-Плюс, 2019. – 832 с.

3. *Кузнецов М. В.* PostgreSQL: учебный курс / М. В. Кузнецов. – Москва: ФОРУМ, 2020. – 320 с.

AN INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM FOR AUTOMATING THE PROCESSES OF DELIVERY AND RECEIPT OF PARCELS AT THE FACTORY

Vasilyev E.E., Miloshina A.I., Kotlyar D.I.

Supervisor: Kotlyar D.I., Candidate of Engineering Sciences

(Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «P.A. Solovyov» Rybinsk)))

Abstract. This report examines the software designed to automate the processes of issuing and receiving parcels manufactured by the company's services. The key functionality of the system is described, including user authentication, assigning access rights, configuring system parameters, and interacting with the postamate.

УДК 004.932

РЕАЛИЗАЦИЯ КАСКАДНОГО КЛАССИФИКАТОРА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Волков К.А.

Научный руководитель: Вафин Р.Р., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе рассматривается реализация каскадного классификатора Виолы-Джонса для распознавания лиц на изображениях в условиях ограниченных вычислительных ресурсов. Предложенная система реализована с использованием языка Python и библиотеки OpenCV и способна в режиме реального времени определять лица на изображении с приемлемой точностью. Новизной работы является применение классического метода в современных условиях и оценка эффективности на разнообразных изображениях.

Введение

Одной из важных задач компьютерного зрения является распознавание лиц. Она находит широкое применение в системах видеонаблюдения, биометрической идентификации, анализе поведения пользователей, а также в других областях. Современные методы распознавания на основе нейросетей, например, YOLO (нейронная сеть You Only Look Once), показывают высокую точность, но требуют больших вычислительных ресурсов [1]. Это является ограничивающим фактором применения нейронных сетей для распознавания в мобильных и встроенных системах.

Каскадный классификатор, предложенный Полом Виолой и Майклом Джонсоном в 2001 году, стал одним из первых эффективных подходов к детекции лиц в режиме реального времени [2]. Благодаря высокой скорости алгоритм до сих пор применяется, несмотря на относительную простоту.

Цель данной работы – реализация и экспериментальная проверка работы каскадного классификатора для задач детекции лиц на изображениях с последующей оценкой его применимости в условиях ограниченных вычислительных ресурсов.

Метод каскадного классификатора

Каскадный классификатор Виолы-Джонса включает в себя четыре основных компонента, которые логически взаимодействуют между собой:

1. Интегральное изображение. Это структура данных, позволяющая быстро вычислять сумму пикселей в прямоугольной области изображения. Для каждого пикселя (x,y) интегральное изображение II(x,y) определяется следующим образом:

$$II(x,y) = \sum_{x' \le x,\ y' \le y} I(x',y') \quad (1),$$

где I(x,y) – исходное изображение. Использование этой структуры позволяет определить сумму пикселей внутри любого прямоугольника за четыре арифметические операции;

2. Примитивы Хаара. Это признаки, отражающие контраст между светлыми и тёмными участками изображения. Типичные формы: два вертикальных прямоугольника (глаза и лоб), три горизонтальных (нос и щеки). Каждый такой признак рассчитывается как разность сумм пикселей между белой и темной областью [3];

3. Adaboost. Каждый признак Хаара – слабый классификатор (даёт небольшую точность), поэтому применяется метод бустинга Adaboost для выбора наиболее значимых признаков и объединения их в сильный классификатор. На выходе Adaboost формирует: набор из N признаков, пороговые значения, вес каждого признака;

4. Каскадная структура. Такая структура позволяет организовать классификаторы в каскад, то есть в последовательность ступеней. Каждая ступень отбрасывает искомый объект. Структура работы каскада показана на рисунке 1.

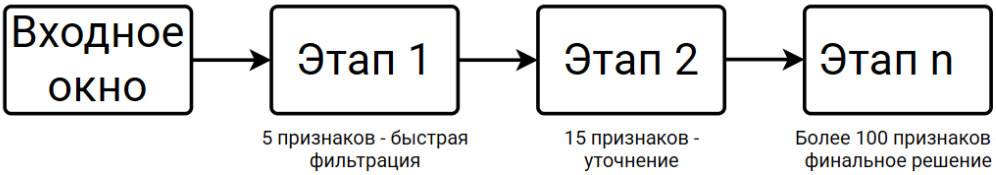


Рис.1. Структура работы каскада.

Если объект не прошел проверку на одном этапе, то он отбрасывается. Такой подход обеспечивает сверхбыструю фильтрацию большинства окон, не содержащих лиц.

Реализация и архитектура алгоритма

Для реализации детекции лиц с использованием каскадного классификатора Виолы-Джонса была разработана система, основанная на библиотеке OpenCV [4]. Её выбор обусловлен доступностью предобученных классификаторов и алгоритмов обработки изображения. Это позволяет достигать хорошей производительности, в том числе и на устройствах с ограниченными вычислительными ресурсами. Система реализована на языке Python [5]. Структура алгоритма представлена на рисунке 2.

Рис.2. Структура алгоритма реализации детекции лиц с помощью каскадного классификатора.

Рассмотрим более подробно каждый шаг алгоритма.

Загрузка изображения и предварительная обработка данных. На этих этапах происходит загрузка изображения и преобразование его в градации серого, так как каскадный классификатор работает только с черно-белыми изображениями. В данном этапе алгоритма возможна масштабная нормализация и фильтрация изображения для повышения устойчивости к шуму.

Загрузка каскадного классификатора. Для поиска лиц используется готовый классификатор haarcascade_frontalface_default.xml, он обучен на большом наборе данных. Классификатор представляет собой XML-файл, содержащий набор параметров, признаков Хаара и логику каскадной проверки.

Детекция лиц на изображении. С помощью скользящего окна различного масштаба происходит обработка изображения. Для каждого окна проверяется, удовлетворяет ли оно набору признаков каскада. Используются параметры, которые контролируют масштабирование и чувствительность к ложным срабатываниям.

Отображение результатов. После окончания детекции объектов результаты визуализируются путем отображения ограничивающих рамок вокруг обнаруженных лиц. Это позволяет легко и быстро оценивать качество работы классификатора.

Оценка производительности. Для анализа эффективности применения алгоритма замеряется время выполнения обнаружения на одном изображении. Благодаря этому возможно получить оценку скорости обработки и подтвердить эффективность использования этого метода в условиях реального времени.

Программный код реализации алгоритма для каскадного классификатора Виолы-Джонса на языке программирования Python:

```
import cv2
import numpy as np
import time
from google.colab import files
from google.colab.patches import cv2_imshow
# Загрузка изображения
uploaded = files.upload()
image_path = list(uploaded.keys())[0]
image = cv2.imread(image_path)
# Преобразование в оттенки серого
gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
# Загрузка классификатора
face_cascade = cv2.CascadeClassifier(cv2.data.haarcascades +
'haarcascade_frontalface_default.xml')
# Замер времени детекции
start_time = time.time()
# Детекция лиц
faces = face_cascade.detectMultiScale(gray, scaleFactor=1.1, minNeighbors=5)
end_time = time.time()
detection_time_ms = (end_time - start_time) * 1000
# Отрисовка рамок
for (x, y, w, h) in faces:
    cv2.rectangle(image, (x, y), (x+w, y+h), (0, 255, 0), 2)
# Вывод результата
cv2_imshow(image)
print(f'Обнаружено лиц: {len(faces)}')
print(f'Время выполнения: {detection_time_ms:.2f} мс')
```

Экспериментальные результаты

В результате работы программы пользователь видит следующее: объект, выделенный зеленой рамкой (в случае, если объект тот, что нам нужен), количество обнаруженных лиц, а также скорость детекции объекта (для оценивания эффективности работы алгоритма). Результат работы алгоритма представлен на рисунке 3.

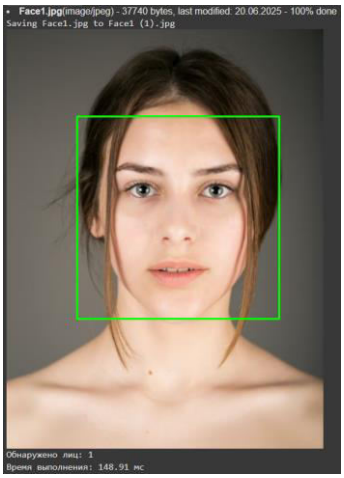


Рис. 3. Результат работы каскадного классификатора Виолы-Джонса на изображении.

Были произведены тесты на 8 различных изображениях различного качества и содержания. Результаты обработки представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты обработки нескольких изображений

№ изобра-жения	Описание изображения	Кол-во лиц	Обнаружено лиц	Время обнаружения, мс
1	Фотография не лица человека	0	0	152.79
2	Фотография лица девушки, лицо слегка повернуто, задний фон не белый	1	1	119.93
3	Фотография лица мужчины, лицо анфас, задний фон белый	1	1	65.12
4	Фотография лица ребенка, лицо слегка повернуто, задний фон серый	1	1	169.40
5	Фотография лица двух женщин, лица анфас, задний фон белый	2	2	165.51
6	Рисунок лиц трех людей. Не фотография. Мало деталей лиц.	3	0	127.15
7	Фотография лица четырех женщин, лица с разной степенью поворота, задний фон серый	4	4	99.85
8	Фотография лица шести женщин, лица анфас, задний фон желтый	6	6	214.84

Алгоритм определил количество лиц на 7 из 8 изображений. Ошибка возникла в случае с обработкой рисованного изображения с малодетализированными лицами. Это указывает на слабую обобщающую способность каскадного классификатора на нестандартных данных. Алгоритм срабатывает как при анфасных, так и при повернутых лицах. На фоне различной контрастности и цвета классификатор показал стабильные результаты, что свидетельствует об устойчивости к фону. Время обнаружения объекта подтверждает, что каскадный классификатор способен работать в условиях, приближенных к реальному времени.

Выводы и перспективы исследования

В ходе данной работы была реализована и экспериментально проверена система детекции лиц на изображениях с использованием каскадного классификатора Виолы-Джонса. Алгоритм был реализован на языке Python с использованием библиотеки OpenCV и протестирован в среде Google Colab.

На основе экспериментов можно прийти к следующим выводам:

1. Алгоритмом была продемонстрирована высокая скорость обработки изображений, что делает его применимым в условиях реального времени;

2. Точность детекции на реальных фотографиях достаточна высока, метод устойчив к повороту головы, различному фону и освещению

3. Алгоритм оказался неустойчивым к изображениям, не соответствующим фотоструктуре лиц, например, к рисункам с низкой детализацией. Это обусловлено ограничениями архитектуры классификатора и особенностями используемого обучающего набора.

4. Каскадный классификатор остаётся эффективным решением для систем с ограниченными вычислительными ресурсами, где использование нейросетевых моделей затруднено или нецелесообразно.

Тем не менее, работа требует дальнейшего исследования возможностей и сложностей приведенного подхода. Эксперимент показал, что нужно обучение каскадного классификатора на собственном датасете, включающем нетипичные изображения (рисунки, маски, лица под углом). Для оценки эффективности использования каскадного классификатора над

нейросетевыми методами в задаче детекции объектов можно провести сравнительный анализ по метрикам точности и скорости работы в аналогичных условиях.

Таким образом, предложенный подход демонстрирует практическую применимость в задачах, не требующих сверхвысокой точности, но предъявляющих требования к производительности и простоте реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Redmon J., Farhadi A*. YOLOv3: An Incremental Improvement – arXiv:1804.02767 [cs.CV] – URL: https://arxiv.org/abs/1804.02767 (дата обращения: 19.06.2025).

2. *Viola P., Jones M*. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features // Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001). — Vol. 1. — IEEE, 2001. — P. I-511–I-518.

3. OpenCV. Haar Cascade Classifier Training – [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.opencv.org/4.x/dc/d88/tutorial_traincascade.html (дата обращения: 19.06.2025).

4. OpenCV Documentation – [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.opencv.org/ (дата обращения: 22.06.2025).

5. Необходимая информация о языке программирования Python – [Электронный ресурс]. – URL: https://aws.amazon.com/ru/what-is/python (дата обращения: 22.06.2025).

IMPLEMENTATION OF A CASCADE CLASSIFIER FOR FACE RECOGNITION IN IMAGES UNDER CONDITIONS OF LIMITED COMPUTER RESOURCES

Volkov K.A.

Supervisor: Vafin R.R., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In this paper, we consider the implementation of a cascade Viola-Jones classifier for face recognition in images under conditions of limited computing resources. The proposed system is implemented using the Python language and the OpenCV library and is capable of detecting faces in images in real time with acceptable accuracy. The novelty of our work lies in the application of a classical method in modern conditions and the evaluation of its effectiveness on various images.

УДК: 004

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФРЕЙМВОРКОВ ДЛЯ ANDROID-РАЗРАБОТКИ

Галиакберов Д.А.

Научный руководитель: Бикмуллина И. И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ современных фреймворков для кроссплатформенной разработки мобильных приложений под Android. На основе проведенного исследования делается вывод, что Flutter обладает значительными преимуществами благодаря высокой скорости работы, единой кодовой базе для всех платформ и активной поддержке Google. Статья будет полезна разработчикам, выбирающим фреймворк для создания кроссплатформенных приложений, а также всем, кто интересуется тенденциями в мобильной разработке.

Критерии сравнительного анализа:

Средства разработки играют ключевую роль в проектировании, тестировании и реализации Любого программного продукта. Они должны обеспечивать поддержку современных систем, быть кроссплатформенным, обеспечивать высокую скорость работы, иметь единую кодовою базу для всех платформ и иметь активную поддержку как ANDROID, так и IOS. Рассматриваются ключевые критерии выбора, включая производительность,

популярность, поддержку платформ, язык программирования, возможности кастомизации интерфейса и перспективы развития технологий. Далее проводится сравнительный анализ современных фреймворков для кроссплатформенной разработки мобильных приложений под Android: Flutter, React Native и Xamarin.

Критерии сравнения:

- Производительность;
- Популярность и сообщество;
- Кроссплатформенность;
- Язык программирования;
- Ui и кастомизация;
- Горячая перезагрузка;
- Поддержка и будущее;

React Native — это кроссплатформенный фреймворк для создания мобильных приложений, разработанный Facebook (Meta) и выпущенный в 2015 году. Его ключевая особенность — возможность писать код на JavaScript (или TypeScript), который затем компилируется в почти нативное приложение для iOS и Android. Благодаря использованию популярной библиотеки React, [1] фреймворк быстро завоевал внимание разработчиков, особенно тех, кто уже работал с веб-технологиями.

React Native написан с использованием смеси JavaScript и JXL, специального кода разметки, похожего на XML. Платформа имеет возможность взаимодействовать как с областями – потоками на основе JavaScript, так и с существующими потоками нативных приложений. Это общение работает через так называемый “мост”. В то время как JavaScript и нативные потоки написаны на совершенно разных языках, это функция моста[1], которая делает возможной двунаправленную связь.

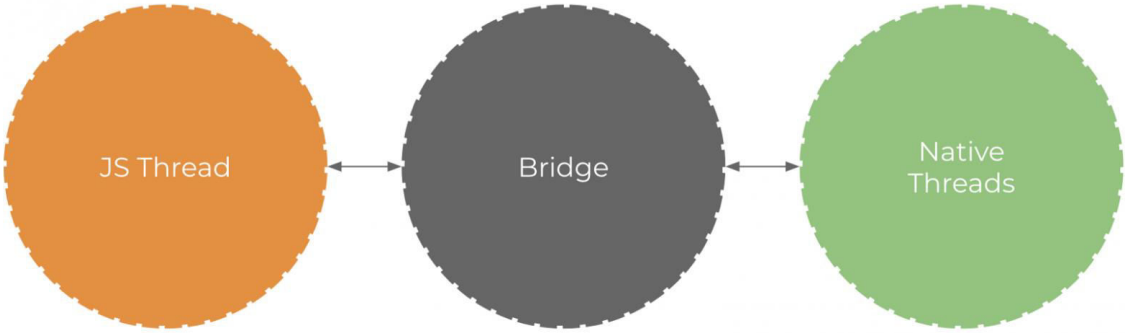


Рис.1. визуализация работы «моста»

Преимущества React Native:

- Кроссплатформенность. Один код работает на iOS и Android, что сокращает время разработки и затраты. Хотя некоторые модули (например, навигация или доступ к камере) требуют отдельных настроек, базовая логика приложения остается единой.
- Горячая перезагрузка (Hot Reloading).Позволяет мгновенно видеть изменения в коде без перезапуска приложения, что ускоряет разработку.
- Доступ к нативным API. Если стандартных возможностей недостаточно, можно написать нативные модули на Java/Kotlin (для Android) или Swift/Objective-C (для iOS) и подключить их к проекту.
- Поддержка Expo — это набор инструментов, который упрощает разработку, предоставляя готовые модули (камера, геолокация, push-уведомления) без необходимости настройки нативного кода.

Основные недостатки:

- Производительность ниже нативной. Из-за JavaScript-моста:

- Анимации могут подтормаживать. Вычисления в основном потоке блокируют интерфейс. Для сложной графики (например, игр) React Native не подходит.
- Зависимость от сторонних библиотек. Многие важные функции (например, навигация) реализуются через сообщество, а не сам фреймворк. Некоторые библиотеки устаревают.Обновления React Native могут сломать совместимость.
- Сложности с доступом к новым API. Если в iOS или Android выходит новая функция (например, поддержка Dynamic Island в iPhone), её интеграция требует написания нативного кода.
- Проблемы с обновлениями. Meta (Facebook) постепенно сокращает поддержку React Native. Хотя фреймворк остается популярным, переход на "New Architecture" (Fabric, TurboModules) идет медленно.

Xamarin.Forms — это кроссплатформенный UI-фреймворк от Microsoft, позволяющий разрабатывать нативные мобильные приложения для iOS, Android и Windows с использованием единой кодовой базы на C# и .NET [2]. В отличие от классического Xamarin (Xamarin.Native), где интерфейсы создаются отдельно для каждой платформы, Xamarin.Forms предоставляет абстракцию для построения общего UI, что значительно ускоряет процесс разработки.

Xamarin.Forms построен на многослойной архитектуре, которая включает три основных компонента:

- Общий проект (Shared Code Project):

Это ядро приложения, содержащее:

Бизнес-логику (все C# классы и сервисы), XAML-разметку (описание пользовательских интерфейсов), Модели данных и ViewModels (если используется MVVM).

Систему навигации (общую для всех платформ), Особенность: этот слой компилируется в стандартную .NET сборку (DLL), которая затем используется платформенными проектами.

- Платформенные проекты (Platform-Specific Projects).

Для каждой целевой платформы существует отдельный проект:

Таблица 1

Проекты Xamarin для каждой платформы

Проект	Язык	Компиляция	Особенности
Android	C#	JIT (Just-In-Time)	Использует Xamarin.Android
iOS	C#	AOT (Ahead-Of-Time)	Использует Xamarin.iOS (MonoTouch)
UWP	C#	.NET Native	Только для Windows 10+

Каждый проект содержит Рендереры (преобразователи общих элементов в нативные), Платформенно-специфичную реализацию отдельных функций, Конфигурацию сборки и манифесты [2]:

- Система рендеринга (Rendering Pipeline), Специальный механизм преобразования Xamarin.Forms-элементов в нативные.

Ключевые преимущества:

- Полная интеграция с экосистемой .NET. Использование C# и всех возможностей .NET, Доступ к NuGet-пакетам, Поддержка LINQ, async/await, Интеграция с Visual Studio.
- Нативная производительность – В отличие от гибридных решений (Cordova, Ionic), Xamarin.Forms компилируется в AOT-код для iOS, JIT-код для Android что обеспечивает производительность, близкую к нативным приложениям.
- Единая кодовая база, До 90% кода может быть общим для всех платформ, включая, Бизнес-логику, Модели данных, Интерфейсы (через XAML), Навигацию.
- Гибкость кастомизации, Custom Renderers – глубокая настройка внешнего вида элементов, Effects – небольшие модификации стандартных контролов, Platform Specifics – платформенно-ориентированные особенности.

Flutter, данный фреймворк позволяет писать один код, который будет работать на различных платформах, то есть обеспечивает кросс-платформенность. Наличие встроенных библиотек для пользовательского интерфейса Android и IOS также позволяет фреймворку обеспечивать единообразный интерфейс[3]. Языком программирования во Flutter выступает Dart. Язык программирования Dart похож на такие языки, как C# или JavaScript, и является достаточно простым в освоение. Также язык обладает большим количеством сторонних библиотек, облегчающих программирование.

Также Flutter обладает открытым исходным кодом, что означает постоянный выход новых библиотек, разрабатываемых сообществом программистов, которые могут пригодиться в процессе разработки [3].

В отличие от Xamarin, Flutter не обладает языком разметки, что, в какой-то степени делает его более удобным, так как и визуальные элементы, и логика работы приложения описывается одним языком.

В React Native, в отличие от Flutter, для написания приложения для нескольких платформ придется писать свой код под каждую платформу.

Ключевые особенности:

- Один код — много платформ (iOS, Android, Web, Desktop).
- Высокая производительность (компиляция в нативный код).
- Горячая перезагрузка (Hot Reload) — изменения видны мгновенно.
- Гибкий UI — можно создавать сложные анимации и кастомные виджеты.
- Язык Dart — простой в изучении, похож на Java/JavaScript.

Google активно развивает Flutter. Происходит поддержка новых платформ (например, встраиваемые системы), улучшается производительность (Impeller для iOS). Большая интеграция с Firebase (готовая backend-инфраструктура).

Сравнительный анализ фреймворков для Android-разработки

1. Производительность:

- Flutter: Лучшая производительность благодаря компиляции в нативный код (AOT) и отсутствию моста между JavaScript и нативными компонентами. Использует движок Skia для рендеринга [5].
- React Native: Производительность ниже, чем у Flutter, из-за использования JavaScript-моста и интерпретации кода в рантайме (JIT).
- Xamarin: Производительность близка к нативной, но зависит от подхода (Xamarin.Forms медленнее, чем Xamarin.Native).

2. Популярность и сообщество:

- Flutter: Быстро растущая популярность (Google), активное сообщество, много готовых пакетов (pub.dev).
- React Native: Очень популярен (Meta), большое сообщество, но рост замедляется [5].
- Xamarin: Менее популярен (Microsoft), сообщество меньше, переход на .NET MAUI снижает интерес.

3. Кроссплатформенность:

- Flutter: Поддержка Android, iOS, Web, Windows, Linux, macOS (единая кодовая база).
- React Native: Android, iOS, Web (через React Native Web), но нативные модули требуют раздельной реализации.
- Xamarin: Android, iOS, Windows (через Xamarin.Forms), но интеграция сложнее.

4. Язык программирования:

- Flutter: Dart (простой в изучении, оптимизирован под UI).
- React Native: JavaScript/TypeScript (широко распространён, но динамическая типизация усложняет поддержку).
- Xamarin: C# (мощный, но требует знания .NET).

5. UI и кастомизация:

- Flutter: Собственные виджеты (не зависят от платформы), высокая кастомизация, Material/Cupertino из коробки.
- React Native: Использует нативные компоненты, но кастомизация сложнее.
- Xamarin: Xamarin.Forms предоставляет абстракции, но сложные интерфейсы требуют нативной реализации.

6. Горячая перезагрузка (Hot Reload):

- Flutter: Идеальная реализация, почти мгновенное обновление.
- React Native: Работает, но иногда сбоит из-за JavaScript-моста.
- Xamarin: Медленнее, возможны проблемы.

7. Поддержка и будущее:

- Flutter: Активно развивается (Google), долгосрочная поддержка.
- React Native: Meta сократила инвестиции, но сообщество поддерживает [1].
- Xamarin: Переход на .NET MAUI (не все функции перенесены).

Проведя сравнительный анализ трех разных фреймворков для Android-разработки, был выбран Flutter, так как:

- Лучшая производительность за счёт AOT-компиляции.
- Единая кодовая база для всех платформ.
- Быстрое развитие и поддержка Google.
- Гибкость UI и отличная горячая перезагрузка.
- Dart проще для мобильной разработки, чем JS или C#.

Заключение

Проведя сравнительный анализ трех разных фреймворков для Android-разработки [4-8], был выбран Flutter, так как React Native и Xamarinпроигрывают из-за зависимости от мостов, меньшей производительности и сложностей с кастомизацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Что такое React Native? Комплексное руководство 2021// Хабр. Accelerating the pace of engineering and science // https://habr.com/ru/articles/596183/ (дата обращения - 28.11.2024).

2. Xamarin.Forms. Личный опыт использования [Электронный ресурс] // Сайт-Хабр // URL: https://habr.com/ru/companies/auriga/articles/507876/ (дата обращения - 01.12.2024).

3. Top 10 Reasons Flutter Is Better For Your App Development [Электронный ресурс]: Medium. URL: https://medium.com/flutter-community/top-10-reasons-flutter-is-better-for-your-app-development-30d50e345b29 (Дата обращения 16.04.2025).

4. Top 8 Flutter Advantages and Why You Should Try Flutter on Your Next Project [Электронный ресурс]: Relevant.software. URL: https://relevant.software/blog/top-8-flutter-advantages-and-why-you-should-try-flutter-on-your-next project/ (Дата обращения 17.04.2025).

5. Flutter vs React Native [Электронный ресурс]: Evrone. URL: https://evrone.ru/flutter-vs-react-native (Дата обращения 17.04.2025).

6. Which Flutter Database to use? [Электронный ресурс]: Greenrobot. URL: https://greenrobot.org/news/flutter-databases-a-comprehensive-comparison/ (Дата обращения 18.03.2025).

7. *Барков И.А.* Семантическое моделирование учебных задач в интеллектуальных образовательных средах / И.А. Барков, И.И. Бикмуллина // Вестник Казанского Государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2012. - №2. – С. 216-220. – EDN PUAQWL.

8. *Бикмуллина И.И.* Разработка методики автоматизированного синтеза информационных систем на основе семантических отношений предметной области / И.И. Бикмуллина, И.А. Барков, А.П. Кирпичников // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, №7. – С. 236-242. – EDN TUUIMZ.

COMPARATIVE ANALYSIS OF FRAMEWORKS FOR ANDROID DEVELOPMENT

Galiakberov D.A.
Supervisor: Bikmullina I.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article presents a comparative analysis of modern frameworks for cross-platform development of mobile applications under Android. Based on our research, we conclude that Flutter has significant advantages due to its high-speed performance, single codebase for all platforms, and active support from Google. This article will be useful for developers who are considering a framework for creating cross-platform applications, as well as for anyone interested in mobile development trends.

УДК 004

ТЕОРЕТИКО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКИ СТОЙКИХ ХЕШ-ФУНКЦИЙ В ЗАЩИЩЁННЫХ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМАХ

Галиев Б.М.
Научный руководитель: Павлов А.Д., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена теоретико-алгоритмическим аспектам проектирования криптографических хеш-функций и их роли в обеспечении безопасности информации. Рассматриваются ключевые конструкции, устойчивость к атакам и переход от уязвимых схем к современным алгоритмам. Особое внимание уделяется их применимости в защищённых распределённых системах.

Введение

Криптографическая хеш-функция – это математический механизм, который преобразует произвольное сообщение в битовую строку фиксированной длины, называемую хеш-значением. При этом малейшее изменение входных данных приводит к существенному изменению хеша, что делает такие функции удобным инструментом для контроля целостности, анонимной идентификации, цифровой подписи и безопасного хранения данных [1; 2].

На современном этапе развития информационных технологий потребность в защищённых, распределённых вычислительных системах обостряет требования к хеш-функциям. В условиях массового хранения пользовательских данных, использования облачных решений и передачи информации по незащищённым каналам важность хеширования выходит за пределы локальных вычислений. Хеш-функции используются для защиты паролей, контроля версий документов, построения криптографических протоколов и обеспечения достоверности в распределённых системах (например, в блокчейне) [3].

Однако стремительное развитие вычислительных мощностей и криптоанализа поставило под угрозу использование устаревших хеш-алгоритмов. Так, найденные коллизии в MD5 и SHA-1 продемонстрировали уязвимость некогда надёжных систем [4]. В таких условиях актуальной становится разработка и внедрение хеш-функций, обладающих стойкостью к коллизиям, предсказуемости и атакам. Таким образом, хеш-функции являются важнейшим элементом обеспечения безопасности данных в цифровом обществе, и их надёжность – ключевое условие устойчивости всей криптографической инфраструктуры.

Теоретические основы криптографического хеширования

Понятие и сущность хеширования. Хеширование представляет собой преобразование входных данных произвольной длины в фиксированную по длине битовую строку (хеш-

значение), которое должно быть уникальным для каждого уникального входа. В идеале хеш-функция должна реализовывать отображение:

$$h: \{0,1\}^* \to \{0,1\}^n, \quad (1)$$

где $\{0,1\}^*$ – это множество всех битовых строк произвольной длины, а $\{0,1\}^n$ – множество всех битовых строк фиксированной длины n, например 256 бит для SHA-256.

Основная задача хеширования – быстрое и однозначное сравнение больших объемов данных без необходимости их полного анализа, при этом обеспечивая неизменность результата при любом малейшем изменении входа (свойство лавинообразности) [5].

Типичная структура хеш-функции основана на итеративной схеме, в которой входные данные разбиваются на блоки и последовательно обрабатываются с помощью компрессионной функции:

- Входное сообщение разбивается на блоки фиксированной длины:

$$M = M_1 \parallel M_2 \parallel \cdots \parallel M_k. \quad (2)$$

- Инициализируется внутреннее состояние (например, в SHA-2 используется фиксированный *IV*).
- Для каждого блока применяется итеративная компрессия:

$$H_i = f(H_{i-1}, M_i), \quad (3)$$

где $H_0 = IV$, f – криптографическая компрессионная функция.

- После обработки всех блоков результат H_k становится итоговым хешем.

В конструкции Merkle-Damgård применяется выравнивание сообщения с паддингом и добавлением длины в конце, а в sponge-конструкции (SHA-3) – чередование фаз поглощения и выжимания, что обеспечивает гибкость и расширяемость [6].

Критерии криптографической стойкости. Существуют три фундаментальных свойства, которые определяют криптографическую надёжность хеш-функции:

1. Односторонность: по значению хеша должно быть практически невозможно восстановить исходное сообщение.

2. Устойчивость к нахождению второго прообраза: при заданном сообщении x и его хеше $h(x)$ трудно найти другое x', такое что $h(x') = h(x)$.

3. Устойчивость к коллизиям: трудно найти два различных сообщения x и x', таких что $h(x) = h(x')$.

Идеальная криптографическая хеш-функция должна требовать 2^n операций для нахождения прообраза и $2^{n/2}$ – для коллизии, где n – длина хеша. Это следует из парадокса дней рождения, описывающего вероятность совпадения двух случайных значений в ограниченном пространстве [3]:

$$P_{\text{collision}} \approx 1 - e^{-k^2/(2N)} \Rightarrow \text{коллизия с вероятностью 50\% при } k \approx 1.17\sqrt{N}. \quad (4)$$

Для хеша длиной 256 бит, 2^{128} операций — это нижняя оценка для атаки на коллизию. Алгоритмы, не выдерживающие этой оценки, считаются небезопасными.

Уязвимости и ограничения. Хеш-функции не обеспечивают абсолютной безопасности и подвержены ряду уязвимостей, которые могут быть использованы злоумышленниками. Одним из наиболее известных видов атак являются атаки на коллизии, при которых удаётся найти два различных сообщения, имеющих одинаковое хеш-значение – такие уязвимости были обнаружены в алгоритмах MD5 и SHA-1 [4]. Кроме того, хеш-функции могут быть уязвимы к атакам на второй прообраз, особенно в случаях использования устаревших конструкций, основанных на линейных блоках. Ещё одной серьёзной проблемой является предсказуемость структуры функции: если её внутренняя организация недостаточно сложна, она становится уязвимой к криптоанализу.

Важно понимать, что хеш-функции не шифруют данные, а только фиксируют их "отпечаток". Следовательно, они не обеспечивают конфиденциальность, а лишь целостность и аутентификацию данных [2].

Алгоритмические конструкции криптографических хеш-функций

Конструкция Merkle–Damgård. Одной из самых ранних и фундаментальных конструкций для построения хеш-функций является схема Merkle–Damgård, которая легла в

основу таких известных алгоритмов, как MD5, SHA-1 и SHA-2. Суть конструкции заключается в последовательной обработке блоков входного сообщения с помощью так называемой сжимающей функции.

Входное сообщение сначала дополняется до нужной длины с использованием padding (чаще всего добавлением единицы и нулей, чтобы итоговая длина стала кратной размеру блока). Затем сообщение разбивается на блоки фиксированной длины $M_1, M_2, \dots, M_n$. Каждый блок поочерёдно обрабатывается сжимающей функцией f, принимающей на вход хеш от предыдущего блока и текущий блок:

$$H_i = f(H_{i-1}, M_i),\ H_0 = IV, \tag{5}$$

где IV – начальное значение, фиксированное для конкретной хеш-функции. После обработки всех блоков результатом становится H_n, который и есть итоговый хеш.

Одним из главных преимуществ конструкции Merkle–Damgård является её расширяемость и простота. Однако с точки зрения безопасности данная схема имеет ряд уязвимостей. Прежде всего, это возможность атак удлинения сообщения, при которой злоумышленник, зная хеш от исходного сообщения H(M), способен вычислить хеш для расширенного сообщения $H(M \parallel M')$, не зная самого M. Также возможны атаки на сжимающую функцию, которые приводят к коллизиям – ситуациям, когда два различных входа дают одинаковый хеш [1].

Именно эти уязвимости стали причиной постепенного отказа от хеш-функций на основе Merkle–Damgård в критических системах. Хотя такие алгоритмы, как SHA-2, по-прежнему активно применяются, в новых разработках отдают предпочтение более современным конструкциям.

Sponge-конструкция и SHA-3 (Keccak). Sponge-конструкция представляет собой более современный подход. Основное отличие заключается в том, что она работает с внутренним состоянием фиксированной длины b, которое делится на две части: открытую r (rate) и скрытую c (capacity), где $b = r + c$.

Алгоритм состоит из двух фаз: поглощения (absorb) и отжима (squeeze). В фазе поглощения вход разбивается на блоки длины r, и каждый блок поблочно смешивается с открытой частью состояния, после чего ко всему состоянию применяется криптографически стойкое преобразование f. После обработки всего сообщения начинается фаза отжима: из открытой части состояния извлекается выходной блок, снова применяется f, и так до получения нужной длины хеша:

$$\text{Absorb:}\quad S \leftarrow f(S \oplus P_i), \tag{6}$$

$$\text{Squeeze:}\quad Z_i = \text{first } r \text{ bits of } S. \tag{7}$$

Важное преимущество – встроенная защита от атак удлинения. Также она допускает удобное масштабирование под разные длины хеша и легко адаптируется под потоковую обработку данных.

Алгоритм Keccak реализует sponge-конструкцию и стандартизирован как SHA-3. Он использует специальную перестановку на 1600 бит, разбитую на 5×5×64-битную матрицу и несколько раундов битовых преобразований. Это делает его устойчивым к большинству известных атак, включая дифференциальный и линейный криптоанализ [4]. Таким образом, SHA-3 представляет собой качественно новое поколение хеш-функций, отличающееся как архитектурно, так и по уровню криптостойкости.

ARX-конструкция: BLAKE, BLAKE2 и BLAKE3. Современные алгоритмы BLAKE и его наследники используют конструкцию, основанную на трёх базовых операциях: сложение по модулю 2^n, побитовое исключающее ИЛИ и циклический сдвиг. Эта парадигма получила название ARX (Add–Rotate–XOR) и зарекомендовала себя как крайне эффективная и безопасная для программной реализации [2; 6]. BLAKE был финалистом конкурса SHA-3 и отличался высокой скоростью и криптостойкостью. Основное преобразование выполняется в раундах, где данные перемешиваются с помощью чередующихся циклических сдвигов и операций XOR:

$$v_i = \left(\left(v_i + v_j + m_k \right) \oplus v_l \right) \lll r, \quad (8)$$

где v_i – внутренние регистры, m_k – часть входного сообщения, $\lll$ – циклический сдвиг влево.

Позже появились улучшенные версии: BLAKE2, ориентированный на практическую производительность, и BLAKE3, сочетающий высокую скорость, параллельность и компактность. Особенно важно, что BLAKE3 поддерживает древовидную структуру, что позволяет эффективно использовать многопоточность [6].

Несмотря на разнообразие современных конструкций, каждая хеш-функция – это компромисс между скоростью и устойчивостью к атакам. Это особенно важно при выборе алгоритма для конкретных условий и архитектуры.

Первые популярные алгоритмы, MD4 и MD5, отличались высокой скоростью, но оказались уязвимы к коллизиям и были признаны небезопасными уже в начале 2000-х [5]. Пришедший на смену SHA-1 также потерял доверие после успешных атак.

Несмотря на то, что SHA-2 устойчив к большинству известных атак, его архитектура всё ещё базируется на Merkle–Damgård, что ограничивает его в условиях параллельной обработки. Появление SHA-3 и BLAKE3 стало важным этапом в развитии хеширования: эти алгоритмы учитывают современные угрозы и требования, а BLAKE3, ориентированный на параллельную обработку и независимое вычисление хешей в разных узлах, обеспечивает высокую эффективность и стойкость в распределённых защищённых системах [7].

Применение хеш-функций в защищённых распределённых системах

В условиях современного цифрового ландшафта, где данные обрабатываются и передаются между множеством узлов, хеш-функции выступают в роли не только криптографических инструментов, но и критически важных компонентов архитектуры защищённых распределённых систем.

Контроль целостности данных. Одна из наиболее фундаментальных функций хеширования – это проверка целостности данных. При передаче или хранении информации хеш-сумма вычисляется и сохраняется вместе с данными. При последующей проверке хеш пересчитывается и сравнивается с исходным значением:

$$H(m') \stackrel{?}{=} H(m), \quad (9)$$

где m – исходное сообщение, m' – проверяемое сообщение. Малейшее изменение в файле или блоке данных приведёт к совершенно другому хешу, благодаря свойству лавинообразного эффекта. В распределённых системах это особенно важно, так как данные передаются через множество промежуточных узлов, где возможны как случайные искажения, так и целенаправленные атаки [2; 8].

Хеширование паролей и аутентификация. В защищённых распределённых системах, особенно с участием множества пользователей и узлов, критически важен надёжный механизм хранения и проверки паролей. Прямое хранение паролей недопустимо, поэтому используется хеширование с добавлением соли – случайной строки, уникальной для каждого пользователя:

$$h = H(p \parallel s), \quad (10)$$

где p – пароль, s – соль, $\parallel$ – операция конкатенации.

В распределённой системе идентификации хеш-функции участвуют в механизмах токенизации и подписи. OAuth (Open Authorization Protocol – протокол открытой авторизации) и JWT (JSON Web Token – веб-токен на основе формата JSON), широко применяемые в распределённых веб-сервисах, используют хеши в структуре токенов доступа и refresh-токенов.

Контроль изменений и согласованность в распределённых БД. Одним из практических применений хеш-функций является контроль изменений в базах данных через хеширование логов или состояний записей. В системах, где одни и те же данные реплицируются между узлами, важно быстро и эффективно определять различия между узлами.

Обобщённый способ хеширования состояния записей может быть представлен как:

$$H_T = \bigoplus_{i=1}^{n} H(r_i), \quad (11)$$

где H_T – агрегированный хеш таблицы, r_i – отдельные записи, $\bigoplus$ – побитовая операция XOR.

При синхронизации между узлами сравниваются только хеши, что даёт значительный прирост в производительности и уменьшает сетевую нагрузку.

Распределённый контроль и доверие между узлами. Современные защищённые распределённые системы включают механизмы, при которых доверие между участниками формируется не на основе централизованного удостоверяющего органа, а через криптографические гарантии. Одним из таких механизмов является хеш-цепочка. Она может быть описана рекурсивно:

$$h_i = H(d_i \mid h_{i-1}), \tag{12}$$

где d_i – данные текущего узла или блока, h_{i-1} – хеш предыдущего блока.

Если каждый участник при передаче данных добавляет свой хеш и следующий участник проверяет хеш предыдущего, то цепочка подделки становится невозможной без компрометации всех звеньев.

В архитектурах, где данные или события распространяются через P2P-протоколы (peer-to-peer, то есть одноранговые сети, в которых каждый узел может одновременно выступать и как клиент, и как сервер), хеши используются как уникальные идентификаторы контента. Это позволяет не только находить нужную информацию по хешу, но и проверять её неизменность, независимо от источника.

Заключение

Хеш-функции стали неотъемлемым элементом современной криптографической инфраструктуры и ключевым механизмом обеспечения безопасности в распределённых системах. Их универсальность проявляется в широчайшем спектре применения: от простейшего контроля целостности данных до аутентификации в масштабируемых системах.

Исторический путь от алгоритмов семейства MD5 и SHA-1, оказавшихся уязвимыми к атакам, к более надёжным конструкциям SHA-2, SHA-3 и BLAKE2/BLAKE3 демонстрирует постоянную эволюцию подходов и необходимость регулярного пересмотра стандартов с учётом прогресса в области криптоанализа.

Особое внимание в современных условиях уделяется архитектурным и алгоритмическим особенностям хеш-функций: конструкции типа Merkle–Damgård, sponge и ARX позволяют проектировать функции, способные сохранять устойчивость к широкому спектру атак. Это имеет решающее значение в распределённых вычислительных средах, где защита должна сочетаться с производительностью и масштабируемостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Горбенко И.Д.* Функции хеширования. Понятия, требования, классификация, свойства и применение / И.Д. Горбенко, И.А. Штанько // Радиоэлектроника и информатика: науч.-техн. журн. – Х.: ХНУРЭ, 1998. – № 1. – С. 64–69.

2. *M. Rjăsko* Properties of Cryptographic Hash Functions // IACR Cryptology ePrint Archive, Report, 2008.

3. *Диченко С.А.* Обобщенный способ применения хэш-функции для контроля целостности данных / С.А. Диченко, О.А Финько // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли, 2020. – Т. 12. – №6. – С. 48–59.

4. Comparison of Hash Function Algorithms Against Attacks: A Review / Ali Maetoq, Salwani Mohd Daud, Noor Azurati Ahmad, Nurazen Maarop et al. // International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 2018. – Vol. 9. – No. 8.

5. Cryptographic Hash Functions: Recent Design Trends and Security Notions / Saif Al-Kuwari, J.H. Davenport, R.J. Bradford // IACR Cryptology ePrint Archive, 2011.

6. Developing a New Collision-Resistant Hashing Algorithm / L.V. Cherckesova, O.A. Safaryan, N.G. Lyashenko, D.A. Korochentsev // Mathematics, 2022. – No. 10.

7. *Авезова Я.Э.* Современные подходы к построению хеш-функций на примере финалистов конкурса SHA-3 // Вопросы кибербезопасности, 2015. – № 3(11).

8. A Novel Methodology to Protect from Attacks Using Multiple Hashing Algorithms / B.N.Reddy, N. Acharya, K. Bhamidipati// International Journal of Computer Applications, 2012. – Vol. 59. – No. 17.

THEORETICAL AND ALGORITHMIC ASPECTS OF CONSTRUCTING CRYPTOGRAPHICALLY STRONG HASH FUNCTIONS IN SECURE DISTRIBUTED SYSTEMS

Galiev B.M.
Supervisor: Pavlov A.D., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article is devoted to the theoretical-algorithmic aspects of the design of cryptographic hash functions and their role in ensuring information security. Key constructions, resistance to attacks and the transition from vulnerable schemes to modern algorithms are considered. Special attention is paid to their applicability in secure distributed systems.

УДК 004

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПЕРСОНАЛИЗАЦИИ ТРАЕКТОРИЙ ОБУЧЕНИЯ: АРХИТЕКТУРА АДАПТИВНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Галиев Б.М.
Научный руководитель: Павлов А.Д., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается архитектура и алгоритмическое обеспечение адаптивных образовательных платформ, способных формировать индивидуальные траектории обучения в режиме реального времени. Описаны ключевые компоненты платформы в виде моделей пользователя, предметной области, адаптации и объяснения, а также представлены математические формализации процессов персонализации. Особое внимание уделено алгоритмам сопоставления, байесовскому моделированию, обучению с подкреплением и учёту когнитивных и мотивационных факторов.

Введение

Переход от стандартизированного образования к персонализированному обучению отражает один из важнейших сдвигов в логике образовательных практик XXI века. В центре внимания оказывается не единый маршрут обучения, а множество возможных путей, каждый из которых подстраивается под конкретного человека. Такой сдвиг отражает философскую установку современного образования, в которой обучающийся становится не объектом педагогического воздействия, а активным субъектом построения собственного образовательного маршрута [1]. Это связано не только с идеей индивидуального подхода в обучении, но и с появлением цифровых платформ, которые могут в реальном времени подстраиваться под ученика и сопровождать его обучение. Такие системы уже не ограничиваются функциями контента или контроля, а становятся полноправными участниками образовательного процесса.

Информационные технологии предоставили инструменты, благодаря которым образовательный путь может динамически формироваться на основе анализа действий обучающегося. Наблюдение за темпом освоения, характером ошибок, степенью вовлечённости позволяет платформам выстраивать диалог с пользователем, постепенно изменяя содержание, формат и последовательность учебных модулей. Элементы адаптивности, ранее носившие характер педагогического чутья, обретают вычислимую форму

через модели пользователя, когнитивные метрики и поведенческие шаблоны. Подобное формализованное сопровождение заменяет интуитивную диагностику педагога системой интеллектуального анализа данных, опирающейся на многослойные алгоритмические модели [*2*]. В цифровой среде каждый шаг ученика фиксируется, и система на основе этих данных делает выводы о том, как хорошо он усвоил материал, и предполагает, что ему лучше изучать дальше.

Работа с этими данными, начиная от простой корректировки последовательности заданий и заканчивая использованием предиктивных алгоритмов и автоматической генерацией индивидуальных рекомендаций, формирует основу архитектуры новых образовательных платформ. Эти платформы становятся адаптивными: они обладают внутренней логикой, способной соотносить информацию о пользователе с моделью предметной области и принимать решения о следующем шаге в обучении. Так возникает образовательная траектории, в которой учитываются как познавательные характеристики обучающегося, так и свойства самого учебного материала.

Персонализированное образование формируется на пересечении образовательной логики и алгоритмической адаптации, где индивидуальная траектория обучения не задаётся заранее, а развивается в ходе взаимодействия обучающегося с системой [3]. Понимание этой траектории требует формализации: необходимо определить, какие параметры могут быть учтены, как они влияют на выбор следующего шага, какие модели лежат в основе механизмов адаптации.

Индивидуальная образовательная траектория: сущность и формализация

Индивидуальная образовательная траектория – это не просто последовательность учебных модулей, выбранных по вкусу обучающегося, а динамическая система, отражающая его развитие, познавательные особенности, контекст обучения и взаимодействие с обучающей средой. В рамках адаптивной платформы такая траектория строится не вручную, а генерируется системой на основе наблюдений и расчётов: каждый новый фрагмент обучения подбирается с учётом предыдущих достижений, ошибок и предпочтений [4].

Чтобы описать траекторию формально, рассмотрим обучающегося как носителя множества параметров, отражающих его текущие знания, навыки и мотивационные характеристики. Это множество может быть представлено в виде вектора компетенций:

$$K(t) = [k_1(t),\ k_2(t),\ \dots, k_n(t)], \tag{1}$$

где $k_i(t) \in [0, 1]$ – степень освоения i-й компетенции в момент времени t, нормированная по шкале.

Образовательный контент системы (например, модуль, задача, фрагмент курса) характеризуется вектором требований:

$$R_j = \left[r_1^j,\ r_2^j,\ \dots,\ r_n^j\right], \tag{2}$$

где r_i^j – минимально необходимый уровень i-й компетенции для успешного освоения элемента j.

Для того чтобы адаптивная система могла принимать решения, вводится функция соответствия (или функции приоритетов), которая определяет, насколько текущий уровень обучающегося соответствует требуемому уровню модуля:

$$F\big(K(t), R_j\big) = \varphi\big(K(t) - R_j\big), \tag{3}$$

где φ – функция, отражающая правило сравнения (например, евклидова метрика, взвешенное скалярное произведение, логистическая вероятность успеха). Это соответствие между требованиями и актуальным уровнем сформированных компетенций формирует основу адаптивного подбора содержания в интеллектуальных системах [5].

Если значение F превышает заданный порог, элемент может быть рекомендован обучающемуся. Однако в рамках адаптивной логики этого недостаточно: система должна не просто отбирать модули по соответствию, но и предсказывать результат взаимодействия с ними – как с точки зрения усвоения, так и затрат времени, мотивации, вероятности досрочного выхода и др [3].

Поэтому модель должна включать функцию перехода траектории:

$$K(t+1) = K(t) + \Delta_j, \quad (4)$$

где Δ_j – предполагаемое изменение компетенций после прохождения элемента j, определяемое на основе эмпирических данных, прошлых реакций или моделей забывания и обучения.

Таким образом, траектория обучения τ задается как последовательность элементов (j_1, $j_2, \dots, j_T$), максимизирующая целевую функцию:

$$\max_{\tau} U\,(K(T), T) = G\big(K(T)\big) - \lambda T, \quad (5)$$

где $G\big(K(T)\big)$ – итоговая оценка сформированного уровня знаний, T – длина траектории (время, количество шагов, когнитивная нагрузка), λ – параметр регуляции баланса между глубиной обучения и его продолжительностью.

В более сложных системах возможны и многокритериальные функции: добавление коэффициентов мотивации, стресса, разнообразия, предпочтений. В этом случае задача оптимизации переходит в область многокритериального планирования.

Конкретные алгоритмы построения такой траектории зависят от архитектурных и вычислительных решений платформы: используется ли статическая оптимизация, эвристическая навигация или обучение с подкреплением. Чтобы перейти к рассмотрению этих решений, необходимо понять, какие архитектурные компоненты лежат в основе адаптивной платформы и как они взаимодействуют между собой.

Архитектура адаптивной образовательной платформы

Современная адаптивная образовательная платформа представляет собой не линейную систему передачи учебного контента, а интеллектуальную среду, способную формировать и перестраивать образовательные траектории на основе информации о каждом обучающемся. Архитектура таких платформ строится на взаимодействии ряда логически и вычислительно автономных моделей, каждая из которых решает свою задачу в контексте персонализации обучения. Эффективная архитектура адаптивной системы включает четыре базовые модели: модель пользователя, модель предметной области, модель адаптации и модель объяснения, каждая из которых выполняет уникальную функцию в процессе персонализации [2]. Эти модели не просто структурируют данные, они участвуют в интерпретации поведения ученика, выборе дальнейших шагов и адаптации форм представления материала [3].

Модель пользователя. В основе любой адаптивной платформы лежит модель обучающегося, задачей которой является реконструкция и отслеживание текущего состояния знаний, умений, мотивации и стилей восприятия. С вычислительной точки зрения она формирует вектор компетенций, на основе которого платформа принимает решения. Поступающие данные, которыми являются успешность выполнения заданий, темп работы, количество попыток, предпочтения форматов, показатели вовлечённости и даже биометрические или психофизиологические маркеры, агрегируются и обновляют $K(t)$.

Таким образом, модель обучающегося – не архив состояний, а вычислительный узел, реагирующий на каждый шаг ученика и передающий сигнал другим компонентам системы [2]: при изменении $K(t)$ пересматриваются как последующие модули, так и способ подачи материала. Точность этой модели определяет, насколько адекватно система способна сопровождать индивидуальную траекторию.

Модель предметной области. Модель предметной области описывает логическую и содержательную структуру учебного материала. Такая модель позволяет задать топологию содержания, отразив как логические зависимости между понятиями, так и возможные индивидуальные маршруты продвижения [6]. Её можно представить в виде ориентированного графа:

$$G = (V, E), \quad (6)$$

где V – множество учебных концептов (узлов), E – множество связей между ними: предшествование, обобщение, тематическая близость. Каждый узел связан с определенным уровнем необходимых знаний, выражаемым вектором требований: $R_j = \left[r_1^j, r_2^j, \dots, r_n^j\right]$,

который определяет, какие именно компетенции требуются для успешного освоения того или иного модуля.

Сравнение текущих знаний обучающегося с требованиями учебного модуля позволяет вычислить функцию соответствия, которая помогает системе определить, насколько конкретный модуль подходит обучающемуся в текущий момент времени, выделяя подходящие темы, зоны дефицита и логичный порядок прохождения материала.

Модель адаптации. Если модель пользователя отражает текущее состояние знаний, а модель предметной области – возможные маршруты, то модель адаптации отвечает за принятие решений. Она определяет, какой модуль обучения предложить следующим, опираясь на степень соответствия текущих знаний требованиям модуля, ожидаемое изменение уровня знаний после прохождения модуля, соотношение между затратами (временем, усилиями) и потенциальной пользой [2].

Этот выбор можно формализовать как задачу оптимизации:

$$\hat{\jmath} = \arg\max_{j}\left[E\left[\, G_j \mid K(t)\,\right] - \lambda \cdot C_j\right], \tag{7}$$

где G_j – ожидаемая польза от модуля j, C_j – цена освоения (включая когнитивную нагрузку и время), λ – параметр, регулирующий баланс между выгодой и затратами.

Таким образом, система адаптации не просто предлагает модуль, но прогнозирует его влияние на всю образовательную траекторию:

$$T = (j_1, \ldots, j_T), \tag{8}$$

определяя её длину, направление и итоговый результат.

Модель объяснения. Способ подачи учебного материала играет важную роль в его усвоении. Модель объяснения выбирает, в каком формате и с каким уровнем сложности представить модуль, опираясь на текущее состояние обучающегося $K(t)$ и его предпочтения [2].

Вероятность успешного усвоения при использовании определённого формата f можно выразить как:

$$P_{\text{success}} = \sigma\left(w_f^{\top} K(t)\right), \tag{9}$$

где w_f – вектор параметров для формы подачи f, σ – сигмоидальная функция. Если система фиксирует неудачную попытку, она может адаптировать объяснение в реальном времени: изменить формат, усилить примеры или уменьшить сложность.

Адаптивная образовательная платформа представляет собой целостную интеллектуальную систему, в которой все компоненты работают, как части единого информационного цикла. Когда обучающийся выполняет действие, например решает задачу или изучает материал, система фиксирует это событие и обновляет представление о его знаниях, переходя от состояния $K(t)$ к $K(t+1)$. Обновлённое состояние анализируется адаптационным механизмом, который определяет следующий шаг на основе соответствия требованиям учебных модулей. Модель предметной области проверяет допустимость перехода к новому содержанию, а модель объяснения подбирает наиболее эффективный способ подачи материала в соответствии с особенностями ученика. Результат взаимодействия вновь влияет на модель обучающегося, инициируя очередной цикл принятия решений. Такая организация позволяет системе не только реагировать на действия ученика, но и прогнозировать их, формируя устойчивую и персонализированную образовательную траекторию.

Алгоритмические методы персонализации и адаптации

В адаптивных образовательных системах персонализация становится осмысленным результатом вычислений, интегрированных в непрерывную работу платформы. Алгоритмы в этом процессе действуют как операторы образовательной логики, интерпретируя действия ученика, принимая решения и управляя направлением его познавательного движения.

Алгоритмы сопоставления: выбор следующего элемента обучения. Первый уровень адаптации реализуется через алгоритмы соответствия между текущим состоянием обучающегося и требованиями учебного элемента. В основе этого механизма лежит функция

приоритета, которая оценивает степень соответствия между вектором актуальных компетенций и требуемым уровнем для освоения конкретного модуля [2]. В простейших случаях решение о включении элемента в образовательную траекторию принимается на основе превышения установленного порогового значения этой функции.

Однако в реальной адаптивной системе этого недостаточно. Платформа учитывает не только соответствие, но и ожидаемый прирост компетенций, риск демотивации, накопленный опыт ученика с аналогичными элементами и вероятное время на выполнение, что приводит к формулировке задачи многокритериального выбора:

$$\hat{\jmath} = \arg\max_{j}\left[\alpha_1 F\left(K(t), R_j\right) + \alpha_2 E\left[\Delta_j\right] - \alpha_3 C_j\right], \quad (10)$$

где Δ_j – ожидаемое изменение компетенций, C_j – предполагаемые временные затраты, α_i — веса критериев. Таким образом, выбор каждого шага учитывает не только соответствие, но и его влияние на будущее состояние обучающегося.

Байесовские методы прогнозирования результата. Система должна уметь предсказывать, к чему приведёт подача конкретного элемента. Для этого широко применяются байесовские модели знания. В них каждый навык представляется как скрытая переменная $S_i(t) \in \{0, 1\}$, указывающая, овладел ли ученик навыком i в момент времени t. Наблюдаемые действия (например, правильный или неправильный ответ) используются для обновления вероятности:

$$P(\, S_i(t+1) \mid \text{ответ}\,) = P\big(\,\text{ответ} \mid S_i(t)\,\big) \cdot P\big(S_i(t)\big) / \, P(\text{ответ}). \quad (11)$$

Эта вероятностная модель позволяет учитывать ошибочные попытки, интуитивные ответы, догадки и забывание. Она обеспечивает более тонкое сопровождение ученика: даже при правильном ответе вероятность владения может не увеличиться, если система распознала, что навык ещё не стабилен и материал не до конца усвоен [7].

Алгоритмы обучения с подкреплением. Один из наиболее мощных классов алгоритмов в адаптивных системах – это обучение с подкреплением. Здесь образовательная траектория трактуется как последовательность действий учащегося в среде, цель которой – максимизировать [5] долгосрочную обучающую ценность.

Модель представляется как состояния – $K(t)$, действия – выбор элемента j, награда – изменения уровня компетенций и вовлечённости.

Объектом оптимизации является стратегия π^*, обеспечивающая максимальное ожидаемое общее качество обучения на всём протяжении траектории:

$$\pi^* = arg \max_{\pi} \mathbb{E}\left[\sum_{t=0}^{T} \delta^t \cdot G(K(t))\right], \quad (12)$$

где π^* – оптимальная стратегия, δ – параметр снижения значимости будущих результатов. В процессе обучения платформа получает обратную связь от действий ученика и корректирует свою политику: если ученик быстро осваивает модули после визуальных объяснений, такие формы получают больший приоритет в будущем.

Модели мотивации и когнитивного отклика. Адаптация невозможна без понимания эмоционального и мотивационного состояния обучающегося. Для этого строятся регрессионные и классификационные модели, использующие параметры: количество попыток, время на задание, скорость нажатий, переключения между вкладками, частота пропусков. Они определяют вероятность фрустрации, скуки или утраты мотивации [7]. Алгоритм реагирует: снижением сложности материала, изменения формата, сокращения длины шагов, вставкой более успешных для ученика занятий. Такие действия воздействуют на траекторию обучения, возвращая обучающегося в зону продуктивной активности и предотвращая отвал от процесса.

Заключение

Современные адаптивные образовательные системы выходят за рамки статичной персонализации и переходят к вычислительной модели сопровождения обучения, где каждая траектория становится результатом непрерывного анализа, прогнозирования и оптимизации. Формальные представления знаний, вероятностные оценки усвоения, модели мотивации и поведенческого отклика объединяются в единую архитектуру, способную не только

реагировать на действия ученика, но и направлять их [2]. Именно в способности системы быть интеллектуальным участником образовательного процесса и заключается ключевой сдвиг в парадигме цифрового обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Зеер Э.Ф.* Теоретико-прикладные основания персонализированного образования: перспективы развития / Э.Ф. Зеер, Э.Э. Сыманюк // Педагогическое образование в России. – 2021. – № 1. – С. 17–25.

2. *Скворчевский К.А.* Современные адаптивные и интеллектуальные цифровые системы обучения: механизмы и потенциал / К.А. Скворчевский, О.В. Дятлова // Вопросы образования / Educational Studies Moscow. – 2024. – № 3. – С. 299–337.

3. *Бойко А.Э.* Применение инструментов интеллектуального анализа образовательных данных при работе с системами управления обучением в организациях высшего образования / А.Э. Бойко, Т.В. Савицкая, Д.С. Лопаткин // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2023. – № 46. – С. 151–177.

4. *Шамсутдинова Т.М*. Формирование индивидуальной образовательной траектории в адаптивных системах управления обучением // Открытое образование. – 2021. – Т. 25. – №6. – С. 36–44.

5. *Кречетов И.А.* Реализация методов адаптивного обучения / И.А. Кречетов, В.В. Романенко // Вопросы образования / Educational Studies Moscow. 2020. – № 2. – С. 252–277.

6. *Зеер Э.Ф.* Концептуально-теоретические основы персонализированного образования / Э.Ф. Зеер, О.В. Крежевских // Образование и наука. 2022; Т. 24. – № 4. – С. 11–39.

7. *Аванесов В.С.* Применение образовательных технологий и педагогических измерений для модернизации образования // Современная высшая школа: инновационный аспект. – 2015. – № 1. – С. 63–88.

INFORMATION TECHNOLOGIES IN PERSONALIZING THE LEARNING PATH: ARCHITECTURE OF NEXT-GENERATION ADAPTIVE EDUCATIONAL PLATFORMS

Galiev B.M.

Supervisor: Pavlov A.D., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the architecture and algorithmic foundations of adaptive educational platforms capable of constructing individualized learning trajectories in real time. It describes the key components of such platforms, including user modeling, domain modeling, adaptation mechanisms, and explanation systems, and presents mathematical formalizations of personalization processes. Special attention is given to matching algorithms, Bayesian modeling, reinforcement learning, and the integration of cognitive and motivational factors.

УДК 004.8:629.7

СОЗДАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ RAG-СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В АВИАЦИОННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Жданов А.С., Шайдуллин Д.А, Мурсалимов В.И.

Научный руководитель: Шлеймович М.П., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы создания и внедрения RAG-системы для автоматизации работы с технической документацией в авиационном производстве. Описаны этапы разработки системы, её адаптация к специфике отрасли и методы повышения

эффективности поиска и генерации ответов. Представлены результаты реализации прототипа и обозначены перспективы дальнейшего развития системы.

Введение

С каждым годом объемы информации растут экспоненциально, особенно остро стоит задача эффективного поиска и обработки знаний [1]. Одной из перспективных технологий, позволяющих решать эти задачи, является Retrieval-Augmented Generation (RAG) — подход, сочетающий в себе методы информационного поиска и генерации текста на основе больших языковых моделей (LLM) [2]. RAG-системы позволяют не только находить наиболее релевантные фрагменты из внешней базы знаний, но и формировать точные, информативные и интерпретируемые ответы на естественном языке.

Актуальность разработки и внедрения RAG-систем особенно высока в таких сложных и регулируемых отраслях, как авиационное производство. Эта сфера характеризуется высокой степенью формализации, наличием множества нормативных документов, технических спецификаций, чертежей, сертификатов и руководств по эксплуатации. Работа с такой документацией требует высокой точности, согласованности и скорости поиска, что делает традиционные системы управления знаниями недостаточно эффективными [3].

Создание RAG-системы для работы с технической документацией в авиационном производстве направлено на решение следующих ключевых задач:

- автоматизация поиска информации в неструктурированных данных;
- повышение точности и скорости получения необходимой информации инженерами и конструкторами;
- обеспечение соответствия проектных решений действующим стандартам и требованиям;
- снижение вероятности человеческой ошибки за счет использования достоверных источников;
- улучшение взаимодействия между различными подразделениями предприятия через единую систему знаний.

Такая система может применяться на всех этапах жизненного цикла авиационного изделия: от проектирования и производства до технического обслуживания и модернизации [4]. Примеры использования включают:

- поиск и анализ требований к конструкции;
- проверку совместимости компонентов;
- автоматическое заполнение отчетов и технической документации;
- поддержку принятия решений при выявлении несоответствий или отклонений.

В рамках данной работы был создан прототип RAG-системы, адаптированный под специфику авиационной отрасли. Он включает в себя парсер PDF-документов, модуль хранения и поиска информации, возможность выбора различных моделей LLM и embedding-моделей, а также пользовательский интерфейс для работы с результатами. Система позволяет создавать отдельных агентов, ориентированных на конкретные области знаний, а также переключаться между ними в зависимости от типа запроса.

Дальнейшее развитие системы предполагает интеграцию более сложных структур знаний, таких как дерево знаний или онтологическая модель, что позволит модели выявлять логические нестыковки, пробелы в документации и скрытые связи между различными разделами технической информации. Также планируется расширение метрик оценки эффективности системы, включая метрики клиентского опыта и аналитическую систему мониторинга взаимодействия пользователей с RAG-интерфейсом.

Целью данной статьи является описание процесса создания и тестирования RAG-системы для авиационного производства, анализ полученных результатов и обозначение направлений дальнейшего развития технологии в данной предметной области.

Основы технологии RAG: принципы работы и области применения

Retrieval-Augmented Generation (RAG) представляет собой гибридный подход к обработке естественного языка, объединяющий возможности информационного поиска и генерации текста с помощью больших языковых моделей (LLM). Технология позволяет расширить знания модели за счет внешних источников информации, обеспечивая при этом высокую точность и интерпретируемость результатов. В отличие от традиционных LLM, которые полагаются исключительно на данные, заложенные в процессе обучения, RAG динамически обращается к актуальным и проверенным источникам, что делает её особенно эффективной в задачах, требующих высокой достоверности.

Структура RAG состоит из двух ключевых компонентов: Retriever и Generator. Retriever отвечает за поиск наиболее релевантных фрагментов информации во внешнем хранилище данных, а Generator — за формирование понятного и структурированного ответа на основе этих фрагментов. Перед этим информация предварительно индексируется и преобразуется в векторное представление с использованием embedding-моделей, что позволяет осуществлять быстрый и точный поиск даже в огромных массивах данных (рис. 1) [5].

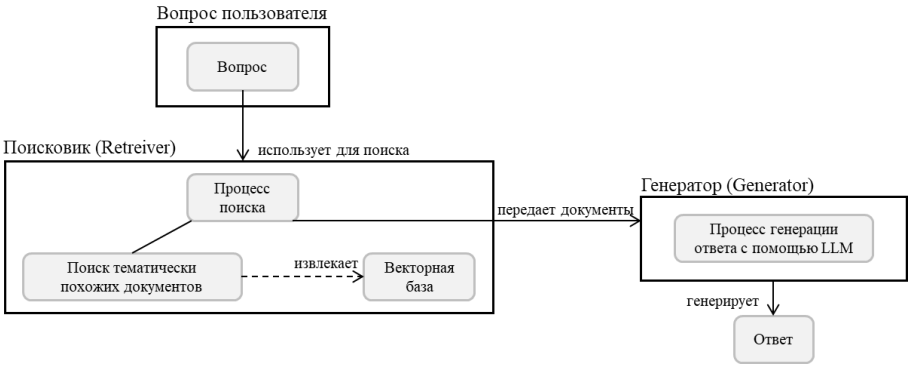


Рис. 1. Схема работы RAG

Процесс работы RAG можно описать следующим образом: при поступлении запроса система сначала использует Retriever для поиска наиболее подходящих документов или их частей, затем эти фрагменты передаются в Generator, который формирует на их основе ответ. Такой подход не только повышает точность генерации, но и снижает вероятность ошибок, связанных с «галлюцинациями» модели, поскольку все выводы опираются на реальные данные из источников.

RAG-технология находит применение в различных областях: в медицине — для поддержки клинических решений, в юриспруденции — при поиске правовых актов, в образовании — для автоматизации обучения, а также в бизнесе — при анализе данных и подготовке отчетов. Особое значение она имеет в отраслях, где важна точность и соответствие фактам, например, в авиационном производстве, машиностроении, энергетике и судостроении [6].

Таким образом, RAG выступает универсальным решением для работы с неструктурированными данными, позволяя организациям эффективно использовать свои знания и оперативно получать точные ответы на сложные вопросы. Его адаптивность и способность работать с любыми типами документов делают его перспективным инструментом для цифровой трансформации различных отраслей экономики [7].

Технологии и подходы, использованные при создании RAG-систем

Для создания эффективной RAG-системы применяются современные методы обработки текста и информационного поиска, позволяющие находить релевантные фрагменты из базы знаний и генерировать точные ответы. Основой работы системы являются такие этапы, как токенизация — разбиение текста на минимальные единицы (токены), например слова или части слов, и чанкование — объединение токенов в логически завершённые блоки,

называемые чанками [8]. Такая структура позволяет системе работать с контекстом, а не отдельными словами, что особенно важно при обработке технической документации.

Процесс обработки запроса представляет собой пайплайн, включающий: переформулировку вопроса пользователя, поиск наиболее релевантных фрагментов в базе знаний, их ранжирование, генерацию ответа, форматирование и оценку его достоверности. Однако внедрение RAG-систем в сложных предметных областях, таких как авиационное производство, сталкивается с рядом проблем [5]. Информация зачастую плохо структурирована, хранится в разных форматах, содержит внутренние сокращения, недоступные без дополнительного контекста. Часто возникают противоречия между документами, где один и тот же параметр может иметь разные значения. Также остаётся риск ошибочной генерации информации, увеличение времени ответа и вопросы безопасности данных.

Для повышения устойчивости и качества системы используются различные подходы. Например, для преобразования текста в векторы применяется модель SBERT [9], хорошо зарекомендовавшая себя при работе с технической документацией. Для поиска информации используется комбинация классического алгоритма BM25 [10] и векторного поиска. Специальные механизмы помогают интерпретировать аббревиатуры и термины, а также обеспечивают актуальность используемых данных через метаданные и версионный контроль. Для снижения задержек применяются быстрые векторные хранилища, предварительная индексация и кеширование популярных запросов. Все эти меры направлены на создание надёжной и эффективной RAG-системы, способной работать с высокими требованиями реальных производственных задач.

Применение RAG-системы в авиационном производстве

Авиационное производство — одна из самых сложных и регулируемых отраслей промышленности, где точность, согласованность и соблюдение стандартов имеют критическое значение. В этой сфере ежедневно используется огромное количество технической документации: чертежи, спецификации, руководства по эксплуатации, сертификаты соответствия, нормативные акты, внутренние инструкции и проектная документация. Эффективная работа с такими данными требует высокой скорости поиска, интерпретации и проверки информации.

RAG-система выступает мощным инструментом для автоматизации этих процессов, позволяя находить нужную информацию за секунды, проверять соответствие решений действующим стандартам, генерировать ответы на основе достоверных источников, снижать вероятность ошибок при работе с большими объемами данных.

Основные задачи, решаемые RAG-системой в авиапроизводстве представлены в таблице 1:

Таблица 1

Основные задачи, решаемые RAG-системой

Название задачи	Описание	Пример запроса	Ответ системы
Автоматический поиск информации	Быстрый поиск нужных фрагментов в PDF, архивах, чертежах	«Какие требования предъявляются к прочности титановых сплавов в конструкции двигателя?»	«Согласно ОСТ 92-0436-2005, минимальный предел прочности титанового сплава ВТ3-1 должен составлять не менее 850 МПа при температуре до 450°С. Также см. ГОСТ 19807-91 п. 4.3.2…»
Проверка соответствия проектных решений нормативам	Сравнение параметров изделия с действующими	«Соответствует ли применяемый композитный материал требованиям FAA	«Материал XYZ-2000 прошёл испытания по FAR 25.853 и показал результаты, соответствующие классу B1 по горючести. Сертификат

	стандартами и регламентами	по огнестойкости?»	прилагается в разделе 3.4.1 Руководства по применению материалов.»
Генерация новых документов и отчетов	Автоматическое формирование отчётов, заполнение шаблонов и подготовка сводок на основе найденных данных	«Подготовь отчет по всем изменениям в конструкции крыла за последние полгода»	Система анализирует все ревизии документации, собирает данные об изменениях, ссылается на соответствующие разделы и формирует готовый отчёт.
Обнаружение несоответствий и противоречий в документации	Выявление расхождений между различными источниками информации	Система замечает, что в одном документе указана максимальная масса узла как 120 кг, а в другом — 110 кг	Система сообщает об этом пользователю и предлагает провести дополнительную проверку для выявления актуального значения
Поддержка принятия решений	Предоставление экспертам рекомендаций и ссылок на источники для более обоснованного выбора	«Какой тип болтового соединения лучше использовать в условиях вибрационной нагрузки?»	«На основании Руководства по конструктивному оформлению соединений (РД 22-140-89), рекомендуется использовать соединения с самоконтрящейся гайкой типа НК-12М. Также см. примечание к чертежу 09-234-1 от 2023 года.»

Адаптация RAG-системы для авиационного производства включает несколько ключевых аспектов. Во-первых, большая часть технической документации представлена в формате PDF, включая сканированные страницы, поэтому система должна поддерживать технологии OCR и последующее чанкование текста. Во-вторых, важна интеграция с корпоративными системами — PLM, ERP и CAD — для обеспечения доступа к актуальным данным на всех этапах производства.

Учет специфики терминологии достигается за счет дообучения моделей на технической литературе и создания справочников аббревиатур и условных обозначений. Система также поддерживает многоуровневый поиск: от точного (по кодам и номерам) до семантического с учетом метаданных. Наконец, для повышения эффективности создаются специализированные агенты, ориентированные на конкретные области — материалы, безопасность, чертежи и другие аспекты авиастроения.

Этапы создания собственной RAG-системы

Процесс создания собственной RAG-системы включает в себя несколько последовательных этапов, обеспечивающих установку, конфигурацию и интеграцию необходимых компонентов:

1. Установка программного обеспечения. В качестве среды выполнения используется подсистема Windows для Linux (WSL) с установленной дистрибутивной версией Ubuntu. Дополнительно устанавливается платформа Ollama, предназначенная для локального запуска языковых моделей.

2. Развертывание пользовательского интерфейса. В установленной среде WSL разворачивается Open Web UI — веб-интерфейс для взаимодействия с языковыми моделями (рис. 2).

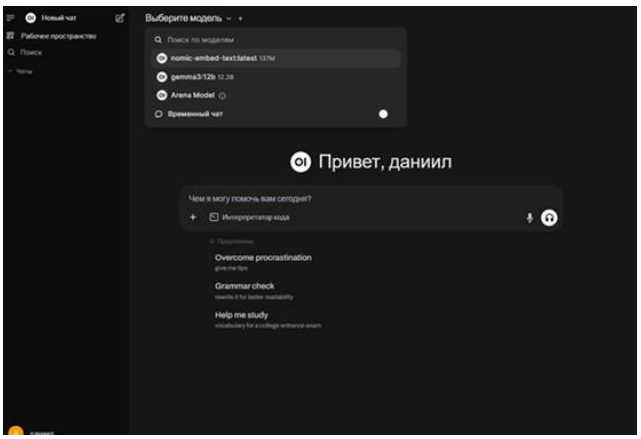


Рис. 2. Развернутый графический интерфейс пользователя

3. Загрузка и конфигурация моделей. Через Ollama подключаются две модели: первая отвечает за генерацию эмбеддингов (embedding-модель), вторая — за генерацию ответов (LLM). Важно учитывать, что запуск LLM может производиться с использованием видеопамяти графического процессора, что требует соответствующих аппаратных ресурсов.

4. Импорт пользовательских документов. Документы, используемые для поиска информации, загружаются в систему и обрабатываются в соответствии с выбранной стратегией индексации и поиска (рис. 3).

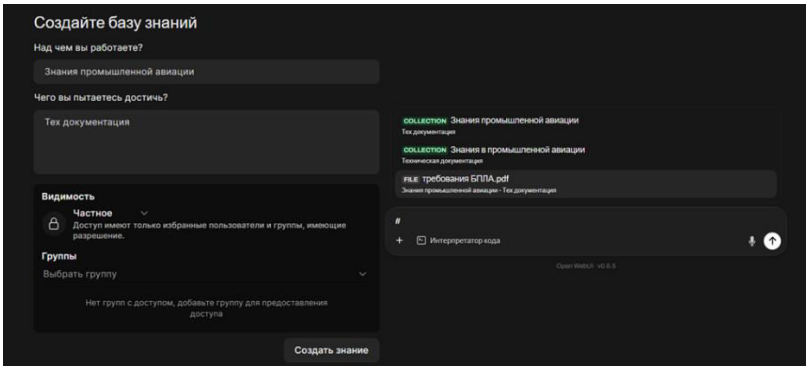


Рис. 3. Создание пользовательской базы знаний

После загрузки базы знаний и привязки соответствующей «коллекции» к диалогу модель выводит сообщение, сопровождаемое оценкой релевантности найденных данных в процентах (рис. 4).

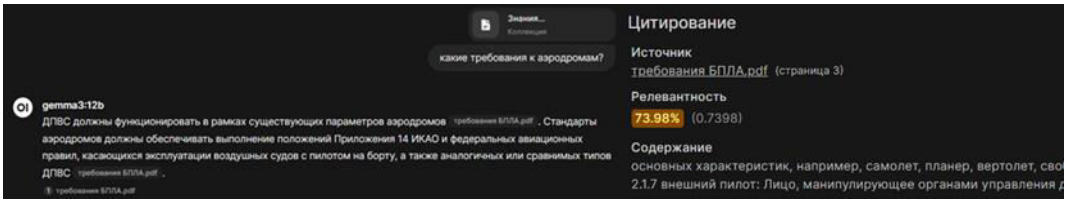


Рис. 4. Вывод ответа модели и значения релевантности ответа по загруженному пользовательскому документу

5. Создание агента с заранее определенными знаниями. После настройки инфраструктуры и загрузки документов становится возможным создание специализированного агента — виртуального помощника, ориентированного на конкретную область знаний. В интерфейсе Open Web UI пользователь может выбрать коллекцию документов, которая будет служить его базой, и прикрепить её к диалогу или выделить отдельный контекст. Также задаются системные промпты, определяющие стиль ответа и уровень детализации, например: «Отвечай только на основе документов. Если информации

нет — сообщи об этом». После настройки агент готов к использованию: при получении запроса он обращается к своей базе знаний, находит релевантные фрагменты и формирует ответ с указанием уровня совпадения (например, «Совпадение: 85%»). Это позволяет создавать несколько агентов под разные задачи — для работы с чертежами, стандартами или инструкциями, обеспечивая гибкость и удобство использования системы в авиационном производстве.

6. Автоматизация запуска. Для упрощения развёртывания системы и обеспечения её воспроизводимости создаётся Docker-файл, включающий все необходимые конфигурации для автоматического запуска как веб-интерфейса, так и используемых моделей искусственного интеллекта. В случае необходимости использования графического процессора (GPU) для работы Ollama применяется Docker-контейнер с указанием доступа к GPU через параметр capabilities: [gpu]. На рисунке 5 представлен пример такой конфигурации.

```yaml
services:
  webui:
    image: ghcr.io/open-webui/open-webui:main
    container_name: open-webui-work
    ports:
      - "8080:8080"
    environment:
      - OLLAMA_BASE_URL=http://ai:11434/
      - WEBUI_SECRET_KEY=your_secret_key_here
    volumes:
      - ./open-webui:/app/backend/data
    depends_on:
      ai:
        condition: service_started
  ai:
    image: ollama/ollama:latest
    container_name: ai
    ports:
      - "11434:11434"
    volumes:
      - ./ai:/root/.ollama
    deploy:
      resources:
        reservations:
          devices:
            - driver: nvidia
              count: 1
              capabilities: [ gpu ]
    healthcheck:
      test: [ "CMD-SHELL", "curl -f http://localhost:11434 || exit 1" ]
      interval: 10s
      timeout: 5s
      retries: 5
    entrypoint: >
      sh -c "
        ollama serve & sleep 5 && ollama pull gemma3:12b &&
        ollama pull nomic-embed-text && tail -f /dev/null
      "
```

Рис. 5. Пример конфигурации Docker-контейнера для запуска Ollama с поддержкой GPU

7. Выбор языковой модели на этапе тестирования. На этапе разработки RAG-системы проводилось сравнение нескольких открытых языковых моделей, включая DeepSeek, Qwen и Gemma, с учётом таких критериев, как скорость генерации ответов, качество и релевантность выдачи, объём занимаемой памяти и склонность к "галлюцинациям". Выбор модели также учитывал важный параметр — количество обученных весов (параметров), от которого напрямую зависит способность модели понимать и обрабатывать сложные запросы: чем больше параметров, тем выше интеллектуальные возможности модели. По результатам тестирования предпочтение было отдано модели Gemma, которая показала наиболее сбалансированные характеристики: компактность, высокую скорость работы, низкое энергопотребление и минимальную склонность к генерации нерелевантной информации. Благодаря этим качествам Gemma обеспечила стабильную и эффективную работу системы даже при ограниченных вычислительных ресурсах [11].

Заключение

В ходе работы была разработана и реализована RAG-система для автоматизации работы с технической документацией в авиационном производстве. Система позволяет эффективно извлекать информацию из неструктурированных данных, находить релевантные фрагменты и генерировать точные ответы на основе достоверных источников. Были выполнены ключевые этапы реализации: подготовка инфраструктуры, интеграция языковых моделей, загрузка и обработка документов, создание пользовательского интерфейса и специализированных агентов. В качестве основной языковой модели выбрана Gemma, которая показала хороший баланс между качеством генерации, скоростью работы и низким потреблением ресурсов. Также была реализована возможность оценки релевантности найденных данных, что повышает доверие к получаемым результатам.

Перспективы дальнейшего развития системы включают внедрение дерева знаний для выявления логических связей между документами, расширение метрик оценки эффективности и анализ взаимодействия пользователей. Планируется создание специализированной базы

данных для хранения истории запросов, действий пользователей и оценок релевантности, что откроет возможность для последующего анализа и улучшения системы, а также построения аналитической системы мониторинга. Также рассматриваются методы продвинутой настройки, такие как RELP (Retrieval Augmented Language Model based Prediction) для дообучения контексту. Эти доработки позволят сделать систему более интеллектуально насыщенной и функционально завершённой, что откроет новые возможности её применения в сложных инженерных задачах авиационной отрасли.

Исследование проведено при выполнении проекта: «Применение больших языковых моделей при создании систем принятия решений», реализуемого в Передовой инженерной школе "Комплексная авиационная инженерия".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Шепель В.Н., Акимов С.С*. Проблемы извлечения знаний. – 2015.

2. *Mozharovskii E*. Evaluating retrieval-augmented generation (RAG) techniques in enhancing LMS for coding tasks //Universum: tekhnicheskie nauki: elektron. nauchn. zhurn. – 2024. – Т. 6. – №. 123.

3. *Cuconasu F.* et al. The power of noise: Redefining retrieval for rag systems //Proceedings of the 47th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval. – 2024. – С. 719-729.

4. *Орлова Л.В., Галигузова А.А., Смирнова А.Д*. Область применения искусственного интеллекта в авиации //Тенденции развития науки и образования. 2020. – №. 67-1. – С. 35-38.

5. Raft. Архитектура RAG: полный гайд // Хабр. 2024. URL: https://sysblok.ru/glossary/chto-takoe-rag/ (дата обращения: 05.06.2025).

6. *Черноус Д*.. Когда RAG на горе свистнет // Бизнес-секреты. 2025. URL: https://secrets.tbank.ru/blogi-kompanij/sovremennye-ii-pomoschniki/ (дата обращения: 06.06.2025).

7. Технологии и проекты. Для чего RAG бизнесу? // Технологика. 2025. URL: https://www.technologika.ru/blog/rag-for-business (дата обращения: 11.06.2025).

8. Команда Yandex Cloud. RAG: учим искусственный интеллект работать с новыми данными // Yandex Cloud. 2025. URL: https://yandex.cloud/ru/blog/posts/2025/05/retrieval-augmented-generation-basics (дата обращения: 05.04.2025).

9. *Wang B., Kuo C.C. J.* Sbert-wk: A sentence embedding method by dissecting bert-based word models //IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing. – 2020. – Т.28. – С. 2146-2157.

10. *Воробьев С.П., Болеславович Х.М*. Модификация схемы BM25 с помощью генетического алгоритма //Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 22. – №. 4-1. – С. 67.

11. SL Soft. Применение LLM + RAG для диалоговых систем в службе поддержки // Хабр. 2025. URL: https://habr.com/ru/companies/slsoft/articles/877914/ (дата обращения: 11.06.2025).

CREATION AND APPLICATION OF A RAG SYSTEM FOR TECHNICAL DOCUMENTATION IN AVIATION MANUFACTURINGTITLE

Zhdanov A.S., Shaidullin D.A., Mursalimov V.I.

Supervisor: Shleymovich M.P., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses the development and implementation of a RAG system for automating work with technical documentation in aviation manufacturing. It describes the stages of system development, its adaptation to industry-specific requirements, and methods for improving search and response generation efficiency. The results of prototype implementation are presented, along with prospects for further system development.

УДК 004.896

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ C# И WPF В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Зарипов А.Р., Зарипова Д.Н.
Научный руководитель: Шлеймович М.П., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Краткое описание сути работы: создание программного обеспечения для управления измерительным манипулятором на базе C# и WPF. Подчёркиваются модульность, использование шаблона MVVM, асинхронная архитектура и взаимодействие с измерителями. Упор на реальное применение в научных и производственных задачах.

Современные задачи измерений в промышленности, науке и инженерных испытаниях предъявляют всё более высокие требования к точности, скорости и воспроизводимости получаемых данных. Ручные методы, несмотря на свою универсальность, становятся всё менее эффективными: они подвержены человеческому фактору, требуют высокой квалификации оператора и часто не обеспечивают необходимой повторяемости результатов.

В этих условиях возрастающую роль играют роботизированные измерительные системы, способные автоматизировать процесс позиционирования измерительного инструмента, снизить вероятность ошибок и существенно ускорить цикл измерений. Однако для эффективной работы таких систем требуется специализированное программное обеспечение, обеспечивающее управление движением манипулятора, взаимодействие с измерительными приборами и логирование данных в режиме реального времени.

В рамках данной работы разработано программное обеспечение для автоматизированного управления измерительным манипулятором на базе языка программирования C# с использованием технологий Windows Presentation Foundation (WPF) и архитектурного шаблона Model–View–ViewModel (MVVM). Реализация основана на модульной структуре с поддержкой асинхронного взаимодействия с внешними устройствами через последовательные интерфейсы (RS232, RS485) и протокол Modbus RTU[2,3].

Выбор платформы .NET и языка C# обусловлен их широким распространением, развитой экосистемой, удобством работы с интерфейсами низкого уровня и возможностью быстрой разработки визуально насыщенных и устойчивых интерфейсов. Использование WPF и MVVM позволило отделить логику управления от пользовательского интерфейса, обеспечив масштабируемость, надёжность и удобство сопровождения программного кода.

Целью данной статьи является описание архитектурных и технических решений, реализованных в программном обеспечении, а также демонстрация его применимости для автоматизации измерительных процессов в робототехнических системах.

Разработка программного обеспечения для управления измерительными роботизированными системами требует не только высокой надёжности, но и гибкости, удобства сопровождения и возможности быстрой адаптации под изменяющиеся условия. В рамках данной работы в качестве основных технологий были выбраны язык программирования C#, платформа .NET и графическая подсистема WPF (Windows Presentation Foundation), реализующая модель MVVM (Model–View–ViewModel).

Язык C# обладает рядом преимуществ для инженерных задач:

- встроенная поддержка многопоточности и асинхронного программирования (async/await);
- высокая читаемость кода и строгая типизация;
- развитая поддержка работы с COM-портами и последовательными интерфейсами через пространство имён System.IO.Ports[2];
- наличие большого числа библиотек для работы с промышленными протоколами, включая Modbus RTU (например, NModbus4).

Кроме того, .NET предоставляет удобные средства логирования, сериализации данных, взаимодействия с файловой системой и создания конфигурационных модулей.

Для построения пользовательского интерфейса была выбрана технология WPF, предоставляющая мощные средства для создания гибких, отзывчивых и визуально настраиваемых оконных приложений. Вместе с шаблоном проектирования MVVM WPF позволяет:

- разделить бизнес-логику и визуальный интерфейс;
- обеспечить двустороннюю привязку данных (binding), что критически важно для отображения координат, параметров измерений и состояний соединений;
- легко масштабировать систему за счёт добавления новых ViewModel и страниц;
- ускорить процесс тестирования, так как логика не связана напрямую с визуальной частью.

При реализации проекта использовались следующие программные компоненты:

- System.IO.Ports — для связи с контроллером робота по протоколу RS232;
- NModbus4 — для опроса лазерного дальномера по Modbus RTU через RS485;
- RelayCommand и ObservableCollection — стандартные шаблоны .NET для обработки команд интерфейса и реактивных коллекций;
- JSON/Config файлы — для хранения параметров смещений, настроек COM-портов и конфигурации измерительной среды.

Совокупность выбранных технологий позволила реализовать устойчивое к ошибкам, гибкое и расширяемое программное решение, пригодное как для исследовательских стендов, так и для применения в промышленных условиях.

Программное обеспечение для управления измерительной роботизированной системой было спроектировано на основе модульной архитектуры с применением шаблона проектирования MVVM (Model–View–ViewModel), что позволило добиться разделения логики, визуального представления и состояния системы. Это решение обеспечивает масштабируемость, надёжность и удобство сопровождения кода, особенно при добавлении новых функций или подключении внешних устройств.

Разработанная система включает в себя следующие основные модули:

- Модуль управления движением робота — формирует команды перемещения, контролирует допустимость координат, взаимодействует с контроллером робота через последовательный порт (RS232).
- Модуль взаимодействия с измерителем — осуществляет обмен данными с лазерным дальномером по протоколу Modbus RTU через интерфейс RS485, выполняет фильтрацию и проверку значений.
- Модуль обработки координат — реализует пересчёт координат с учётом смещений измерительного инструмента и рабочей зоны, обеспечивает согласованность всех преобразований.
- Модуль хранения параметров и логирования — сохраняет пользовательские настройки (смещения, шаг перемещения, конфигурации портов) и результаты измерений в файл.
- Графический интерфейс пользователя (GUI) — обеспечивает интерактивное управление системой, отображает статусы, координаты, результаты измерений и сообщения об ошибках.

Использование шаблона MVVM позволило достичь слабой связности между слоями:

- Model содержит описания данных, конфигурационные структуры и параметры измерений;
- ViewModel реализует бизнес-логику, обработку команд, пересчёт координат, управление портами и взаимодействие с аппаратной частью;
- View (XAML-интерфейс) включает только элементы отображения и привязки, без бизнес-логики.

Пример: кнопка перемещения в интерфейсе связана с командой MoveCommand во ViewModel. При нажатии команда инициирует формирование и отправку команды роботу, при этом пользовательский интерфейс остаётся отзывчивым[4].

Коммуникация между модулями реализована через:

- интерфейсы (ISerialPortService, IMeasurementService);
- событийные делегаты (например, OnCommandExecuted);
- привязку данных (Binding) в XAML.

Вся работа с внешними устройствами осуществляется асинхронно, что предотвращает блокировку интерфейса. Команды и измерения выполняются параллельно, а результаты отображаются в интерфейсе по мере поступления.

При работе с физическим оборудованием, особенно через последовательные интерфейсы (RS232, RS485), критически важна устойчивость системы к ошибкам связи и отзывчивость пользовательского интерфейса. Одновременное выполнение измерений, перемещений и визуализации требует организации асинхронной архитектуры, исключающей блокировку основного потока приложения.

Все операции, связанные с взаимодействием с оборудованием, реализованы с использованием механизмов async/await, доступных в C#[5]. Это позволило:

- выполнять команды перемещения и опрос измерителя в фоновом потоке;
- не блокировать интерфейс во время выполнения долгих операций;
- обеспечивать мгновенный отклик интерфейса на действия пользователя.

Для повышения отказоустойчивости были реализованы следующие механизмы:

- автоматическое определение потери соединения (по таймауту ответа);
- отображение ошибок в интерфейсе (например, потеря связи, неверный формат данных);
- повторные попытки установления соединения;
- централизованное логирование всех исключений и системных сообщений.

При возникновении ошибок пользователь уведомляется через диалоговые окна, а система может автоматически восстановить соединение без перезапуска приложения.

Перед отправкой команды перемещения выполняется проверка допустимости координат:

- по границам рабочего пространства;
- с учётом смещений (ToolOffset, WorkingOffset);
- в соответствии с заданными ограничениями звеньев робота.

Если координаты выходят за допустимый диапазон, движение не производится, а пользователю выводится предупреждение.

Интерфейс приложения остаётся стабильным даже при обрыве связи:

- кнопки управления временно блокируются;
- визуальные индикаторы показывают статус соединения;
- результаты последней успешной операции сохраняются для анализа.

Это особенно важно при работе в условиях лаборатории или нестабильной электромагнитной среды.

Для оценки работоспособности и практической эффективности разработанного программного обеспечения была проведена серия испытаний на лабораторной установке, включающей роботизированный манипулятор[6,7] и лазерный дальномер, подключённые к управляющему компьютеру через последовательные интерфейсы RS232 и RS485.

Тестирование проводилось по следующим направлениям:

- Функциональная проверка — корректность выполнения команд, реакция интерфейса, логика взаимодействия с измерителем.
- Точность позиционирования — соответствие достигнутой позиции заданным координатам с учётом всех смещений.
- Воспроизводимость измерений — проверка повторяемости результатов при многократных запусках одних и тех же сценариев.

• Устойчивость к сбоям — реакция системы на обрыв соединения, недоступность порта, некорректные ответы.

• Производительность — оценка времени отклика на команды, задержек при передаче и получении данных.

Система тестировалась на следующей конфигурации:

• манипулятор с 6 степенями свободы, управляемый через RS232;

• лазерный дальномер, подключённый по RS485 и опрашиваемый по протоколу Modbus RTU;

• ПК с Windows 10, .NET 6.0, COM-адаптерами и интерфейсом WPF;

• эталонные объекты и точки в рабочем пространстве для контроля точности.

Полученные результаты

• Средняя погрешность позиционирования — не превышала 0,8 мм при перемещениях по 3D-координатам.

• Время отклика (между нажатием кнопки и подтверждением выполнения команды) — не более 100 мс.

• Потеря соединения — корректно обрабатывалась, интерфейс оставался активным, и соединение восстанавливалось при повторной попытке.

• Чтение данных от измерителя — успешно выполнялось с интервалом до 5 Гц при стабильном соединении.

Проведённые измерения соответствовали требованиям ГОСТ 33988–2016 по точности и устойчивости измерительных систем. Автоматическая калибровка обеспечивала привязку координат к реальным геометрическим условиям, а лог-файлы сохранялись в форматах, пригодных для последующего анализа и отчётности.

В ходе работы было разработано программное обеспечение для управления измерительной роботизированной системой на базе технологий C# и WPF, реализующее автоматизацию процессов измерения в трёхмерном пространстве. Использование архитектурного шаблона MVVM, модульного подхода и средств асинхронного программирования позволило создать масштабируемую, отказоустойчивую и удобную в эксплуатации систему.

Особое внимание уделялось устойчивости к сбоям оборудования, точности позиционирования и простоте пользовательского взаимодействия. Программное обеспечение успешно прошло тестирование в лабораторных условиях: обеспечена точность позиционирования до 0,8 мм, стабильность при длительной работе и корректная обработка сбоев связи.

Применение промышленных протоколов (RS232, RS485, Modbus RTU) и открытых библиотек обеспечило совместимость с широким спектром устройств, а конфигурационные файлы позволили гибко настраивать параметры системы без перекомпиляции.

Результаты работы могут быть использованы при создании стендов технического контроля, метрологических комплексов, а также в образовательных целях при изучении основ автоматизации, робототехники и измерительных технологий.

В дальнейшем планируется расширение функциональности системы за счёт подключения визуализации траекторий, поддержки 3D-моделей объектов и интеграции с компьютерным зрением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ 33988–2016. Технические средства измерений. Общие требования к структуре, функциям и интерфейсу пользователя. — Введ. 2017-07-01. — М.: Стандартинформ, 2016. — 18 с.

2. Microsoft Docs. SerialPort Class (System.IO.Ports) [Электронный ресурс]. URL: https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/api/system.io.ports.serialport (дата обращения: 18.05.2025).

3. Modbus Organization. Modbus Application Protocol Specification V1.1b3 [Электронный

ресурс]. URL: https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf (дата обращения: 18.05.2025).

4. GitHub – NModbus4. .NET library for Modbus RTU and TCP protocols [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/NModbus4/NModbus4 (дата обращения: 18.05.2025).

5. *Troelsen A., Japikse P*. Pro C# 10 with .NET 6. – 11th ed. – Apress, 2022. – 1400 p.

6. *Климчик А.С., Гомолицкий Р.И., Сёмкин К.И*. Разработка управляющих программ промышленных роботов. – Минск: БГУИР, 2008. – 128 с.

7. *Джон Крейг.* Введение в робототехнику: механика и управление. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2020. – 496 с.

AUTOMATION OF MEASUREMENT PROCESSES USING C# AND WPF IN ROBOTIC SYSTEMS

Zaripov A.R., Zaripova D.N.

Supervisor: Shleymovich M.P., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. Brief description of the work: creation of software for controlling a measuring manipulator based on C# and WPF. Modularity, the use of the MVVM template, asynchronous architecture and interaction with meters are emphasized. Emphasis on real-world application in scientific and production tasks.

УДК 004.93

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ АРХИТЕКТУР ДЕТЕКЦИИ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ЗАДАЧ АЭРОВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

Зарипова Д.Н., Зарипов А.Р.

Научный руководитель: Шлеймович М.П., доцент к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ современных нейросетевых архитектур детекции объектов на изображениях, полученных в результате аэросъёмки. Рассмотрены двухэтапные и одноэтапные модели, включая Faster R-CNN, SSD, RetinaNet, EfficientDet и семейство YOLO. Проведён анализ применимости указанных архитектур к задачам аэровизуального контроля и обоснован выбор YOLOv8 для мониторинга животных и объектов на сельскохозяйственных угодьях.

В последние годы наблюдается стремительный рост интереса к использованию беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и аэросъёмки в различных отраслях — от сельского хозяйства и экологии до городского планирования и мониторинга инфраструктуры. Аэровизуальный контроль позволяет оперативно собирать данные о состоянии объектов на больших территориях, включая пастбища, посевные площади, транспортные сети и зоны природного риска. Однако объём визуальной информации, получаемой с БПЛА, требует применения автоматизированных методов анализа.

Одной из ключевых задач в этом направлении является детекция объектов на аэроснимках. В условиях реальной съёмки такие объекты часто имеют небольшие размеры, могут быть частично перекрыты растительностью, тенями или другими элементами сцены. Это предъявляет высокие требования к точности и устойчивости моделей распознавания. Классические алгоритмы компьютерного зрения не справляются с этими задачами, и на смену им пришли методы глубокого обучения, в частности сверточные нейросетевые архитектуры.

На сегодняшний день существует множество моделей детекции объектов, таких как R-CNN, SSD, RetinaNet, EfficientDet и семейство YOLO. Эти модели отличаются архитектурой,

скоростью работы, точностью распознавания и возможностями адаптации к новым условиям. В рамках данной статьи проводится сравнительный анализ этих моделей с точки зрения их применимости к задачам аэровизуального контроля. Особое внимание уделено выбору модели для агропромышленного мониторинга, включая детекцию животных на пастбищах с использованием данных с дронов.

Аэровизуальный контроль с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) стал эффективным инструментом для наблюдения за большими территориями в реальном времени. Такие системы позволяют оперативно выявлять изменения в объектах и окружающей среде без необходимости прямого физического доступа, что особенно актуально в сельском хозяйстве, экологии, управлении природными ресурсами и инфраструктурой.

В сельском хозяйстве аэросъёмка применяется для мониторинга состояния посевов, выявления проблемных зон, оценки индексов вегетации и определения уровня увлажнённости почвы. Одной из важных задач является автоматическое выявление животных на пастбищах — это позволяет вести оперативный учёт поголовья, анализировать распределение особей по территории и фиксировать отклонения от нормы, такие как потеря или изоляция животных [1].

В экологических проектах аэроснимки используются для наблюдения за популяциями диких животных, контролем состояния лесных массивов, водоёмов, а также для раннего выявления очагов загрязнений или нарушений экосистем [2]. В инфраструктурных задачах визуальный контроль с воздуха позволяет выявлять повреждения дорожного полотна, следить за строительством и оценивать состояние энергетических сетей.

Однако эффективность автоматической обработки аэроснимков зависит от ряда условий, характерных для аэрофотосъёмки. К ним относятся:

1. Высокая вариативность масштабов объектов, поскольку дистанция съёмки может меняться, а сами объекты занимают небольшую часть изображения.
2. Наличие визуальных искажений — тени, засветка, перекрытие объектами растительности или построек, неоднородный фон.
3. Сложности аннотации — ручная разметка аэроснимков трудоёмка, особенно если речь идёт о десятках тысяч изображений.
4. Необходимость высокой скорости анализа — в условиях реального времени, например при анализе видеопотока с БПЛА, требуется высокая производительность алгоритмов.

Таким образом, к архитектурам детекции объектов на аэроснимках предъявляются следующие требования: высокая точность распознавания даже мелких и частично перекрытых объектов, устойчивость к внешним условиям съёмки, скорость работы и возможность адаптации к пользовательским датасетам.

Для решения этих задач всё чаще применяются современные нейросетевые архитектуры, способные эффективно выявлять и классифицировать объекты на изображениях различного качества.

Современные задачи автоматического анализа изображений, включая аэрофотосъёмку, невозможно решить без применения нейросетевых моделей, способных одновременно локализовать объекты на изображении и классифицировать их. Архитектуры для задач детекции объектов можно условно разделить на два класса: двухэтапные (two-stage) и одноэтапные (one-stage) модели.

Двухэтапные модели, такие как R-CNN, Fast R-CNN и Faster R-CNN, предполагают сначала генерацию потенциальных регионов, содержащих объекты (region proposals), а затем — их классификацию. Они обеспечивают высокую точность, особенно в сложных сценах, но имеют значительную вычислительную нагрузку и невысокую скорость работы, что ограничивает их применение в реальном времени и на устройствах с ограниченными ресурсами [3].

Одноэтапные модели, включая SSD (Single Shot MultiBox Detector), RetinaNet и семейство YOLO (You Only Look Once), объединяют этапы локализации и классификации

объектов в рамках одного прямого прохода по изображению. Это обеспечивает более высокую скорость инференса, что делает их пригодными для задач на борту дронов или в потоковой обработке видео. Одним из ключевых достижений в этом направлении стала модель RetinaNet, предложившая новую функцию потерь — *focal loss*, позволяющую справляться с дисбалансом классов и улучшать точность на фоне [4].

Особого внимания заслуживает семейство моделей YOLO, активно развивающееся с 2016 года. Каждая последующая версия модели предлагала улучшения в архитектуре, скорости и точности. Модель YOLOv8, представленная в 2023 году, является одной из самых сбалансированных по совокупности параметров: она не использует anchor-боксы, демонстрирует высокую точность на мелких объектах, устойчива к шуму и эффективно работает в условиях аэросъёмки. Её отличает поддержка дополнительных задач — таких как сегментация и трекинг объектов.

В контексте задач аэровизуального контроля особенно важны следующие характеристики модели:

1. способность обнаруживать мелкие и частично скрытые объекты,
2. устойчивость к вариативности освещения, углов обзора и фоновых элементов,
3. возможность дообучения на пользовательских датасетах без потери качества.

Выбор подходящей архитектуры зависит от конкретной задачи, но в условиях реального времени и ограничений аэросъёмки приоритет отдается одноэтапным моделям, способным обеспечивать баланс между точностью и производительностью.

Для выбора оптимальной архитектуры нейросетевой модели в задачах аэровизуального контроля важно учитывать не только точность распознавания, но и другие критически значимые параметры: скорость обработки, устойчивость к условиям съёмки, вычислительную сложность и способность модели адаптироваться к пользовательским данным. В таблице 1 представлен сравнительный анализ наиболее распространённых моделей детекции объектов с точки зрения их применимости к задачам анализа аэроснимков.

Таблица 1

Сравнение нейросетевых моделей детекции объектов

Модель	**Качество распознавания (%)**	**Скорость работы (кадров в секунду)**	**Вычислительная сложность (объём памяти в ГБ)**	**Устойчивость к аэросъёмке**	**Адаптируемость к новым задачам**
R-CNN	58.5	2	11	Чувствительна к шуму, слабоустойчива к частичному перекрытию объектов	Требует полной перенастройки и большого количества размеченных данных
Fast R-CNN	66.9	7	9	Сложности при обнаружении мелких объектов, нестабильность при тенях	Возможность дообучения ограничена
Faster R-CNN	70.4	10	8	Способна обрабатывать перекрытия и тени, устойчива при хорошей разметке	Поддерживает тонкую настройку и адаптацию при наличии расширенного датасета

SSD	68.0	45	5	Теряет точность при плотной растительности и низком контрасте	Подходит для задач со стабильной структурой фона
RetinaNet	71.8	25	6	Устойчива к дисбалансу классов, стабильна при разных условиях съёмки	Требует адаптации конфигурации при переносе на новые объекты
EfficientDet	74.3	35	4	Сохраняет точность при варьирующихся углах, освещении и масштабах	Легко дообучается, поддерживает масштабирование
YOLOv3	65.2	45	6	Падает точность на мелких объектах, чувствительна к освещению	Поддерживает адаптацию, но хуже работает без дообучения
YOLOv4	72.0	50	6	Устойчивость при разных условиях аэросъёмки (тени, трава, плотность)	Хорошая адаптация через переобучение на пользователь-ском датасете
YOLOv5	74.5	70	5	Высокая точность на реальных снимках, устойчива к условиям БПЛА	Простое дообучение, широкая поддержка пользователь-ских классов
YOLOv7	76.8	80	7	Устойчива к мельчайшим объектам и сложному фону	Хорошо адаптируется без полной переобучаемости
YOLOv8	77.2	90	6	Высокая устойчивость к аэросъёмке: справляется с тенями, ракурсами и масштабами	Универсальная адаптация: быстрое переобучение, поддержка любых классов

На практике модели YOLOv8 и YOLOv5 демонстрируют оптимальный баланс между точностью и производительностью, что делает их особенно подходящими для задач анализа аэроснимков. YOLOv8, хотя и не является самой новой в линейке, представляет собой зрелую, проверенную временем архитектуру, которая активно поддерживается сообществом и разработчиком (Ultralytics), имеет стабильную реализацию и широкую документацию. Среди ключевых улучшений этой модели — улучшенная функция потерь, а также встроенная

поддержка дополнительных задач, таких как сегментация и трекинг объектов. Это делает YOLOv8 особенно удобной для прикладного использования в аграрном мониторинге, автоматическом подсчёте животных на пастбищах и анализе сельскохозяйственных территорий.

Несмотря на то, что уже анонсированы более новые версии YOLO (например, YOLOv9–v11), они пока находятся на стадии активной разработки, не имеют полной документации, стабильных релизов в рамках PyTorch-библиотеки Ultralytics и часто предъявляют более высокие требования к вычислительным ресурсам. В условиях прикладных проектов, особенно в агропромышленной сфере, где важна надёжность и возможность быстрого внедрения, использование YOLOv8 является более обоснованным решением.

Кроме того, модели YOLO отличаются высокой скоростью работы — до 90 кадров в секунду на современных GPU, что позволяет эффективно использовать их в режиме реального времени. Это особенно актуально при обработке видеопотоков с дронов, когда требуется оперативная реакция на появление объектов — будь то животные, техника или элементы инфраструктуры.

Одним из ключевых преимуществ YOLOv8 является её адаптивность: модель можно быстро дообучить на небольшом наборе аннотированных изображений, что позволяет подстраивать её под конкретные условия съёмки, тип объектов и особенности местности. Такая гибкость особенно важна в полевых условиях, где быстрый запуск системы критичен.

Таким образом, по совокупности параметров YOLOv8 остаётся одной из наиболее предпочтительных архитектур для автоматизированного анализа аэроснимков. Она сочетает высокую точность, производительность и гибкость в адаптации, что делает её универсальным инструментом для решения широкого круга задач — от аграрного мониторинга и учёта животных до инфраструктурного контроля и экологических наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Kamilaris A., Prenafeta-Boldú F.X.* Deep learning in agriculture: A survey // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. Vol. 147. P. 70–90.

2. *Christin S., Hervet É., Lecomte N.* Applications for deep learning in ecology // *Methods in Ecology and Evolution*. 2019. Vol. 10, No. 10. P. 1632–1644.

3. *Ren S., He K., Girshick R., Sun J.* Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2017. Vol. 39, No. 6. P. 1137–1149.

4. *Lin T.Y., Goyal P., Girshick R., He K., Dollár P*. Focal Loss for Dense Object Detection // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2020. Vol. 42, No. 2. P. 298–307.

5. Ultralytics. YOLOv8 Documentation [Electronic resource]. URL: https://docs.ultralytics.com (дата обращения: 18.05.2025).

COMPARATIVE ANALYSIS OF MODERN OBJECT DETECTION ARCHITECTURES FOR AERIAL VISUAL MONITORING TASKS

Zaripova D.N., Zaripov A.R.

Supervisor: Shleimovich M.P., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper presents a comparative analysis of modern neural network architectures for object detection in aerial imagery. Both two-stage and one-stage models are reviewed, including Faster R-CNN, SSD, RetinaNet, EfficientDet, and the YOLO family. Particular attention is given to YOLOv8, which combines high accuracy, fast inference, and robustness under UAV-based imaging conditions. The paper evaluates the applicability of these architectures to aerial visual monitoring tasks and justifies the choice of YOLOv8 for detecting animals and objects in agricultural environments.

УДК 004.451.2

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ТРАНСЛЯЦИИ REST В RPC

Зорькин А.А., Ильичев Д.А., Суворов Н.Д.
Научный руководитель: Вафин Р.Р., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье исследуется сочетание REST и RPC стилей взаимодействия в единой системе. Анализируются их преимущества и недостатки, а также архитектурные подходы SOA и микросервисы. В ходе этого исследования мы решим проблему сочетания двух этих стилей в одном проекте и способ трансляции REST-запросов в RPC. В качестве практического примера мы используем информационную систему (далее - ИС) бронирования отелей.

Введение

Современные распределенные системы всё чаще используют разные архитектурные и коммуникационные стили для обеспечения гибкости и эффективности. С одной стороны, RESTful API [1, с. 166] (основанные на протоколе HTTP и ресурсном подходе) являются стандартом для внешних веб-интерфейсов. С другой стороны, RPC (удаленные вызовы процедур) [1, 164] традиционно применяются для внутренней связи между сервисами в рамках одного языка и фреймворка RPC [2, с. 162 - “Technology coupling”], они решают задачу распределенной обработки. Проблема совмещения REST и RPC заключается в необходимости объединять разные парадигмы взаимодействия в рамках одной системы: например, когда веб-клиенты обращаются к новым REST-сервисам, а часть бизнес-логики реализована в устаревших RPC-сервисах, при этом следует избегая совмещения этих стилей в отдельном слое [2, с. 211]. В данном исследовании будет показано, как реализовать такой гибридный подход: обеспечить фронтенд на REST, сохраняя при этом существующие RPC-сервисы, при помощи проксирования запросов и асинхронных механизмов.

Структура статьи такова: сначала теоретически сравниваются архитектурные подходы (SOA и микросервисы) и стили взаимодействия (REST и RPC) с их плюсами и минусами. Затем описывается реальная система бронирования отелей, собранная из контейнеризованных сервисов: REST-сервис на ASP.NET WebAPI, RPC-сервис на .NET Remoting. Приводятся примеры конфигураций и последовательностей запросов: от аутентификации по JWT до транслирования REST в RPC вызовы. Наконец, анализируются результаты с точки зрения масштабируемости, поддержки и безопасности, и делаются выводы о достоинствах и ограничениях такого подхода.

В основе масштабируемых систем лежат различные архитектурные парадигмы. Сервис-ориентированная архитектура (SOA) [2, с. 701] – это подход, при котором крупные бизнес-функции выносятся в независимые сервисы с определёнными контрактами. SOA решает проблемы монолита, обеспечивая повторное использование и интеграцию разнородных приложений и предлагая возможность распределенной обработки, однако в некоторых источниках, такую архитектуру называют “распределенный” монолит, поэтому все же современные тенденции отходят в сторону микросервисов [2, с. 195].

Таким образом, сервисы построенные по архитектуре SOA используют основной стиль коммуникации RPC, в то время как микросервисы используют REST. В рассматриваемой системе использовано микросервисное разбиение для новых модулей (Web API, платежный шлюз), в то время как SOA-подход с удаленными вызовами (через .NET Remoting) унаследован от существующей логики. Это позволяет постепенно мигрировать функциональность, сохраняя при этом основные преимущества каждого стиля.

REST (Representational State Transfer) – архитектурный стиль, основанный на ресурсах и стандартах HTTP [2, 166]. REST API взаимодействуют с ресурсами (например, объектами «отель», «бронирование») через единую структуру URL и стандартные методы HTTP (GET,

POST, PUT, DELETE). Принципы REST включают клиент-сервер взаимодействие, статус без сохранения (stateless), кешируемость и единый интерфейс [2, с. 166]. При REST-клиент просто знает URI ресурсов и не должен заранее знать “имена функций” на сервере – сервер же предоставляет доступ к данным через URL.

RPC (Remote Procedure Call) – стиль, при котором клиент явно вызывает удаленные процедуры (методы) на сервере. RPC "маскирует" сетевой вызов под локальный метод: при вызове метода создается прокси, который сериализует параметры, пересылает их на сервер, выполняет функцию и возвращает результат такую абстракцию называют независимостью от расположения (англ. «location transparency» [1, с. 167]).

На рисунке 1 приведена сравнительная диаграмма стилей коммуникации между сервисами [2]:

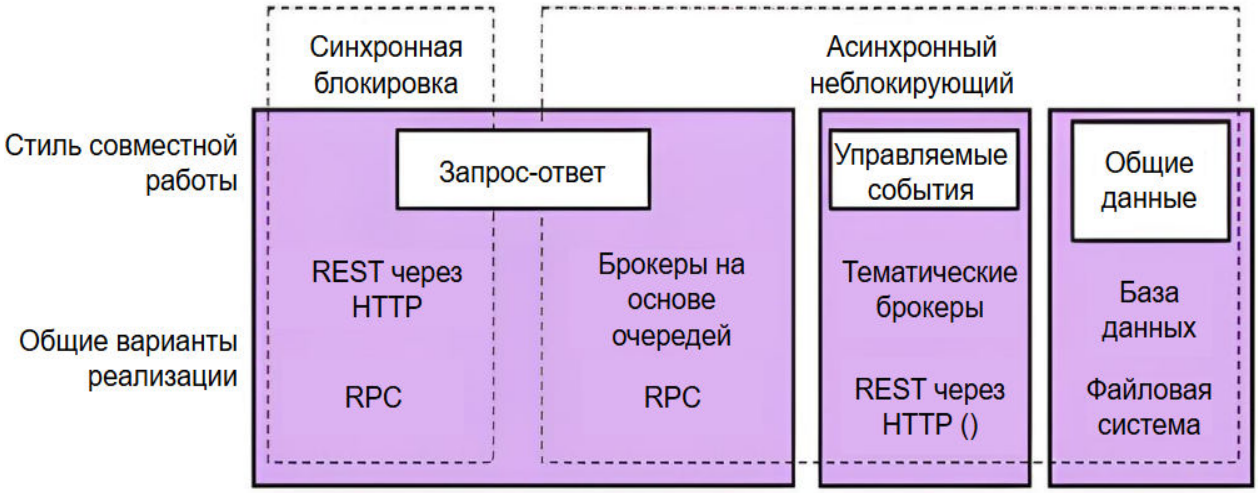


Рис. 1. Сравнение стилей взаимодействия в микросервисной архитектуре

Несмотря на разницу подходов, оба стиля зачастую используют HTTP и общие форматы (JSON/XML) для обмена данными [1, с. 165]. При RPC-API клиент обычно делает HTTP-POST на endpoint, обозначающий конкретную функцию (например, /service/MyMethod), передавая JSON с параметрами. При REST-клиент использует различные HTTP-методы для манипуляции ресурсами по известным URL (например, GET /api/hotels/123, PUT /api/orders/456), без необходимости явно вызывать методы. В примере ниже показано, что для создания ресурса, например, товара, используются разные типы запросов через RPC и REST:

RPC: POST /addProduct HTTP/1.1 (предполагает вызов функции addProduct с телом JSON)
REST: POST /products HTTP/1.1 (создаёт новый ресурс типа product с передачей JSON-данных)

Преимущества REST: простота (использование привычных HTTP-глаголов), stateless-модель, широкая поддержка и совместимость с web-технологиями, встроенное кеширование. Недостатки REST – затруднения при реализации сложных многошаговых действий, ограниченность CRUD операциями, синхронные блокирующие вызовы [2, 140]. RPC же позволяет вызывать произвольные процедуры (например, платежный алгоритм как один метод), что может быть удобнее при богатых бизнес-операциях. Но RPC менее формализован (каждая процедура – свой контракт), может приводить к сильной связности (англ. common-coupling [2, с. 70]) и имеет множество других недостатков [5, 6].

Для демонстрации гибридного подхода была разработана система бронирования отелей. На рисунке 2 представлена архитектура размещения компонентов в локальной среде разработки.

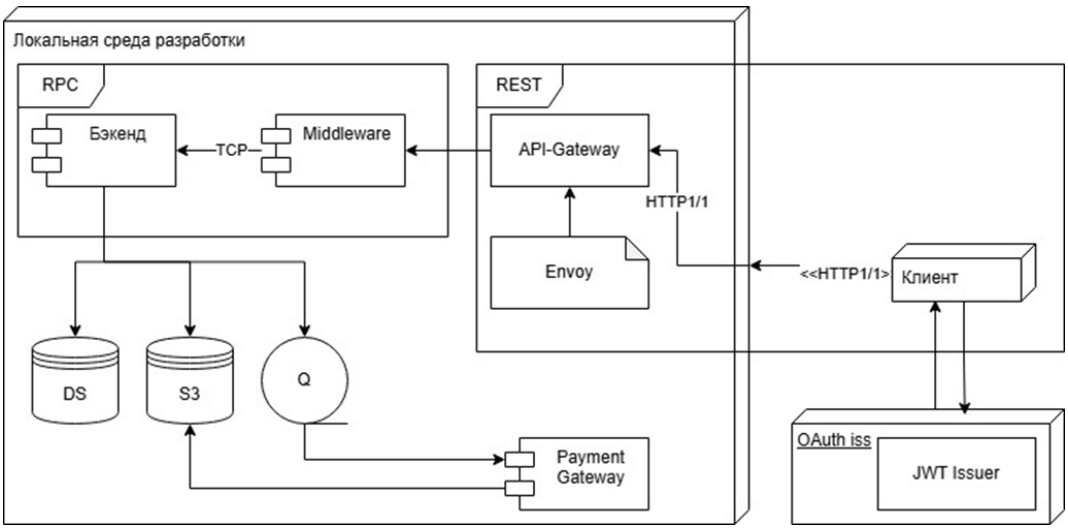


Рис 2. Схема размещения в локальной среде разработки

Она состоит из нескольких микросервисов, каждый завернут в Docker-контейнер.

● (Middleware) WebAPI-сервис на ASP.NET (REST). Отвечает за внешний HTTP-трафик (англ. North-South traffic [2, с. 209]) – операции поиска отелей, оформления брони, оплаты. Этот сервис аутентифицирует запросы по OAuth2 (JWT) и взаимодействует с бизнес-логикой системы.

● RPC-сервис (.NET Remoting). Содержит "наследуемые" функции (например, менеджер отелей и номеров), реализованные как удалённые объекты MarshalByRefObject. Используется для части бизнес-логики, не переведенной на REST.

В приведенной схеме запросы клиентов попадают на Envoy (порт 80). Envoy выполняет проверку JWT и перенаправляет запрос на Middleware:8080. Другие сервисы (remoting, RabbitMQ, MinIO, Postgres) доступны по внутренним адресам внутри Docker-сети.

Настройка REST и RPC: В WebAPI контроллерах реализованы REST-эндпоинты, которые в нужных случаях вызывают методы .NET Remoting для наследуемых функций. Например, в контроллере бронирования может быть метод:

```
[System.Web.Http.HttpPost, System.Web.Http.Route("orders")]
        public CreateTransactionResponse CreateTransactionRequest([System.Web.Http.FromBody]
CreateTransactionRequest body)
        {
            var uid = Request.Headers.TryGetValues("x-yandex-uid", out IEnumerable<string> headers);

            YandexAccount yandexAccount = new YandexAccount
            {
                AccountId = headers.FirstOrDefault(),

                AccountName = ""

            };

            Price calucaltedPrice = CalculatePriceRequest(new GetPriceRequest { Params = body.Params }).Price;

            body.PaymentTransaction = new PaymentTransaction
            {
                Price = calucaltedPrice,
                PaymentAccount = yandexAccount,
            };
            var implementation = (IclientController)Activator.GetObject(typeof(IclientController),
"tcp://localhost:5000/ClientController.rem");
            return implementation.CreateTransactionRequestAsync(body, yandexAccount);
        }
```

Рис. 3 Пример метода контроллера REST API принимающего типовой POST HTTP-запрос "/orders/" и использующий прозрачный прокси как локальный вызов для создания транзакции.

Здесь «implementation» – это прозрачный прокси [1, с.167], который будет получен в результате сетевого вызова [3]. Метод описан детальнее на спецификации OpenAPI [9] (рис. 6).

Регистрация на сервере происходит, например, так:

```
public Task StartAsync(CancellationToken cancellationToken)
        {
            RemotingServices.Marshal(_controller, "IclientController");
            return Task.CompletedTask;
        }

        public class ClientController : MarshalByRefObject,
IclientController
        {
            <...>
        }
```

Рис. 4 Пример регистрации удаленного объекта программным способом на стороне сервера, «_controller» представляет реализацию интерфейса «IclientController» инжектируемую в коснтруктор класса стандартным контейнером внедрения зависимостей

Таким образом, при получении REST-запроса POST /orders WebAPI-приложение создаёт RPC-прокси и вызывает "CreateTransactionRequest’ на удаленном сервисе. Результат возвращается клиенту как JSON. Этот подход позволяет транслировать REST-вызовы в RPC-вызовы через промежуточный слой WebAPI. Детально этот процесс изображен на следующей диаграмме последовательности:

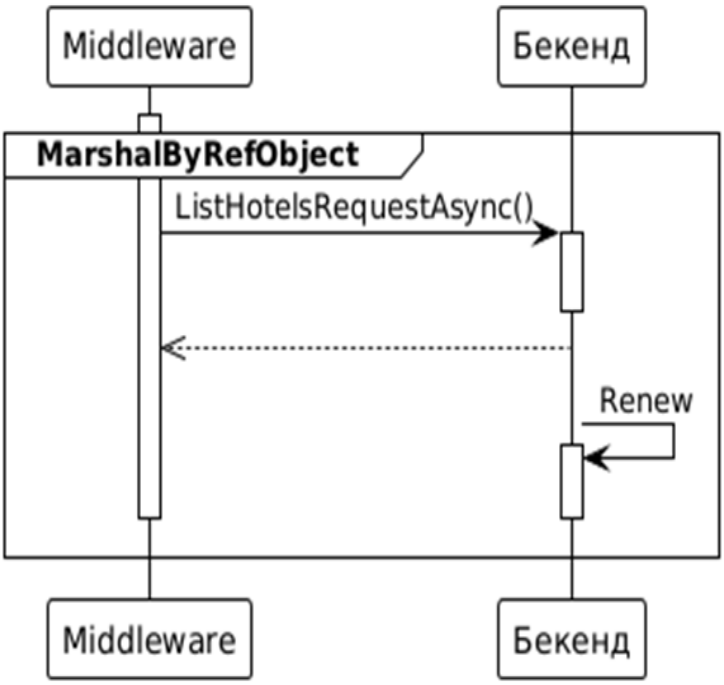


Рис. 5. Схема трансляции REST-запроса в RPC через прокси-объект (Remoting).

Чтобы уменьшить дублирование, интерфейс, реализуемый удалённый объектом выносится в отдельную библиотеку классов, при этом сам удаленный объект наследует этот интерфейс с полным уровнем сериализации для корректного вызова [1] такой подход

позволяет также инкапсулировать всю бизнес-логику от клиента, предоставляя только методы, определенные в интерфейсе, такое сокрытие сказывается на архитектуре положительно [4, с. 90].

Схема OpenAPI: Для документирования REST API используется спецификация OpenAPI (Swagger):

```
"/orders": {
    "post": {
      "description": "Create payment transaction request",
      "operationId": "CreateTransactionRequest",
      "security": [
        {
          "yandexId": ["order"]
        }
      ],
      "requestBody": {
        "required": true,
        "content": {
          "application/json": {
            "schema": {
              "$ref": "#/components/schemas/CreateTransactionRequest"
            }
          }
        }
      },
      "responses": {
        "200": {
          "description": "OK",
          "content": {
            "application/json": {
              "schema": {
                "description": "operationId",
                "$ref": "#/components/schemas/CreateTransactionResponse"
              }
            }
          }
        },
        "401": {
          "description": "Unauthorized - authentication required"
        }
      }
    }
  },
```

Рис. 6 Схема OpenAPI описывающая метод "/orders/" для создания транзакции (бронирования).

Такой документ позволяет автоматически генерировать клиентские SDK и тестировать API (например, через Swagger UI) [2, с. 217][9].

Рассмотрим последовательность запросов:

1. Авторизация и получение данных: Клиент получает JWT (OAuth) и отправляет GET /orders/ с токеном.
2. Envoy проверяет JWT-токен [10, p. 4.1.1], извлекает нужные поля и пересылает запрос в WebAPI, использование Envoy в качестве Auth-proxy было подсмотрено из следующих источников [7, 8].
3. WebAPI вызывает метод удаленного прокси благодаря RPC как будто вызов был сделан локально и возвращает результат клиенту.
4. Удаленный объект на сервере выполняет бизнес-логику и возвращает ответ клиенту
5. Клиент получает идентификатор созданной транзакции и отслеживает её статус (на рис. 7 — "GetOperationRequest")

Таким образом REST-запросы транслируются в сочетание RPC-вызовов (для бизнес-логики) и сообщений очереди (для асинхронных задач), как показано на диаграмме взаимодействий.

Ниже приведена диаграмма последовательностей запросов, иллюстрирующие ключевые сценарии:

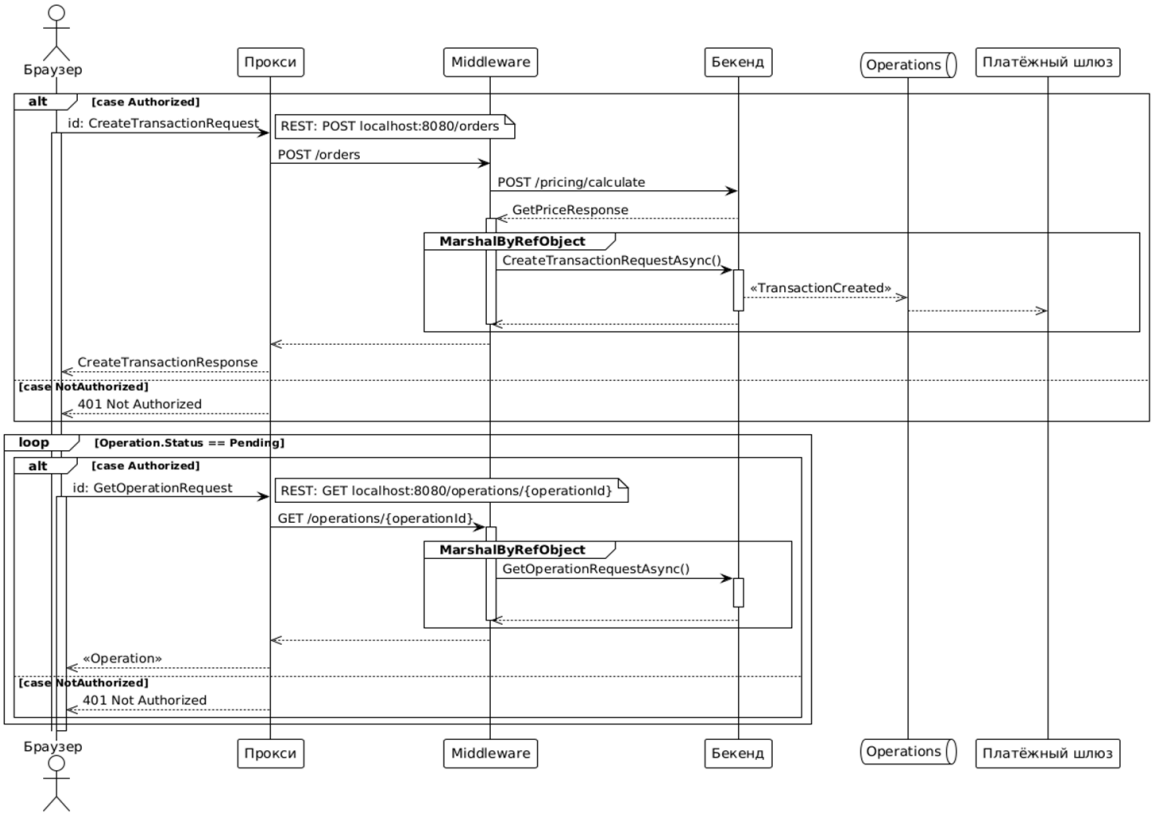


Рис. 7. Схема последовательности бронирования и оплаты номера (CreateTransactionRequest)

Заключение

Совмещенный подход принес как преимущества, так и недостатки. К достоинствам можно отнести повторное использование существующих компонентов: устоявшиеся .NET Remoting-классы подключаются к новой системе без полной переработки. Использование микросервисов и контейнеров обеспечивает масштабируемость: можно независимо увеличить число WebAPI-инстансов или брокерских нод. Кроме того, REST+JWT предоставляет стандартный механизм аутентификации и разграничения доступа, что укрепляет безопасность наружного интерфейса.

Однако смешение стилей увеличивает сложность системы. Во-первых, приходится поддерживать два набора интерфейсов (REST и RPC) и механизм их трансляции.

Во-вторых, связность компонентов возрастает: изменение контракта RPC-класса может потребовать модификации WebAPI-адаптера. В литературе уже отмечено, что добавление RPC в основном REST API порождает тесную связь между клиентом и сервером.

В ходе исследования было показано как использовать оба стиля – REST и RPC. Такой подход позволил интегрировать старую бизнес-логику (.NET Remoting) в современную REST-ориентированную архитектуру через веб-сервисы и промежуточный прокси Envoy.

В числе минусов – возросшая сложность архитектуры: для ее поддержки нужны специалисты по разным технологиям. Безопасность реализована за счёт JWT/Envoy, однако появилось больше точек входа (каждый сервис и брокер) для потенциальных атак. В долгосрочной перспективе целесообразно эволюционировать в сторону унификации протоколов (например, переход на gRPC как стандартизованный RPC или полный переход логики в REST). Развитие сервис-мешей и стандартных авторизационных шлюзов (например, расширение Envoy OAuth-фильтров) поможет упростить интеграцию различных сервисов.

Таким образом, комбинирование REST и RPC оправдано при необходимости миграции и совместной работы разных подсистем. В будущем можно ожидать более тесной интеграции таких стилей (например, использование gRPC с HTTP/JSON трансляцией) и появления удобных средств для построения гибридных API. Главное – рационально использовать сильные стороны каждого подхода: REST для публичных ресурсов и клиентских интерфейсов,

а RPC – для внутренних операций, требующих высокой производительности и полейной совместимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Kleppman M*. Designing Data-Intensive Applications // O'Reilly. 2017. Sebastopol. 616 p.
2. *Newman S*. Building Microservices, 2nd Edition // O'Reilly. 2021. Sebastopol. 624 p.
3. *Вафин Р.Р*. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Технологии программирования на платформе NET" // ООО "Мастер Лайн". 2014. 32 с.
4. *Мартин Р. С*. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения // Питер. 2022. 352 с.
5. *Waldo J., Wyant G., Wollrath A., Kendall S.* A Note on Distributed Computing // Sun Microsystems Laboratories, Inc., Technical Report TR-94-29, November 1994 [Электрон. ресурс]. - Режим доступа: http://m.mirror.facebook.net/kde/ devel/smli_tr-94-29.pdf.
6. *Vinoski S.* Convenience over Correctness // IEEE Internet Computing, volume 12, number 4, pages 89–92, July 2008 [Электрон. ресурс]. - Режим доступа: http://steve.vinoski.net/pdf/IEEE-Convenience_Over_Correctness.pdf.
7. Envoy — как писать чистый бизнес-код для микросервисной архитектур. – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://habr.com/ru/companies/gnivc/articles/864528/ (дата обращения: 09.06.2025).
8. Мы пилили монолит — много нас, а он один. Полезные советы от команды Яндекс Еды. – Текст: электронный. – 2024. – URL https://dev.go.yandex/blog/from-monolith-to-microservices-2024-03-12 (дата обращения: 09.06.2025).
9. What is OpenAPI? // OpenAPI Initiative. — URL: https://www.openapis.org/what-is-openapi (дата обращения: 10.06.2025).
10. JSON Web Token (JWT) / J. Bradley, N. Sakimura, T. Lodderstedt // IETF. — RFC 7519. — URL: https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7519 (дата обращения: 10.06.2025).

DEVELOPING A METHOD FOR TRANSLATING REST TO RPC

Zorkin A.A., Ilyichev D.A., Suvorov N.D.

Supervisor: Vafin R.R., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the combination of REST and RPC interaction styles in a single system. Their advantages and disadvantages, as well as SOA architectural approaches and microservices, are analyzed. In the course of this research, we will solve the problem of combining these two styles in one project and how to translate REST requests to RPC. As a practical example, we use the Hotel booking Information system (hereinafter referred to as IS).

УДК 004.75

АВТОМАТИЗАЦИЯ REST НА ОСНОВЕ OPENAPI

Зорькин А.А., Ильичев Д.А., Мухаметзянов Б.Р.

Научный руководитель: Мокшин В.В., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассматривается применение спецификации OpenAPI (OpenAPI Specification) как инструмента для автоматизации проектирования REST API и создания клиентского и серверного кода. Показано, как использование OpenAPI способствует автоматизации процессов, улучшению архитектуры веб-систем и повышению качества программного обеспечения на примере системы бронирования отелей.

Введение

Цифровые проекты предполагают активное использование веб-сервисов и микросервисной архитектуры, где RESTful API (Representational State Transfer – интерфейс передачи представления состояния) играют ключевую роль. Однако при разработке распределённых систем часто возникают проблемы с согласованием интерфейсов, поддержка обратно несовместимых клиентов и т.п. Как показано в литературе, более 50 % проектов страдают от отсутствия или устаревания документации API. Проблема усугубляется тем, что обновлять описания вручную затруднительно и трудоемко. Спецификация OpenAPI призвана решить эти проблемы. Она описывает HTTP API в машинно-читаемом формате YAML/JSON, гарантируя единство описания интерфейсов независимо от языков реализации [2]. Благодаря этому разработчики, тестировщики и DevOps-инженеры получают единый источник конфигурации API. В этой работе мы анализируем роль OpenAPI как инструмента цифрового управления проектами: его использование при проектировании и реализации архитектуры веб-приложений, а также в цикле жизни API (см. «Теоретическая часть» и «Архитектурная часть») [1].

Теоретическая часть

Цифровое управление проектами – это стратегия управления проектом, предполагающая оптимизацию и реструктуризацию процессов с помощью современных ИТ-инструментов [3]. В контексте веб-разработки цифровое управление означает стандартизацию и автоматизацию процессов разработки: единые протоколы коммуникации, непрерывную интеграцию и доставку (CI/CD, Continuous Integration / Continuous Delivery), а также формализованное описание сервисных интерфейсов. Так, применение спецификаций API (в частности, OpenAPI) обеспечивает автоматическую генерацию документации, синхронизацию клиентского кода и бэкенда и облегчает поддержку качества продукта. Возможность кодогенерации исключает возможность несоответствия программного кода схеме OpenAPI, что означает невозможность возникновения ошибок из-за несовместимости протоколов взаимодействия между клиентом и сервером.

Автоматизация процессов разработки (кодогенерация) – это использование средств для исключения рутинной работы и снижения ручных ошибок. В веб-разработке это выражается в автогенерации кода и тестов, автоматической валидации запросов и развертывании сервисов. Использование формальных спецификаций позволяет достичь этих целей: при наличии единого описания API можно автоматически генерировать SDK-клиенты и серверные шаблоны, проводить тестирование по спецификации и включать проверки в CI/CD. Это ускоряет разработку и снижает количество рассинхронизаций между сервисами и клиентскими приложениями. Например, инструменты вроде Swagger Codegen или OpenAPI Generator могут на основе одного описания сразу создавать клиентские библиотеки на разных языках. Автоматизированное тестирование API (с помощью Postman, RestAssured и др.) также опирается на OpenAPI-спецификацию, что повышает качество и надёжность кода [4].

Роль спецификации OpenAPI. OpenAPI (OAS) – это открытый стандарт описания REST-API, независимый от конкретного языка программирования. Он задаёт унифицированный формат для определения эндпоинтов, методов HTTP, параметров, моделей данных и схем безопасности. Благодаря этому спецификация служит транспортной шиной информации о сервисе на всех этапах разработки. Как отмечает OpenAPI Initiative, OAC «позволяет быстро узнать, как работает API», а также использовать спецификацию для настройки инфраструктуры, генерации кода и создания тестовых сценариев. Иными словами, OpenAPI охватывает весь жизненный цикл API – от проектирования до поддержки. Кроме того, стандарт содержит встроенные средства описания аутентификации (OAuth2, JWT – JSON Web Token, API-ключи), что упрощает внедрение лучших практик безопасности на уровне схемы API [4]. В совокупности OpenAPI выступает связующим звеном между разработчиками, аналитиками и другими заинтересованными сторонами, снижая риск недопонимания и ускоряя коммуникацию [2].

Архитектурная часть

Рассмотрим архитектуру веб-приложения, основанную на REST с использованием OpenAPI. На фронтенде пользователь взаимодействует через веб - или мобильное приложение, отправляя HTTP-запросы к веб-сервису спроектированному по принципу REST, в некоторых случаях в роли веб-сервиса выступает API-Gateway. В нашем примере сервисная структура может состоять из нескольких микросервисов (например, сервисы бронирования, оплаты, отзывов). Каждый микросервис реализует определённую бизнес-функцию и имеет собственный API. Все API описаны с помощью спецификации OpenAPI, что гарантирует единый подход к валидации и документированию. OpenAPI спецификации каждого сервиса служат документированием контрактов взаимодействия. Это упрощает поддержку: при изменении контрактов достаточно обновить спецификацию (и сгенерировать код) вместо правки множества компонентов вручную. Отметим, что спецификация OpenAPI интегрируется с CI/CD-пайплайнами и шлюзами (Kong, Apigee и др.), что позволяет автоматически проверять и деплоить API [4][5].

Практический пример.

В качестве иллюстрации рассмотрим систему бронирования отелей. Клиент (SPA или мобильное приложение) посылает запрос GET /hotels для получения списка отелей. Спецификация OpenAPI может описывать этот эндпоинт в формате YAML, как показано ниже:

```yaml
---
"/hotels":
  get:
    description: Returns a hotels feed.
    operationId: listHotelsRequest
    summary: Get list of hotels.
    parameters:
    - {}
    responses:
      '200':
        description: OK
        content:
          application/json:
            schema:
              "$ref": "#/components/schemas/ListHotelsResponse"
```

Рис. 1. Пример описания эндпоинта /hotels в спецификации OpenAPI 3.0: определение ответа на GET-запрос с возвращением массива объектов Hotel.

В этой схеме определено, что GET-запрос на /hotels возвращает JSON-массив объектов типа Hotel. Модель данных Hotel описана в секции components/schemas. Аналогично описываются другие маршруты: POST /bookings для создания брони, GET /bookings/{id} для получения информации о брони и т.д. Защищённые маршруты (например, создание брони) в спецификации помечаются схемой безопасности (в данном случае – OAuth2 с JWT). Наличие OpenAPI позволяет автоматически сгенерировать клиентскую библиотеку (SDK) для работы с этим API, а также серверные заглушки (stub) для микросервисов, что ускоряет разработку. Кроме того, тестировщики могут использовать спецификацию для генерации тестов, например, с помощью Swagger Codegen или Postman.

В качестве сервиса реализующего веб-сервер (бекенд), изначально был выбран язык программирования - C# и его фреймворк для разработки веб-сервисов (WebAPI) - ASP .NET Core. Для кодогенерации были рассмотрены следующие инструменты: openapi-generator и swagger-codegen., nswag., из них был выбран nswag из-за его постоянной поддержке и наиболее серьезных возможностей рефлексии для языка c# (напр., нативное использование дискриминаторов)., для других языков предлагается использовать openapi-generator. Согласно представленной на рис.2 схеме был сгенерирован следующий код:

```
  [HttpGet, Route("hotels", Name = "listHotelsRequest")]
  public System.Threading.Tasks.Task<ListHotelsResponse>
ListHotelsRequest([Microsoft.AspNetCore.Mvc.FromQuery] <...> )
  {
      return _implementation.ListHotelsRequestAsync(stars, rating, minCost, maxCost, city,
country, onlyFavourite, page_token);
  }
```

Рис. 2. Пример кодогенерации согласно схеме OpenAPI для языка C#.

В сигнатуре метода были урезаны параметры HTTP-запроса для сокращения кода.

Генерация кода для бэкенда облегчает жизнь разработчикам, но не гарантирует конечную согласованность между собой и кодом клиента, особенно если фронтендом и бэкендом занимаются разные команды разработчиков. Дальнейшим шагом будет автоматизация генерации библиотеки для клиента (sdk). Такой подход был выбран для того, чтобы выпускать код, независимый от фреймворка разработки фронтенда (напр., React или Vue). В качестве языка поддержки такого sdk был выбран TypeScript, в качестве инструмента для генерации sdk для Typescript согласно спецификации OpenAPI был выбран Stainless API. Далее приведем пример использования готовой библиотеки, сгенерированной согласно части спецификации изображённой на рис. 3:

```
import BookingCom from 'booking.com-typescript';

const client = new BookingCom({
  accessToken: process.env['BOOKING_COM_API_KEY'], // This is the default and can be
omitted
  environment: 'development', // defaults to 'production'
});

async function main() {
  const hotels: BookingCom.HotelListResponse = await client.hotels.list();
}

main();
```

Рис. 3. Пример использования клиентской библиотеки, сгенерированной согласно спецификации OpenAPI.

С кодом сгенерированной библиотеки можно ознакомится по ссылке: https://www.npmjs.com/package/booking.com-typescript/.

Показанный выше подход гарантирует согласованность между кодом клиента и веб-сервера, что означает отсутствие любых ошибок, которые могли допустить разработчики при реализации интерфейсов, в том числе проблему обратной несовместимости.

Преимущества и ограничения

Использование OpenAPI в архитектуре приносит ряд преимуществ и накладывает некоторые ограничения:

1. Автоматизация документации и кода: спецификация исключает ручное ведение документации, сокращая вероятность ошибок. С помощью инструментов Swagger UI, Redoc и т.п. можно получить интерактивную документацию сразу по файлу спецификации. Также на её основе генерируются SDK для разных языков и серверные шаблоны, что ускоряет реализацию новых функций [4].

2. Улучшенное тестирование и интеграция: наличие формального описания API упрощает написание юнит тестов: тестовые фреймворки могут загружать OAS-файл и проверять соответствие ответов требованиям схемы [4]. Это повышает качество кода и снижает число дефектов. OpenAPI способствует единству интерфейсов между фронтендом и бэкендом, исключая рассогласования в обмене данными.

3. Поддержка версионирования: в OpenAPI предусмотрены механизмы управления версиями. Изменения в API формализовано документируются, что облегчает поддержку устаревших версий [4]. Это обеспечивает плавную эволюцию интерфейсов без «сломанных» клиентов.

4. Безопасность: спецификация позволяет описать схемы аутентификации и авторизации (OAuth 2.0, JWT и пр.) на уровне контракта [4]. Благодаря этому архитекторы заранее определяют требования к безопасности API, а DevOps-модуль (Auth-proxy) может проверять токены по стандарту. Такой подход упрощает управление доступом и аудирование запросов.

Ограничения: вместе с преимуществами применение OpenAPI влечёт дополнительные задачи. Во-первых, создание и поддержка спецификации требуют ресурсов: в некоторых проектах это приводит к тому, что разработчики “страдают от необходимости” вручную писать большие YAML-файлы. Если спецификация не обновляется при изменении API, она быстро устаревает. Во-вторых, генераторы OpenAPI-файлов (code-first approach) не всегда работают идеально, особенно в гетерогенных системах. В результате часть команд всё же вынуждена вручную дописывать описания, что уменьшает скорость разработки. Наконец, строгость спецификации иногда воспринимается как ограничение гибкости: быстрые прототипы без OAS ведут к более быстрой первоначальной разработке, но затем платят за это сложностями интеграции [1].

Заключение

OpenAPI – мощный инструмент цифрового управления проектами, связанный с разработкой веб-сервисов. Применение спецификации позволяет унифицировать описание REST API, автоматизировать документацию, генерацию кода и тестирование, что повышает качество и надежность цифровых продуктов. На показанном примере было продемонстрировано, как кодогенерация полностью автоматизирует процесс разработки изменяемых частей системы, уменьшая её связанность и снижая стоимость внесения изменений. Так же было рассмотрено, как использование OpenAPI упрощает интеграцию микросервисов и обеспечивает прозрачность контрактов. В дальнейшем перспективно углубить интеграцию OpenAPI с CI/CD-процессами (например, автоматизировать валидацию спецификаций перед развертыванием). Применение стандартов описания API, таких как OpenAPI, станет важной частью цифровой трансформации организаций и повысит эффективность проектного управления в ИТ-сфере [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кмалышев К.* Что не так с OpenAPI? // Хабр. – 30.04.2023. – Текст: электронный. – URL: https://habr.com/ru/articles/732572/ (дата обращения: 21.06.2025).

2. OpenAPI Initiative (OpenAPI Initiative). What is OpenAPI? – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://www.openapis.org/what-is-openapi (дата обращения: 20.06.2025).

3. ООО «АйДи Инжиниринг». Цифровое управление проектами. – Текст: электронный. – URL: https://www.ide-spb.com/projects/tsifrovye-uslugi/tsifrovoe-upravlenie-proektami/ (дата обращения: 22.06.2025).

4. Редакция Я – зерокодер. OpenAPI: что это такое и как с ним работать. – Текст: электронный. – Опубл.: 21.08.2023. Обновл.: 22.04.2025. – URL: https://ya.zerocoder.ru/pgt-openapi-chto-eto-takoe-i-kak-s-nim-rabotat/ (дата обращения: 20.06.2025).

5. Amazon Web Services (AWS). RESTful microservices – Serverless Applications Lens // AWS Well-Architected Framework. – 2020. – Текст: электронный. – URL: https://docs.aws.amazon.com/wellarchitected/latest/serverless-applications-lens/restful-microservices.html (дата обращения: 21.06.2025).

6. *Зорькин А.А., Ильичев Д.А., Суворов Н.Д.* Разработка метода трансляции REST в RPC // «XXVII Туполевские чтения (школа молодых ученых)». 2025.

OPENAPI-BASED REST AUTOMATION

Zorkin A.A., Ilyichev D.A., Mukhametzyanov B.R.

Supervisor: Mokshin V.V., Associate Professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper discusses the application of the OpenAPI Specification as a tool for automating REST API design and creating client and server code. It is shown how the use of OpenAPI contributes to the automation of processes, improving the architecture of web systems and improving the quality of software on the example of a hotel booking system.

УДК 004.8

РАСПОЗНАВАНИЕ ЖЕСТОВ: СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ, ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ

Зырянов В.А.
Научный руководитель: Мокшин В.В., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В представленном исследовании проводится анализ трех методов распознавания жестов: диагностика болезни Паркинсона через анализ движений пальцев, а также применение архитектуры SCAI-net для идентификации жестов рук. Проведенный анализ выявил, что, несмотря на существенные достижения в данной области, современные системы сталкиваются с рядом существенных ограничений. В качестве перспективного направления решения указанных проблем автор предлагает модернизацию существующих алгоритмов путем интеграции SCAI-net, что потенциально может повысить точность распознавания.

Введение

Распознавание образов составляет основу большинства современных интеллектуальных систем. Благодаря стремительному развитию вычислительных технологий сегодня стало возможным решение множества практических задач, позволяющее оптимизировать различные процессы, повысить их эффективность и качество получаемых результатов. В настоящее время технологии распознавания образов прочно вошли в повседневную практику, став неотъемлемой частью профессиональных компетенций современного инженера. Именно поэтому к развитию распознавания образов изначально было приковано немало внимания со стороны специалистов самого различного профиля - кибернетиков, нейрофизиологов, психологов, математиков, экономистов и т.д. [1]

Сегодня научное сообщество уделяет особое внимание развитию интеллектуальных систем взаимодействия человека с компьютером на основе жестового управления. Данная технология предлагает принципиально новый подход к организации человеко-машинного интерфейса, отличающийся естественностью и высокой степенью интуитивности для пользователя. Такие интерфейсы открывают новые горизонты для разработки инновационных решений в области человеко-компьютерного взаимодействия.

Современные технологии автоматического распознавания жестов можно систематизировать по типу используемых входных данных. В некоторых обзорах и исследованиях предлагается следующая классификация: подходы и методы делятся на основанные на применении датчиков (англ.: sensor-based) и основанные на компьютерном зрении (англ.: vision-based).

Ниже будут рассмотрены некоторые методы распознавания.

Метод диагностики болезни Паркинсона по движению пальцами

Данный метод предназначен обработки видеозаписей пациентов с подозрением на болезнь Паркинсона. Процедура тестирования выглядит следующим образом: испытуемый должен 10 раз соединить указательный и большой пальцы перед камерой. На основе этих данных система оценивает двигательные нарушения по шкале от 0 до 4.

С помощью технологии трекинга рук программа строит модель ключевых точек, непрерывно отслеживая углы наклона запястья, указательного и большого пальцев (Рис. 1).

После фильтрации шумов в угловых данных система вычисляет объективные параметры, отражающие степень двигательных нарушений. Затем алгоритм машинного обучения анализирует эти параметры и автоматически определяет тяжесть симптомов.

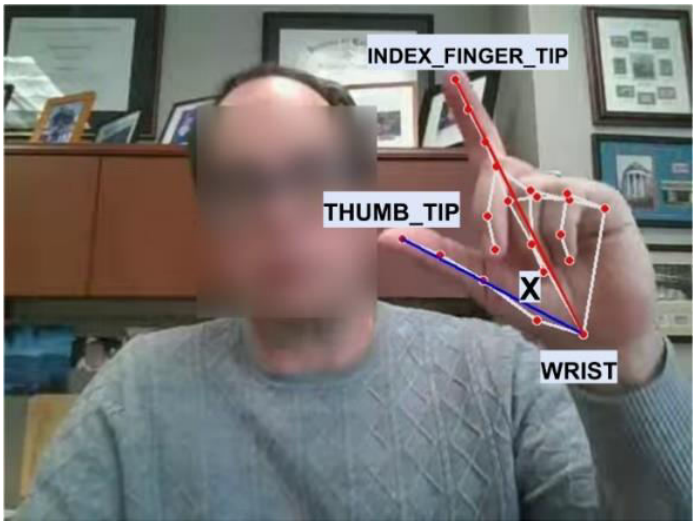


Рис. 1. Видео постукивания пальцами

В ходе исследования специалисты выделили 47 параметров, количественно оценивающих различные аспекты выполнения теста на постукивание пальцами. Ключевые измеряемые показатели включали:

- скорость движений
- ритмичность
- амплитуду
- наличие колебаний
- степень замедления

Для более детальной оценки двигательной активности запястья из общего набора было отобрано 18 наиболее информативных характеристик. Для определения их диагностической ценности:

1. Рассчитывались коэффициенты корреляции Пирсона между каждым параметром и клинической оценкой тяжести симптомов;

2. Проводилась проверка статистической значимости полученных зависимостей (при уровне значимости $\alpha=0,01$).

Анализ выявил 22 показателя, демонстрирующих статистически значимую корреляцию с баллами тяжести заболевания. Эти параметры представляют особый интерес в качестве потенциальных цифровых биомаркеров прогрессирования симптоматики. Среди наиболее значимых характеристик:

- угол сгибания пальцев при постукивании
- скорость и ускорение движений
- временные характеристики (период и частота)
- амплитудные показатели
- пространственные параметры движения запястья (по осям X и Y)
- интегральный показатель перемещения запястья (декартово расстояние)

Для анализа данных использовался комплекс современных алгоритмов машинного обучения: ансамблевые методы (XGBoost, LightGBM, AdaBoost, RandomForest), метод опорных векторов для регрессии (SVR), простые нейросетевые архитектуры (1-2 слоя).

Обширный поиск гиперпараметров был проведен с помощью платформы Weights and Biases, что позволило определить LightGBM как наиболее эффективную модель для решения поставленной задачи.

Для интерпретации работы модели был применен метод SHAP (SHapley Additive exPlanations). Данный подход позволяет анализировать выходные данные любых контролируемых алгоритмов машинного обучения. Суть метода заключается в вычислении вклада каждого признака, показывающего его влияние на конечный результат модели. Расчет этих показателей осуществляется через анализ значимости каждой характеристики во всех возможных сочетаниях с другими параметрами входных данных. Благодаря такому подходу, SHAP дает детальное и понятное объяснение логики принятия решений алгоритмом, что делает выводы модели более прозрачными и достоверными для специалистов, принимающих решения.

В ходе сравнительного анализа было установлено, что регрессионная модель LightGBM продемонстрировала более высокую точность по сравнению с оценками клиницистов-неэкспертов, однако несколько уступала в эффективности врачам-экспертам. [2]

Использование SCAI-net для распознавания жестов рук

Авторы исследования выделили несколько ключевых проблем современных систем распознавания жестов.

Основной проблемой современных систем HGR (Hand Gesture Recognition) является их неспособность эффективно извлекать высокодискриминационные признаки, особенно при работе с жестами, которые демонстрируют схожие визуальные паттерны. Более того, существующие модели с трудом точно классифицируют жесты с близкими визуальными сходствами, что особенно важно для распознавания языка жестов.

Еще одним критическим пробелом является ограниченная валидация систем HGR с помощью практических приложений графического пользовательского интерфейса (GUI), которые необходимы для облегчения коммуникации между сообществом глухих и людей с нарушениями речи (DSDC) и поставщиками медицинских услуг (HP).

Для устранения этих ограничений предложена SCAI-net, модель, которая интегрирует пространственные и канальные механизмы внимания в модифицированную архитектуру Inception V3.

Поскольку выбранный набор данных двуручного индийского языка жестов содержит изображения разных размеров, предлагаемая сеть HGR требует фиксированного размера входного изображения. Поэтому начальный этап предварительной обработки включает изменение размера всех изображений до 224 × 224 × 3 пикселей.

После изменения размера набор данных делится на 70% для обучения и 30% для тестирования. Чтобы имитировать условия реального времени и повысить надежность модели, обучающий набор данных подвергается дополнению. Этот процесс дополнений помогает сети CNN научиться учитывать вариации жестов рук.

Увеличение глубины нейронной сети обычно повышает ее производительность распознавания, но требует дополнительных вычислительных ресурсов и времени. Трансферное обучение решает эту проблему, используя параметры из предварительно обученной сети, такой как Inception V3, которая была обучена с использованием набора данных ImageNet, содержащего более миллиона фотографий в 1000 различных категориях. Такой подход позволяет новой модели достичь лучшей производительности с меньшим количеством данных, что делает ее особенно полезной для наборов данных с ограниченным количеством изображений.

Inception V3 отличается своими модулями inception, которые заменяют традиционные сверточные слои несколькими параллельными свертками с разными размерами ядра. Кроме того, позволяет сети извлекать признаки в разных масштабах и лучше обобщать по разным измерениям, что выгодно для распознавания жестов рук.

Сгенерированные признаки вводятся в плотно связанный классификатор, который состоит из двух полностью связанных слоев Dense с 1024 и 512 единицами соответственно, оба используют активацию ReLU после глобального среднего слоя объединения. Конечный плотный слой, предназначенный для классификации, использует активацию SoftMax и содержит ряд единиц, которые соответствуют классам жестов (Рис. 3).

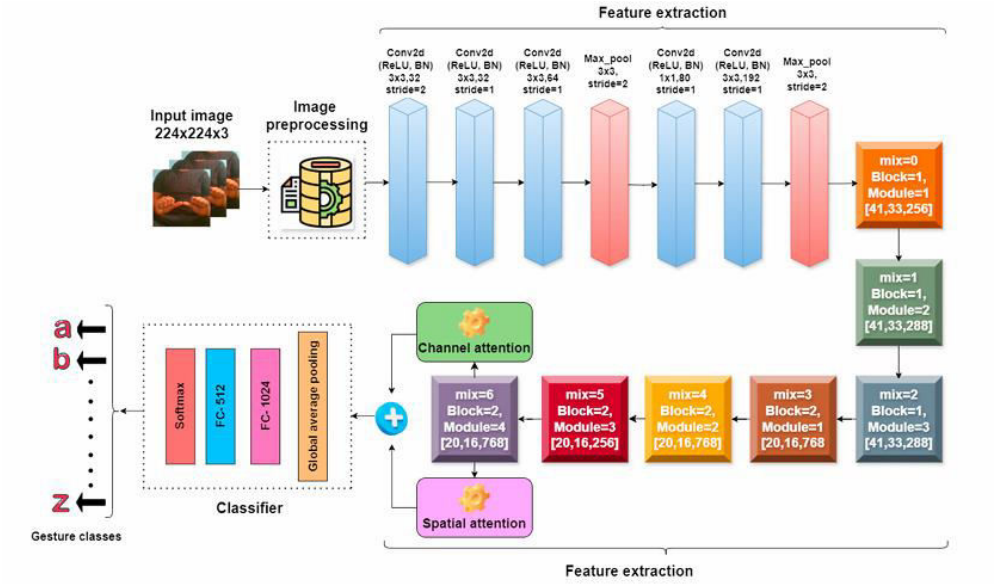


Рис. 3 Блок-схема, иллюстрирующая преобразование жестов рук в текст

Общая архитектура была первоначально обучена с использованием предварительно обученных весов, с исключением верхних слоев. Затем недавно созданный классификатор был обучен на этой измененной сети. После этого начального обучения архитектура была тонко настроена путем размораживания слоев, начиная со 101-го слоя, — решение, принятое на основе обширных экспериментов. Этот процесс тонкой настройки позволил SCAI-net обновить свои веса в соответствии с конкретной поставленной задачей. Экспериментальные результаты показывают, что тонкая настройка значительно повышает точность классификации.

Модель SCAI-net достигла превосходной производительности на наборе данных ISL для двух рук с начальной точностью

97,03%, которая улучшилась до 99,46% после тонкой настройки. Это показывает, что введение пространственных и канальных механизмов внимания эффективно повысило способность модели распознавать тонкие различия между жестами с похожими визуальными образцами.

Однако были выявлены определенные ошибочные классификации, особенно среди таких жестов, как «c», «e», «k», «l», «m», «o» и «q», с точностью от 42% до 88%. Например, 51% «k» было неправильно классифицировано как «p», что подчеркивает сложность различения визуально похожих жестов.

Тем не менее, тонкая настройка значительно уменьшила эти ошибки. [3]

Вывод

Применение модели **SCAI-net** открывает значительные перспективы для повышения точности распознавания жестов и ранней диагностики симптомов болезни Паркинсона по видеоанализу. Благодаря комплексной оценке двигательных параметров (таких как скорость, ритмичность и амплитуда движений) и использованию современных методов машинного обучения, данная модель потенциально способна выявлять малозаметные признаки при распознавании жестов, что может заметно увеличить точность определения жестов.

Также применение модели SCAI-net позволит повысить точность определения степени симптомов при диагностике болезни Паркинсона. Хотя текущие результаты демонстрируют, что модель **LightGBM** уже превосходит по точности оценку неэкспертов, дальнейшее развитие архитектуры, включая оптимизацию нейросетевых компонентов и расширение набора анализируемых параметров, может приблизить её эффективность к уровню врачей-экспертов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Салихова Э.И., Мокшин В.В., Кирпичников А.П., Тутубалин П.И., Михайлова О.П.* Мониторинг буровых работ с использованием средств распознавания образов / Вестник технологического университета – 2018. - № 2 – С. 163-168 URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=32683912 (дата обращения: 15.05.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. *Islam M.S., Rahman W., Abdelkader A*. Using AI to measure Parkinson's disease severity at home // npj Digit. Med. – 2018. – Vol. 6. – P. 156. – URL: https://www.nature.com/articles/s41746-023-00905-9 (дата обращения: 13.06.2025).

3. *B. Karsh, R.H. Laskar, R.K. Karsh, M.K*. Bhuyan SCAI-net: spatial-channel attenton Inception-net for Hand Gesture Recognition for deaf community medical issues // Elsevier. – 2025. – Vol. 258. – P. 2180-2189. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050925015716 (Дата обращения: 16.06.2025).

GESTURE RECOGNITION: EXISTING METHODS, PRACTICAL USE AND WAYS OF OPTIMIZATION

Zyrianov V.A.

Supervisor: Mokshin V.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The presented study analyzes three gesture recognition methods: diagnostics of Parkinson's disease through finger movement analysis, gesture recognition algorithms based on the Random Forest model, and the use of the SCAI-net architecture for hand gesture identification. The analysis revealed that, despite significant advances in this area, modern systems face a number of significant limitations. As a promising direction for solving these problems, the author proposes upgrading existing algorithms by integrating SCAI-net, which can potentially improve recognition accuracy.

УДК 004.9:656.078.12

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТАВКОЙ ТОВАРОВ КУРЬЕРСКОЙ СЛУЖБОЙ

Кирилин А.М.

Научный руководитель: Шлеймович М.П., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье рассматривается разработка информационной системы для автоматизации и оптимизации маршрутов курьерской доставки. Описываются выбранные технологии, архитектура системы, функциональные компоненты и результаты работы программы.

Введение

В современном мире, где скорость и эффективность доставки играют ключевую роль в успехе бизнеса, автоматизация процессов планирования и оптимизации маршрутов курьерской доставки становится необходимостью. Информационные системы, предназначенные для решения этой задачи, позволяют значительно сократить время доставки, снизить затраты на топливо и повысить общую эффективность работы курьерской службы.

Реализация информационной системы

Для реализации системы выбраны современные, надежные и масштабируемые технологии. В качестве ОС используется Microsoft Windows, обеспечивающая стабильность и широкую совместимость. Основной язык программирования – Java, благодаря его объектно-

ориентированной модели, кроссплатформенности (JVM) и богатой экосистеме. Для графического интерфейса выбрана библиотека JavaFX, предоставляющая современные инструменты для создания интерактивных интерфейсов и интеграции с геосервисами [1]. В качестве встроенной базы данных используется SQLite, отличающаяся легкостью, скоростью работы, надежностью хранения данных и открытой лицензией. Выбор этих технологий обусловлен требованиями к функциональности, надежности и удобству внедрения системы в реальных бизнес-условиях. Комбинация Java, JavaFX и SQLite позволяет создать эффективное настольное приложение для маршрутизации и управления доставкой [2].

Информационная система предназначена для планирования маршрутов курьерской доставки с учётом заданных адресов, начальной и конечной точки маршрута, а также оптимизации пути на основе данных от внешнего API.

Ниже описаны ключевые компоненты системы:

1. Компонент авторизации: Обеспечивает аутентификацию пользователей и разграничение прав доступа, отображая окно входа, проверяя данные и обрабатывая ошибки. Реализовано разделение ролей на администратора и курьера.

2. Компонент панели управления: Предоставляет интерфейс для создания и управления маршрутами, формируя элементы управления для выбора типа точки, ввода адреса и управления маршрутом. Функционал включает инструменты для поиска маршрутов, очистки карты, распределения точек между курьерами и отображения информации о курьере и текущем маршруте.

3. Компонент работы с картой: Позволяет добавлять маркеры разных типов, визуализировать маршруты и очищать карту от отметок.

4. Компонент планирования маршрутов: Реализует алгоритмы поиска и оптимизации маршрутов доставки, включая вычисление маршрута, поиск пути с обязательными точками, алгоритм A* для оптимального маршрута, преобразование адреса в координаты и обновление информации о расстояниях между точками [3].

5. Компонент распределения заказов: Автоматически распределяет точки доставки между курьерами (доступно только администратору), получая координаты курьеров, оптимизируя маршруты с учетом расстояний и загрузки, сохраняя маршруты в базу данных и обновляя отображение курьеров на карте.

6. Компонент работы с базой данных: Обеспечивает хранение и получение информации о пользователях, маршрутах и точках доставки, включая проверку логина и пароля, сохранение маршрутов, загрузку незавершенных маршрутов, отметку посещенных точек, фиксацию факта посещения точки и поиск следующей точки маршрута.

7. Компонент отображения карты: Формирует веб-страницу с интерактивной картой для визуализации маршрутов и точек доставки, используя библиотеку Leaflet. Реализованы функции добавления, удаления и обновления маркеров, очистки карты и обработки кликов по карте для передачи координат в Java-приложение. Обеспечивается отображение маршрута на карте заданным цветом.

После запуска информационной системы пользователю автоматически отображается окно авторизации. После ввода данных нажмите кнопку «Войти». В интерфейсе предусмотрена функция отображения введённого пароля, позволяющая пользователю убедиться в корректности ввода [4].

Информационная система разграничивает доступ по ролям. При входе логин и пароль определяют, откроется ли интерфейс логиста или курьера, предоставляя индивидуальный набор функций и элементов управления.

–Логист: получает доступ к расширенному функционалу, ключевым элементом которого является распределение точек доставки между курьерами. Система автоматически анализирует координаты, загруженность и расстояния, чтобы оптимально назначить задания каждому курьеру. Кроме того, логист может вручную добавлять точки, строить маршруты, сохранять их в базу данных и визуализировать всю информацию для контроля процесса доставки.

–Курьер: работает с готовым маршрутом: просматривает последовательность точек, отмечает посещения и загружает маршрут с сервера, но при этом у него также остается возможность построения маршрута с добавлением своих точек, если он пожелает работать сам.

После успешной авторизации открывается основное окно приложения, предназначенное для планирования маршрутов курьерской доставки (рис. 1). В левой части интерфейса отображается карта города, в правой – панель управления маршрутами, выбора типа точек и взаимодействия с системой.

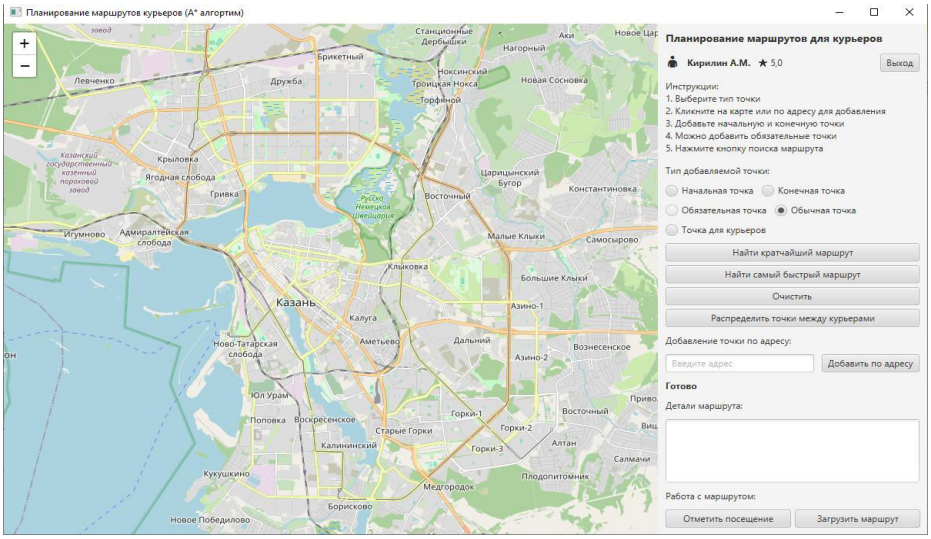


Рис. 1. Стартовое окно программы для логиста (сверху) и курьера (снизу)

Для построения маршрута необходимо:

1. Добавление точек на карту: Чтобы начать построение маршрута (в режиме логиста), необходимо выбрать тип добавляемой точек [5]:

–Начальная точка – место старта маршрута (синим цветом);

–Конечная точка – пункт завершения маршрута (оранжевым цветом);

–Обязательная точка – промежуточная точка, обязательная к посещению, обозначенная розовым цветом;

–Обычная точка – дополнительная точка на маршруте, которая обозначается черным цветом;

–Точка для курьеров – используется при построении маршрутов для нескольких курьеров, в случае если в систему авторизовался логист и маркируется красным цветом.

Выберите нужный тип, кликните по карте или введите адрес вручную в поле «Добавление точки по адресу», затем нажмите кнопку «Добавить по адресу». После этого точка появится на карте, как показано на рисунке 2.

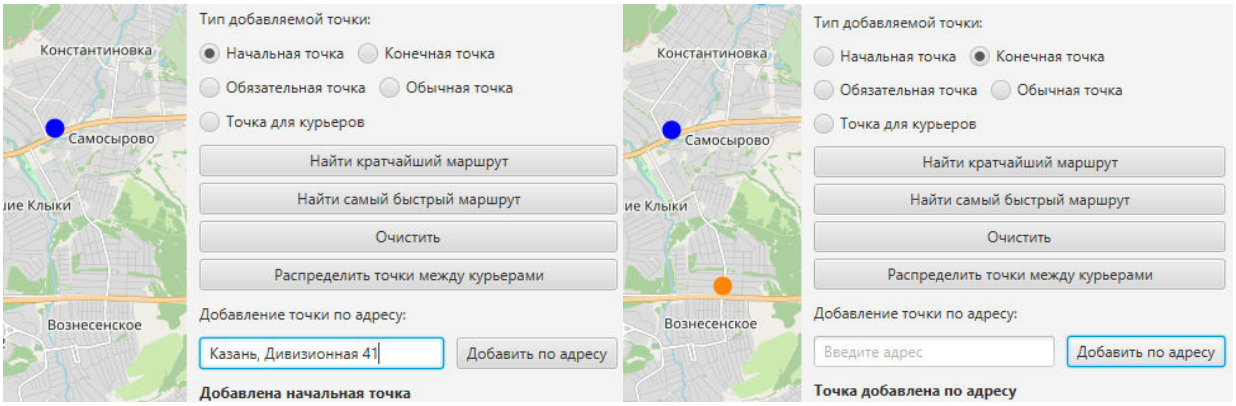


Рис. 2. Добавление точек на карте и по адресу

2. Определить маршрут: Нажать кнопку «Найти кратчайший маршрут» для оптимизации по расстоянию или «Найти самый быстрый маршрут» по времени – для учёта трафика. На карте появляется маршрут, представленный на рисунке 3. После построения маршрута система автоматически отображает его на карте в виде линии, соединяющей все точки, отмеченные соответствующими маркерами (Начало, Т1, Т2, ..., Конец), а также выводит текст в информационное поле. Кроме того, маршрут дополняется подробными подсказками: направления движения, названия улиц, повороты и прибытие в пункт назначения.

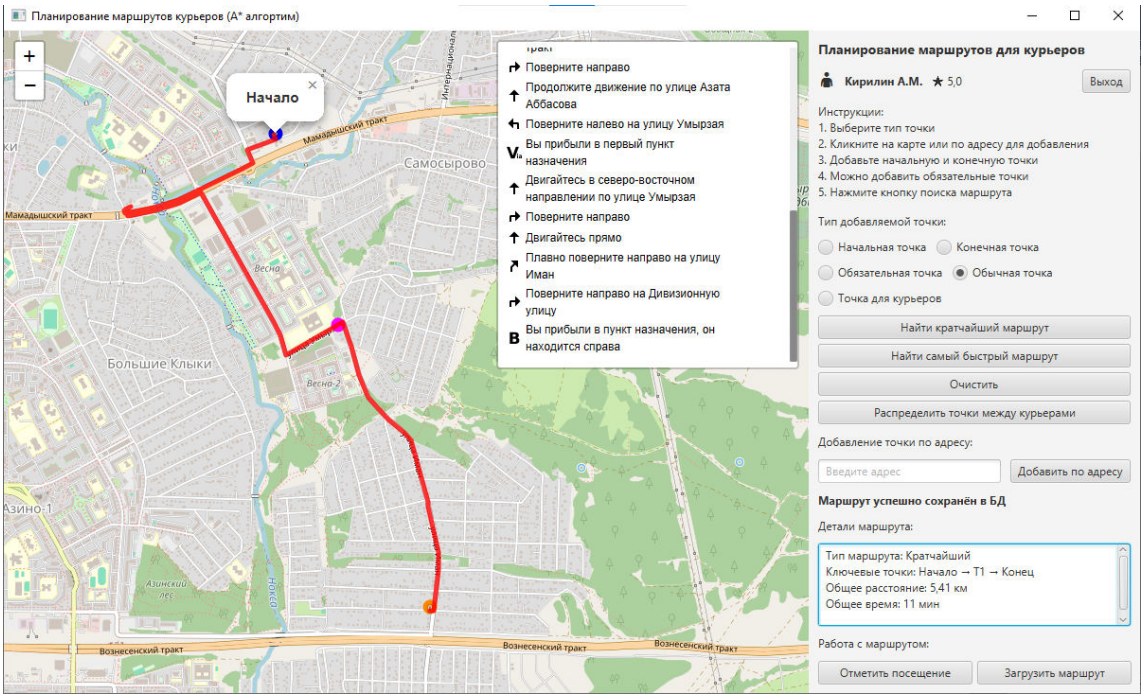


Рис. 3. Построенный маршрут на карте

3. Очистка карты: Также в системе предусмотрена функция очистки карты, которая вызывается нажатием кнопки «Очистить». При этом все ранее добавленные точки маршрута удаляются, а карта возвращается в исходное состояние, что позволяет пользователю начать построение нового маршрута с нуля (рис. 4).

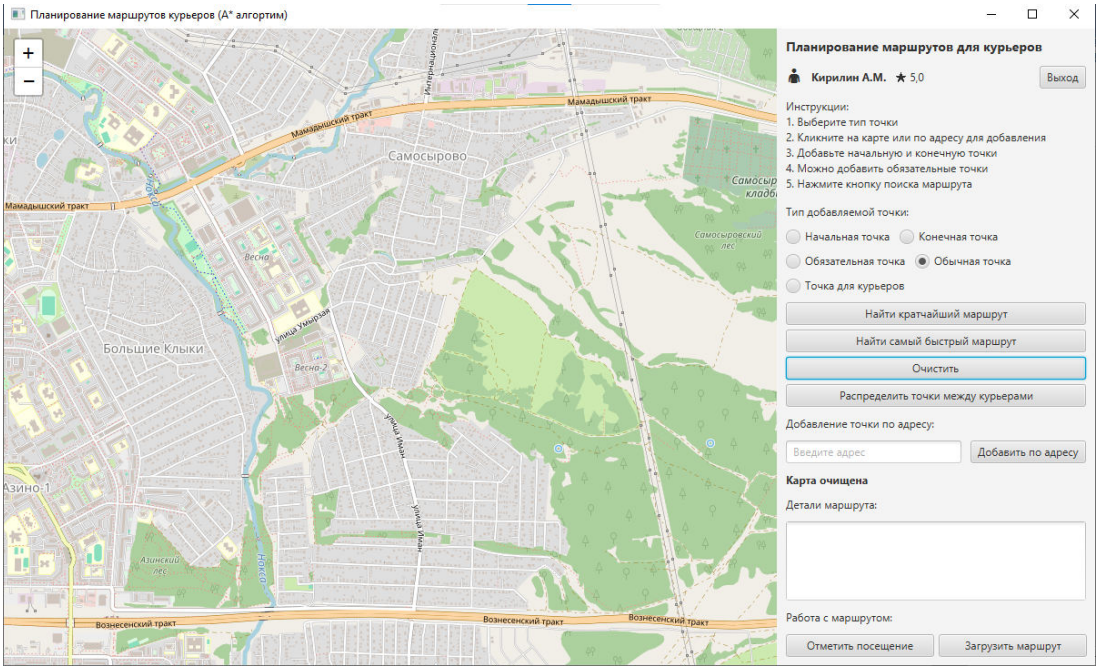


Рис. 4. Очистка карты

4. Распределение точек между курьерами: Кнопка «Распределить точки между курьерами» предназначена для автоматического разбиения маршрута на несколько подмаршрутов в случае, если доставка осуществляется несколькими курьерами (рис. 5). При этом в интерфейсе логиста появляется дополнительный тип точки – «Точка для курьеров», предназначенная для равномерного распределения адресов между исполнителями. Пользователь отмечает такие точки на карте, после чего система самостоятельно формирует оптимальные маршруты для каждого курьера и визуально отображает (рис. 6). Это упрощает планирование многомаршрутных доставок и снижает общую нагрузку на одного курьера.

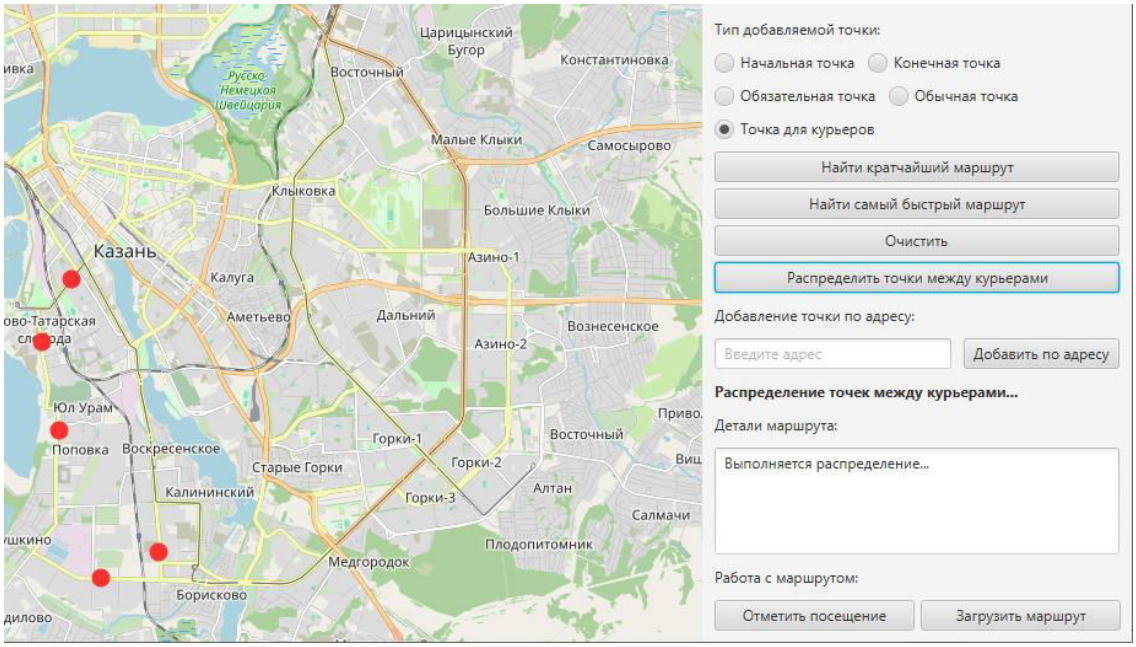


Рис. 5. Распределение точек между курьерами

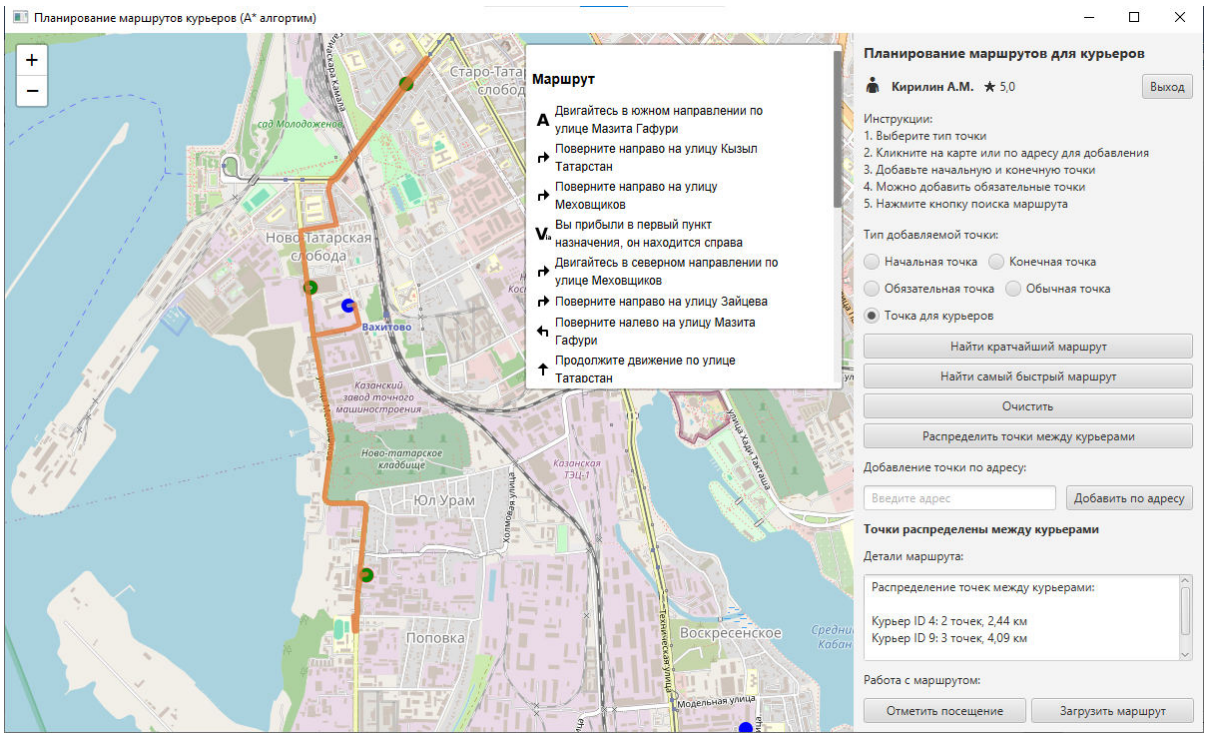


Рис. 6. Распределенные маршруты у курьеров

5. Загрузка маршрута из БД: Дополнительно реализована возможность загрузки ранее сохранённого маршрута из базы данных с помощью кнопки «Загрузить маршрут», например

после распределения точек между курьерами. При её активации система извлекает данные из локального хранилища, отображает соответствующий маршрут на карте и выводит подробную информацию в текстовом блоке, включая адреса точек, последовательность движения и параметры маршрута. Эта функция особенно полезна для повторного использования типовых маршрутов или анализа ранее выполненных доставок.

6. Посещение точек маршрута: Кнопка «Отметить посещение» используется курьером для фиксации прибытия в очередную точку маршрута (рис. 7). При нажатии маркер этой точки загорается зелёным, а в информационном блоке появляется сообщение, например: «Точка P2 отмечена как посещённая», также добавляется в БД эта информация. Это позволяет наглядно отслеживать выполнение маршрута.

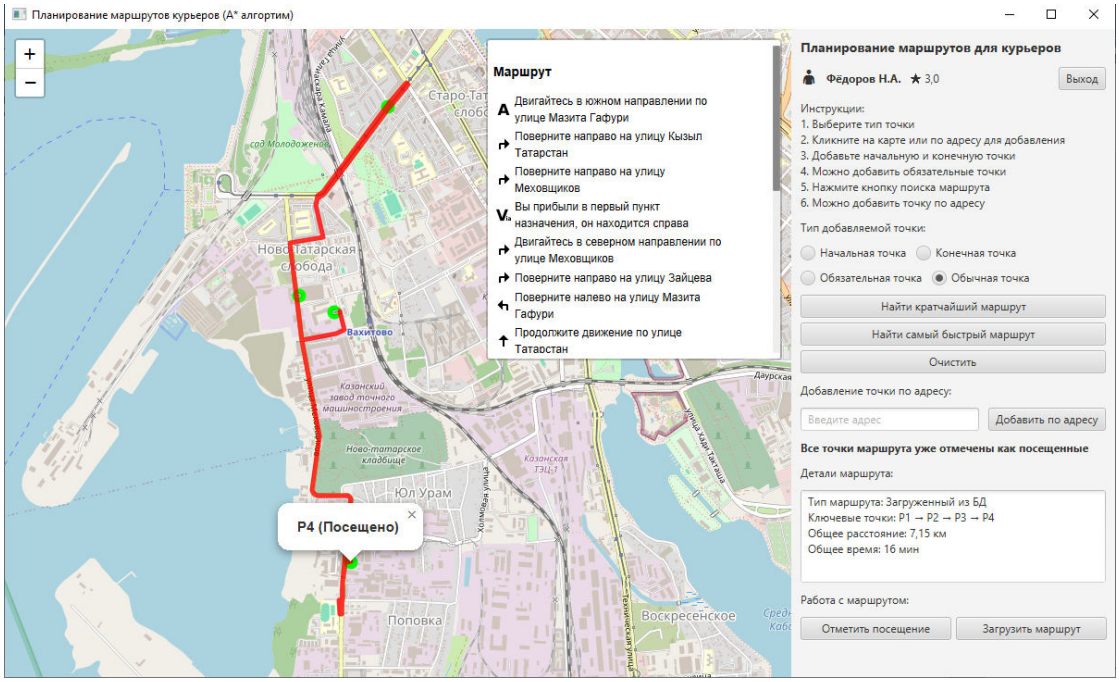


Рис. 7. Отметка точки как посещённой в интерфейсе курьера

В процессе работы информационной системы формируются и сохраняются в базу данных ключевые сведения о построенных маршрутах, точках доставки и действиях курьеров. Все результаты автоматически заносятся в соответствующие таблицы базы данных SQLite и могут быть использованы для последующего анализа, отчётности и контроля исполнения.

Таким образом, система не только предоставляет удобный визуальный интерфейс для логиста и курьера, но и надёжно сохраняет всю историю маршрутов и посещений в базе данных, обеспечивая прозрачность и управляемость логистических операций.

Заключение

Разработанная информационная система повышает эффективность курьерской службы за счёт автоматизированного планирования маршрутов с использованием алгоритма A* и API с актуальными данными о пробках. Это позволяет сократить время доставки, снизить издержки и оперативно реагировать на изменения дорожной обстановки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Калинина Е.Г. Разработка информационной системы курьерской службы доставки для интернет-магазинов / Е.Г. Калинина, И.Г. Иващенко // Вестник МГУП. — 2015. — № 1. — С. 77–81.

2. Алхимова Д.С. О программных средствах реализации доставки товаров / Д.С. Алхимова, С.И. Салпагаров // Современные наукоемкие технологии. — 2023. — № 2. — С. 9–16.

3. *Pinto J.* Toward a route optimization modular system / J. Pinto, M.F. Santos, F. Portela // Proceedings of International Conference on Information Technology and Applications. — Singapore: Springer, 2023. — (Lecture Notes in Networks and Systems; Vol. 614).

4. *Ахмадуллин Р.И.* Моделирование и оптимизация бизнес-процессов курьерской службы / Р.И. Ахмадуллин, А.Ю. Ерёмин // Современные научные исследования и инновации. — 2017. — № 1. — URL: https://web.snauka.ru/issues/2017/01/76992 (дата обращения: 25.08.2025).

5. *Wijaya D.R.* Cargo route optimization using shortest path algorithms: Runtime and validity comparison / D.R. Wijaya, A. Athallah, T.N. Noor'afina, P.A. Telnoni, S.D. Budiwati // Journal of Computer Science. – 2023. – Vol. 19, № 11. – P. 1369–1379.

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR MANAGING THE DELIVERY OF PRODUCTS BY A COURIER SERVICE

Kirilin A.M.

Supervisor: Shleymovich M.P., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article discusses the development of an information system for automating and optimizing courier delivery routes. The selected technologies, the architecture of the system, the functional components and the results of the program are described.

УДК 303.732.4

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ

Клопов И.В.

Научный руководитель: Котов В.В., доцент, к. т. н

(Московский государственный технологический университет Станкин, г. Москва)

Аннотация. В статье рассматриваются традиционные методы контроля качества на производстве с использованием методологий системного анализа. Также предлагается гибридный подход к контролю, совмещающий традиционные методы и интеллектуальную поддержку на полном рабочем цикле изготовления изделия на металлообрабатывающем производстве. Сравниваются традиционный и гибридный методы, делается вывод об эффективности системы.

Задача повышения качества выпускаемой продукции в прогрессивных экономических условиях чрезвычайно важна. На крупном рынке потребители предъявляют высокие требования к надёжности, защищенности и функциональности изделий, что создаёт желательность постоянного совершенствования систем управления качеством в системе работы производства. Традиционные методы контроля, хоть и демонстрируют свою эффективность при устойчивых условиях, но зачастую могут начать некорректно работать в условиях высокой сложности и притязаний к точности [1].

Системный анализ помогает исследовать сложные объекты, выявлять взаимосвязи и доводить до совершенства управление качеством продукции. Благодаря методологиям и методам системного анализа производство может добиться более высоких результатов и повысить свою эффективность на экономическом рынке. Но, очень важно уметь выбирать правильную, подходящую методологию к конкретному предприятию и уметь её синергировать с другими аспектами производства.

Использование аналитического подхода на основе системной декомпозиции помогает расценивать эффективность производственных систем и улучшает понимание качества производственной логистики [2]. Один из примеров - предиктивное обслуживание производственных мощностей, которое позволяет прогнозировать поломки оборудования. Конечно, утверждение, что любое предприятие будет готово использовать такую технологию, является спорным. Не всем захочется покупать запчасть к оборудованию только потому, что система прогнозирует поломку через месяц. Именно поэтому такие системы должны быть достаточно точными, чтобы работники могли с уверенностью приобретать компоненты. А для того, чтобы добиться подходящей точности, недостаточно использования машинного обучения без синергии со системным анализом.

Ученые также рекомендуют регулярный анализ динамики производства и использование событийного метода для количественной оценки влияния сбоев на производительность системы [3].

В исследовании, проведенном Прытковой Е.А. и Давыдовым В.М., рассматривается возможность применения иерархических нейронных сетей для оптимизации процессов управления качеством продукции на производственных предприятиях [4].

Некоторые научные работники применяют интеллектуальную поддержку для прогнозирования недостатков, что позволяет улучшить результаты по сопоставлению с традиционными методами контроля. Например, польза Байесовской оптимизации при разработке программного обеспечения показало меньшую вариабельность и большую обьяснимость, нежели алгоритмы дерева решений и случайного леса [5].

В различных отраслях промышленности используется техническое зрение для контроля качества готовых изделий. Это позволяет выявлять возникающие дефекты в пассивном режиме [6-8]. Однако использование технического зрения на завершающих этапах производственного цикла сопряжено с рядом существенных недостатков. К ним относится: высокая стоимость оборудования и его обслуживания, риск ложных срабатываний, необходимость обучения персонала, этические и правовые аспекты и т.д.

Современное производство обязано контролировать весь технологический процесс, чтобы вовремя воздействовать на нужный обьект управления. Для этого применяются как пассивные, так и активные системы контроля. Такая синергия позволяет добиться наилучшего результата, при этом добавляя возможность корректировки жизненного цикла контроля прямо во время изготовления изделия, что является весомым преимуществом.

Резюмируя, активный контроль качества на предприятии дает больше возможностей для совершенствования процессов по сравнению с пассивным. Что позволяет не только поддерживать качество, но и активно его улучшать, что особенно важно при изменяюшихся требованиях и стандартах.

Что означает «эффективность предприятия»? Можно ли сказать, что предприятие эффективно, если оно способно регулярно производить продукцию высокого качества с минимальным количеством брака? Возникает закономерный вопрос: а что такое качество? В общепринятом смысле качество определяется как соответствие определённым параметрам продукта.

В работах Герасимова Б. Н. отмечается, что использование системного анализа позволяет не только оценить текущее положение дел в процессах, но и обнаружить причины, которые могут привести к проблемам, что даёт возможность разработать меры по их предотвращению.

Современные исследования в области управления качеством показывают, что сочетание системного анализа с интеллектуальными производственными системами поддержки принятия решений позволяют создавать гибкие модели, способные быстро реагировать на изменения внешней среды и внутренних процессах производства.

В этой сфере особую важность приобретает опыт стран Европейского союза. Здесь на основе стандартизации систем управления качеством были созданы комплексные методы,

которые позволяют улучшить контроль с помощью современных аналитических инструментов.

В научной деятельности российских исследователей также подтверждается важность этого направления. В работах, посвящённых улучшению системного анализа, говорится о том, что нужно переходить от привычных методов контроля к комплексным моделям, которые объединяют в себе элементы оптимизационного моделирования, прогнозирования и поддержки принятия решений.

Рассмотрим модель множественной регрессии, основная цель которой — описать систему с наибольшим числом факторов, определив при этом влияние каждого из них в отдельности, а также совокупное воздействие на моделируемый показатель:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_n X_n + \varepsilon. \quad (1)$$

где: - Y – зависимая переменная (уровень дефектности продукции),

- X_1, X_2, X_n– независимые переменные (температура, давление, скорость линии, характеристики персонала),

- β_0 – свободный член,

- β_n – коэффициенты регрессии, отражающие влияние соответствующих факторов на Y,

- ε – случайная ошибка (остаток модели).

Оценка коэффициентов обычно производится методом наименьших квадратов, при котором минимизируется сумма квадратов разностей между наблюдаемыми и предсказанными значениями.

Пример с результатом работы рассматриваемой в тексте модели показан на рисунке 1. Стоит отметить, что, нивелируя отклонения, система показывает хорошую точность обработки данных. Но задача производства — предсказывать максимально близко, что, конечно, возможно не во всех рабочих условиях. Так как такая система зависит от многих факторов.

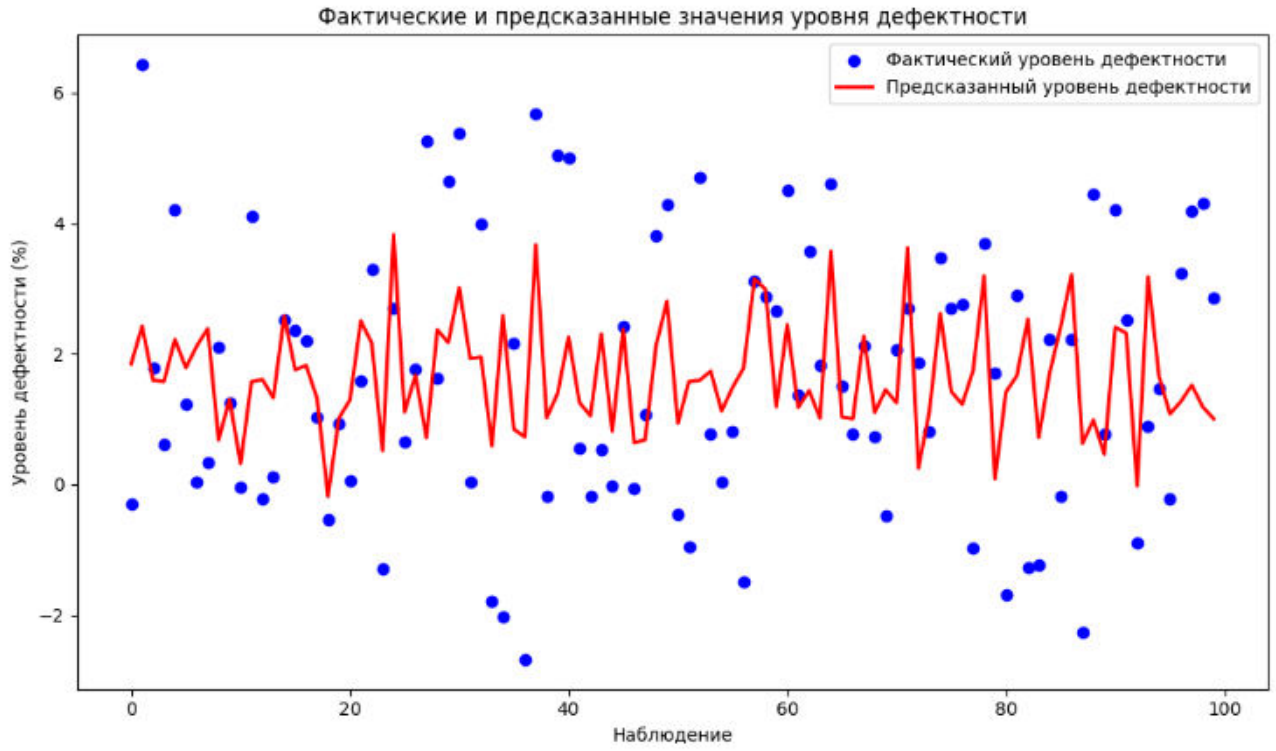


Рисунок 1. Результат работы модели множественной регрессии

Среди рассматриваемых популярных подходов для контроля качества на производстве на современном предприятии можно выделить оптимизацию с помощью моделирования.

Такой метод включает в себя задачи линейного и нелинейного программирования, а также многокритериальные методы оптимизации. Они позволяют на основе математических моделей определить наилучшие режимы работы оборудования и оптимальное распределение ресурсов.

Эти модели создаются с учётом всех имеющихся исторических данных и закономерностей, выявленных опытным путём. Что позволяет сформулировать задачу оптимизации как поиск такого набора параметров, при котором количество дефектов в продукции будет минимальным.

Не менее распространенным является имитационное моделирование, которое на текущий момент значится эффективным инструментом для создания компьютерных моделей производственных процессов. Разрабатываемые модели позволяют проводить эксперименты без вмешательства в реальные операции с учетом определённых допущений. Такой метод способствует выявлению уязвимостей в системе и оценке продолжительности влияния изменений технологических параметров на качество продукции. В основе имитационного моделирования лежат принципы системной динамики и теории случайных процессов.

Для анализа и сравнения различных параметров, таких как эффективность, стоимость, качество и надёжность, используются методы многокритериального анализа, например, метод аналитической иерархии и метод определения приоритетов. Эти методы позволяют принимать взвешенные решения в условиях ограниченных ресурсов.

В наше время всё чаще происходит объединение этих методов в рамках единой информационной системы, которая помогает принимать решения. В этой системе статические модели, такие как регрессионный анализ и оптимизация, дополняются динамическими модулями, такими как имитационное моделирование и анализ временных рядов.

Традиционные методы, как правило, не способны адекватно учитывать нелинейные зависимости и быстро меняющиеся условия предприятия, что может привести к некорректному отслеживанию производственных процессов.

В таблице 1 представлено компарирование различных методов и методологий.

Таблица 1

Сравнительная таблица методов

Название метода	**Проектный подход**	**Моделирование Компонентов**	**Этапы применения в ЖЦ**	**Класс задач**
Иерархические нейронные сети	Системный анализ и общая теория систем	Иерархическая структура для оценки качества продукции	Управление качеством и контроль	Оценка и контроль качества
Контрольные Диаграммы	Статистический контроль процесса	Диаграммы управления переменными и атрибутами	Мониторинг и контроль производственных процессов	Мониторинг процессов и повышение качества
BPUSH	Статистический подход	Последовательное и иерархическое обновление статистических распределений	Автоматизированный контроль качества на производстве	Обнаруже-ние неис-правностей и обеспече-ние качества
FMEA	Система, основанная на правилах	Анализ дефектов продукции и способов отказа	Контроль качества на производственных линиях	Анализ дефектов и повышение качества

BPUSH — Байесовский подход, основанный на последовательном и иерархическом обновлении. Данный подход заключается в обновлении априорных знаний на основе новых данных.

Резюмируя, современные методы системного анализа в контроле качества включают в себя различные подходы, такие как иерархические нейронные сети, контрольные диаграммы, байесовские методы, FMEA, модели, основанные на данных, и статистические методы. Эти методы применяются на разных этапах жизненного цикла, уделяя особое внимание таким задачам, как оценка качества, мониторинг процессов, обнаружение неисправностей и повышение качества.

Для повышения эффективности существующих методов предлагается использование алгоритмов машинного обучения, которые способны существенно улучшить качество прогнозов и адаптировать модели к изменяющимся данным. Например, применение ансамблевых методов (случайный лес, градиентный бустинг) или нейронных сетей позволит более точно моделировать сложные зависимости между входными параметрами и качеством продукции. Такие модели могут учитывать нелинейные эффекты, которые традиционные линейные регрессионные модели упускают. Кроме того, алгоритмы обучения с подкреплением могут быть использованы для разработки адаптивных систем управления, способных в режиме реального времени корректировать параметры технологического процесса на основе текущих показателей работы оборудования и обратной связи от операторов.

Внедрение машинного обучения в существующие системы анализа позволит осуществлять непрерывное обновление моделей за счёт онлайн-обучения, что повышает их адаптивность и снижает вероятность возникновения дефектов при изменении условий производства.

Таким образом, синтез традиционных методов системного анализа с современными алгоритмами машинного обучения представляет собой перспективное направление, способное обеспечить создание интеллектуальных систем поддержки принятия решений, ориентированных на оптимизацию процессов контроля качества на производстве.

Эффективность такого интегрированного подхода подтверждается как зарубежными исследованиями, так и отечественными исследованиями, где отмечается необходимость перехода от классических методов к адаптивным информационным системам.

Исходя из выше перечисленного, в рамках данной работы была разработана концептуальная модель описывающая необходимую структуру современной системы контроля качества, показанная на рисунке 3.

Рисунок 2. Концептуальная модель системы

На первом уровне осуществляется сбор информации с производственных участков с использованием аппаратных средств оснащённых датчиками измерения основных технологических параметров (температура, давление, вибрация и т.д.). Собранные данные передаются по промышленным коммуникационным сетям в центральное хранилище данных. Собранная информация сохраняется в СУБД, что обеспечивает централизованный доступ к историческим данным и возможность их последующей обработки.

Статическая модель предназначена для стратегического планирования и оценки текущего состояния технологического процесса. В её основе лежат методы регрессионного анализа и оптимизационного моделирования, позволяющие установить зависимость между параметрами производства (вектор X) и уровнем дефектности продукции (Y). Формально, такая задача может быть представлена в виде математической формулы следующим образом:

$$X^* = \text{аргмин}_x P\left(Y > Y_{\text{порог}}\right). \quad (2)$$

В формуле 2 значение $Y_{\text{порог}}$ является пороговым значением допустимого уровня дефектов. Динамическая модель основывается на алгоритмах машинного обучения, которые анализируют данные в режиме реального времени. Модуль предиктивной аналитики позволяет обнаруживать аномалии, прогнозировать возможное возникновение дефектов и оперативно реагировать на изменения в производственном процессе.

Затем происходит синтез результатов статического и динамического анализа.

Таким образом, динамическая модель повышает эффективность системы качества. Она делает результаты предсказуемыми и стабильными, исключая случайные отклонения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1 *Senoner, J., Netland, T., & Feuerriegel, S*. (2021). Using Explainable Artificial Intelligence to Improve Process Quality: Evidence from Semiconductor Manufacturing.Manag. Sci., 68, 5704-5723.https://doi.org/10.1287/mnsc.2021.4190.

2 *Colledani, M., & Tolio, T.* (2011). Integrated analysis of quality and production logistics performance in manufacturing lines. International Journal of Production Research, 49, 485 - 518. https://doi.org/10.1080/00207540903443246.

3 *Wang, J., Song, Y., Cui, P., & Li, Y.* (2021). A data-driven method for performance analysis and improvement in production systems with quality inspection. Journal of Intelligent Manufacturing, 34, 455-469. https://doi.org/10.1007/s10845-021-01780-5.

4 *Прыткова Е.А., Давыдов В.М.* Анализ применения иерархических нейросетевых методов в контроле качества // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. №1. С. 74-81. https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-1-74-81.

5 *Hernández-Molinos M.J., Sánchez-García Á., Barrientos-Martínez R., Pérez-Arriaga J.C., Ocharán-Hernández J.O.* Software Defect Prediction with Bayesian Approaches // Mathematics. 2023. DOI: 10.3390/math11112524.

6 *Ivashchenko A., Avsievich V., Reznikov Y., Belikov A., Turkova V., Sitnikov P., & Surnin, O.* (2023). Intelligent Machine Vision Implementation for Production Quality Control. 2023 34th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), 49-56 https://doi.org/10.23919/fruct60429.2023.10328169.

7 *Шевнина Ю.С.* Управление системой контроля поверхностных дефектов изделий микроэлектроники // Вестник ТГТУ. 2024. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-sistemoy-kontrolya-poverhnostnyh-defektov-izdeliy-mikroelektroniki (дата обращения: 03.03.2025).

8 *Э. Шибанов, И. Благовещенский, Е. Назойкин* Визуальная оценка состояния шоколадной массы при помощи системы технического зрения // Хранение и переработка сельхозсырья. 2023. №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vizualnaya-otsenka-sostoyaniya-shokoladnoy-massy-pri-pomoschi-sistemy-tehnicheskogo-zreniya (дата обращения: 23.06.2025).

IMPROVING PRODUCT QUALITY CONTROL PROCESSES IN PRODUCTION USING INTELLIGENT SUPPORT METHODS

Klopov I.V.
Supervisor: Kotov V.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Moscow State Technological University Stankin, Moscow)

Abstract. In this article, we consider traditional methods of quality control in production using system analysis methodologies. We also propose a hybrid approach to control, combining traditional methods and intelligent support for the full production cycle of a metalworking product. In this paper, we compare traditional and hybrid methods and draw conclusions about the effectiveness of the system.

УДК 004.912

МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

Колобова Д.А.
Научный руководитель: Шлеймович М.П., заведующий кафедрой, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассмотрены основные типы языковых моделей, от ранних статистических моделей и рекуррентных нейронных сетей до современных трансформерных моделей, указаны их достоинства и недостатки. Описано применение подобных моделей в различных сферах деятельности человека.

Введение

В последние несколько лет языковые модели внесли большой вклад в область обработки естественного языка (NLP). Машины научились генерировать осмысленные тексты, отвечать на вопросы, переводить тексты с различных языков.

Языковая модель — это алгоритм, который способен анализировать текст, понимать контекст, генерировать новые тексты.

Эволюция языковых моделей представляет собой один из наиболее динамичных трендов в области искусственного интеллекта и обработки естественного языка (NLP). Пройдя путь от статистических языковых моделей на основе n-gram и марковских процессов к революционным архитектурам на основе механизма внимания (Attention), языковые модели кардинально изменили парадигму решения NLP-задач. Современные большие языковые модели, такие как GPT, PaLM и LLaMA, демонстрируют способности, не заложенные явно при обучении. Эти модели, имеющие в своей архитектуре миллиарды параметров и обученные на терабайтах текстовых данных, перестали быть просто инструментом для предсказания следующего слова. Они стали универсальными системами, способными решать широчайший спектр задач — от сочинения стихов и диалога до анализа юридических документов и написания программного кода.

Структура языковых моделей зависит от того, какая математическая модель лежит в их основе [1]. Она определяет не только архитектуру алгоритма, но и его вычислительную сложность, способность улавливать зависимости в данных и, в конечном итоге, сферу его практического применения. Чтобы понять, как работают современные языковые модели, необходимо проследить эту эволюцию — от базовых вероятностных концепций к сложным нейросетевым архитектурам, способным к обобщению и генерации. Цель данной статьи – провести анализ существующих моделей решения задач NLP, последовательно рассматривая ключевые подходы и их влияние на развитие данной технологии.

Статистические языковые модели

Ранние языковые модели были статистическими. Они основывались на вероятностном алгоритме цепей Маркова. Данные языковые модели опирались на частотные закономерности в тексте без глубокого понимания семантики. Статистическая языковая модель оценивает вероятность появления слова или последовательности слов в тексте:

$$P(w_1, w_2, \dots, w_n),$$

где w_1, w_2, …, w_n — слова в предложении.

Они используются в клавиатурах смартфонов для исправления опечаток и быстрого набора текстов T9 [2]. Статистические модели отличались высокой скоростью работы и интерпретируемостью, но были ограничены контекстом в несколько слов.

Рекуррентные нейронные сети

Более поздние модели имели в своей основе рекуррентные нейронные сети (RNN). Этот вид нейронных сетей применяется для обработки последовательных данных. Достоинство рекуррентных нейронных сетей заключается в том, что они способны запоминать контекст и порядок слов в тексте, что позволяет им решать задачи обработки текста более эффективно. Архитектуру рекуррентных нейронных сетей представляют повторяющиеся блоки. Благодаря им сеть имеет возможность использовать предыдущие состояния, запоминая их, для прогнозирования следующего состояния. На рис.1 показано строение рекуррентного слоя:

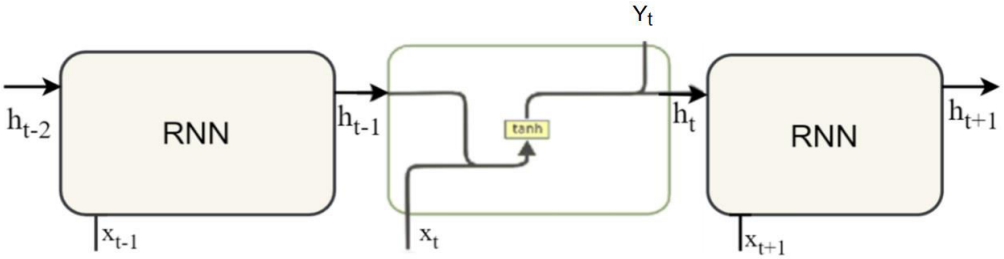


Рис. 1. Строение рекуррентного слоя [3]

Здесь h_t – вектор скрытого состояния слоя в момент времени t, h_{t-1} – вектор скрытого состояния слоя в момент времени t-1, x_t – входные данные.

Для подсчета вектора h_t используется формула:

$$h_t = \tanh(Wx_t + Uh_{t-1} + b_h),$$

где W,U,b_h – обучаемые параметры-вектора.

Для подсчета выходного вектора используется формула:

$$y_t = \tanh(Vh_t + b_y),$$

где V,b_y – обучаемые параметры-вектора.

RNN улучшили обработку текста, но были недостаточно эффективными в обработке длинных последовательностей, несмотря на реализованные механизмы памяти.

Трансформеры

Современные языковые модели основаны на архитектуре «трансформер».

Трансформер — это архитектура, которая состоит из двух частей — энкодера и декодера:

• Энкодер преобразовывает входной текст в вектор чисел, максимально точно описывающий исходные данные.

• Декодер выполняет преобразование числового вектор обратно в текст или другое смысловое выражение, которое требуется от модели. Например, это может быть категория, к которой относится входной текст.

В основе работы трансформера лежит механизм внимания. Данный механизм позволяет модели исследовать разные части последовательности и определять наиболее важные из них вместо того, чтобы обрабатывать данные по порядку.

Энкодер и декодер состоят из нескольких слоев внимания и нейронных сетей прямого распространения. Слои внимания позволяют определять контекст и связи между токенами.

Нейронные сети прямого распространения располагаются после слоев внимания. Они выполняют нелинейные преобразования над данными, т.е. превращают вычисленные данные для каждого слова в N-мерный вектор [1].

Перед тем, как данные поступают в энкодер, они проходят через слои токенизации и эмбеддинга:

• Токенизация — это процесс разбиения текста на отдельные части (токены), которые могут быть словами, часто встречающимися частями слов или символами. Полученным токенам присваивает числовой идентификатор (ID). Модель получает на вход не «сырой» текст, а его числовое представление.

• Эмбеддинг — это способ представления данных в виде векторов чисел, которые сохраняют их смысловые или структурные особенности. Поступающие в модель ID только сопоставляют со словами некоторые числа. Эмбеддинг преобразует их в вектор таким образом, чтобы схожие по смыслу слова располагались рядом друг с другом в векторном пространстве.

Процесс обучения языковых моделей происходит по тому же принципу, что и обучение других нейронных сетей. Он включает в себя подготовку данных, разделение их на тренировочную, валидационную и тестовую выборки, прямой проход данных по сети для выполнения предсказания, вычисление ошибки и обратный проход для коррекции весов [4].

Современные языковые модели

Трансформеры легли в основу таких популярных на сегодняшний день моделей, как BERT, GPT и T5. Их относят к отдельному классу так называемых больших языковых моделей (LLM). Среди характерных особенностей LLM:

• очень большой размер — в таких моделях используется более миллиарда параметров;

• огромный размер обучающей выборки;

• потребность в мощных вычислительных ресурсах для обучения моделей;

• способность обрабатывать входные данные параллельно, а не последовательно.

Модель BERT использует двунаправленное обучение, что позволяет ей понимать контекст слова как слева, так и справа от него. Это делает BERT особенно мощным инструментом для задач, связанных с пониманием текста, таких как системы «вопрос-ответ» и анализ тональности. Она основана только на энкодере.

Модель GPT, напротив, использует однонаправленное обучение, предсказывая следующее слово только на основе предыдущих слов. В ее основе лежит только декодер.

Модель T5 представляет собой универсальную трансформерную модель, которая переводит любые задачи обработки текста в текстовую форму [5].

Применение языковых моделей

Способность алгоритмов NLP анализировать и генерировать текст на естественном языке открыла возможности для автоматизации рутинных задач, извлечения важной информации из неструктурированных данных и создания новых интерфейсов взаимодействия человека с компьютером. Языковые модели находят применение в различных сферах, таких как:

• Наука: языковые модели генерируют аннотации - краткие содержания научных статей; также модели помогают искать научные тексты, классифицировать статьи, обрабатывать результаты исследований и многом другом;

• Медицина: модели используют для анализа симптомов, диагностики;

• Создание цифровых сервисов: с помощью языковых моделей работает огромное количество IT-решений – от поисковых систем и переводчиков до чат-ботов в социальных сетях;

• Маркетинг: языковые модели используют для генерации контент-планов, идей для рекламных постов и баннеров. С их помощью придумывают слоганы и названия для новых брендов [1];

• Системы управления БПЛА: полётные режимы и логика переходов описываются в виде иерархических конечных автоматов. Языковые модели могут помочь извлекать условия из текстовых инструкций ГОСТов или руководств.

Заключение

Современные языковые модели, основанные на архитектуре трансформеров, совершили переворот в области обработки естественного языка. От ранних статистических методов и рекуррентных нейронных сетей до мощных BERT, GPT и их гибридов— каждая новая модель преодолевала ограничения предыдущих, улучшая качество анализа и генерации текста.

Исследование выполнено в рамках Передовой инженерной школы "Комплексная Авиационная Инженерия"

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гайд по работе языковых моделей для начинающих. – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://habr.com/ru/companies/skillfactory/articles/837366/ (дата обращения: 13.06.2025).
2. Языковые модели. – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/yazykovye-modeli (дата обращения: 10.06.2025).
3. *M.S. Ibrahim, W. Abbas, M. Waseem, C.Lu, H.H. Lee, J. Fan, K.-H. Loo*. Long-Term Lifetime Prediction of Power MOSFET Devices Based on LSTM and GRU Algorithms // Mathematics, 11, 15, p. 3283, 2023.
4. Как работают языковые модели. – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://practicum.yandex.ru/blog/yazykovye-modeli-i-kak-oni-rabotayut/ (дата обращения: 10.06.2025).
5. *Zaki Muhammad Zayyanu*. Revolutionizing translation technology: a comparative study of variant transformer models – BERT, GPT and T5 // Computer Science & Engineering: An International Journal (CSEIJ), Vol 14, No 3, June 2024.

NATURAL LANGUAGE PROCESSING MODELS

Kolobova D.A.
Supervisor: Shleimovich M.P., Candidate of Engineering Sciences
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The article discusses the main types of language models, from early statistical models and recurrent neural networks to modern transformers, their advantages and disadvantages are indicated. The application of such models in various fields of human activity is described.

УДК 004.932

ДЕКОМПОЗИЦИЯ МНОГОЗАДАЧНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ: НЕЗАВИСИМЫЕ ВЫХОДЫ НА ОБЩЕЙ ЯЗЫКОВОЙ МОДЕЛИ

Корнеевец М.А.
(Открытое акционерное общество «Гипросвязь», г. Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. В работе рассматривается подход к решению задач многозадачной текстовой классификации на базе общей языковой модели с независимыми выходными классификаторами. В отличие от традиционных схем multitask learning, предполагающих совместное обучение с общей головой или агрегированной функцией потерь, предложенная архитектура декомпозирует задачу на два параллельных процесса классификации — по эмоциональной тональности и типу оскорблений — с использованием единого трансформерного энкодера. Такая организация позволяет избежать взаимного негативного влияния задач при сохранении вычислительной эффективности и согласованности признакового пространства.

Многозадачное обучение (multi-task learning, MTL) стало одним из центральных направлений в современных системах обработки естественного языка, позволяя использовать общее языковое представление для решения сразу нескольких семантически или функционально связанных задач. Особенно широкое распространение такие подходы получили в архитектурах на основе трансформеров, где одна и та же языковая модель, обученная на большом корпусе, служит основой для последующей адаптации к конкретным прикладным задачам, включая классификацию, генерацию и извлечение информации.

Однако при всей привлекательности идей совместного обучения, классические архитектуры MTL, реализующие общую голову классификации или комбинированную функцию потерь, зачастую оказываются чувствительными к конфликтам между задачами. Ситуации, в которых разные задачи требуют неодинаковых признаков или распределений внимания, нередко приводят к ухудшению обобщающей способности модели. Более того, совместная оптимизация нескольких задач в рамках единого loss-функционала требует тщательной калибровки весов, что не всегда достижимо без эмпирического перебора и может существенно затруднить интерпретацию результатов [1].

В условиях, когда задачи имеют различную природу, но оперируют с одними и теми же текстовыми данными, представляется перспективным рассматривать альтернативные архитектурные решения, направленные на декомпозицию общей задачи на независимые компоненты. В частности, подход, основанный на использовании единой языковой модели и раздельных классификаторов, позволяет сохранить преимущества общего трансформерного представления при одновременном устранении конкуренции задач на уровне выходных слоёв. Такая архитектура обеспечивает независимую настройку, интерпретируемость и метрику каждой задачи, оставаясь при этом вычислительно эффективной благодаря общему энкодеру [2-4].

В настоящей работе рассматривается применение данного подхода на примере параллельной классификации тональности высказывания и его тематической принадлежности. Данное исследование проводится в рамках научно-исследовательской работы "Система мониторинга и интеллектуального анализа веб-пространства «Безопасное веб-пространство»", финансируемой Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований по договору № Ф23ИНДГ-011 от 19 сентября 2023 г. Поставленные задачи решаются с использованием единой предобученной модели rubert-base-cased, при этом каждая из них имеет собственный классификатор, независимо обучаемый на соответствующей части размеченного корпуса. Подобная декомпозиция многозадачного обучения демонстрирует практическую эффективность при сохранении концептуальной простоты и легко масштабируется на произвольное число параллельных задач.

Концептуально модель состоит из двух независимых классификаторов, опирающихся на общее трансформерное представление, извлекаемое из предобученной языковой модели rubert-base-cased. Такой подход направлен на разделение обучающих сигналов по задачам при сохранении единого пространства эмбеддингов, что снижает вычислительные издержки и позволяет избежать конфликтов в параметрах.

В качестве базового энкодера используется предварительно обученная модель BERT для русского языка, реализованная в библиотеке Transformers. Поверх неё отдельно инициализируются два экземпляра класса AutoModelForSequenceClassification с разным числом выходных нейронов: один — для задачи классификации тональности (три класса: позитивный, негативный, нейтральный), другой — для классификации тематики (шесть категорий). Таким образом, каждый классификатор получает общее языковое представление входной последовательности, но обучается независимо, на основе собственной функции потерь и соответствующей выборки.

Подготовка данных предполагает декомпозицию корпуса на два поднабора, каждый из которых содержит входной текст и только одну из целевых меток. Такой приём позволяет обеспечить логическую и вычислительную независимость задач при использовании единой токенизации и единого BERT-энкодера. Обработка текстов осуществляется с помощью

токенизатора, соответствующего базовой модели, а сами поднаборы дополнительно форматируются в соответствии с требованиями HuggingFace Datasets, включая переименование целевых колонок в labels, удаление нерелевантных признаков и приведение к нужному формату батчей.

Обучение каждой задачи осуществляется отдельно, с использованием стандартного цикла оптимизации на основе кросс-энтропийной функции потерь. Независимость классификаторов позволяет использовать специфические гиперпараметры, метрики и стратегии валидации для каждой задачи в отдельности. При этом, благодаря общей языковой модели, обе задачи сохраняют доступ к идентичному пространству признаков, что способствует устойчивости модели при работе с короткими и неструктурированными текстами.

Входные данные представляют собой коллекцию текстов из социальных медиа, размеченных по двум осям: эмоциональная тональность и тематическая принадлежность. Для соблюдения логической раздельности задач, исходный датасет был декомпозирован на два поднабора, каждый из которых содержит только соответствующую целевую метку. В процессе подготовки данных выполнялись базовые этапы очистки: удаление пропущенных значений, фильтрация некорректных строк и переименование полей. Тексты были приведены к единому формату и токенизированы с использованием официального токенизатора модели rubert-base-cased, что обеспечило совместимость с архитектурой модели и стандартизировало входные последовательности. Дополнительно каждый поднабор был преобразован в формат, совместимый с фреймворком Transformers, включая сопоставление меток с полем labels, необходимым для обучения классификаторов.

Каждая задача обучалась независимо, с использованием собственного экземпляра модели AutoModelForSequenceClassification, инициализированного на общей предобученной языковой основе. Для задачи классификации тональности модель конфигурировалась на три выходных класса, тогда как задача тематической классификации включала шесть категорий. Обучение велось с применением кросс-энтропийной функции потерь, оптимизируемой алгоритмом AdamW, с выбором гиперпараметров по метрике F1 на валидационной выборке. Независимость выходных голов позволила варьировать параметры обучения, а также проводить тестирование каждой модели отдельно, не влияя на параметры другой. Такая схема обеспечивает модульность и интерпретируемость результатов, а общая языковая часть модели способствует экономии ресурсов и согласованности признакового пространства.

Оценка эффективности предложенного подхода проводилась отдельно для каждой задачи — классификации эмоциональной тональности текста и определения его тематической направленности по типу оскорблений. Основными метриками качества выступали F1-score, Precision и Recall, рассчитанные на валидационной выборке.

Для модели, отвечающей за классификацию тональности, были получены следующие показатели: F1-score = 0.804, Precision = 0.805, Recall = 0.804. Данные результаты свидетельствуют о высокой точности модели и её сбалансированной работе по всем классам. Близость значений Precision и Recall указывает на то, что модель в равной степени эффективно определяет как положительные, так и отрицательные примеры, не демонстрируя выраженного смещения в сторону ложноположительных или ложноотрицательных предсказаний. Таким образом, можно утверждать, что данная архитектура обеспечивает стабильную и интерпретируемую классификацию эмоциональной окраски текста в условиях реальных пользовательских данных.

В случае задачи тематической классификации, связанной с определением типа оскорблений, модель продемонстрировала более умеренные результаты: F1-score = 0.604, Precision = 0.717 и Recall = 0.658. Снижение итоговой метрики F1 по сравнению с задачей тональности указывает на большую сложность интерпретации лингвистических признаков, связанных с агрессивной или оскорбительной лексикой. Тем не менее, высокое значение Precision (0.717) демонстрирует способность модели точно идентифицировать примеры, относящиеся к соответствующим классам, тогда как относительное снижение Recall (0.658)

свидетельствует о неполной охватности, прежде всего в контексте классов с низкой представленностью или семантической неоднозначностью. Эти результаты отражают не только специфику задачи, но и потенциальное влияние лексического и прагматического многообразия речевых актов, содержащих оскорбления.

В целом, полученные значения метрик демонстрируют устойчивость предложенной архитектуры при решении сразу двух различных по сложности задач, подтверждая гипотезу о целесообразности использования независимых классификационных модулей на базе общего языкового энкодера.

Предложенная архитектура демонстрирует высокую степень гибкости, что открывает перспективы для её масштабирования и адаптации к более широкому кругу задач. Прежде всего, подход может быть естественным образом обобщён на случай более чем двух задач, каждая из которых будет использовать общий языковой энкодер, но обладать собственной классификационной головой. Такая модульность позволяет подключать или отключать задачи без необходимости переобучения всей модели, что особенно ценно в условиях постепенного расширения функциональности в производственных системах.

Кроме того, в качестве следующего этапа развития архитектуры может рассматриваться внедрение промежуточных адаптационных слоёв (например, Adapter-модулей), которые позволят сохранить общий энкодер в замороженном виде, минимизируя потребности в памяти и ускоряя обучение. Это особенно актуально в сценариях, где добавляются новые задачи или домены, отличающиеся по лексике и стилистике от первоначального корпуса.

Дополнительным направлением является интеграция внимания к межзадачным связям, например, через регуляризацию или мягкую координацию выходных пространств задач. Это позволит частично восстановить преимущества совместного обучения, при этом избегая его ключевых недостатков. Наконец, подход легко переносится на другие языки, модели и домены, что делает его универсальным инструментом в многозадачной обработке текстов в условиях ограниченных ресурсов или сложных сценариев разметки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Hu, Ziniu; Liu, Yitao; Wang, Yisen; Xu, Peng; Li, Zhihua; Zhang, Tong*. Improving Multi-Task Generalization via Regularizing Spurious Correlation // arXiv preprint arXiv:2205.09797, 2022.

2. *Liu, Xiaodong; He, Pengcheng; Chen, Weizhu; Gao, Jianfeng.* Multi-Task Deep Neural Networks for Natural Language Understanding // arXiv preprint arXiv:1901.11504, 2019.

3. *Pfeiffer, Jonas; Rücklé, Andreas; Poth, Clifton; Kamath, Aishwarya; Vulić, Ivan; Ruder, Sebastian; Cho, Kyunghyun; Gurevych, Iryna. AdapterHub: A* Framework for Adapting Transformers // arXiv preprint arXiv:2007.07779, 2020.

4. *Khashabi, Daniel; Min, Sewon; Khot, Tushar; Sabharwal, Ashish; Tafjord, Oyvind; Clark, Peter;* Hajishirzi, Hannaneh. UnifiedQA: Crossing Format Boundaries with a Single QA System // arXiv preprint arXiv:2005.00700, 2020.

DECOMPOSITION OF MULTITASK CLASSIFICATION: INDEPENDENT OUTPUTS ON A COMMON LANGUAGE MODEL

Korneevets M.A.

(Open Joint-Stock Company "Giprovysyaz", Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. This paper discusses an approach to solving multitask text classification tasks based on a common language model with independent output classifiers. Unlike traditional multitask learning schemes that involve joint training with a shared head or an aggregated loss function, we propose an architecture that decomposes the task into two parallel classification processes—one for emotional tone and one for the type of insult—using a single transformer encoder. This organization allows us to avoid the mutual negative influence of tasks while maintaining computational efficiency and feature space consistency.

УДК 004.032.26

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОНЛИВОСТИ ЧЕЛОВЕКА ПО ДИНАМИКЕ ВЫРАЖЕНИЯ ЛИЦА

Курбанов Б.

Научный руководитель: Катасёв А.С., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Рассмотрены особенности применения методов нечеткой логики для определения сонливости человека на основе анализа динамики выражения лица. Перечислены ключевые признаки сонливости, такие как количество морганий, частота морганий, длительность морганий и количество зеваний. Обоснована целесообразность использования нечеткой логики для обработки нечетких и неточных данных, характерных для задачи определения сонливости человека по динамике выражения лица. Предложена схема определения сонливости человека. Сформулированы задачи перспективных исследований.

В настоящее время сонливость человека остается распространенной причиной многих проблем в различных предметных областях [1-3], таких как управление транспортными средствами, промышленное производство, медицина и другие сферы деятельности. Особую актуальность данная проблема приобретает в условиях современного общества, где круглосуточная работа и постоянный информационный поток становятся нормой. Задача определения сонливости является актуальной [4], например, для обеспечения безопасности на дорогах и своевременного пересечения несчастных случаев на производстве. Сонливое состояние водителя может привести к серьезным дорожно-транспортным происшествием, а сонливость оператора на производстве – к техногенным авариям и травмам. Таким образом, разработка надежных методов и систем определения сонливости становится приоритетной задачей для обеспечения безопасности работы во многих сферах человеческой деятельности.

Традиционные методы определения сонливости человека основаны на анализе изменений в работе нервной системы, мышечной активности и сердечно-сосудистой системы [5]. Эти изменения возникают при переходе от бодрствования к состоянию сонливости и могут быть измерены с помощью специализированных приборов. Однако их применение часто ограничивается необходимостью использования специализированного оборудования и сложностью интерпретации получаемых данных. Альтернативным подходом является определение сонливости по динамике выражения лица человека [6]. Исследования показывают, что при появлении сонливости у человека происходят характерные изменения мимики и движений лица: снижается частота моргания, появляется непроизвольное опускание век, изменяется выражение глаз и общая динамика лицевых мышц. Преимуществом такого подхода является возможность использования стандартной видеокамеры (например, камеры смартфона [7]), что позволяет применять такой подход в режиме реального времени.

Основными анализируемыми признаками для определения сонливости человека по динамике выражения его лица являются следующие [6]:

- частота морганий (увеличение частоты морганий может указывать на утомление, особенно в сочетании с другими признаками; частота морганий может быть рассчитана как количество морганий в единицу времени);
- длительность морганий (при засыпании моргания становятся более медленными, глаза дольше остаются закрытыми; длительное закрытие глаз более 0,5–1 секунды может свидетельствовать о микросне);
- количество морганий (у бодрствующего человека количество морганий в минуту относительно стабильно и составляет в среднем 15–20 раз, тогда как при сонливости оно может как увеличиваться, так и уменьшаться из-за замедления реакции);
- количество зеваний (зевание – один из наиболее явных признаков сонливости, имеющий выраженную визуальную форму).

Следует отметить, что получение и анализ значений указанных признаков сопряжен с высокой степенью неопределенности. Каждый из признаков может варьироваться в зависимости от физиологических и психологических характеристик человека. Например, такие параметры, как частота моргания, динамика изменения мимики или степень открытости глаз, могут отличаться не только у разных людей, но и у одного и того же человека в зависимости от его эмоционального состояния, уровня усталости, степени сонливости или даже внешних условий – освещённости, температуры окружающей среды и других факторов. Учитывая сложность и многогранность данной проблемы, традиционные методы анализа, основанные на жёстких пороговых значениях, зачастую оказываются недостаточно эффективными. В связи с этим для решения задачи определения сонливости человека по динамике выражения лица целесообразно применение методов нечеткой логики [8]. Нечеткая логика, с одной стороны, позволяет решать поставленные задачи в условиях неопределенности (разнотипности, неполноты, недостоверности анализируемых данных), а с другой – формирует решение, понятное для человека с точки зрения лингвистической интерпретации [9].

На рисунке 1 представлена обобщенная схема анализа динамики выражения лица для определения сонливости человека.

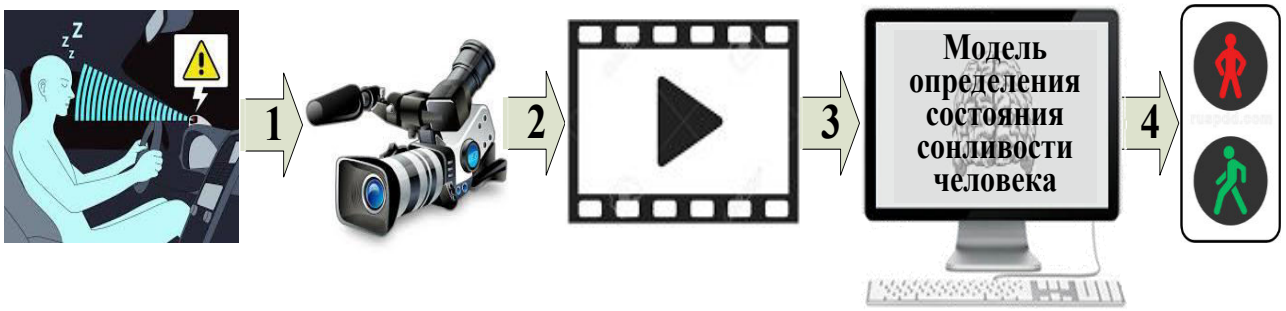


Рисунок 1. Схема определения сонливости человека по динамике выражения лица

Согласно представленной схеме для определения состояния сонливости человека по динамике выражения лица необходимо реализовать следующие этапы:

1) наблюдение за динамикой выражения лица человека с использованием видеокамеры (например, камеры смартфона);

2) формирование видеопотока, характеризующего динамику выражения лица;

3) извлечение данных (значений признаков) из видеопотока для определения сонливости человека;

4) определение функционального состояния человека («сонливое» или «бодрое») на основе анализа данных и интерпретация полученного решения.

Следовательно, для анализа динамики выражения лица и определения состояния сонливости человека необходимо извлекать данные из видеопотока, выбрать нечеткий метод анализа данных, разработать интеллектуальную модель и программный комплекс, позволяющие на основе выбранного метода решать поставленную задачу и интерпретировать получаемые решения.

Применение в указанной схеме методов нечеткой логики для анализа значений признаков состояния сонливости человека позволит эффективно решать поставленную задачу в условиях использования неточных и неоднозначных данных. Классические бинарные модели [10], основанные на жёстких пороговых значениях, не способны адекватно описывать плавные переходы между состояниями, например, от полного бодрствования к начальной стадии сонливости. В отличие от них, модели нечеткой логики позволяют учитывать плавные переходы между состояниями, что особенно важно при анализе динамических процессов. Также при построении модели нечеткой логики могут быть сформулированы правила, связывающие комбинации входных признаков с уровнем сонливости. Это обеспечивает

гибкость нечеткой модели и устойчивость к шумам в данных, полученных от видеокамеры с использованием методов компьютерного зрения [11].

Таким образом, применение нечеткой логики для определения сонливости человека по динамике выражения лица является эффективным подходом, позволяющим учесть нечеткость и вариативность входных данных. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку инструментального средства анализа полученных данных – нейронечеткой модели [12], использование которой позволит сформировать нечеткую базу знаний [13] в виде системы нечетко-продукционных правил определения сонливости человека. Для построения нейронечеткой модели потребуется разработать методы и алгоритмы ее структурной и параметрической идентификации [14], в том числе вид нечетких правил и алгоритм логического вывода на правилах. Кроме того, потребуется разработать программный комплекс, реализующий предложенную модель, методы и алгоритмы, а также провести численно-параметрические исследования и апробацию разработанного математического и программного обеспечения. Все это позволит в дальнейшем эффективно решать задачу определения состояния сонливости человека по динамике выражения лица и будет способствовать созданию интеллектуальных систем мониторинга, повышающих безопасность жизнедеятельности человека в различных предметных областях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Колесникова Е.П., Пономарева Н.В.* Сонливость у пожилых людей: актуальность проблемы и электрофизиологические маркеры // Асимметрия. 2018. Т. 12. № 4. С. 565-573.

2. *Дорохов В.Б.* Сомнология и безопасность профессиональной деятельности // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2013. Т. 63. № 1. С. 33.

3. *Бобырь М.В., Скринникова А.В., Милостная Н.А., Серегин С.П.* Нечеткая биотехническая система управления производительностью человека-оператора // Медицинская техника. 2017. № 4 (304). С. 46-50.

4. *Курбанов Б., Катасёв А.С., Катасёва Д.В., Зиннуров Б.Р.* Нейросетевая система определения сонливости человека по выражению лица // Вестник Технологического университета. 2024. Т. 27. № 12. С. 158-164.

5. *Золотова Т.В., Давыдова Л.С., Давыдова А.П.* Оптимизация схемы обследования и лечения при ронхопатии // Российская ринология. 2013. Т. 21. № 2. С. 92-93.

6. *Курбанов Б., Катасёв А.С.* Программа извлечения числовых данных из видеопотока для определения состояния сонливости человека по динамике выражения лица // Вестник Технологического университета. 2025. Т. 28. № 5. С. 105-109.

7. *Пырнова О.А., Зарипова Р.С.* Искусственный интеллект в камерах смартфонов // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2019. № 1 (15). С. 82-84.

8. *Катасёва Д.В., Баринов А.И.* Нейронечеткая модель определения фишинговых сайтов // Вестник Технологического университета. 2022. Т. 25. № 1. С. 69-72.

9. *Катасёв А.С., Ахатова Ч.Ф.* Гибридная нейронечеткая модель интеллектуального анализа данных для формирования баз знаний мягких экспертных диагностических систем // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 12. С. 34.

10. *Алескеров Ф.Т.* Пороговая полезность, выбор и бинарные отношения // Автоматика и телемеханика. 2003. № 3. С. 8-27.

11. *Мокряк А.В., Пашенцев А.А., Русскин В.Д., Макаров П.М.* Компьютерное зрение: обзор методов анализа изображений // Заметки ученого. 2023. № 9. С. 134-139.

12. *Катасёва Д.В., Лосева Д.Д.* Нейронечеткая модель оценки вредоносности сетевого трафика в Android-приложениях // Вестник Технологического университета. 2022. Т. 25. № 1. С. 77-80.

13. *Баринов А.И., Катасёва Д.В., Катасёв А.С.* Использование модели нечетких нейронных сетей для формирования базы знаний по определению фишинговых сайтов // Вестник Технологического университета. 2020. Т. 23. № 10. С. 64-67.

14. *Глова В.И., Катасёв А.С., Корнилов Г.С.* Преднастройка и оптимизация параметров нечеткой нейронной сети при формировании баз знаний экспертных систем // Информационные технологии. 2010. № 5. С. 15-19.

APPLICATION OF FUZZY LOGIC TO DETERMINE HUMAN DROPPINESS BASED ON FACIAL EXPRESSION DYNAMICS

Kurbanov B.
Supervisor: Katasev A.S., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical Institute named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article considers the features of using fuzzy logic methods to determine human drowsiness based on the analysis of facial expression dynamics. The key signs of drowsiness are listed, such as the number of blinks, blink frequency, blink duration, and number of yawns. The expediency of using fuzzy logic to process fuzzy and imprecise data typical for the task of determining human drowsiness based on facial expression dynamics is substantiated. A scheme for determining human drowsiness is proposed. The tasks of promising research are formulated.

УДК 004.912

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ ПО КОНТЕКСТУ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕРАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ

Курбанов Д.И.
Научный руководитель: Андреянов Д.И., старший преподаватель.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе проведен сравнительный анализ методов поиска информации по контексту с помощью генеративных моделей и выявлен наиболее эффективный метод поиска ответов по контексту. Актуальность статьи заключена в развитии генеративных моделей и их модификаций, способных не только анализировать контекст запроса, но и формировать осмысленные ответы, резюме и релевантные продолжения текста.

Введение

С увеличением объёмов научной информации появляется необходимость в эффективных инструментах для её обработки и поиска. На данный момент существуют традиционные системы поиска, основанные преимущественно на ключевых словах, однако они не способны справиться с задачей точного и релевантного извлечения данных из специализированных текстов. Особенно остро эта проблема проявляется в контексте работы с научной литературой, где точность формулировок и глубина контекста играют ключевую роль.

Современные достижения в области обработки естественного языка и генеративного машинного обучения позволяют создавать интеллектуальные системы, способные понимать и интерпретировать текст на семантическом уровне.

Целью данного проекта является повышение точности и ускорение поиска научного текста. В данном работе основное внимание уделяется созданию информационной системы, которая объясняет работу проекта [1].

Анализ предметной области

Предметной областью является процесс поиска и анализа научной литературы, который является неотъемлемой частью научно-исследовательской деятельности. В условиях стремительного роста объёмов публикаций и повышения требований к качеству академических работ возникает необходимость в создании инструментов, обеспечивающих быстрый, точный и содержательный доступ к релевантным научным источникам.

Современные информационно-поисковые системы, как правило, не способны эффективно справляться с задачами смыслового анализа текста и зачастую не учитывают контекст и терминологическую специфику научных дисциплин. Это затрудняет получение точных и обоснованных ответов на конкретные исследовательские вопросы.

Для преодоления перечисленных трудностей предлагается разработка информационной системы, использующей генеративные языковые модели и алгоритмы семантического поиска. Основной задачей системы является предоставление пользователю релевантных фрагментов научного текста в ответ на естественно-языковые запросы. В качестве основы используется модель SentenceTransformer (all-mpnet-base-v2), способная преобразовывать предложения в векторные представления с сохранением смысловой структуры. Это позволяет находить фрагменты текста, наиболее близкие по значению к заданному вопросу, даже при отсутствии точных совпадений по словам [2].

Таким образом, создаваемая информационная система будет способствовать повышению эффективности научной работы, снижению когнитивной нагрузки на исследователя, а также ускорению этапов подготовки научных публикаций, курсовых и дипломных работ. В долгосрочной перспективе подобная система может быть интегрирована в образовательные платформы, электронные библиотеки и цифровые архивы научных данных.

Математическое обеспечение предложенной системы

К задаче математического обеспечения предложенной системы относятся математические модели, которые состоят из следующих этапов:

1. Загрузка документа и извлечение фрагментов текста.
2. Построение векторных представлений фрагментов (SentenceTransformers).
3. Индексация фрагментов (FAISS).
4. Получение пользовательского запроса q.
5. Преобразование запроса в векторное пространство.
6. Поиск ближайших фрагментов по формуле (1).
7. Формирование локального ответа по формуле (3).
8. Генерация поискового запроса $\mathrm{w} = \mathrm{G}(\mathrm{t}^*)$ по формуле (4).
9. Поиск внешних источников $\mathrm{L} = \mathrm{S}(\mathrm{w})$ по формуле (5).
10. Объединение ответов: $\mathrm{R}_\mathrm{q}^+ = \mathrm{R}_\mathrm{q} \cup \mathrm{L}$ по формуле (6).
11. Сохранение истории взаимодействия.

Пусть:

$\mathrm{Q} = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ – множество пользовательских вопросов;

$\mathrm{T} = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ – множество текстовых фрагментов, извлеченных из локального документа;

$\mathrm{E}(t_i) \in \mathbb{R}^d$ – эмбеддинг фрагмента t_i, полученный с использованием модели SentenceTransformers;

$\mathrm{E}(q) \in \mathbb{R}^d$ – эмбеддинг пользовательского запроса $q \in \mathrm{Q}$.

Система поиска локальных фрагментов реализуется векторным сравнением (критерием ближайшего соседа в евклидовом пространстве):

$$argmin_{t_i \in T} \left|\left|E(q) - E(t_i)\right|\right|. \quad (1)$$

На выходе формируется множество релевантных фрагментов:

$$A_q^* = \left\{t_i \in \mathrm{T} \left|\left|E(q) - E(t_i)\right|\right| < \delta\right\}, \quad (2)$$

где δ - эмпирически подобранный порог релевантности.

Формируется первичный ответ системы:

$$R_q = Format\left(A_q^*\right). \quad (3)$$

Дополнительно, для расширения контекста, выполняется интеллектуальный поиск во внешних источниках по фрагменту $t^* \in A_q^*$. Для этого используется генеративная генеративная языковая модель Алисы, определяемая как:

$$G : T \to W, \quad (4)$$

где W – множество сформированных поисковых запросов.

Результаты поиска по внешним источникам определяются функцией:

$$S : W \to L, \tag{5}$$

где L=$\{l_1, l_2, \dots, l_k\}$ – множество найденных научных источников (ссылки, аннотации и др.).

Итоговый ответ системы после объединения внутренних и внешних данных:

$$R_q^+ = R_q \cup S\big(G(t^*)\big). \tag{6}$$

Таким образом, общая математическая модель функционирования ИС может быть представлена как композиция функций:

$$M` : Q \xrightarrow{E} \mathbb{R}^d \xrightarrow{FAISS} A_q^* \xrightarrow{Format} R_q \xrightarrow{G,S} R_q^+. \tag{7}$$

Система реализует отображение запроса $q \in$ Q в расширенный результат R_q^+, включающий как локальную, так и внешнюю научную информацию. Схема системы представлена на Рис. 1.

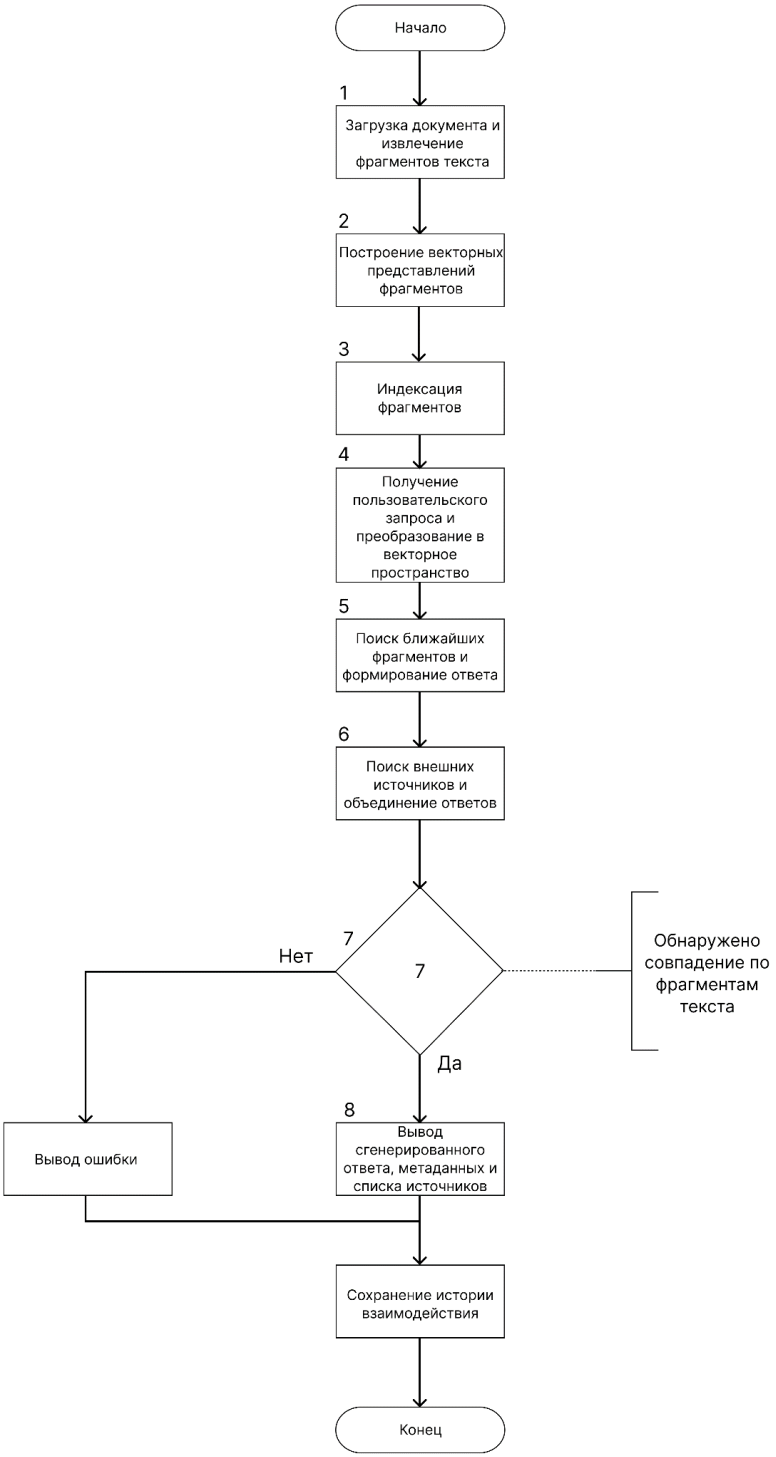


Рис. 1. Схема решения задачи

Анализ существующих сервисов и их методов поиска информации по контексту

Поиск и анализ информации — ключевая задача в академической и исследовательской деятельности. Существующие программные решения в этой области направлены на упрощение доступа к релевантной информации, ускорение анализа источников и предоставление интеллектуальных инструментов для работы с научными текстами. На сегодняшний день существует ряд платформ, обеспечивающих доступ к научным публикациям и реализующих различные подходы к их поиску: от классического ключевого запроса до применения машинного обучения и нейросетей. Наиболее известными среди таких решений являются Google Scholar, Semantic Scholar и Connected Papers.

1. Google Scholar

Google Scholar представляет собой крупнейшую в мире поисковую систему научных публикаций, интегрированную с экосистемой Google. Сервис индексирует статьи, диссертации, книги и материалы конференций, предоставляя базовые инструменты поиска по ключевым словам, авторам и названиям. Результаты ранжируются на основе количества цитирований и релевантности.

К преимуществам Google Scholar можно отнести охват огромного количества источников и устойчивую работу с разными типами научных публикаций. Однако система ограничена в плане персонализации поиска и не всегда точно обрабатывает семантику пользовательского запроса. Отсутствие поддержки поиска по смыслу или по описанию проблемы снижает эффективность в случае сложных информационных запросов [3].

2. Semantic Scholar

Semantic Scholar — это поисковая система, разработанная Allen Institute for AI, которая использует методы обработки естественного языка и машинного обучения для улучшения качества поиска. В отличие от Google Scholar, Semantic Scholar делает акцент на семантический анализ текстов и предоставляет такие функции, как выделение ключевых идей статьи, автоматическое определение связанных понятий и фильтрация по типу результатов [4].

Одним из ключевых преимуществ является наличие модели для предсказания влияния публикации и автоматического выделения контекста цитирования. Однако несмотря на более интеллектуальный подход, функциональность системы ограничена только англоязычными статьями и научными дисциплинами, где присутствуют открытые данные.

3. Connected Papers

Connected Papers — инструмент, визуализирующий связи между научными публикациями. Пользователь вводит название статьи, а система строит граф родственных работ, определяя их на основе анализа библиографий и совместных цитирований. Такой подход позволяет исследователю быстро получить представление о контексте и смежных темах.

Сервис особенно полезен для формирования научного обзора или поиска источников, близких к конкретной работе. Однако он не поддерживает текстовый поиск по содержанию и не обеспечивает семантического сопоставления запросов, ограничиваясь только структурными связями между публикациями [5].

Таблица 1

Сравнение существующих программных решений

Характеристика	Semantic Scholar	Google Scholar	Scopus	Наша система
Тип системы	Облачная	Облачная	Облачная (платная)	Локальная
Учет смыслового контекста	Да	Частично	Частично	Да
Принцип сортировки результатов	По релевантности (ML)	По цитируемости и релевантности	По индексации и цитируемости	По сематической близости

Поддерживаемые форматы	PDF, HTML	HTML, PDF	PDF, HTML	Docx
Локализация	Английский	Многоязычный	Многоязычный	Русский

Таким образом, существующие системы решают задачу поиска научной информации в рамках своих архитектурных и функциональных ограничений. При этом ни одна из них не реализует полноценно пользовательский запрос в свободной форме с учётом семантики и контекста. Это обосновывает необходимость разработки системы, использующей генеративные модели и векторный поиск, что обеспечит более точные и гибкие механизмы взаимодействия с информацией.

Заключение

В ходе проведенного исследования был выполнен сравнительный анализ существующих методов поиска научной информации по контексту с использованием генеративных моделей. Разработанная система, основанная на модели SentenceTransformers и методах векторного поиска, демонстрирует высокую эффективность при работе с естественно-языковыми запросами и научными текстами. Ее ключевым преимуществом является возможность учитывать контекст и семантику запроса, формируя релевантные и содержательные ответы, дополненные информацией из внешних источников.

Таким образом, предложенное решение превосходит по качеству смыслового поиска существующие аналоги и может быть успешно использовано в академической и исследовательской среде для автоматизации анализа и отбора информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Сухоруков В.А.* Информационные технологии: учебник / В.А. Сухоруков. – М. : Юрайт, 2023. – 400 с.

2. *Manning C.D., Raghavan P., Schütze H*. Introduction to Information Retrieval. – Cambridge : Cambridge University Press, 2008. – 482 p.

3. Необходимая информаци о Google Scholar [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: https://scholar.google.com/ (дата обращения: 10.05.2025).

4. Необходимая информаци о Semantic Scholar [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: https://www.semanticscholar.org/ (дата обращения: 10.05.2025).

5. Необходимая информаци о Connected Papers [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: https://www.connectedpapers.com/ (дата обращения: 10.05.2025).

COMPARATIVE ANALYSIS OF INFORMATION RETRIEVAL METHODS BY CONTEXT USING GENERATIVE MODELS

Kurbanov D.I.

Supervisor: Andreyanov D.I., Senior Lecturer.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In this paper, a comparative analysis of methods for searching information by context using generative models has been carried out and the most effective method for searching answers by context has been identified. The relevance of the article lies in the development of generative models and their modifications that can not only analyze the context of a query, but also form meaningful answers, summaries and relevant text continuations.

УДК 681.518

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА КЛИМАТ-КОНТРОЛЯ ПОМЕЩЕНИЯ

Лисина Т.Б.

Научный руководитель: Бердников А.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается интеллектуальная система климат-контроля. Описывается архитектура системы, логика приоритетного регулирования микроклимата и особенности адаптации системы в процессе эксплуатации.

Разрабатываемая система реализована на микроконтроллере ESP32-WROOM-32 30pin USB CH340C, который обеспечивает высокую скорость передачи данных, наличие интерфейсов UART, I2C, SPI. Также имеет встроенные модули Wi-Fi и Bluetooth, для удаленного мониторинга [1]. В состав аппаратной части входят:

- Датчик BME280 для измерения температуры, влажности. Он подключается к микроконтроллеру по цифровому интерфейсу I²C, что упрощает схему соединения и позволяет использовать одну шину для нескольких устройств [2];
- Инфракрасный датчик MH-Z19 для измерения уровня углекислого газа. Он имеет встроенную калибровку, стабильные характеристики и цифровой интерфейс UART, что делает его удобным для использования в системах мониторинга воздух [3];
- OLED-дисплей с разрешением 128×64 пикселя для визуального отображения текущих параметров и состояния системы [4];
- Сервопривод – исполнительное устройство, которое выполняет команды микроконтроллера. Он отвечает за физическое воздействие на среду регулируя уровень CO_2 и температуры на основе полученных данных, управляя положением заслонки вентиляции;
- Блок питания – обеспечивает стабильное электропитание всех компонентов системы.

С целью облегчения отладки программного кода разработана блок-схема, иллюстрирующая основные этапы работы системы.

После подачи питания происходит инициализация компонентов BME280 и MH-Z19, OLED-дисплея, а также сервопривода (Рис.1). Далее программа переходит в основной цикл (Рис 2.). Каждые 10 секунд считываются значения температуры, влажности, давления и CO_2. Полученные данные накапливаются, и по истечении одной минуты рассчитываются средние значения.

Рис. 1. Алгоритм подпрограммы инициализация

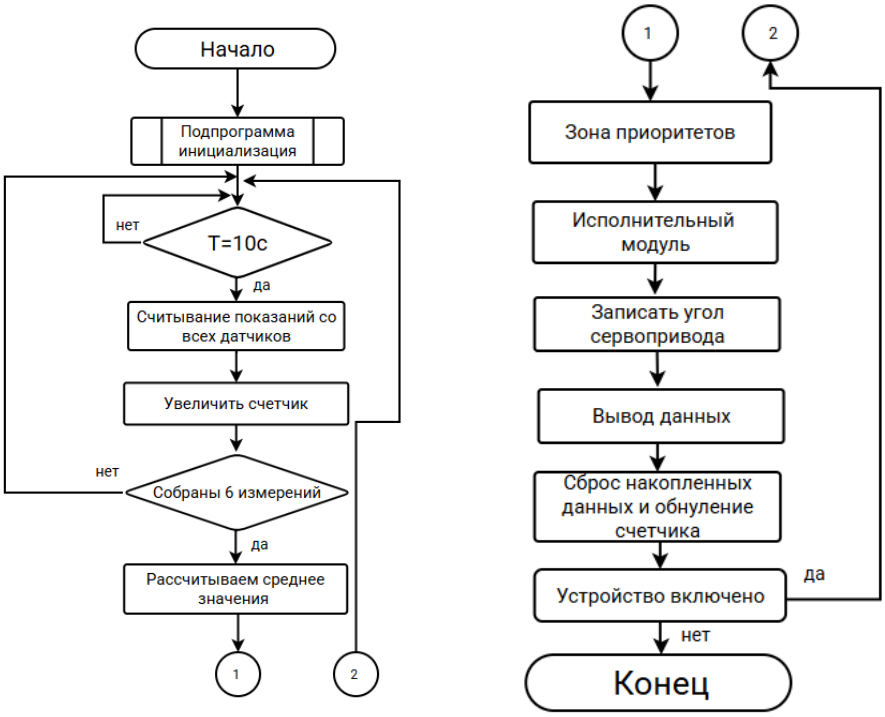


Рис. 2. Алгоритм программы

На основе усреднённых данных осуществляется оценка (Рис. 3) состояния микроклимата по заданной шкале (зеленый – норма, желтый – допустимое отклонение, красный – превышение порога). В зависимости от текущего состояния каждого параметра и установленной системы приоритетов, активируется управление исполнительным устройством (например, сервоприводом заслонки). Основной приоритет отдается концентрации CO_2, затем температуре, и далее другим параметрам.

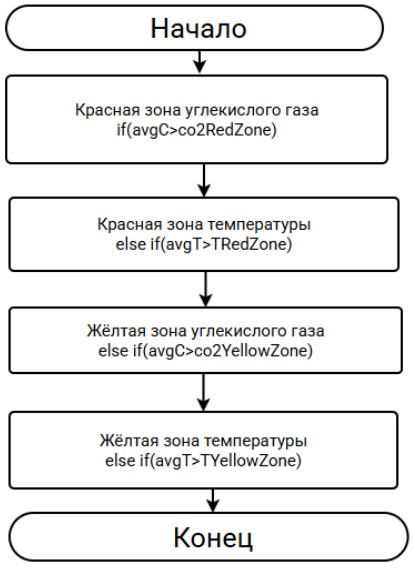


Рис. 3. Алгоритм зоны приоритетов

Управление исполнительным устройством осуществляется с применением PID-регулятора. Он обеспечивает плавное и точное регулирование. Одновременно на OLED-дисплей выводятся текущие и усреднённые значения параметров.

Особенность системы – способность к обучению в процессе эксплуатации. Параметры PID-регулятора автоматически корректируются на основе анализа реакции системы на

управляющее воздействие. Система также фиксирует типичные сценарии изменения параметров. При повторении таких условий в будущем система может заранее активировать необходимые меры – усилить вентиляцию или изменить режим работы. Таким образом, система адаптирует параметры управления под реальные условия помещения и изменяющиеся внешние факторы. Это позволяет повышать точность и эффективность регулирования микроклимата со временем.

Для подтверждения работоспособности была собрана экспериментальная тестовая модель системы (Рис. 4).

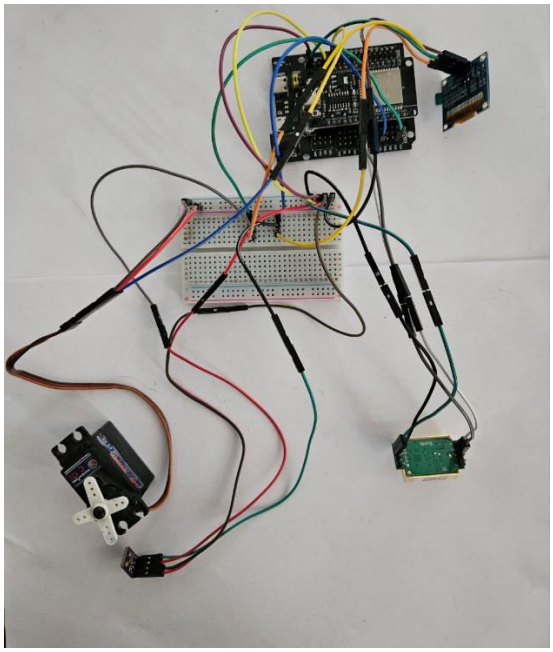


Рис. 4. Тестовая модель интеллектуальной системы климат контроля

В процессе испытаний фиксировалась реакция системы на изменения уровня CO_2 и температуры. Например, при приближении к датчику CO_2 происходило превышение допустимого значения, после чего система активировала сервопривод. Значения параметров отображались на дисплее и обновлялись каждые 10 секунд.

Макет позволил протестировать работу алгоритма, убедиться в корректности связи между модулями и проверить устойчивость системы при длительной работе. Полученные результаты подтвердили стабильность и адаптивность предложенного решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. WROOM-32 ESP32 WiFi-Bluetooth контроллер // DUINO URL: https://duino.ru/esp32-wroom-32/?ysclid=m8w1emnl0615743740 (дата обращения: 28.03.25).

2. Датчик атмосферного давления, влажности и температуры BME280 // 3Diy URL: https://3d-diy.ru/blog/datchik-bme280/ (дата обращения: 28.03.25).

3. Intelligent Infrared CO2 Module (Model: MH-Z19B) // URL: https://doc.platan.ru/pdf/datasheets/winsensor/MH-Z19B.pdf (дата обращения: 28.03.25).

4. Обзор OLED-дисплея 0.96,128x64 на SSD1306 // RobotChip URL: https://robotchip.ru/obzor-oled-displey-na-ssd1306/ (дата обращения: 28.03.25).

INTELLIGENT CLIMATE CONTROL SYSTEM OF THE ROOM

Lisina T.B.

Supervisor: Berdnikov A.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses an intelligent climate control system. The system architecture, the logic of priority regulation of microclimate and features of adaptation of the system during operation are described.

УДК 681.3

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА НЕГАТИВНОГО КОНТЕНТА В TELEGRAM

Любимова А.В., Сазанова М.В., Уланова Ю.А.
Научный руководитель: Преображенский А.П., профессор, д. т. н.
(Воронежский институт высоких технологий, Воронеж)

Аннотация. В работе решается задача, связанная с мониторингом и блокировкой негативного контента в мессенджере Telegram. Проведен анализ методов классификации, была выбрана сверточная нейронная сеть. Представлены результаты выполнения команд разработанным telegram ботом.

Администрирование крупных групп в мессенджнере Telegram становится все более сложной задачей, требующей постоянного мониторинга и оперативного реагирования на нарушения [1]. Ручная модерация требует значительных временных затрат и не всегда обеспечивает своевременную реакцию на проблемный контент. В группах с высокой активностью (более 100 сообщений в день) администраторы физически не способны отслеживать все сообщения в режиме реального времени.

Автоматизация процессов модерации с использованием интеллектуальных систем анализа текста представляет собой перспективное решение данной проблемы. Современные методы обработки естественного языка и машинного обучения позволяют создавать эффективные системы автоматического обнаружения и классификации негативного контента с высокой точностью [2].

Большинство существующих решений ориентированы на английский язык или крупные социальные платформы (Facebook, Twitter), что ограничивает их применимость для русскоязычных Telegram-групп. Специфика мессенджера Telegram, включающая особенности API, форматы сообщений и культурные особенности коммуникации русскоязычных пользователей, требует разработки специализированных решений [3, 4].

Целью работы является разработка и исследование методов мониторинга негативного контента в Telegram, анализ существующих подходов и инструментов для выявления и классификации нежелательной информации, а также формулирование методических рекомендаций по совершенствованию процессов модерации с учетом технических, этических и правовых аспектов. В частности, рассматриваются возможности применения машинного обучения и искусственного интеллекта для повышения эффективности мониторинга в динамично меняющейся цифровой среде.

На основе детального анализа предметной области, изучения потребностей администраторов различных типов групп и сообществ, а также исследования существующих решений в области автоматической модерации, сформулированы следующие комплексные функциональные требования к разрабатываемому телеграм-боту:

Базовые функции модерации:

-Автоматическая блокировка пользователя, отправившего токсичный контент

-Комплексное обнаружение токсичного контента, включающее выявление прямых и завуалированных оскорблений, угроз, проявлений агрессии, дискриминационных высказываний и других форм деструктивного поведения

Функции управления пользователями:

-Временные ограничения для пользователей (мут) с возможностью автоматического снятия

-Информирование пользователей о причинах блокировки или предупреждения

-Возможность ручного снятия ограничения с пользователя, администратором группы

Функции интеграции:

-Поддержка работы в нескольких группах одновременно

Система классификации сообщений построена на основе комплексного алгоритма многоуровневого анализа токсичности, который применяет современные методы обработки естественного языка и машинного обучения.

Были рассмотрены несколько моделей классификации текста, они были обучены. В дальнейшем была выбрана лучшая из них. Анализировались четыре модели:

-Наивный байесовский классификатор.

-Логистическая регрессия.

-Случайный лес.

-Сверточная нейронная сеть.

Набор данных для обучения был взят с сайта huggingface. Выбранный набор данных содержит обучающую и тестовую выборку. В обучающей выборке 163187 строк с разметкой, где 0 нетоксичное сообщение, а 1 токсичное. В табл. 1 показана точность моделей.

Таблица 1

Точность моделей

Метод классификации	Точность
Наивный байесовский классификатор	0.886
Логистическая регрессия	0.921
Случайный лес	0.88
Сверточная нейронная сеть	0.93

Модель на основе сверточной нейронной сети была использована в созданном телеграм-боте. Разработка telegram-бота осуществлялась в среде Python 3.9 с использованием библиотеки aiogram версии 3.0 [5]. Выбор данной версии обусловлен ее стабильностью, богатым функционалом и активной поддержкой сообщества разработчиков.

Модуль мониторинга сообщений является центральным компонентом системы, отвечающим за перехват и первичную обработку всех входящих сообщений в группах. Реализация основана на событийной модели aiogram с использованием асинхронного программирования. Тестирование бота проводилось вручную, были протестированы команды и мониторинг негативного контента.

Результаты выполнения команд разработанным telegram ботом (рис. 1 и рис. 2).

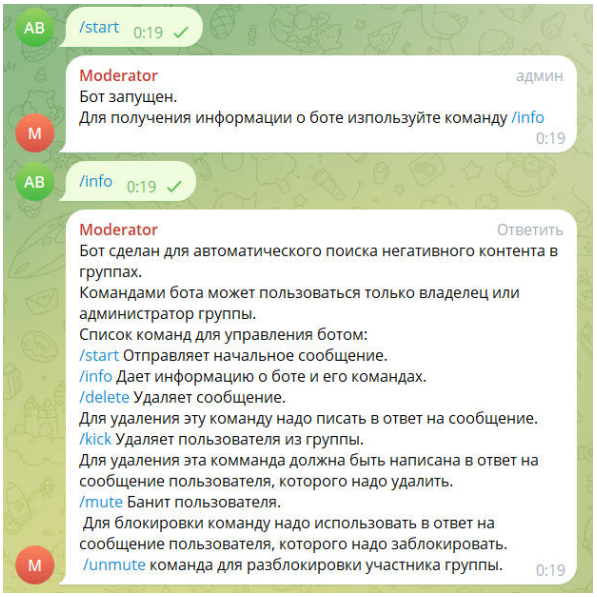


Рисунок 1. Результат команд start и info

Рисунок 2. Результат команд mute, unmute, delete и kick

Выводы. Разработана архитектура бота-модератора, основанная на модульном подходе и обеспечивающая высокую масштабируемость системы. Архитектура включает слой взаимодействия с Telegram API, модуль анализа контента, систему принятия решений и команды для администратора. Такое решение обеспечивает слабую связанность компонентов и возможность их независимого развития. Возможные направления дальнейшего развития:

1.Интеграция с внешними системами машинного обучения для повышения точности классификации контента и адаптации к новым видам нарушений.

2.Расширение функционала анализа медиаконтента с добавлением поддержки видеофайлов, аудиосообщений и анимированных изображений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ляховенко О.И.* Телеграм-каналы в системе экспертной и политической коммуникации в современной России // Galactica Media: Journal of Media Studies. 2022. Т. 4. № 1. С. 114-144.

2. *Минаев В.А.* Применение глубинных нейронных сетей для выявления деструктивного контента в социальных медиа / В. А. Минаев, Е.С. Поликарпов, А.В. Симонов // Информация и безопасность. 2021. Т. 24. № 3. С. 361-372.

3. *Мазин А.С.* Особенности медиапотребления контента telegram-каналов представителями поколения Z / А.С. Мазин, Н.Н. Яременко // Вестник науки. 2025. Т. 3. № 5 (86). С. 1245-1260.

4. *Степанов П.* Использование дополнительных telegram-каналов СМИ как способ спецификации контента для таргетированной аудитории // В сборнике: Коммуникационный вектор - 2024. Материалы третьего Всероссийского симпозиума. Сборник статей. Москва, 2024. С. 182-186.

5. Базовые сведения о языке Python. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://docs-python.ru/tutorial/zachem-izuchat-python/ (дата обращения: 4.08.2025).

THE DEVELOPMENT AND RESEARCH OF METHODS FOR MONITORING NEGATIVE CONTENT IN TELEGRAM

Lyubimova A.V., Sazanova M.V., Ulanova Yu.A.
Supervisor: Preobrazhenskiy A.P., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences
(*Voronezh institute of high technologies, Voronezh*)

Abstract. The paper solves the problem related to monitoring and blocking negative content in the Telegram messenger. An analysis of classification methods was carried out, and a convolutional neural network was selected. The results of the execution of commands by the developed telegram bot are presented.

УДК 340.114.5: 1

ВИРТУАЛЬНЫЙ МУЗЕЙ КНИТУ-КАИ: ЦИФРОВОЙ МОСТ МЕЖДУ ПРОШЛЫМ И БУДУЩИМ

Набиев Н.Ф.
Научные руководители: Дружинина И.А., доцент, к. и. н.;
Шакирзянова А.А., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассмотрена концепция создания AR контента музейной экспозиции истории КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева. Сегодня современные цифровые технологии кардинально трансформируют подходы к сохранению, исследованию и популяризации научного и культурного наследия. Информационные и мультимедийные платформы открывают новые горизонты для музеев, библиотек и архивов, позволяя сделать знания и исторические артефакты доступными для широкой аудитории в любом уголке мира.

Цель данной статьи – представить концепцию, структуру и особенности реализации виртуального музея КАИ, а также оценить его значение в контексте цифровизации образования и сохранения научно-технического наследия.

Задачи статьи включают:

Описание мотивации и целей создания музея;

а) Раскрытие технической и содержательной реализации проекта;

б) Анализ образовательного и просветительского потенциала виртуального музея;

в) Определение перспектив развития платформы.

г) Трансформация истории вуза ставится нами как задача оцифровки экспонатов из фондов и экспозиции музея Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева. Это не просто цифровой архив, а динамичная платформа, объединяющая историю, науку и инновации. Созданный виртуальный музей КАИ с AR контентом будет ориентирован на разные группы пользователей – студентов, преподавателей, выпускников и исследователей и предлагает:

д) Круглосуточный доступ к цифровым материалам из любой точки мира;

е) Интерактивное взаимодействие с экспонатами с помощью современных AR/3D-технологий;

ж) Образовательную функцию за счёт интеграции в учебные курсы и исследовательские проекты.

Создание этого проекта стало логичным продолжением успешной реализации виртуального музея посёлка Мариец, в котором автор апробировал подходы к цифровой реконструкции исторической памяти с использованием доступных ресурсов [4,6]. Этот опыт подтвердил высокую эффективность цифровых инструментов при минимальных финансовых

затратах и вдохновил на развитие более масштабного проекта в стенах технического университета.

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н.Туполева – один из ведущих технических вузов России с богатой историей, связанной с авиацией, космонавтикой, радиоэлектроникой и инженерным делом. Сохранение и цифровизация его исторического, культурного и научного наследия представляет собой важную задачу не только для университета, но и для общества в целом [5].

Цели и мотивация создания виртуального музея

Проект виртуального музея КНИТУ-КАИ возник как ответ на насущную необходимость сохранения историко-научного наследия одного из старейших технических вузов России. Университет, сыгравший ключевую роль в развитии отечественной авиации, приборостроения и радиотехники, накопил за десятилетия своей деятельности огромное количество уникальных материалов — документов, фотографий, моделей техники, артефактов, воспоминаний. Без системной цифровой фиксации значительная часть этого наследия рискует быть утерянной для будущих поколений.

Причины создания

Главные причины запуска проекта можно сформулировать следующим образом:

Сохранение истории университета: фиксация и цифровая консервация этапов развития КАИ, его научных школ, выдающихся выпускников, инженерных разработок и культурных традиций;

Образовательная миссия: создание цифровой платформы, интегрированной в учебные и исследовательские процессы — как вспомогательного инструмента в дисциплинах по истории техники, проектной деятельности, краеведению, музееведению и др.;

Просветительская функция: популяризация инженерного и научного наследия университета среди широкой общественности, включая школьников и молодежь, неравнодушную к истории и технологиям;

Развитие цифровых компетенций: вовлечение студентов в практическую реализацию проекта — от создания 3D-моделей до работы с архивами и разработкой веб-интерфейса;

Цифровизация академической среды: соответствие современным трендам цифровой трансформации образования и культуры.

Целевая аудитория

Проект ориентирован на широкий круг пользователей, среди которых:

Студенты — как активные участники создания, наполнения и использования музея в образовательных целях. Так, например, ещё в 2014 году был выпущен учебник «Культурология (для технических вузов)», где цветные иллюстрации известных художников, хранящиеся в разных музеях мира представлены в электронном виде с доступом по QR коду. [1];

Преподаватели — как инициаторы и модераторы контента, а также пользователи в рамках учебных дисциплин;

Абитуриенты и школьники — для которых виртуальный музей служит входной точкой в культурную и научную атмосферу университета;

Исследователи и краеведы — как аудитория, заинтересованная в доступе к архивным и уникальным материалам;

Широкая публика — все желающие узнать больше об истории отечественного образования, науки и техники.

Ожидаемые результаты

В результате реализации проекта предполагается достичь следующих эффектов:

1. Создание устойчивой цифровой инфраструктуры для хранения и представления культурного и научного наследия КАИ;

2. Увеличение доступности исторических и учебных материалов за счёт мультимедийного и интерактивного представления;

3. Рост вовлечённости обучающихся в проектную и исследовательскую деятельность, развитие у них практических навыков в IT, дизайне и историко-архивной работе;

4. Повышение имиджа университета как институции, заботящейся о своём прошлом и внедряющей современные формы его представления;

5. Формирование цифрового архива памяти, доступного будущим поколениям.

Общая концепция

Виртуальный музей КНИТУ-КАИ задуман как цифровая платформа, объединяющая образовательную, историко-культурную и инновационную функции. Её главная особенность — возможность вовлеченного и персонализированного взаимодействия с экспонатами через современные технологии (3D, AR, мультимедийные галереи, аудиовоспоминания). Это не просто онлайн-архив, а живой и развивающийся цифровой организм, в котором прошлое соединяется с настоящим, а история университета становится доступной и эмоционально насыщенной.

Уникальность проекта заключается в сочетании следующих факторов:

- использование AR/3D-моделирования для реконструкции объектов инженерного наследия (например, реактивного двигателя, макетов самолётов и других уникальных экспонатов);
- доступность 24/7 из любой точки мира;
- участие пользователей в создании контента — возможность добавлять воспоминания, фото, сканы документов через форму на сайте;
- глубокая интеграция с образовательной средой университета;
- ориентация как на академическую, так и на внешнюю аудиторию.

Тематические разделы музея

Структура виртуального музея строится по тематическому принципу и может включать следующие ключевые разделы [2]:

1. История университета в целом. Этапы становления КАИ, хронология развития, участие в исторических событиях, реформы и ключевые вехи.

2. Выдающиеся личности. Биографии преподавателей и выпускников, галерея учёных и инженеров, цифровые копии мемориальных досок.

3. Научные достижения и инновации. Разработки ОКБ КАИ, патенты, научные школы, современные лаборатории и исследовательские направления.

4. Авиация и техника. 3D-модели самолётов и планеров, AR-макеты инженерных конструкций, история опытного конструкторского бюро КАИ и СКБ-1, их проектов.

5. Студенческая жизнь. Материалы о культурных и спортивных мероприятиях, студенческие артефакты, кружки и самодеятельность.

Такая структура формирует гибкую и масштабируемую платформу, открытую для обновления и развития. Виртуальный музей становится важным звеном в цепочке передачи академической памяти и исторической преемственности.

Технологическая реализация

Создание виртуального музея требует сочетания визуальных, инженерных и программных решений, направленных на обеспечение стабильной работы, интерактивности и визуальной выразительности [3]. Для реализации проекта были выбраны современные веб-технологии, поддерживающие работу с 3D-графикой и мультимедийным контентом, а также обеспечивающие удобную навигацию и аналитическую отчётность.

В основе проекта лежит веб-приложение, разработанное с использованием стека Node.js и React. Визуализация трёхмерных экспонатов реализуется с помощью технологии WebGL через библиотеку modelviewer — это позволяет отображать 3D-модели прямо в браузере без необходимости установки дополнительных расширений. Визуальные элементы интерфейса проектировались в Figma с использованием подходов Neumorphism и Glassmorphism, создающих мягкий и «объёмный» стиль оформления.

Хранение и управление данными осуществляется через реляционную базу данных PostgreSQL. Контент-менеджмент (фото, описания, ссылки, медиафайлы) интегрирован в собственную административную панель, реализованную на React.

Для сопровождения текстового и визуального контента используются HTML и CSS с элементами адаптивной вёрстки. Пользовательский интерфейс ориентирован на простоту и интуитивную навигацию: каждый экспонат снабжён кратким описанием, возможностью просмотра в 3D и связями с другими экспонатами (по дате, тематике, категории).

Визуализация и мультимедиа

- Визуальный контент включает 3D-модели авиационной техники, исторических объектов, лабораторного оборудования.
- Видеоматериалы — документальные сюжеты, интервью с преподавателями и выпускниками, анимационные экскурсии по экспозициям.
- Реализация эффекта «виртуального присутствия» через возможность «осматривания» моделей с любого ракурса.

Отдельное внимание уделено защите авторского контента: реализован самописный скрипт для автоматического наложения водяных знаков на фотографии, загружаемые пользователями, чтобы при нахождении фотографий в сети Интернет, пользователь знал, откуда взяты материалы.

Платформа имеет модульную структуру, что позволяет легко расширять функциональность. Навигация реализована через многоуровневое меню с фильтрами по дате, теме, персоне или типу экспоната. Поисковая система обеспечивает быстрый доступ к нужным материалам с помощью тэгов. Предусмотрена и адаптация под мобильные устройства.

Для анализа активности пользователей и повышения качества контента подключена Яндекс.Метрика. Это позволяет отслеживать популярные разделы, поведение аудитории и источники трафика. Система отзывов и предложений также интегрирована в интерфейс, что способствует двустороннему взаимодействию с посетителями.

Таким образом, проект опирается на устойчивые, масштабируемые технологии, обеспечивая как визуальное качество, так и удобство доступа, что делает виртуальный музей современным инструментом цифровой гуманитаристики [7].

Проблемы и вызовы

Несмотря на потенциал цифровых технологий, реализация виртуального музея сопряжена с рядом организационных и практических трудностей. Основным вызовом является нехватка времени, так как проект реализуется параллельно с учебной деятельностью. Создание полноценного цифрового ресурса требует систематической работы, которую трудно совмещать с нагрузкой студента.

Дополнительные сложности возникают при тестировании интерфейсов и функций сайта: важно, чтобы платформа работала стабильно на различных устройствах и браузерах, а для этого необходимо провести многократную проверку и устранение ошибок.

Также значительное внимание приходится уделять постоянному самообучению. Проект требует освоения новых инструментов и технологий (работа с базами данных, 3D-моделированием, веб-дизайном), ведь автор — не профессиональный разработчик, а студент, осваивающий эти навыки в процессе реализации. Всё это делает работу над виртуальным музеем не только технически, но и лично сложным, но вместе с тем ценным опытом.

Технические сложности также включают необходимость постоянного обновления платформы, адаптации под новые форматы и устройства, а также обеспечения защиты данных. Кроме того, требуется регулярная поддержка сайта, резервное копирование, обновление программного обеспечения и контроль за корректной работой всех модулей.

Методологической задачей является формирование логичной и интуитивно понятной структуры музея, а также разработка принципов отбора, аннотирования и представления материалов. Это требует участия как специалистов в области цифровых технологий, так и историков, педагогов, музейных работников.

Перспективы развития

Развитие виртуального музея КНИТУ-КАИ предполагает расширение его функциональности и интеграцию с физическим пространством университета. Одним из направлений может стать внедрение VR-просмотра экспозиций внутри реального музея, расположенного в 7-м учебном здании. Это обеспечит эффект «расширенной реальности» — дополнение традиционной выставки цифровыми элементами, позволяющими углубить восприятие экспонатов.

Планируется установка инфокиосков в холлах университета с доступом к сайту музея. Это позволит студентам и гостям в удобной форме ознакомиться с материалами, не прибегая к собственным устройствам. Такие киоски могут быть интегрированы в образовательные маршруты и использоваться на днях открытых дверей.

Для повышения узнаваемости проекта также предполагается размещение тематических стендов и информационных плакатов в учебных корпусах. Они могут содержать QR-коды, ведущие на страницы экспонатов или видеоэкскурсий, а также краткие исторические справки и изображения ключевых объектов.

Таким образом, развитие виртуального музея идёт в направлении синтеза цифровой среды и физического пространства университета, что позволит усилить образовательную и культурную значимость проекта, а также повысить вовлечённость аудитории.

Онлайн-музей в университете — это не просто цифровая коллекция, а мощный инструмент сохранения памяти, образования и вовлечения. Он укрепляет связь между поколениями, поддерживает академическую репутацию университета и служит основой для новых учебных проектов.

Несмотря на технологические и организационные трудности, подобный проект имеет большие перспективы и способен занять важное место в цифровой экосистеме университета.

Реализация этой идеи требует системного подхода, но её результат – сохранение уникального наследия и передача его следующим поколениям – оправдывает все усилия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Дружинина И.А*. Культурология (для технических вузов) : учебное пособие / И.А. Дружинина, Т.Т. Сиразеева. - М. : Альфа-М : ИНФРА-М, 2019. - 160 с. : ил. + доп. материалы [Электронный ресурс; Режим доступа http://www.znanium.com]. Текст: электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1002657 (дата обращения: 21.05.2025). – Режим доступа: по подписке.

2. *Галкина Т.В.* Основы классификации музейно-педагогических форм в российских музеях / Т.В. Галкина // Вопросы музеелогии. – 2011. – № 2(4). – Текст : электронный. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osnovy-klassifikatsii-muzeyno-pedagogicheskih-form-v-rossiyskihmuzeyah (дата обращения 30.05.2025.)

3. *Караманов А.В.* Организация интерактивной музейной среды: от методики к моделям / А.В. Караманов // Вопросы музеелогии. – 2012. – 2(6). – Текст : электронный. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18639488 (дата обращения 30.05.2025.)

4. *Козлова О.В*. Интернет-технологии в сохранении исторической памяти / О.В. Козлова, Н.Ф. Набиев // Гуманитарные науки в XXI веке: научный Интернет-журнал. – 2023. – № 22. – С. 5-12. – EDN HXENGP.

5. *Максимова Т.Е*. Виртуальные музеи как социокультурный феномен: типология и функциональная специфика : автореф. дисс. канд. культурологии. – Текст : электронный. – URL: https://www.dissercat.com/content/virtualnye-muzei-kak-sotsiokulturnyi-fenomen (дата www.articulus-info.ru обращения 30.05.2025.).

6. *Набиев Н.Ф*. Сохранение истории малых поселений с помощью сети виртуальных музеев / Н.Ф. Набиев, А.А. Панкова // Вестник науки. – 2024. – Т. 3, № 5(74). – С. 186-199. – EDN KDIVNN.

7. *Осипова Д.С., Абузяров Т.Р., Осипова Д.С*. Сохранение исторической памяти с помощью трансгуманизма на примере VR музея // XXVI Туполевские чтения (школа молодых

ученых): Материалы Международной молодёжной научной конференции. Сборник докладов, Казань, 09–10 ноября 2023 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. – С. 4094-4097. – EDN PBRDPP.

KNITU-KAI VIRTUAL MUSEUM: A DIGITAL BRIDGE BETWEEN THE PAST AND THE FUTURE

Nabiev N.F.
Supervisor: I. A. Druzhinina, Associate Professor, Candidate of Historical Sciences,
Shakirzyanova A.A., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses the idea of creating augmented reality (AR) content for the museum exhibition on the history of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI. Today, modern digital technologies are revolutionizing approaches to preserving, researching, and popularizing scientific and cultural heritage. Information and multimedia platforms are opening up new opportunities for museums, libraries, and archives, making knowledge and historical artifacts accessible to a wider audience around the world.

УДК 004.032.26

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПУПИЛЛОГРАММ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ УТОМЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Никоноров Д.П.
Научный руководитель: Катасёв А.С., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе проводится сравнение методов анализа пупиллографических данных, необходимых для определения функционального состояния утомления человека. Рассматриваются статистический, нейросетевой, нейронечеткий и сверточный нейросетевой методы анализа пупиллограмм. Сравнение методов выполняется с учетом их особенностей и специфики обрабатываемых данных.

Проблема определения функционального состояния утомления человека в современных условиях обусловлена значительным увеличением нагрузки в процессе профессиональной и повседневной деятельности.

В работе [1] встречается следующий тезис: «несмотря на то, что технологический прогресс направлен на оптимизацию жизнедеятельности, исследования свидетельствуют о противоположном эффекте, а именно – усложнение деятельности за счет увеличения количества факторов стресса и когнитивных нагрузок, требующих постоянного внимания и концентрации».

Наибольшую значимость данная проблема представляет для специалистов, занятых в сферах деятельности с повышенной ответственностью, вредными и опасными производствами. Данная тенденция обусловлена комплексом взаимосвязанных факторов, включая прогрессирующее усложнение технического оснащения профессиональной и бытовой деятельности и возрастающую сложность выполняемых задач.

Для решения проблемы определения функционального состояния утомления человека в современной медицине используют один из наиболее перспективных методов диагностики – пупиллометрию [2].

Основной идеей этого метода является определение функционального состояния утомления человека на основе анализа зрачковых реакций, которые служат объективным индикатором активности специфических зон головного мозга.

Определение утомления человека выполняются на основе пупиллографических данных [3] – пупиллограмм, представляющие собой временные ряды в виде графиков зрачковых реакций.

На рисунке 1 представлены примеры пупиллограмм.

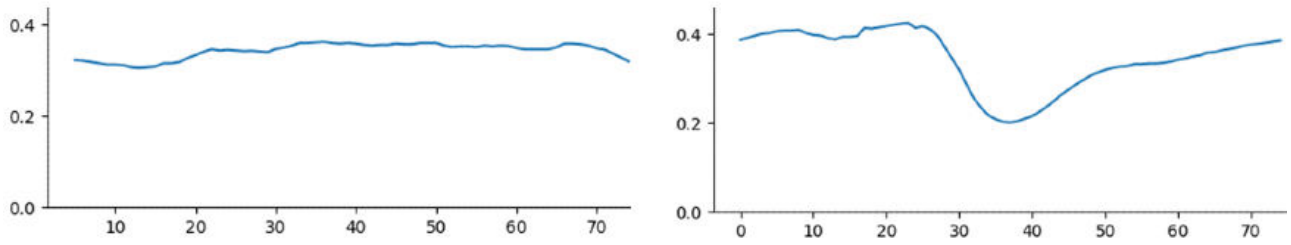


Рисунок 1. Пупиллограмма человека в состоянии утомления (слева) и в состоянии бодрствования (справа)

На представленном рисунке с помощью зрительного анализа возможно выполнить классификацию пупиллограмм в соответствии с функциональными состояния утомления. Однако эти примеры являются идеальными и позволяют заметить явные признаки активности зрачковой реакции, а именно изгиб на графике пупиллограммы человека в состоянии бодрствования.

Существуют примеры пупиллограмм, которые невозможно классифицировать однозначно. По этой причине актуальной задачей становится выбор метода анализа пупиллограмм для определения функционального состояния утомления человека.

Существующие методы анализа пупиллограмм для оценки функционального состояния утомления человека не ограничиваются визуальным анализом. Наибольшую перспективность демонстрируют статистический [4], нейросетевой [5-7], нейронечеткий [8, 9] и сверточный нейросетевой [10, 11] методы, что обусловлено их способностью эффективно обрабатывать нелинейные и зашумленные данные, характерные для динамики зрачковой реакции.

Статистический метод, работающий с временными рядами значений пупиллограмм, обеспечивает базовую количественную оценку параметров, но обладает ограниченной устойчивостью к шумам и низкой способностью выявлять сложные нелинейные зависимости. Эти ограничения в значительной степени сокращают эффективность решения задач диагностики утомления в реальных условиях, где неизбежны артефакты регистрации.

Нейросетевой и нейронечеткий методы показывают лучшие результаты при анализе количественных значений параметров пупиллограмм, демонстрируя высокую устойчивость к шумам. Однако их способность к выявлению скрытых закономерностей остается на среднем уровне, что связано с необходимостью выделения значимых признаков и зависимостью от качества данных. Эти методы требуют большого количества данных для достижения высокого уровня точности и теряют свою эффективность в условиях ограниченности данных.

Сверточный нейросетевой метод принципиально отличаются возможностью прямого анализа графических представлений пупиллограмм, что исключает этап ручного выделения признаков. Метод сочетает высокую устойчивость к шумам и способность выявлять сложные пространственно-временные закономерности в данных. Это достигается, благодаря автоматическому распределению иерархии признаков, внутренних механизмов пуллинга, а также эффективной фильтрации шумов через систему сверточных фильтров.

Особенно важно отметить, что сверточные архитектуры демонстрируют высокую обобщающую способность даже при ограниченных размерах обучающей выборки, благодаря возможностям трансферного обучения и аугментации данных. Это делает их выбор оптимальным для практического внедрения в системы мониторинга утомления человека, где критически важны как точность, так и надежность работы в условиях реальных помех (см. табл. 1).

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов анализа пупиллограмм

Метод	Критерии сравнения		
	Анализируемые данные	Устойчивость к шумам	Степень выявления скрытых закономерностей в пупиллограммах
Статистический	временные ряды значений пупиллограмм	средняя	низкая
Нейросетевой	количественные значения параметров пупиллограмм	высокая	средняя
Нейронечеткий	количественные значения параметров пупиллограмм	высокая	средняя
Сверточный нейросетевой	графические изображения пупиллограмм	высокая	высокая

Сверточный метод имеет преимущество, благодаря высокой степени выявления скрытых закономерностей. Это обусловлено архитектурой таких сетей, разработанной для обработки пространственно-временных данных, к которым относятся пупиллограммы.

Сверточные нейронные сети демонстрируют высокую эффективность при анализе пупиллограмм за счет многоуровневой системы сверточных слоев.

Каждый слой выделяет иерархию признаков – от элементарных изменений диаметра зрачка до сложных временных зависимостей, характерных для состояний утомления и бодрствования.

В отличие от традиционных методов, требующих ручного выделения признаков, сверточные сети самостоятельно формируют оптимальное представление данных в процессе обучения.

Таким образом, в результате проведенного анализа выявлено, что наиболее эффективными для решения задачи определения функционального состояния утомления человека на основе данных пупиллографии являются сверточные нейронные сети. Их способность к автоматическому выявлению сложных пространственно-временных закономерностей, устойчивость к шумам и адаптивность к различным условиям регистрации данных обеспечивают превосходство над альтернативными методами анализа. Для увеличения обобщающей способности такой сети и комплексного анализа временных закономерностей предложено использовать гибридные архитектуры, позволяющие сохранить высокий уровень выявления признаков с помощью сверточных слоев и способность к бинарной классификации с высокой точностью, благодаря рекуррентный нейронным сетям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Бодров В.А.* Современные представления о чувстве усталости в профессиональной деятельности // Психологический журнал. 2012. Т. 33. № 2. С. 23-34.

2. *Кутлубаев М.А., Шагиева Д.Р., Каримова Г.И., Измалкова А.И., Мячиков А.В.* Пупиллометрия в оценке психоэмоционального состояния и когнитивных функций человека // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2023. Т. 73. № 5. С. 651-665.

3. *Бороненко М.П., Киселева Е.С.* Выбор математической модели пупиллограмм // НаукаПарк. 2019. № 1 (69). С. 57-62.

4. *Куприянов А.С.* Методы обработки и анализа пупиллограмм // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2009. Т. 52. № 8. С. 58-63.

5. *Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С., Шлеймович М.П.* К вопросу о бесконтактном определении физиологического состояния человека // Вестник НЦБЖД. 2015. № 1 (23). С. 13-21.

6. *Пырнова О.А., Зарипова Р.С.* Искусственный интеллект в камерах смартфонов // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2019. № 1 (15). С. 82-84.

7. *Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С., Подольская М.А.* Модель коллектива нейронных сетей и программный комплекс для определения функционального состояния человека // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2018. № 1 (41). С. 69-85.

8. *Катасёв А.С., Дагаева М.В., Хасбиуллин М.Ф.* Нейронечеткая система формирования нечетких моделей оценки дискретного состояния объектов // Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 7. С. 60-63.

9. *Катасёва Д.В., Баринов А.И.* Нейронечеткая модель определения фишинговых сайтов // Вестник Технологического университета. 2022. Т. 25. № 1. С. 69-72.

10. *Хусаинов Р.М., Талипов Н.Г., Катасёв А.С.* Модель распознавания знаков дорожного движения с использованием сверточной нейронной сети // Вестник Технологического университета. 2022. Т. 25. № 12. С. 154-157.

11. *Катасёв А.С., Катасёва Д.В., Смирнов Ю.Н., Кунафина Л.Н.* Сверточная нейросетевая модель сортировки бытовых отходов // Вестник Технологического университета. 2024. Т. 27. № 10. С. 101-105.

METHODS OF ANALYSIS OF PUPILLOGRAMS TO DETERMINE THE FUNCTIONAL STATE OF HUMAN FATIGUE

Nikonorov D.P.

Supervisor: Katasev A.S., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences.

(Kazan National Research Technical Institute named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper compares methods for analyzing pupillographic data required to determine the functional state of human fatigue. Statistical, neural network, neuro-fuzzy, and convolutional neural network methods for analyzing pupillograms are considered. The methods are compared taking into account their features and the specifics of the data being processed.

УДК 004.056.53

ХАРДЕНИНГ GRUB. ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ

Ольшевская М.А.

(Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва)

Аннотация. В процессе загрузки операционных систем играет важную роль загрузчик GRUB, поэтому для злоумышленников он является одной из главных целей. Взламывание загрузчика может привести к получению несанкционированного доступа к системе, внедрению вредоносного кода, или же к загрузке модифицированного ядра. В данной статье рассматриваются методы хардеринга GRUB, которые направлены на защиту от атак.

Введение

Надежность загрузочного процесса для современных операционных систем обеспечивает загрузчик GRUB, который в условиях роста киберугроз приобретает особую значимость. Компрометация загрузчика позволяет злоумышленникам получить полный доступ и контроль над системой на первых этапах загрузки.

Данная статья направлена на изучение хардеринга GRUB, который направлен на то чтобы уменьшить уязвимость и риски, связанные с атаками на этапе загрузки. В качестве атак можно выделить подмену ядра, внедрение неавторизованных модулей или эксплуатацию уязвимостей в конфигурации. Чтобы это предотвратить необходимо правильно реализовать хардеринг GRUB, которые обеспечивает соответствие требованиям стандартов информационной безопасности и защищает компьютер.

Для того чтобы реализовать хардеринг, в данной статье будут рассмотрены существующие технологии и методы защиты GRUB, такие как:

1. Установка пароля GRUB
2. Ограничение доступа к командной строке GRUB
3. Настройка режима защиты ядра

В качестве объекта исследования можно выделить безопасность загрузочного процесса в операционных системах на базе ядра Linux. Предметом исследования является хардеринг GRUB и технологии защиты.

Цель данной статьи направлена на проведение эксперимента, который проверяет насколько эффективны методы защиты GRUB.

Методолгия

Статья направлена на изучение технологий защиты GRUB и является исследовательской работой. Включает в себя изучение существующих методов защиты загрузчика GRUB и проведение эксперимента по их внедрению. Основное внимание уделяется таким технологиям защиты, как установка пароля для GRUB, отключение режима восстановления и ограничение доступа к командной строке загрузчика, что позволяет минимизировать риски, связанные с атаками, на начальной стадии загрузки системы.

В качестве гипотезы можно выделить то, что применение мер хардеринга GRUB позволяют уменьшить вероятность атаки злоумышленника на начальном этапе загрузки системы.

Описание GRUB

Загрузчик является важным элементом операционных систем, которые помогает выполнять инициализацию аппаратного обеспечения и установку компонентов программного обеспечения, необходимых для успешной загрузки. GRUB (GNU GRUB или GNU Grand Unified Bootloader) – загрузчик для Linux, который запускается после того, как BIOS закончит проверки аппаратных средств и загрузит его из главной загрузочной записи – MBR (Master Boot Record) [3]. После этого GRUB получает полный контроль над системой и позволяет загрузить операционную систему (например, ядро Linux).

Важно отметить, что GRUB выполняет две функции, первая из которых является непосредственно самим загрузчиком, загружающим ядро системы с запоминающего устройства (жесткого диска или SDD) в оперативную память. Помимо этого, загрузчик инициализирует аппаратное обеспечение, устанавливает память и настраивает ЦП. Вторая функция является диспетчером загрузки, который предоставляет пользователю интерфейс, где можно управлять процессом загрузки и выбрать, какую операционную систему необходимо загрузить.

GRUB предоставляет пользователю меню с параметрами загрузки, под которыми подразумеваются установленные операционные системы и специальные параметры загрузки, такие как безопасный режим. После того, как параметры указаны, либо истекло отведенное время на это GRUB начинает устанавливать соответствующее ядро, и чтобы этот процесс прошел успешно GRUB учитывает параметры.

Таблица 1

Параметры GRUB [1] (Рассмотрены только те параметры, которые используются в хардеринге)

Параметр	Значение	Рекомендуемая настройка	Проблемы безопасности
GRUB_CMDLINE_LINUX_DEFAULT	Добавить опции ядра только для обычных ядер;	quiet splash – стандартная загрузка	При установке параметров, может быть открыт доступ к ядру
GRUB_DISABLE_RECOVERY	Отвечает за включение в меню пунктов восстановления;	true	При false включен режим восстановления, что является уязвимостью.

Хардеринг GRUB

Перед началом настройки системы необходимо узнать, какие версии у ядра и у загрузчика GRUB. Для этого прописываем команды:

uname -r текущая версия ядра

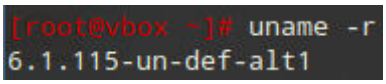


Рисунок 1. версия ядра

grub-install –V текущая версия установленного загрузчика GRUB в системе

Рисунок 2. версия GRUB

Для полноценной настройки функций безопасности желательно использовать ядро версии 5.4 и выше, поэтому если оно ниже данной версии, то рекомендуется его обновить. Для этого прописываем следующие команды:

apt-get update – обновление списка пакетов, которые доступны из репозитория.

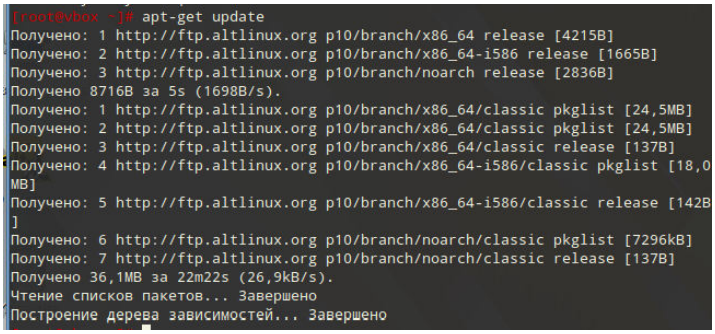


Рисунок 3. обновление версии ядра

apt-get install update-kernel

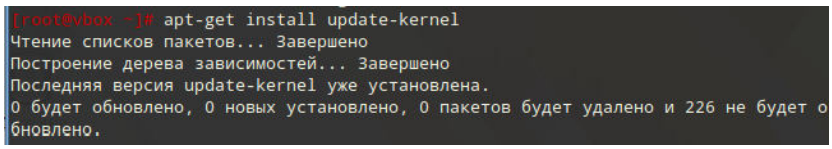


Рисунок 4.обновление версии ядра

Позволяют установить последнее стабильное ядро, которое доступно в репозитории. Далее обновляем и загрузчик GRUB: # apt-get install grub2-common grub-pc

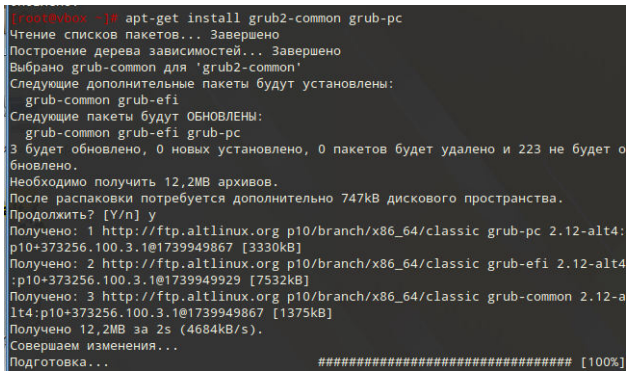


Рисунок 5. обновление версии grub

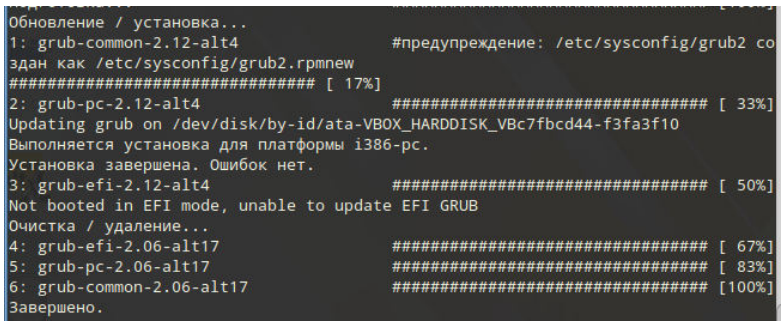


Рисунок 6.обновление версии grub

После обновления версий необходимо перезагрузить загрузчик GRUB и перезапустить систему, чтобы обновления применились, и система продолжила работать с актуальными составляющими.

Если безопасность загрузчика нарушена, то злоумышленникам легко получить доступ к системе с помощью обхода авторизации, изменения конфигурации или с помощью запуска специальных режимов. Это проникновение может привести к серьезным последствиям, вплоть до полного контроля над системой. Поэтому важно обеспечить безопасность загрузчика GRUB с помощью аутентификации пользователей и защиты от несанкционированного доступа к системе, чтобы предотвратить подобные атаки. Реализация этих мер безопасности достигается через процесс харденинга. Харденинг — это процесс усиления безопасности компьютерных систем и сетей. Основная цель - уменьшение мест, которые можно атаковать.

Доступ к системе можно получить двумя способами используя загрузчик GRUB. Во-первых, атака может начаться с редактирования строки «ro quite splash» как rw init=/bin/bash во время запуска (обычно нажатием кнопки «e» в списке). То есть меняют исходную строку, где ro — монтирование корневой файловой системы в режиме только для чтения, a quiet splash — скрытие логов загрузки и отображение графического экрана, на строку с rw — перемонтирование корневой файловой системы в режим чтения-записи и init=/bin/bash — замена стандартного процесса инициализации (systemd) на интерактивную оболочку bash с правами root. Такая атака дает полный доступ к системе и возможность отредактировать пароль. Во-вторых, для атаки могут использовать режим восстановления, в него GRUB переходит, если не может найти правильную конфигурацию загрузчика или какие-либо важные файлы были повреждены.

1. Отключение режима восстановления (командной строки)

Данная настройка не ограничивает доступ к редактору загрузчика или командной строке, а лишь убирает из меню пункты запуска в режиме восстановления (recovery mode). Чтобы проверить работает ли режим восстановления прописываем в терминале команду: # grep recovery /boot/grub/grub.cfg

Если система выводит строку с recovery mode, то данный режим все еще активен.

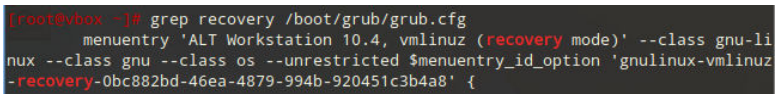


Рисунок 7.проверка наличия Recovery Mode

Чтобы настройка применилась необходимо в запущенной системе зайти в командную строку и в ней зайти в каталог grub /etc/default/grub и добавить следующий параметр в файл [2]: GRUB_DISABLE_LINUX_RECOVERY="true".

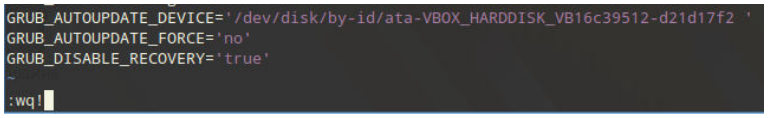


Рисунок 8. ввод параметра в файл

После того как файл был изменен важно его сохранить и обновить конфигурацию GRUB командой update-grub, чтобы все заработало. После обновления стоит проверить, что все корректно настроено и режим восстановления успешно отключен.

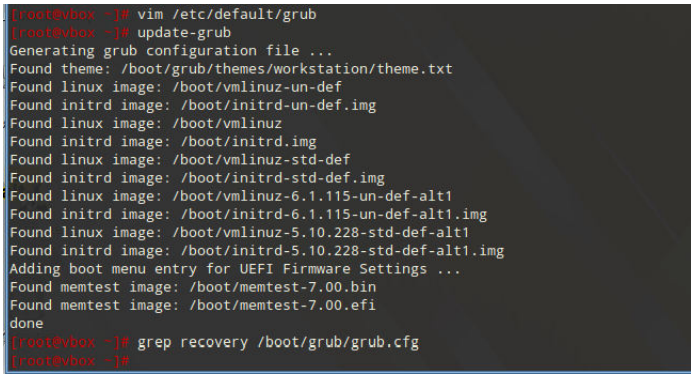


Рисунок 9. обновление конфигурации и проверка отсутствия Recovery Mode

Если необходимо, что доступ к редактированию записей и к командной строке через клавиши e и Ctrl+c был отключен, то для этого устанавливаем дополнительно пароль на GRUB.

2. Настройка пароля

Настроить пароль можно через каталог /etc/grub.d/, который содержит следующие файлы:

- 00_header – скрипт считывания установки GRUB из /etc/default/grub
- 05_debian_theme — скрипт темы GRUB, определяет фон, цвета и прочее
- 10_linux — скрипт определения конфигурации меню для дистрибутива
- 20_memtest86+ — включает файл /boot/memtest86+.bin в пункт меню.
- 30_os-prober — поиск ОС и добавление в меню
- 40_custom — шаблон для добавления пользовательских пунктов меню.

Для задания пароля GRUB необходимо отредактировать файл 00_header. Но перед началом настройки рекомендуется создать в каталоге копию файла: # cp 00_header 00_header1

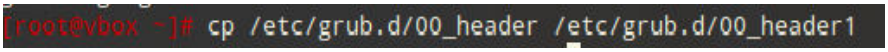


Рисунок 10. создание копии файла 00_header

Далее создаем зашифрованный пароль с помощью команды [2]: # grub-mkpasswd-pbkdf2

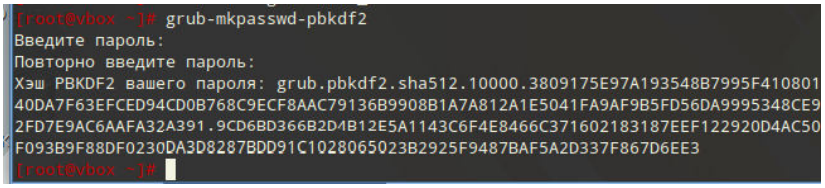


Рисунок 11. создание зашифрованного пароля

В результате будет выведена длинная строка, которая начинается с grub.pbkdf2, ее необходимо скопировать и сохранить в отдельный документ для дальнейшего использования.

После чего переходим к редактированию файла 00_header, в котором будем назначать супер-пользователя для GRUB и устанавливать пароль. Для этого в конце файла /etc/grub.d/00_header вводим команды [2]:

cat << EOF

set superusers="user_name"

password_pbkdf2 user_name

grub.pbkdf2.XXXX
EOF

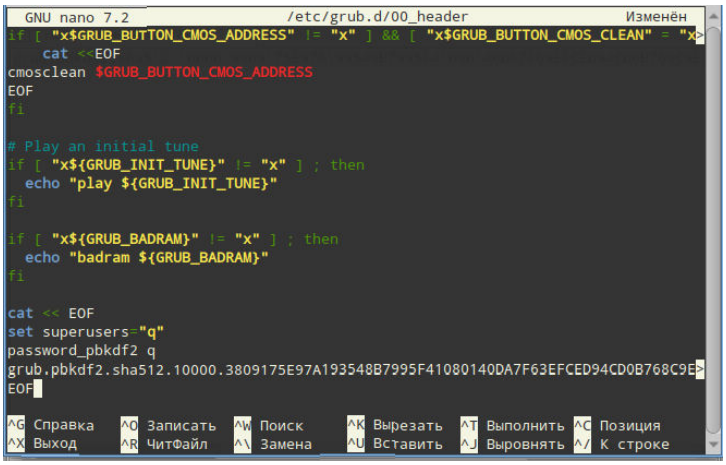


Рисунок 12. ввод команд в файл /etc/grub.d/00_header

Вместо user_name прописываем имя для супер-пользователя, а вместо XXXX вставляем длинную строку, которую сохраняли отдельно.

Как и с отключением режима восстановления, после настройки необходимо обновить конфигурацию GRUB, чтобы ранее внесенные изменения были применены [2]: update-grub.

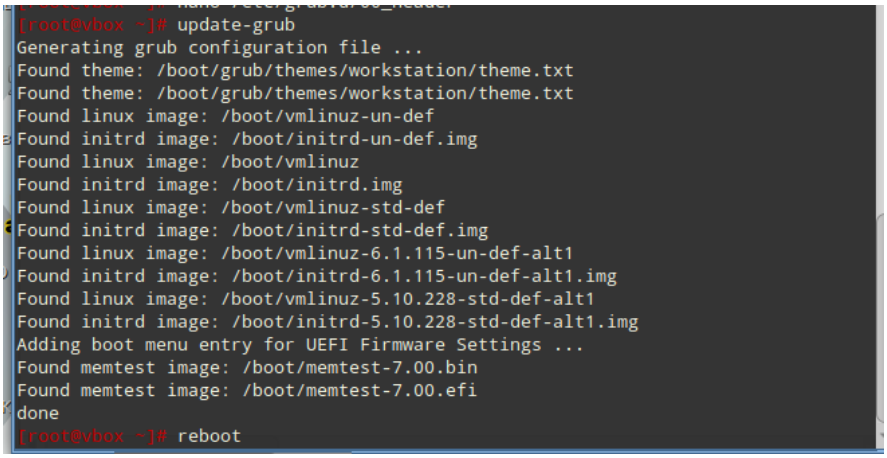


Рисунок 13. обновление конфигурации и перезагрузка системы

Чтобы проверить работу пароля, перезагружаем компьютер командой reboot и при загрузке GRUB нажмем клавишу e для входа. Если хардеринг сработал, то система будет требовать пароль, чтобы войти в редактор или в командную строку.

Рисунок 14. проверка наличия пароля для входа в загрузчик GRUB

Если после ввода логина и пароля система не открывает редактор записей GRUB, то настройка отключения режима восстановления была выполнена успешно.

3. Настройка режима защиты ядра [7]

Для начала стоит проверить статус Secure Boot, чтобы он был включен, иначе настройка работать не будет. # mokutil --sb-state

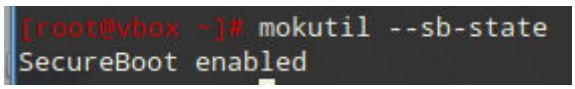


Рисунок 15. проверка статуса

После этого в файле /boot/config-$(uname -r) найдем два параметра CONFIG_LOCK_DOWN_KERNEL_FORCE_INTEGRITY и CONFIG_LOCK_DOWN_KERNEL_FORCE_CONFIDENTIALITY, которые необходимо настроить следующим образом:

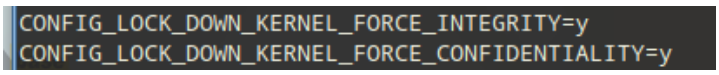


Рисунок 16. настройка файла

Эти действия позволяют настроить режим защиты ядра через GRUB.

Так как в обычной операционной системе пользователь root имеет полный доступ ко всем подсистемам и настройкам, следовательно, это может стать уязвимым местом. Режим защиты ядра позволяет ограничить доступ к системе даже для суперпользователя, что позволяет снизить риск угрозы. Также стоит учитывать, что настройка режима защиты ядра ограничивает некоторые возможности администрирования.

Для защиты ядра необходимо добавить опцию в параметр загрузчика GRUB GRUB_CMDLINE_LINUX_DEFAULT. Можно выделить два режима защиты, которые относятся к опции Kernel Lockdown:

- lockdown=integrity – режим, при котором изменить ядро невозможно, даже с помощью суперпользователя. Чтобы режим был активирован, необходимо изменить параметр в настройках загрузчика, для этого заходим в файл /etc/default/grub и добавляем параметр:

GRUB_CMDLINE_LINUX_ DEFAULT ="lockdown=integrity"

Рисунок 17. изменение параметра

Обновляем grub: update-grub и проверяем применилась ли настройка через консоль: # dmesg | grep -i lockdown. Если настройка не применилась, то команда ничего не выведет

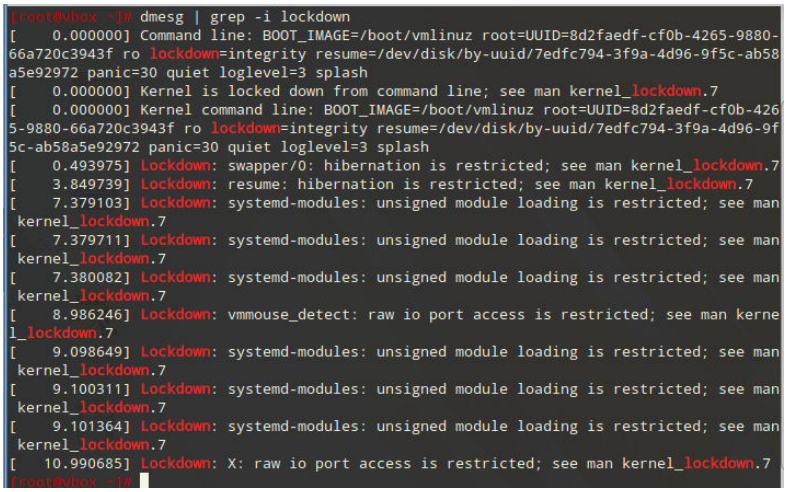


Рисунок 18. проверка настройки

Также можно проверить через файл /sys/kernel/security/lockdown, в котором должна быть строка [integrity], которая показывает на то, что режим включен. Либо с помощью команды cat /proc/cmdline, которая выводит загруженные параметры и если настройка применилась, то в строке это будет видно.

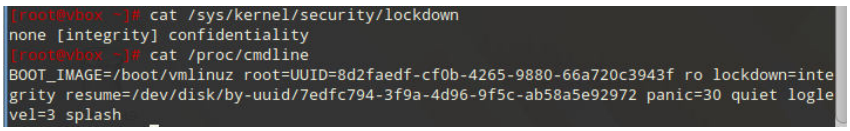


Рисунок 19. проверка настройки

- lockdown=confidentiality – режим, который подходит для систем, которые хранят чувствительные данные, так как он полностью запрещает администраторам доступ к памяти ядра.

Чтобы его включить точно также, как с первым режимом изменяем параметр [7] GRUB_CMDLINE_LINUX_ DEFAULT ="lockdown=confidentiality", обновляем загрузчик GRUB и проверяем настройку.

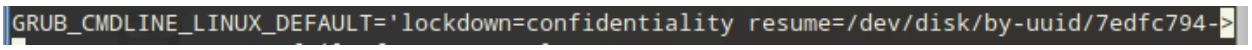


Рисунок 20. изменение параметра

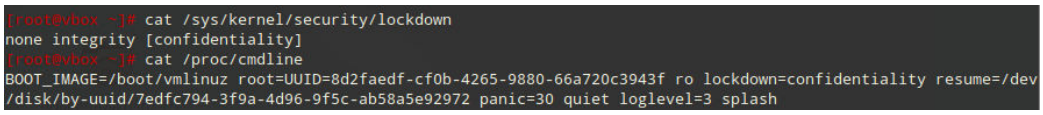


Рисунок 21. проверка настройки

Заключение

Таким образом, в данной статье были рассмотрены методы хардеринга загрузчика GRUB такие, как отключение режима восстановления, установка пароля и отключение командной строки загрузчика, а также настройка режима защиты ядра. Данные методы направлены на повышение безопасности при загрузке операционной системы, чтобы злоумышленники не могли получить полный контроль над системой через загрузчик GRUB.

Эксперимент, который был проведен в статье, показывает то, на сколько конфигурация загрузчика GRUB может быть уязвима к атакам и как важно в самом начале обезопасить систему. Результатом является реализация хардеринга GRUB, который обеспечивает доступ только через аутентификацию по паролю. Также важно отметить, что даже при вводе верного логина и пароля функции редактирования параметров загрузки и доступ к командной строке будут отключены, что не дает злоумышленнику изменять параметры и контролировать систему.

В заключение, важно отметить, что хардеринг GRUB является важным и обязательным шагом при защите систем от атак.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Уймин А.Г.* Демонстрационный экзамен базового уровня. Сетевое и системное администрирование: Практикум. Учебное пособие для вузов – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2024. – 116 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-507-48647-2. – EDN BZJRIQ.

2. Tom's IT Cafe | Securing the GRUB Boot Loader on Debian Linux / Электронный ресурс [URL]: https://tomsitcafe.com/2024/08/08/securing-the-grub-boot-loader-on-debian-linux/.

3. Merion | Загрузчик GRUB в Linux: что это такое? / Электронный ресурс [URL]: https://wiki.merionet.ru/articles/zagruzcik-grub-v-linux-cto-eto-takoe.

4. Euphoria Reload3d | Hardening Grub / Электронный ресурс [URL]: https://shankaraman.wordpress.com/2013/01/03/hardening-grub/.

5. Lost.pro | Как поставить пароль на Grub / Электронный ресурс [URL]: https://losst.pro/kak-postavit-parol-na-grub.

6. Oslogic | Введение в GRUB2 / Электронный ресурс [URL]: https://www.oslogic.ru/knowledge/610/vvedenie-v-grub2/.

7. IPProToday | Enhance Linux Kernel Security Using Lockdown Mode and Kernel Self-Protection / Электронный ресурс [URL]: https://www.itprotoday.com/linux-os/enhance-linux-kernel-security-using-lockdown-mode-and-kernel-self-protection.

HARDENING GRUB. PROTECTION TECHNOLOGIES

Olshevskaya M.A.
(Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NIU), Moscow)

Abstract. The GRUB bootloader plays a critical role in the operating system boot process, making it a prime target for attackers. Compromising the bootloader can lead to unauthorized system access, malware injection, or the execution of a modified kernel. This article examines GRUB hardening techniques designed to protect against such attacks.

УДК 378.016

УСПЕШНЫЙ ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Осадчий М.В.
Научный руководитель: Володин С.М, доцент, к. т. н.
(Московский гуманитарно-технологический университет -
Московский архитектурно-строительный институт, МГТУ-МАСИ, г. Москва)

Аннотация. В статье рассматривается проблема быстрой и эффективной разработки образовательных программ, направленных на освоение отечественного программного обеспечения на примере продуктов ГК «Астра». Актуальность задачи обусловлена импортозамещением в IT-сфере и необходимостью массового обучения специалистов работе с российским программным обеспечением. Предложен подход к автоматизации процесса формирования учебных курсов на основе декомпозиции требований к навыкам работы с конкретными программными продуктами. Разработан прототип веб-конструктора, позволяющий методистам формировать структурированные образовательные программы, гарантирующие формирование практических умений работы с целевым программным обеспечением. Основные преимущества предложенного решения - снижение временных затрат на проектирование курсов, обеспечение соответствия программ реальным задачам пользователей и возможность их быстрой адаптации к обновлениям программного обеспечения.

Стратегия импортозамещения и суверенитета в сфере информационных технологий обусловила активное внедрение отечественного программного обеспечения в государственном и корпоративном секторах. Ключевыми продуктами на рынке отечественного программного обеспечения являются операционные системы ГК «Астра», которые занимают лидирующие позиции в сегменте отечественных операционных систем, системы управления базами данных «Termidesk», программного комплекса средств виртуализации «Брест» и множество других решений. Однако стремительный переход на отечественное программное обеспечение столкнулся с серьезной системной проблемой — отсутствием массовой, стандартизированной и эффективной системы подготовки специалистов, способной быстро реагировать на растущие требования рынка и регулярно выходящие обновления программного обеспечения.

Существующий процесс разработки образовательных программ учебных центров (в отличие от регламентированного процесса в вузах по ФГОС) часто является ручным, слабо структурированным и не стандартизированным. Это приводит к длительным срокам проектирования, риску несогласованности в программе и сложностям при её обновлении вслед за временем.

Целью является разработка прототипа программного обеспечения для автоматизации составления рабочих программ, направленных на формирование практических навыков работы с конкретными продуктами отечественного программного обеспечения.

Задачи исследования:

1. Анализ существующих решений для проектирования учебных программ.
2. Проектирование и реализация прототипа веб-конструктора, позволяющего собирать программу курса из модульных блоков по принципу LEGO.[1,2]
3. Апробация подхода на примере создания различных рабочих программ

В основе предложенного подхода лежит декомпозиция программных продуктов на элементарные операции и сквозные задачи пользователя. В отличие от подхода, основанного на ФГОС, где единицей являются абстрактные «знать/уметь», в проекте используются конкретные практические навыки работы с программным обеспечением.[3] Например, для рабочей программы «ОС Astra Linux Special Edition 1.8 для пользователей» в модуле «Введение в Astra Linux» выделяются такие разделы как «Назначение Астра Linux», «Версии и очередные обновления Astra Linux», «Особенности и преимущества Astra Linux».[4]

Была разработана реляционная модель данных (Рисунок 1), включающая следующие основные сущности: курсы, модули, учебные элементы, практические задания, связи между элементами. Каждая сущность содержит необходимые атрибуты для описания образовательного контента и его взаимосвязей.

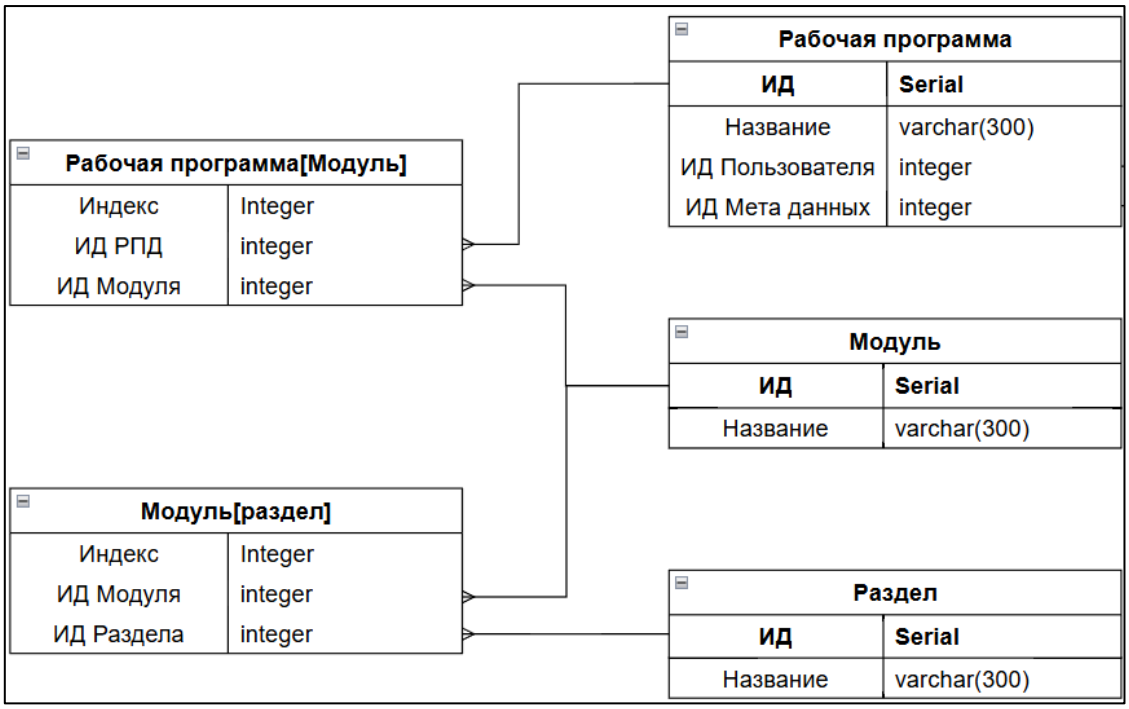


Рисунок 1. Схема модели данных для иерархии рабочая программа[модули[разделы]

Прототип веб-конструктора реализован на современном стеке технологий. Frontend-часть разработана с использованием фреймворка React, что обеспечивает интерактивный пользовательский интерфейс с возможностью drag-and-drop редактирования структуры курса. Backend - часть реализована с помощью фреймворка Django. Для хранения данных используется PostgreSQL, которая обеспечивает надежное хранение сложной структуры образовательных программ.[5]

Страница редактора (Рисунок 2) – это основная страница составления и редактирование рабочих программ. Визуально поделена на 3 области. Первая область «Боковая панель» состоит из 3 основных пунктов управления, через неё осуществляется выбор рабочей программы, контроль модулей и разделов. Рабочие программы имеют разделения на 4 статуса (Рисунок 2.1) по цветам: синий, красный, жёлтый и зеленый, цвета означают «Назначено», «Нуждается в доработке», «На утверждении» и «Утверждено» соответственно. Выводится в том же порядке. Все 3 элемента поддерживают drag-and-drop для второй области «Конструктор».

Вторая область, «Конструктор», является центральной рабочей зоной и предназначена для визуального проектирования и компоновки образовательной программы. В этой области пользователь может перетаскивать элементы курса из «Боковой панели», создавая иерархическую структуру. Конструктор предоставляет набор визуальных инструментов для управления структурой программы, включая возможность создания вложенных модулей и разделов, изменения порядка элементов.

Третья область интерфейса представляет собой «Древо» документа (по аналогии с командой tree одноименной утилитой unix подобных систем) навигационную панель для работы со второй областью, обеспечивающую навигацию по «Конструктор». При нажатии на любой структурный элемент конструктор перейдет к нему и подсветит его на некоторое время.

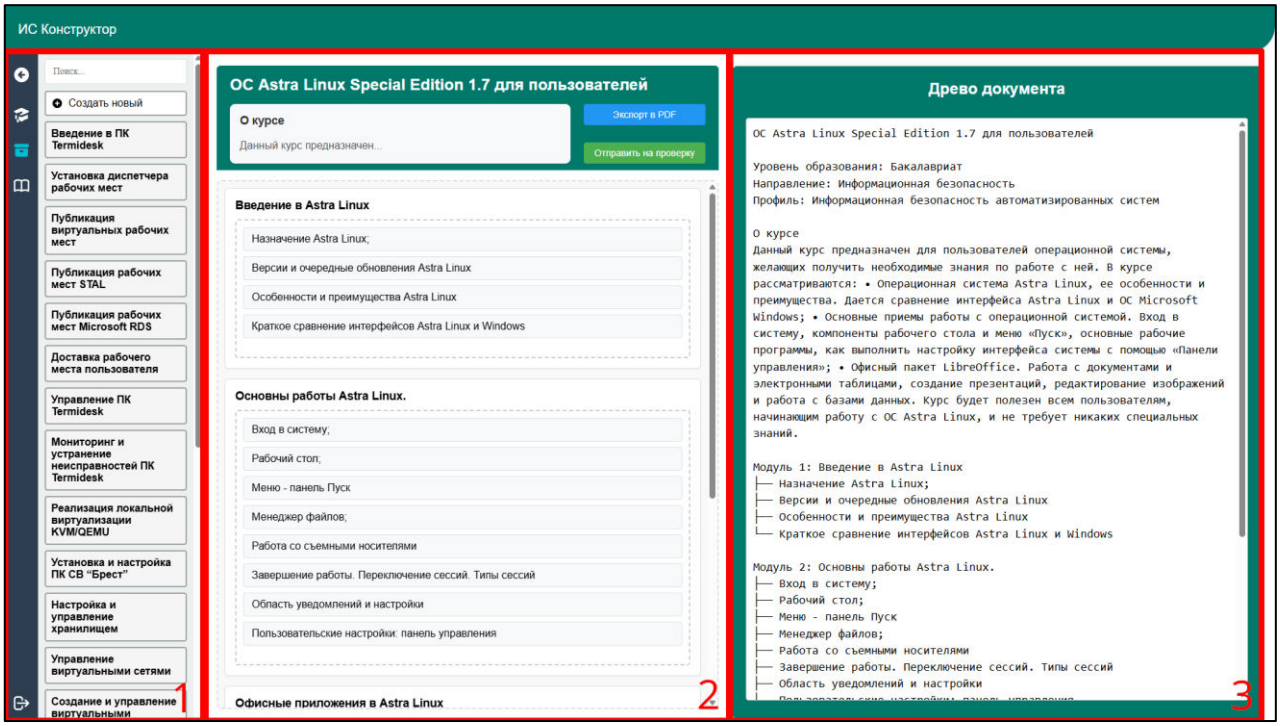


Рисунок 2. Страница редактирования рабочей программы

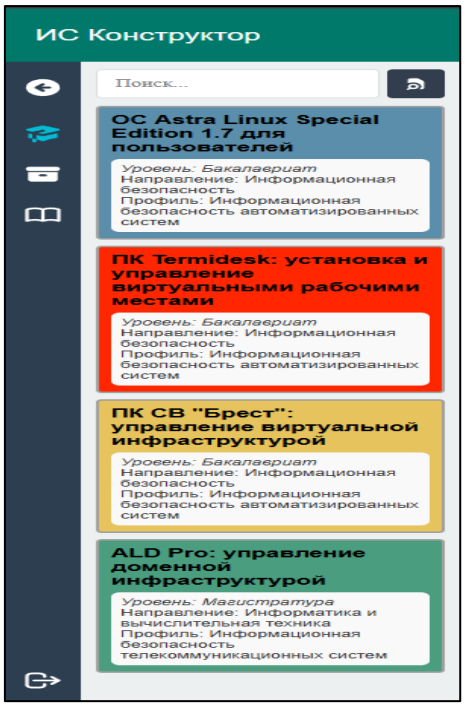


Рисунок 2.1. Разделение рабочих программ по статусам

Проверка и назначение рабочих программа происходит на странице менеджера (Рисунок 3)

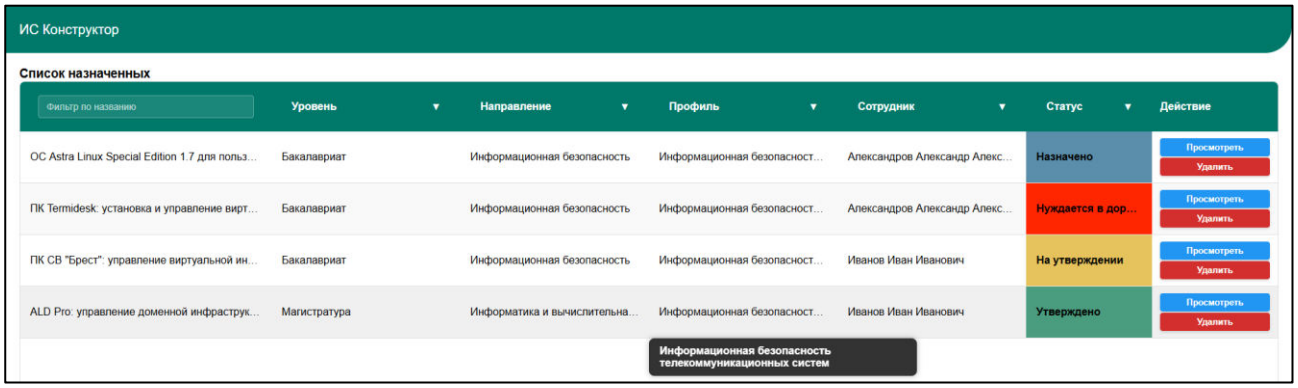


Рисунок 3. Страница менеджера

Валидации рабочей программы существует оконная форма (Рисунок 4) на ней менеджер изменяет статус программы и оставляет комментарии методисту.

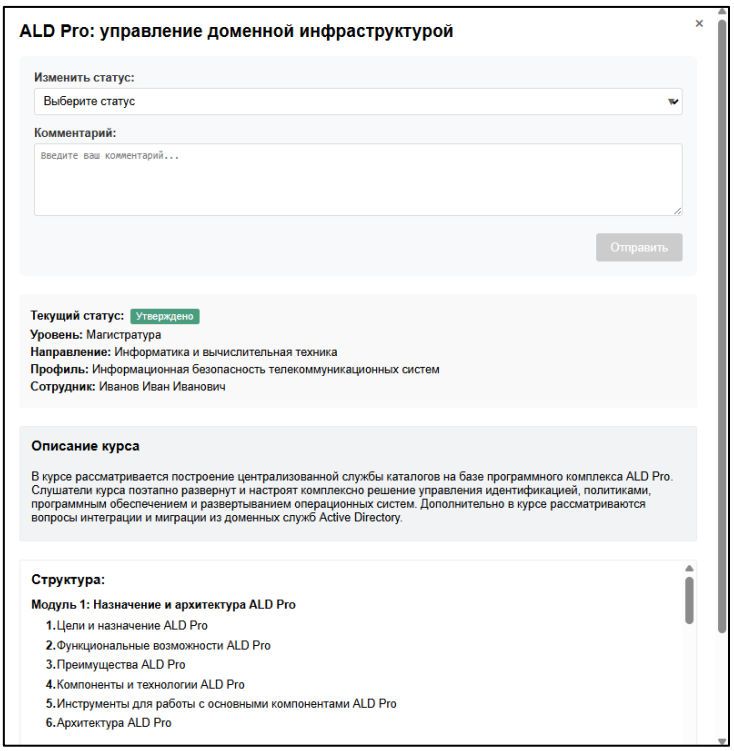


Рисунок 4. Окно просмотра рабочей программы для менеджера.

После изменения статуса, методисту направляется письмо (Рисунок 5) от почтового бота, по заранее заданному шаблону. Содержащее название рабочей программы, статус и комментарий.

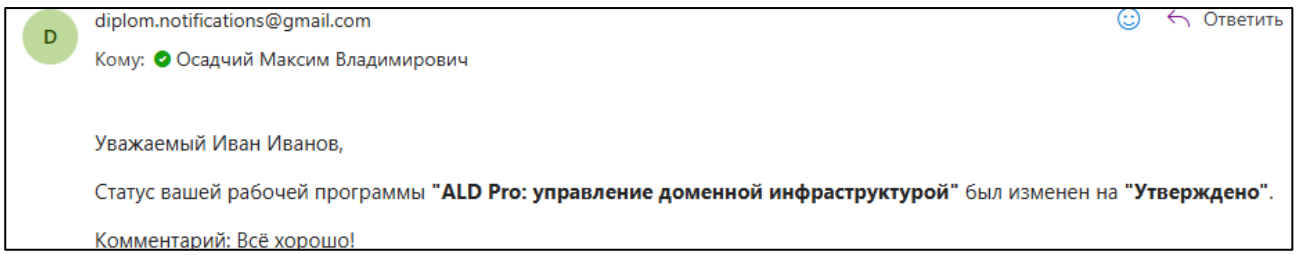


Рисунок 5. Пример уведомления на почту методиста

Для бедующего администрирования, контроля пользователей и самой информационной системы разработан прототип страницы «Панель администратора» (Рисунок 6). В ней пока что можно только контролировать пользователей и устанавливать цвета (Рисунок 7).

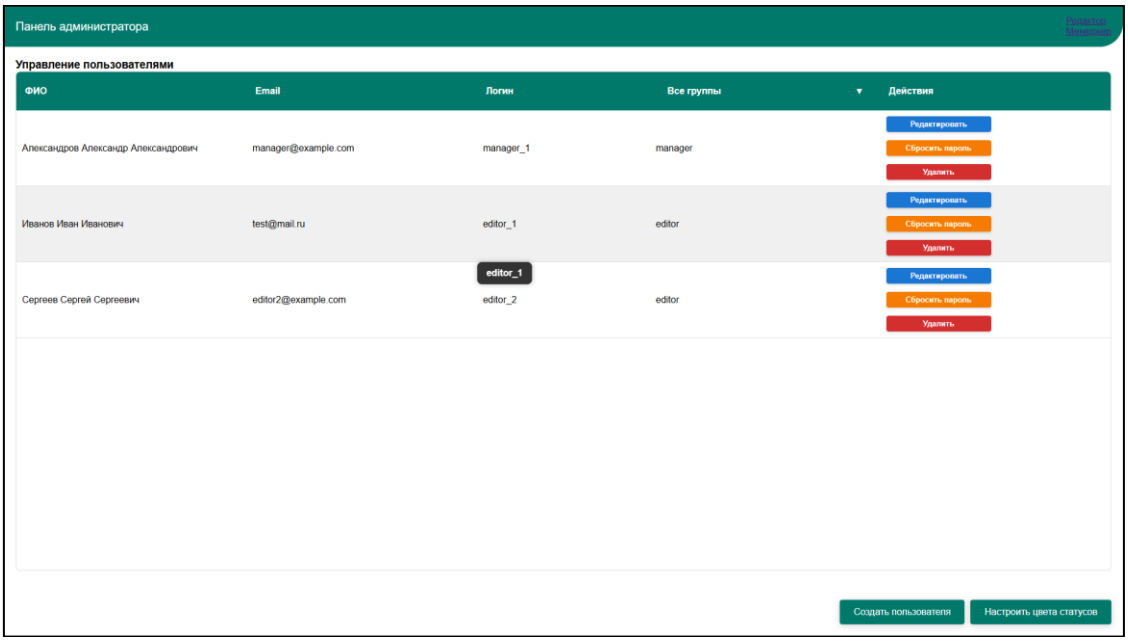


Рисунок 6. Макет страницы администратора

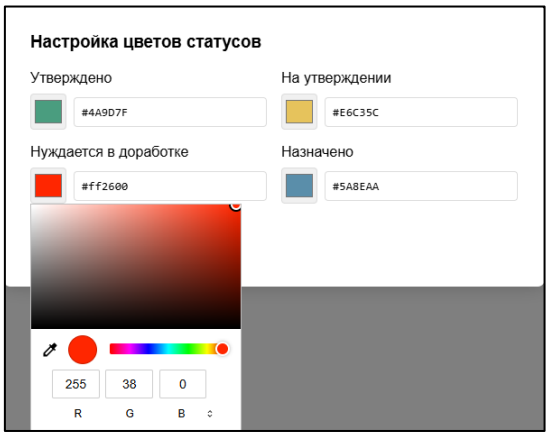


Рисунок 7. Оконная форма настройки цветов для статусов

Разработанный прототип веб-конструктора образовательных программ успешно решает ключевую проблему быстрого и удобного визуального проектирования курсов для освоения отечественного ПО. Система уже сейчас демонстрирует значительные преимущества перед традиционными методами разработки учебных программ.

Ключевые достижения и преимущества:

1. Внедрение единых шаблонов курсов
2. Упрощённый процесс согласования и утверждения программ
3. Интуитивный интерфейс с drag-and-drop для быстрой сборки курсов
4. Интеграция с почтовой системой для автоматических уведомлений

Перспективы развития и будущие планы:

На ближайший период запланировано:

1. Расширение возможностей пользователя «Администратор» (визуальное создание шаблонов.
2. Контроль редакций (версий) рабочих программ (типа git).

3. Расширение библиотеки модулей и разделов для охвата всего направлений обучения по продуктам компании.

4. Разработка API для интеграции с внешними системами и сервисами.

5. Создание docker-контейнера.

6. Проведение нагрузочного тестирования для выявления узких мест и обеспечения отказоустойчивости системы при массовом использовании.

7. Написание документации.

8. Развертывание версии системы в авторизированных учебных центрах ГК «Астра».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Дронов В.А*., Django 3.0. Практика создания веб–сайтов на Python. –СПб.: БХВ–Петербург, 2021. – 704 с.

2. *Беликова С.А*. Основы HTML и CSS: проектирование и дизайн веб–сайтов : учебное пособие по курсу «Web–разработка» / С. А. Беликова, А. Н. Беликов. – Ростов–на–Дону, Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2020. – 174 с.

3. *Володин С.М.* Успешный опыт политики импортозамещения в образовательной программе подготовки специалистов среднего звена в ит- колледже МФЮА / С.М. Володин, А.В. Колосовский // Современные и информационные технологии в социальной сфере : материалы IV Всероссийской технической научно-практической конференции, Чебоксары, 25 апреля 2024 года. – Чебоксары: ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 2024. – С. 115-118. – EDN NFKZAO.

4. *Володин С.М.* Внедрение в учебный процесс операционной системы Astra Linux, как эффективное решение программы импортозамещения / С.М. Володин, Е.В. Поколодина, Е.М. Баулин // Взаимодействие вузов, научных организаций и учреждений культуры в сфере защиты информации и технологий безопасности: Сборник статей по материалам международной конференции, посвящённой памяти доктора технических наук, профессора А.А. Тарасова и доктора технических наук, старшего научного сотрудника О.В. Казарина, Москва, 19–20 апреля 2022 года. – Москва: Российский государственный гуманитарный университет, 2022. – С. 190-199. – EDN RQGREQ.

5. *Малков О.Б.* Работа с СУБД PostgreSQL : учебное пособие / О.Б. Малков, М.П. Маркова, М.В. Девятерикова. – Омск: Омский государственный технический университет, 2023. – 175 с.

SUCCESSFUL EXPERIENCE IN DEVELOPING EDUCATIONAL PROGRAMS USING DOMESTIC SOFTWARE

Osadchiy M.V.

Supervisor: Volodin S.M., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Moscow Humanitarian and Technological University -

Moscow Institute of Architecture and Civil Engineering, MSTU-MASI, Moscow)

Abstract. The article considers the problem of fast and efficient development of educational programs aimed at mastering domestic software using the example of Astra Group products. The relevance of the problem is due to import substitution in the IT sphere and the need for mass training of specialists to work with Russian software. An approach to automating the process of forming training courses based on the decomposition of requirements for skills in working with specific software products is proposed. A prototype of a web designer has been developed that allows methodologists to form structured educational programs that guarantee the formation of practical skills in working with the target software. The main advantages of the proposed solution are reducing the time spent on course design, ensuring that the programs correspond to the real tasks of users and the ability to quickly adapt them to software updates.

УДК 004.8

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРНОСТИ НЕЧЕТКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ПОСТРОЕНИЕ НЕЙРОНЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Пырнова О.А.

Научный руководитель: Катасёв А.С., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе рассматривается влияние размерности нечеткой нейронной сети на возможность построения эффективной нейронечеткой модели при ограниченных вычислительных ресурсах. Экспериментально исследована зависимость времени выполнения вычислений в нечеткой нейронной сети от количества входных переменных и типа функций принадлежности на различных платформах. Разработаны рекомендации для оптимизации архитектуры сети в ресурсоограниченных системах, позволяющие снизить вычислительную нагрузку без значительной потери точности.

Современные нейронечеткие системы [1, 2] объединяют преимущества нечеткой логики [3] и искусственных нейронных сетей [4, 5], обеспечивая высокую интерпретируемость и адаптивность моделей. Однако при ограниченных вычислительных ресурсах ключевым фактором становится выбор оптимальной размерности сети, влияющей как на точность, так и на производительность. Таким образом, целью данного исследования является анализ влияния числа нейронов, слоев и правил нечеткого вывода на эффективность нейронечеткой модели в условиях ограниченных вычислительных мощностей.

Типовая архитектура нейронечеткой сети включает пять последовательных уровней обработки информации [6], как представлено на рисунке 1.

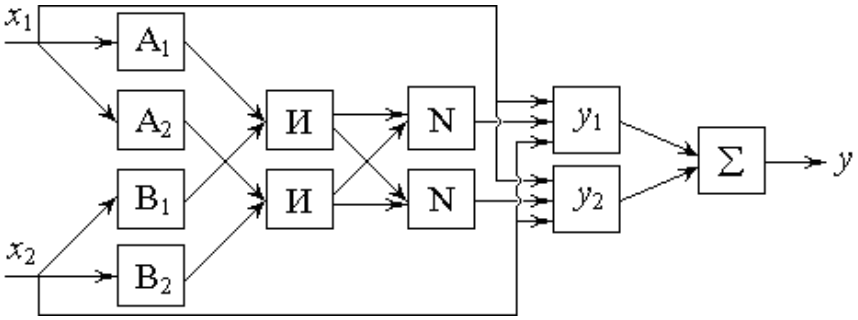


Рис. 1. Архитектура нечеткой нейронной сети

Структура нечеткой нейронной сети состоит из 5 слоев обрабатывающих нейронов [6]:

1) первый слой моделирует функцию принадлежности градаций входных лингвистических переменных (выходы нейронов этого слоя представляют собой значения функции принадлежности при конкретных значениях входов);

2) слой нейронов, которые моделируют логическую связку в условиях нечетких правил (их выходами являются степени истинности предпосылок каждого правила);

3) нормирующий слой выполняет функцию приведения весов активации правил к единичной сумме, что позволяет учитывать вклад каждого правила в конечный результат;

4) четвертый слой формирует нечеткие выходные значения на основе активированных правил, где каждый нейрон соответствует конкретному заключению из базы правил;

5) нейрон пятого слоя выполняет дефаззификацию, формируя выход нейронной сети.

Такая многослойная организация позволяет эффективно комбинировать преимущества нейронных сетей [7] и нечеткой логики [8]. При этом каждый уровень вносит свой вклад в общий процесс обработки информации, обеспечивая гибкость и адаптивность системы.

Вычислительная сложность нечеткой нейронной сети зависит от ряда факторов [9]: архитектуры сети, количества входных переменных, типа функции принадлежности (треугольные, гауссовы, трапециевидные и др.), а также от метода дефаззификации (центроидный, средний максимум и т.д.). Формально сложность вычислений можно выразить следующей зависимостью, представленной формулой 1:

$$C = O\ (n \times m \times k), \quad (1)$$

где n – количество входных переменных, m – количество нечетких правил в базе знаний, k – среднее количество операций для обработки одного правила (примерно 5 операций).

Проблема «проклятия размерности» [10] проявляется в нейронечетких системах особенно ярко. Это обусловлено двумя основными причинами [11]:

1) экспоненциальным ростом количества потенциально необходимых правил (комбинаторный разрыв) при увеличении размерности входного пространства;

2) геометрической прогрессией объема обучающих данных, что приводит к непропорциональному росту вычислительных затрат.

Для наглядного примера представлена таблица 1, демонстрирующая скорость роста вычислительной сложности с увеличением размерности задачи.

Таблица 1

Зависимость сложности вычислений от размерности задачи

Число входных переменных	Число правил	Относительная сложность
2	4	1x (40 усл. ед.)
3	8	3x (120 усл. ед)
5	32	20x (800 усл. ед.)
7	128	112x (4 480 усл. ед.)

Как видно из таблицы, уже при 7 входных переменных сложность вычислений возрастает в 112 раз по сравнению с базовым случаем, что наглядно иллюстрирует проблему «проклятия размерности».

В ходе исследования зависимости вычислительной сложности от числа параметров нейронечеткой сети выявлены следующие ключевые закономерности, влияющие на производительность модели в условиях ограниченных ресурсов:

1) временная сложность обработки данных;

2) требования к памяти.

Рассмотрим факторы, влияющие на вычислительную нагрузку при обработке одного входного вектора в нечеткой нейронной сети.

1. Расчет функций принадлежности:

- для треугольных функций рассчитывается по формуле 2:

$$C_{tri} = 5 \times n \times m, \quad (2)$$

где n – количество входных переменных, m – количество нечетких правил в базе знаний, 5 – количество операций на одной правило.

- для гауссовых функций рассчитывается по формуле 3:

$$C_{gauss} = 8 \times n \times m. \quad (3)$$

2. Дефаззификация (центроидный метод), который рассчитывается по формуле 4:

$$C_{defuss} = 3 \times m. \quad (4)$$

Таким образом, общая временная сложность рассчитывается по формуле 5:

$$C_{total} = C_{membership} + C_{defuss}, \quad (5)$$

где $C_{membership}$ зависит от типа функции принадлежности.

Также учитывается потребление памяти в зависимости от различных параметров:

- хранение параметров функций принадлежности рассчитывается по формуле 6:

$$M_{terms} = k \times n \times t, \quad (6)$$

где k– количество параметров на терм, зависящий от типа функции, n – количество входных переменных, t – число термов на вход.

- матрица правил рассчитывается по формуле 7:

$$M_{rules} = m \times (n + 1) \times 4. \quad (7)$$

- промежуточные вычисления, рассчитываются по формуле 8:

$$M_{buffers} = 2 \times m \times 4. \quad (8)$$

Таким образом, общий объем необходимой памяти рассчитывается по формуле 9:

$$M_{total} = M_{terms} + M_{rules} + M_{buffers.} \quad (9)$$

Для верификации расчетов проведены замеры времени на трех различных платформах:
- CPU (Intel Core i5, 1 ядро);
- GPU (NVIDIA Jetson Nano);
- микроконтроллер STM32F407.

Для каждого набора параметров ($n = 2, 3, 5, 7$) измерялось среднее время обработки одного входного вектора по 1000 запускам. В таблице 2 представлены результаты экспоненциального роста времени вычислений с увеличением размерности задачи.

Таблица 2

Сравнительный анализ времени вычислений в нечеткой нейронной сети

Платформа	Функция	n = 2 (мс)	n = 3 (мс)	n = 5 (мс)	n = 7 (мс)
CPU	Гауссовы	0,43±0,02	0,82±0,03	2,91±0,11	10,35±0,42
	Треугольные	0,19±0,01	0,31±0,02	1,24±0,05	4,17±0,18
GPU	Гауссовы	0,12±0,01	0,18±0,01	0,53±0,02	1,89±0,07
	Треугольные	0,08±0,01	0,11±0,01	0,29±0,01	0,97±0,04
STM32	Гауссовы	4,87±0,15	8,12±0,23	18,45±0,51	67,32±1,85
	Треугольные	1,95±0,08	3,04±0,11	7,18±0,22	26,73±0,79

На рисунке 2 представлена зависимость времени выполнения вычислений в нейронечеткой сети от числа входных переменных для трех платформ.

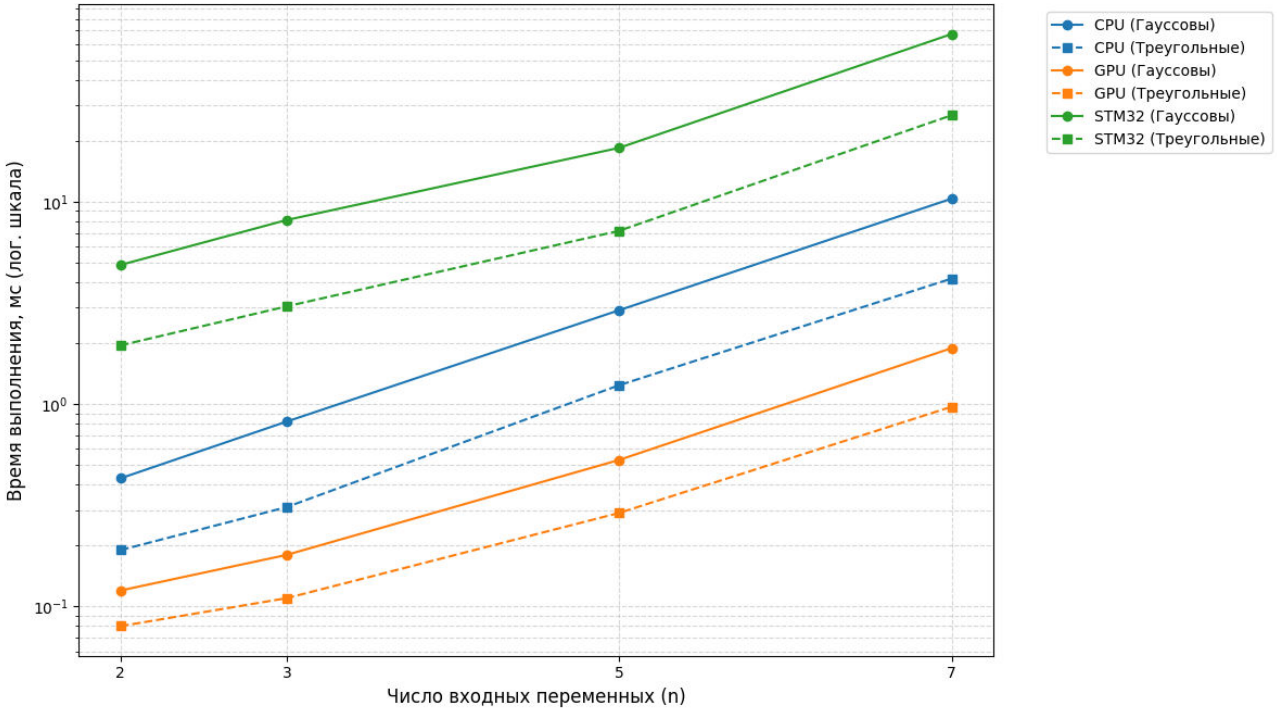


Рис. 2. Зависимость времени выполнения вычислений от числа входных переменных

Таким образом, результаты демонстрируют, что время выполнения значительно возрастает в зависимости от количество входных переменных. Также стоит отметить, что гауссовы функции работают примерно в 2,5 раза медленнее треугольных.

Проведенный анализ показал, что выбор функций принадлежности и сокращение числа входов позволяют снизить вычислительную нагрузку в 2-3 раза, что является критичным для ресурсоограниченных систем, т.к. большое время выполнения неприемлемо для систем реального времени и требует поиска оптимальных решений. Таким образом, перспективным направлением исследований в системах нейронечеткого моделирования является разработка эффективных методов уменьшения размерности входного пространства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Каменев А.В., Пащенко А.Ф., Пащенко Ф.Ф.* Нейронечеткая система моделирования с выбором информативных переменных // Датчики и системы. 2019. № 7-8 (238). С. 8-14.
2. *Катасёв А.С., Дагаева М.В., Хасбиуллин М.Ф.* Нейронечеткая система формирования нечетких моделей оценки дискретного состояния объектов // Научно-технический вестник Поволжья. 2023. № 7. С. 60-63.
3. *Немцов М.Л.* Нечеткая логика (fuzzy logic) в системах принятия решений // Информационные технологии моделирования и управления. 2022. Т. 130. № 4. С. 279-284.
4. *Нургалиев Б.Х., Катасёва Д.В., Катасёв А.С.* Нейросетевая модель и программный комплекс распознавания изображений типа Captcha // Вестник Технологического университета. 2021. Т. 24. № 1. С. 104-107.
5. *Пырнова О.А., Зарипова Р.С.* Искусственный интеллект в камерах смартфонов // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2019. № 1 (15). С. 82-84.
6. *Глова В.И., Аникин И.В., Катасёв А.С., Кривилёв М.А., Насыров Р.И.* Мягкие вычисления: Учебное пособие. – Казань: Изд-во: Казан. гос. техн. ун-та, 2010. 206 с.
7. *Катасёв А.С., Катасёва Д.В., Смирнов Ю.Н., Кунафина Л.Н.* Сверточная нейросетевая модель сортировки бытовых отходов // Вестник Технологического университета. 2024. Т. 27. № 10. С. 101-105.
8. *Катасёва Д.В., Баринов А.И.* Нейронечеткая модель определения фишинговых сайтов // Вестник Технологического университета. 2022. Т. 25. № 1. С. 69-72.
9. *Ломакина Л.С., Чернобаев И.Д.* Нейро-нечеткие классификаторы // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2021. Т. 9. № 4 (35). С. 1-11.
10. *Тыртышников Е.Е.* Размерность - это проклятие или благо? // Научный журнал Физика. 2016. № 1. С. 29-31.
11. *Иванов А.И.* Проект национального биометрического стандарта ГОСТ Р 52633.5, или нейросетевой обход «проклятия размерности» очень плохих данных // Защита информации. Инсайд. 2010. № 5 (35). С. 62-68.

INFLUENCE OF THE DIMENSIONALITY OF A FUZZY NEURAL NETWORK ON THE CONSTRUCTION OF A NEURAL FUZZY MODEL UNDER CONDITIONS OF LIMITED COMPUTING RESOURCES

Pyrnova O.A.

Supervisor: Katasev A.S., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical Institute named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper examines the influence of the dimensionality of a fuzzy neural network on the possibility of constructing an effective neuro-fuzzy model with limited computing resources. The dependence of the computation time in a fuzzy neural network on the number of input variables and the type of membership functions on various platforms is experimentally investigated. Recommendations are developed for optimizing the network architecture in resource-limited systems, allowing to reduce the computational load without significant loss of accuracy.

УДК 614.8.084

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ИНЖИНИРИНГЕ ТЕХНОСФЕРЫ

Селезнёв Д.А., Арыстанбаева К.А.

Научный руководитель Николаев М.И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Чистопольский филиал «Восток», г. Чистополь.)

Аннотация. Рассматриваются технологические и юридические и риски использования программных продуктов «Blackboard». Анализируется содержание пользовательского соглашения в части передачи авторских прав, хранения персональных данных и подчинения зарубежной юрисдикции. В качестве альтернативы рассматривается отечественный программный продукт «Эквио».

Введение

Цифровизация образования стимулировала широкое внедрение платформ дистанционного обучения. Blackboard — одна из наиболее распространённых международных платформ, активно используемая в университетах США, Европы и Азии. Однако в российских условиях использование зарубежных облачных решений требует критической оценки с точки зрения юридических рисков, информационной безопасности и национального суверенитета данных.

С 2022 года в России введены ограничения на использование иностранных IT-сервисов в государственных и муниципальных учреждениях, включая образовательные. Это обусловлено необходимостью защиты персональных данных [1], соблюдения юрисдикции и поддержки отечественных разработчиков.

Правовой анализ условий использования Blackboard

Основные положения пользовательского соглашения Blackboard [2] следующие.

- Пользователь предоставляет компании неограниченную лицензию на размещённый контент.
- Все данные обрабатываются и хранятся на серверах в США.
- Соглашение регулируется законами штата Нью-Йорк.
- Blackboard вправе приостановить доступ в одностороннем порядке.
- Все риски, связанные с использованием сервиса, ложатся на пользователя.

Очевидно, что принятие таких условий пользовательского соглашения неприемлемо, поскольку представляет угрозу стабильному функционированию производственных, природоохранных процессов.

Кроме реальных угроз функционированию объектов, принятие условий Blackboard связано с потенциальными угрозами — рисками.

Риски использования Blackboard в РФ

В случае принятия пользовательского соглашения, ключевые риски следующие.

- Юридическая коллизия: невозможность рассмотрения споров в юрисдикции РФ.
- Передача контента: Blackboard получает право использовать все учебные материалы.
- Информационная безопасность: данные обучающихся и преподавателей хранятся за пределами страны.
- Риск блокировки: отсутствие гарантии непрерывного доступа.
- Нарушение законодательства РФ: несоответствие требованиям закона №152-ФЗ «О персональных данных» и приказа ФСТЭК по защите информации.

Проведённый анализ приводит к мысли о необходимости применения альтернативной платформы. Для того, чтобы переход на альтернативную платформу не вызывал затруднений, выбрана платформа с близким функционалом и пользовательским интерфейсом.

Альтернатива Blackboard

В качестве альтернативы Blackboard предлагается отечественный программный продукт. Особо хотелось бы отметить, что этот программный продукт включён в государственный реестр российского программного обеспечения (ПО) [3]. Речь идёт о ПО Эквио [4]. Принципиальные в плане техносферной безопасности отличия этих двух платформ приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение Blackboard и Эквио

Критерий	Blackboard (США)	Эквио (Россия)
Страна происхождения	США	Россия
Юрисдикция	США	Россия
Хранение данных	Зарубежные дата-центры	Возможность хранения в пределах РФ
Передача прав на контент	Да, неисключительная бессрочная лицензия	Нет, все права сохраняются за пользователями
Соответствие ФЗ-152	Не соответствует	Полное соответствие
Язык интерфейса	Английский (русская версия частично доступна)	Полностью русифицирован
Возможность модификации платформы	Закрытый исходный код	Открыт для кастомизации, доступен исходный код
Техническая поддержка в РФ	Отсутствует	Поддержка на русском языке, локальный партнёр
Реестр отечественного ПО	Отсутствует	Включена в реестр Минцифры РФ

Получив данные об альтернативной платформе, можем провести более полное сравнение двух платформ и сделать вывод о целесообразности применения.

Преимущества и недостатки Blackboard (США)

Преимущества.

- Международный стандарт, используется во многих университетах мира.
- Богатый функционал: создание курсов, автоматическое оценивание, отчёты об успеваемости.
- Интеграция с другими образовательными сервисами (например, Zoom, Google Drive).
- Поддержка мобильных приложений для iOS и Android.

Недостатки.

- Юрисдикция США: все правовые споры регулируются иностранным законодательством.
- Возможность передачи авторских прав на контент.
- Хранение персональных данных за пределами РФ.
- Закрытый исходный код — невозможность адаптации под требования российских образовательных организаций.
- Высокая стоимость лицензий.

Преимущества и недостатки Эквио (Россия)

Преимущества.

- Соответствие российскому законодательству, включая закон №152-ФЗ.
- Возможность размещения и хранения данных на российских серверах.
- Гибкость настройки и открытая архитектура — легко адаптировать под конкретные задачи.

- Поддержка на русском языке, наличие локальных представителей.
- Включение в реестр отечественного ПО позволяет использовать в госучреждениях без ограничений.

Недостатки.

- Менее известна за пределами РФ, ограниченная международная интеграция.
- Некоторые функции могут уступать по глубине реализации крупным западным аналогам.
- Меньшее количество обучающих материалов и инструкций в открытом доступе.

Заключение

В условиях стремительной цифровизации образования в России крайне важно учитывать правовые и технологические аспекты использования IT-платформ. Несмотря на широкую функциональность Blackboard, использование данной платформы сопряжено с высокими рисками, включая возможное нарушение законодательства РФ, утрату контроля над авторскими правами и угрозу информационной безопасности.

С учётом новых регуляторных требований и приоритетов национальной политики в сфере импортозамещения, более целесообразным является использование решений, подобных «Эквио». Это обеспечивает не только правовую защиту, но и устойчивость образовательного процесса в условиях внешнеполитических ограничений.

Поскольку образовательный процесс интегрируется с производственной и природоохранной деятельностью как на стадии обучения, так и на последующих этапах, все риски, связанные с образованием, транслируются на практическую сферу. Например, данные об экологической обстановке, о потенциале государственной природоохранной и промышленной инфраструктуры становятся доступны для анализа тем, кто может использовать эти данные против интересов Российской Федерации. Таким образом, использование Blackboard недопустимо. Альтернативные решения имеются.

Рассмотрены вопросы безопасности при использовании одного из программных продуктов. Ожидаем, что по итогам доклада получим поддержку профессионального сообщества. В таком случае, планируется продолжение темы безопасности по следующим направлениям:

- корпоративная почта КАИ;
- операционные системы для настольных компьютеров;
- операционные системы для мобильных устройств.

Корпоративная почта КАИ построена на основе сервиса Outlook Web App компании Microsoft. Этот программный продукт не внесён в единый государственный реестр российского ПО. Является ли его использование для корпоративной почты КАИ безопасным?

Прекрасной альтернативой операционной системе Windows и офисному пакету компании Microsoft для большинства офисных задач является отечественная операционная система Астра Линукс вкупе с офисом с открытым исходным кодом, LibreOffice. ФСТЭК России официально подтвердила статус безопасности процессов разработчика Astra Linux.

Полноценной и доступной альтернативой мобильным операционным системам Android и iOS является операционная система HarmonyOS версии 2.0 и выше, компании Huawei. Это компромиссный вариант в ожидании доступности и функциональности отечественных мобильных операционных систем Аврора, РОСА.

На наш взгляд, специалистам информационной безопасности, подготовленным в КАИ, следует своим примером прививать правила хорошего тона в области промышленной и общественной информационной безопасности. Актуальность этих вопросов очевидна, поэтому их рассмотрение в рамках конференции необходимо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон «О персональных данных» от 27.07.2006 N 152 // ФЗ (последняя редакция) \ КонсультантПлюс[сайт] режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/ свободный (дата обращения: 08.06.2025) — Загл. с экрана.

2. Пользовательское соглашение Blackboard // www.blackboard.com[сайт] — режим доступа: http://www.blackboard.com/legal/terms-of-use свободный (дата обращения: 10.05.2025) — Загл. с экрана.

3. Реестр программного обеспечения // reestr.digital.gov.ru[сайт] — режим доступа: http://reestr.digital.gov.ru/ свободный (дата обращения: 10.05.2025) — Загл. с экрана.

4. Эквио. Официальный сайт // reestr.digital.gov.ru[сайт] — режим доступа: http://reestr.digital.gov.ru/ свободный (дата обращения: 08.06.2025) — Загл. с экрана.

INFORMATION SECURITY IN TECHNOSPHERE ENGINEERING

Seleznev D.A., Arystanbaeva K.A.

Supervisor: NikolaevM.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Chistopol branch «Vostok» of «Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI», Chistopol*)

Abstract. The technological and legal risks of using Blackboard software products are considered. The content of the user agreement is analyzed in terms of transfer of copyright, storage of personal data and subordination to foreign jurisdiction. The domestic software product Equio is considered as an alternative.

УДК 004.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВАЖНЫХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ЯЗЫКОМ ПРОГРАММИРОВАНИЯ C#, ИЗ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ

Сидоренко Д.В.

Научный руководитель: Бикмуллина И.И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье исследуются архитектуры, модели и методы нейронных сетей. Приводится сравнительный анализ существующих архитектур нейронных сетей и моделей с использованием различных архитектур нейронных сетей, отображающий их преимущества и недостатки. На основе данного исследования была разработана модель сверточной нейронной сети с внедренными методами Textcat и NER.

Нейронные сети играют не мало важную роль в нашей жизни на сегодняшний день. Что же такое нейронная сеть. Искусственная нейронная сеть (ИНС) – математическая модель, а также ее программное и аппаратное воплощение, построенная по принципу организации биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма [1]. С их помощью можно реализовать различные проекты, в которых будут использоваться сгенерированные иллюстрации, малый видеоряд, различные анимации для персонажей и так далее. Однако, акцент можно делать не только на генерации иллюстраций, но и на анализе изображений с видеокамер, чтобы отслеживать какие-либо нарушения, либо для предсказания будущего спроса определенного товара, либо для анализа текста, чтобы в дальнейшем можно было вкратце пересказать или сгенерировать небольшой проверочный тест. С их развитием, также требуются и мощные аппаратные средства, например, мощные персональные компьютеры с хорошим центральным процессором, а также видеокартой для обработки габаритной информации, которая будет поступать для обучения, или же другим вариантом является приобретение мощного сервера, способного выдержать поступающую нагрузку.

Основной проблемой большинства моделей нейронных сетей является их доступность и открытость кода, из-за чего, либо нет возможности настроить модель под свои потребности, либо они не предназначены для выбранной цели, либо полностью отрезаны в использовании

на территории РФ. Поэтому приходиться искать обходные пути или создавать свою собственную модель нейронной сети, которая будет удовлетворять поставленной цели. В связи с этим актуальностью будет является исследование моделей нейронных сетей с определенными архитектурами, в случае, если таковых не будет, то разработать свою собственную модель и сравнить с разными архитектурами нейронной сети.

Для начала рассмотрим какие архитектуры нейронных сетей существуют. Существуют разные архитектуры нейронных сетей, из которых можно выделить следующие виды: многослойный перцептрон, сверточные нейронные сети (CNN), рекуррентные нейронные сети (RNN), трансформеры. Каждый вид имеет свою архитектуру, набор параметров, слоев и алгоритмов.

Многослойный перцептрон (Multilayered Perceptron, MLP) состоит из полностью связанных нейронов с нелинейными функциями активации, организованных в слои, которые способны различать данные, которые не являются линейно разделимыми. [2] По своей сути это нейронная сеть с прямой связью, то есть сеть, в которой слои соединяются только последовательно. В качестве функции активации используется одна из нелинейных функций, при этом нейронная сеть включает в себя более чем один скрытый слой.

Сверточные нейронные сети (CNN) специальная архитектура искусственных нейронных сетей, нацеленная на эффективное распознавание образов, входит в состав технологий глубокого обучения. [3] Являются одной из часто используемой моделью нейронных сетей. Их особенностью является использование новых типов слоёв: сверточных и слоёв подвыборки (пулинга). Сверточные слои могут распознавать текст на изображениях, в документах, а также распознавать образы, постепенно переходя от низкоуровневых признаков к всё более высокоуровневым. Фактически постепенно происходит снижение числа параметров.

Рекуррентные нейронные сети (RNN) вид нейронных сетей, где связи между элементами образуют направленную последовательность. Благодаря этому появляется возможность обрабатывать серии событий во времени или последовательные пространственные цепочки. [4] В отличие от многослойных перцептронов, рекуррентные сети могут использовать свою внутреннюю память для обработки последовательностей произвольной длины. Поэтому сети RNN применимы в таких задачах, где нечто целостное разбито на части. Их особенностью является то, что на вход скрытого слоя подаётся не только значение предыдущего слоя, но и выходные значения нейронов этого или следующих слоёв.

Трансформеры архитектура глубоких нейронных сетей, по аналогии с рекуррентными нейронными сетями (RNN), предназначены для обработки последовательностей, таких как текст на естественном языке, и решения таких задач как машинный перевод и автоматическое реферирование. [5] В отличие от RNN, трансформеры не требуют обработки последовательностей по порядку. Например, если входные данные – это текст, то трансформеру не требуется обрабатывать конец текста после обработки его начала.

В таблице 1 предоставлена информация об исследуемых архитектурах нейронных сетей. В ней рассмотрены преимущества и недостатки выбранных архитектур, которые могут работать с текстовыми документами быстро и эффективно, опираясь на методы Textcat и NER

Таблица 1

Сравнительная таблица преимуществ и недостатков архитектур

Тип нейронной сети	**Преимущества**	**Недостатки**	**Использование в проекте**
Сверточная нейронная сеть (CNN)	Эффективна для извлечения признаков. Высокая скорость обучения. Отлично работает в многозадачных NLP-сценариях	Менее эффективна при работе с длинными зависимостями. Требует предобработки текста	Идеальна для Textcat и NER в рамках игрового интерфейса

Рекуррентная сеть (RNN)	Подходит для последовательных данных. Учитывает временные зависимости	Проблемы с градиентами на длинных последовательностях. Медленное обучение	Умеренная применимость, но уступает CNN по производительности и гибкости
LSTM (долгая краткосрочная память)	Учитывает контекст на больших отрезках. Хорошо работает с естественным языком	Высокая вычислительная сложность. Долгое обучение	Подходит для анализа сложных текстов, но избыточна для задач Textcat и NER
GRU (упрощённая LSTM)	Быстрее, чем LSTM. Умеренная точность	Всё ещё сложнее, чем CNN, для параллельной обработки	Возможно применение, но уступает CNN по скорости и модульности
Transformer (BERT, GPT и др.)	Высокая точность. Глубокое понимание контекста. Хорошо масштабируется	Очень ресурсоёмкие. Требует большого объема данных и времени на обучение	Чрезмерно мощный и затратный для задачи образовательного анализа
MLP (полносвязная сеть)	Простота реализации. Быстрое обучение	Неэффективна при анализе текста или изображений	Малоприменима. Не может эффективно решать Textcat и NER

В следующей таблице 2 продемонстрирована сравнительная информация на реальном компьютерном ПО:

CPU: Intel Core i5-9300H, 2.40 GHz.

RAM: 32 GB.

GPU: NVIDIA GeForce GTX 1650.

OS: Windows 10 Pro.

Использованные данные для обучения нейронной сети:

Размер обучающей выборки: 800 записей (50% для валидации).

Тестовые данные: текстовый документ формата .PDF, количество страниц 24 (41,374 символа).

Таблица 2

Сравнительная таблица работы архитектурных моделей нейронных сетей

Модель	Средняя точность (на малом наборе)	Время обучения (на GTX 1650)	Использование в проекте	Примечание
CNN	88–92%	~20–30 мин	Отличное	Не переусложняет модель, быстро обучается, легко модернизируется
GRU	80–85%	~40–60 мин	Условное	Может переобучиться; не факт, что даст прирост к CNN
LSTM	82–87%	~60–90 мин	Ограниченное	Избыточно для такого объема; тяжело оптимизировать
Transformer (BERT)	95% на больших данных, но здесь переобучение	Несовместим	Нет	Не будет учиться эффективно
MLP	65–70%	~5 мин	Нет	Слабое извлечение признаков, переобучение

В связи с проведенным анализом была выбрана сверточная нейронная сеть (CNN), так как при работе с текстом она извлекает локальные и позиционные признаки (n-граммы), что подходит для задач NER и классификации текста. Они работают параллельно, в отличие от RNN и других архитектур нейронных сетей, что делает их быстрее остальных. Разработанная модель была протестирована на практике и показала неплохие результаты при работе с текстовыми документами в проекте (рис. 1-3).

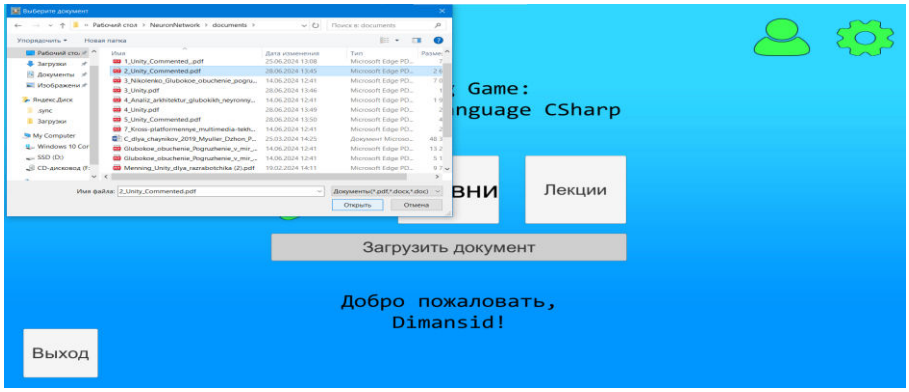


Рис 1. Загрузка текстового документа в модель нейронной сети

Структура | Данные | Ограничения | Индексы | Триггеры | DDL

Табличный вид | Форма

Всего загружено строк: 25

	id	sentence	entity	label	difficulty
1	1	Слои Layers используются для группирования объектов, чтобы применять к ним особые правила	Layers	TERMINOLOGY	средний
2	2	Revert - возвращает настройки компонентов объекта к настройкам изначального префаба, находящегос...	Revert	TERMINOLOGY	легкий
3	3	Apply - изменяет настройки префаба на настройки выборного экземпляра префаба	Apply	TERMINOLOGY	легкий
4	4	Скрипты Создание скриптов - один из наиболее сложных моментов при разработке игр	Создание скриптов	TERMINOLOGY	легкий
5	5	public class Shablon : MonoBehaviour void Update()	public class Shablon : MonoBehaviour void Update()	CODE_BLOCK	легкий
6	6	Скрипт на C представляет собой класс, наследуемый от класса MonoBehaviour	MonoBehaviour	TERMINOLOGY	средний
7	7	Для использования функций Unity необходимо использовать пространство имен UnityEngine	UnityEngine	TERMINOLOGY	средний
8	8	Функция Update будет вызываться всякий раз при перерисовке объекта	Update будет вызываться	TERMINOLOGY	легкий
9	9	Свойства объекта First Person Controller в Инспекторе свойств Объект FPC состоит из четырех ...	Mouse Look	TERMINOLOGY	легкий
10	10	Character Controller представлен на сцене как зеленый каркас в форме капсулы	Character Controller	UNITY_CLASS	легкий
11	11	Sensitivity XSensitivity Y этот параметр контролирует, насколько движение мыши влевовправо влияет на ...	Sensitivity XSensitivity	TERMINOLOGY	легкий
12	12	Mesh filter компонент, содержащий сетку объекта	Mesh filter	TERMINOLOGY	легкий
13	13	Поэтому каждый компонент Mesh Filter назван в честь каждой части модели	Mesh Filter	TERMINOLOGY	легкий
14	14	Mesh renderer необходим для отображения поверхности сетки 3D- объекта	Mesh renderer	TERMINOLOGY	легкий
15	15	Materials этот параметр использует систему SizeElement, (как в Tag Manager), которая позволяет указать ...	Materials	TERMINOLOGY	средний
16	16	Камеры также могут иметь компонент Audio Listener для восприятия звука, но обычно этот компонент ...	Audio Listener	TERMINOLOGY	средний
17	17	Transform позиция объекта (означает, что он находится в центре родительского объекта First Person ...	Transform	TERMINOLOGY	легкий
18	18	Solid Color все пустые участки экрана будут закрашены фоновым цветом	Solid Color	TERMINOLOGY	легкий
19	19	Depth Only используется для сложной отрисовки для нескольких камер с несколькими глубинами	Depth Only	PROPERTY	средний
20	20	Dont Clear не очищается ни буфер цвета, ни буфер глубины, и каждый кадр отрисовывается поверх ...	Dont Clear	PROPERTY	легкий
21	21	Split Animations опция используется, если в одном файле импортируется сразу несколько анимаций	Split Animations	TERMINOLOGY	средний
22	22	Для программирования реакции на столкновение нужно написать функцию-обработчик ...	Для программирования реакции на	CODE_BLOCK	средний
23	23	Для программирования реакции на столкновение нужно написать функцию-обработчик ...	void OnControllerColliderHit(ControllerColliderHit hit)	CODE_BLOCK	средний
24	24	Свойство gameObject объекта класса ControllerColliderHit возвращает ссылку на объект, вызвавший ...	gameObject	PROPERTY	легкий
25	25	Для программирования посылки луча нужно вызвать функцию bool Physics	Для программирования посылки луча нужно	CODE_BLOCK	средний

Рис 2. Обработанный текстовый документ с выделенными предложениями, связанные с языком программиования C#

Структура | Данные | Ограничения | Индексы | Триггеры | DDL

Табличный вид | Форма

Всего загружено строк: 25

	id	question	option1	option2	option3	option4	correct_answer	difficulty	is_passed	is_wrong	was_shown
1	1	Какое слово пропущено? Слои ... используются...	Dont Clear	Layers	Audio Listener	Mouse Look	Layers	средний	0	0	0
2	2	Какой термин скрыт в этом предложении? ... - ...	void ...	UnityEngine	Materials	Revert	Revert	легкий	0	0	0
3	3	Какое слово пропущено? ... - изменяет ...	Для программировани...	Apply	Materials	Для программирования ...	Apply	легкий	0	0	0
4	4	К какому термину это относится? Скрипты ... - ...	Depth Only	Создание скриптов	Audio Listener	Transform	Создание скриптов	легкий	0	0	0
5	5	Для чего предназначен этот код? ...	Mesh filter	public class Shablon :...	Update будет вызываться	MonoBehaviour	public class Shablo...	легкий	0	0	0
6	6	Какое слово пропущено? Скрипт на C ...	Depth Only	MonoBehaviour	gameObject	Transform	MonoBehaviour	средний	0	0	0
7	7	Какой термин скрыт в этом предложении? Для ...	Audio Listener	UnityEngine	Создание скриптов	Dont Clear	UnityEngine	средний	0	0	0
8	8	Какое слово пропущено? Функция ... всякий ра...	Materials	void ...	Character Controller	Update будет вызываться	Update будет ...	легкий	0	0	0
9	9	Какой термин скрыт в этом предложении? ...	Для программировани...	Mesh renderer	Dont Clear	Mouse Look	Mouse Look	легкий	0	0	0
10	10	Как называется этот элемент? ... представлен на...	Mesh renderer	Apply	Character Controller	UnityEngine	Character Controller	легкий	0	0	0
11	11	Какой термин скрыт в этом предложении? ... Y ...	Sensitivity XSensitivity	Создание скриптов	Mesh renderer	Split Animations	Sensitivity ...	легкий	0	0	0
12	12	К какому термину это относится? ... компонент, ...	Revert	Mesh filter	Split Animations	Layers	Mesh filter	легкий	0	0	0
13	13	Какой термин скрыт в этом предложении? ...	Mouse Look	Depth Only	Mesh Filter	Mesh filter	Mesh Filter	легкий	0	0	0
14	14	Как называется этот элемент? ... необходим для...	Apply	Mesh Filter	Depth Only	Mesh renderer	Mesh renderer	легкий	0	0	0
15	15	Какое слово пропущено? ... этот параметр ...	Mesh renderer	Mesh filter	Materials	Audio Listener	Materials	средний	0	0	0
16	16	Какое слово пропущено? Камеры также могут ...	Character Controller	gameObject	void ...	Audio Listener	Audio Listener	средний	0	0	0
17	17	Какой термин скрыт в этом предложении?	MonoBehaviour	Для ...	Transform	Mesh renderer	Transform	легкий	0	0	0
18	18	Как называется этот элемент? ... все пустые ...	Solid Color	Audio Listener	MonoBehaviour	Update будет вызываться	Solid Color	легкий	0	0	0
19	19	Какой термин скрыт в этом предложении?	Split Animations	void ...	Depth Only	Update будет вызываться	Depth Only	средний	0	0	0
20	20	Какое слово пропущено? ... не очищается ни ...	Mouse Look	Split Animations	gameObject	Dont Clear	Dont Clear	легкий	0	0	0
21	21	Какое слово пропущено? ... опция используетс...	Split Animations	Mouse Look	Solid Color	Dont Clear	Split Animations	средний	0	0	0
22	22	Какой термин скрыт в этом предложении?	Audio Listener	Для ...	Для программирования ...	Создание скриптов	Для ...	средний	0	0	0
23	23	Что делает данный программный код? Для ...	void ...	Character Controller	Mesh renderer	Revert	void ...	средний	0	0	0
24	24	Как называется этот элемент? Свойство	Depth Only	Mesh renderer	gameObject	Character Controller	gameObject	легкий	0	0	0
25	25	К какому термину это относится? ... вызвать ...	Materials	Mesh filter	Depth Only	Для программирования ...	Для ...	средний	0	0	0

Рис 3. Формирование вопросов по выделенным предложениям

В результате исследования были проанализированы модели с различными архитектурами нейронных сетей. Была разработана модель на сверточной архитектуре нейронной сети с внедренными в нее методами Textcat и NER, с помощью которой производился анализ текстовых документов и выделялись предложения, связанные с языком программирования C#. В дальнейшем данная модель может использоваться в обучающих компьютерных играх для проверки знаний у обучающихся, а также имеется возможность дообучить модель нейронной сети для расширения пула языков программирования, чтобы акцент был не только на язык программирования C#, но и на другие языки программирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Искусственная нейронная сеть // Wikipedia: [сайт]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственная_нейронная_сеть (дата обращения: 14.12.24).

2. *Альмуттаири Х.М.А.* Типы нейронных сетей и их применение // Актуальные проблемы общества, экономики и права в контексте глобальных вызовов: сборник материалов XXI Международной научно-практической конференции, Москва, 14 июня 2023 г. – Санкт-Петербург: Печатный цех, 2023. – С. 39-44. – EDN XXSZQO.

3. *Романов А.А.* Сверточные нейронные сети //Научные исследования: ключевые проблемы III тысячелетия. – 2018. – С. 5-9.

4. *Алёшин Н.А*. Рекуррентные нейронные сети //World science: problems and innovations. – 2021. – С. 10-12.

5. *Когай И.Е., Маслакова П.И., Гурин В.В., Кумратова А. М.* Архитектура трансформер для глубоких нейронных сетей // Цифровизация экономики: направления, методы, инструменты: Сборник материалов V всероссийской научно-практической конференции, Краснодар, 16–21 января 2023 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2023. – С. 245-247. – EDN VKOFGE.

USING NEURAL NETWORKS TO EXTRACT IMPORTANT C# PROGRAMMING LANGUAGE SENTENCES FROM TEXT DOCUMENTS

Sidorenko D.V.

Supervisor: Bikmullina I.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article examines the architectures, models, and methods of neural networks. A comparative analysis of existing neural network architectures and models using different neural network architectures presented, reflecting their advantages and disadvantages. Based on this study, a convolutional neural network model with embedded Textcat and NER methods developed.

УДК 004

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Сиченков О.В.

Научный руководитель: Бикмуллина И. И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье рассматриваются несколько наиболее распространенных средств разработки робототехнических систем. Приводится краткий обзор средств разработки, преимущества и недостатки каждого из средств сведены в сравнительную таблицу.

Средства разработки играют ключевую роль в проектировании, тестировании и реализации автономных мобильных роботов. Они должны обеспечивать поддержку

реалистичной физики, предоставлять удобные API для программного управления, а также обладать визуальными средствами отладки. Далее рассмотрим такие средства разработки робототехнических систем, как: CoppeliaSim, Gazebo, Webots. Критерии сравнения:

- поддержка ROS;
- гибкость настройки;
- физическая достоверность;
- качество визуализации;
- удобство интерфейса;
- простота освоения;
- расширяемость и API;
- скорость работы;
- поддержка сенсоров/камер;
- применимость для обучения ИИ;

Средства разработки играют ключевую роль в проектировании, тестировании и реализации автономных мобильных роботов. Они должны обеспечивать поддержку реалистичной физики, предоставлять удобные API для программного управления, а также обладать визуальными средствами отладки. Далее рассмотрим такие средства разработки робототехнических систем, как: CoppeliaSim, Gazebo, Webots.

CoppeliaSim. CoppeliaSim представляет собой комплексную среду для проектирования, моделирования и тестирования роботизированных систем.

С помощью CoppeliaSim пользователи могут создавать 3D-модели роботов, датчиков и окружающей среды и управлять ими, что позволяет имитировать сложные сценарии работы роботов. Продукт предлагает широкий спектр встроенных моделей роботов, включая промышленные манипуляторы, мобильных роботов и человекоподобных роботов, а также различные датчики, такие как камеры, лидары и датчики силы [1].

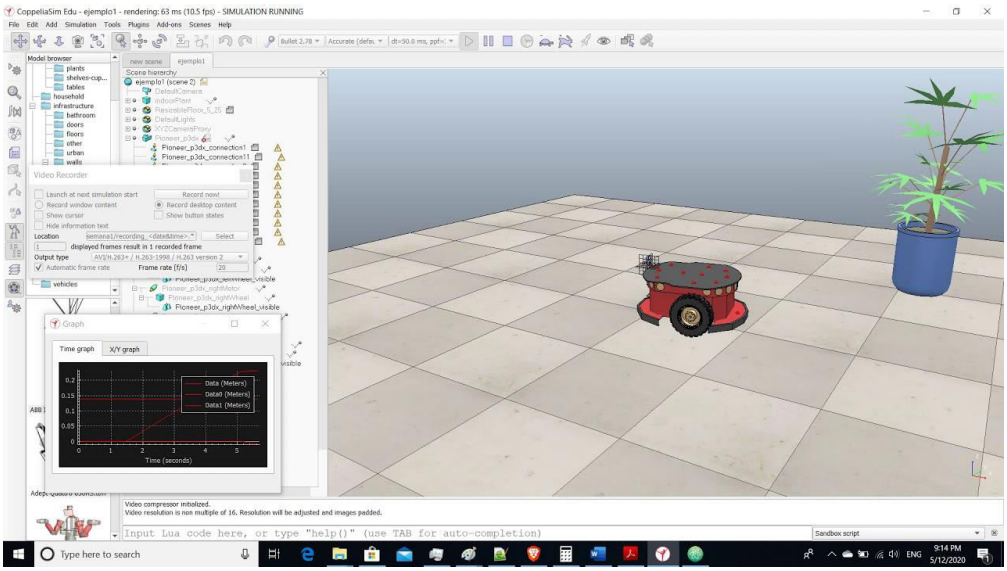


Рис.1. Интерфейс программы CoppeliaSim

Для запуска среды требуется от 2 ГБ оперативной памяти, однако для сложных симуляций рекомендуется наличие 8 ГБ и более, а также видеокарта с поддержкой OpenGL. Программа кроссплатформенная и поддерживает Windows, Linux и macOS. Пользовательский интерфейс выполнен в виде 3D-редактора с возможностью создания сцены и настройки параметров объектов.

Встроенные средства отладки ограничены, однако возможно использование внешнего логгирования и визуализации параметров в реальном времени. Также имеется встроенный редактор графиков, возможность записи видео и трассировки траекторий объектов.

Основные моменты:

- На основе архитектуры распределённого управления, в которой каждый объект/модель может управляться индивидуально;
- Управление с помощью встроенных скриптов, плагинов, узлов ROS или удаленных клиентов API;
- Используется для быстрой разработки алгоритмов, моделирования автоматизации производства, а также для быстрого создания прототипов и их проверки;
- Пять различных физических движков;
- Функциональность и API легко расширяются с помощью плагинов;
- Существующие модули: физика, кинематика, планирование траектории, пользовательские интерфейсы, openCV и многое другое.

Gazebo. Программный комплекс Gazebo представляет собой среду для симулирования работы виртуальных роботов с различными сенсорами в окружении всевозможных объектов. Приложение состоит из графической части и части по имитированию взаимодействия твердых объектов, позволяя моделировать динамику и кинематику механизмов роботов (включая моменты взаимодействия с телами внешней среды) и формировать физически правдоподобные показания виртуальных датчиков. Программа Gazebo имеет гибкий дизайн и удобный интерфейс, поддерживающий одновременную работу с несколькими устройствами. Для работы в данной среде необходимо хорошее знание C++ и UNIX-систем [2].

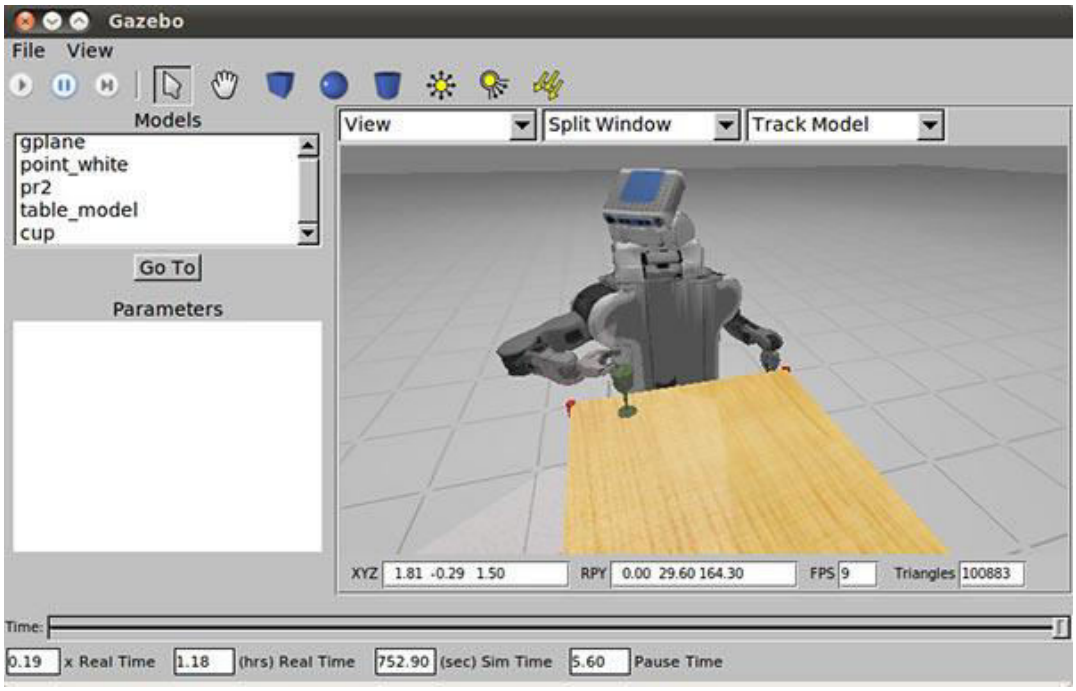


Рис.2. Интерфейс программы Gazebo

Поддерживает OpenGL и использует физические движки ODE, Bullet, DART и Simbody.

Для комфортной работы рекомендуется система с минимум 8 ГБ ОЗУ, 4-ядерным процессором и дискретной видеокартой. Возможности по визуализации и взаимодействию с моделями требуют достаточно мощного оборудования.

Программа предоставляет следующие возможности:

- Использование популярных общеизвестных моделей роботов, таких как: iRobot Create, PR2, TurtleBot, Pioneer 2 DX, Segway RMP, Pioneer 2 AT. Помимо заранее созданных разработчиками моделей есть возможность самостоятельного проектирования необходимых устройств (сенсоров и роботов), загрузки их в мир и дальнейшей симуляции. Однако устройства, модели которых уже есть в программе, эмулируются с гораздо более высокой точностью.

- Поддержка и симулирование работы множества различных сенсоров, в том числе сонара, лазерного дальномера, датчиков семейства IMU, моно- и стереокамер, кинект-сенсоров, прибора для чтения RFID-меток и других.

Webots. Webots — это симулятор роботов с открытым исходным кодом, который предоставляет полноценную среду разработки для моделирования, программирования и симуляции роботов. Тысячи учреждений по всему миру используют его для научных исследований и обучения. Webots был разработан совместно со Швейцарским федеральным технологическим институтом в Лозанне, тщательно протестирован, сопровожден грамотной документацией и постоянно обслуживается, начиная с 1998 года. Среда имеет удобный графический интерфейс и поддержку множества стандартных моделей роботов, сенсоров и двигателей. Поддерживает программирование на Python, C, C++, Java, MATLAB и ROS [3].

Рис. 3. Интерфейс программы Webots

Встроенный движок физики основан на ODE (Open Dynamics Engine), а графика реализована через OpenGL. Программа обладает встроенной возможностью экспорта и визуализации данных, записью видео, логов и графиков.

Для запуска Webots требуется минимум 4 ГБ ОЗУ и видеокарта с поддержкой OpenGL 3.3+. Интерфейс визуально проще, чем в Gazebo или CoppeliaSim, что делает Webots удобным для начинающих.

Плюсы Webots:

- простой и интуитивный интерфейс;
- поддержка популярных языков программирования;
- большое количество готовых моделей роботов;
- интеграция с ROS;
- подходит для обучения и быстрой проверки алгоритмов.

Минусы Webots:

- ограниченная гибкость по сравнению с Gazebo;
- менее реалистичная физика при сложных взаимодействиях;
- не поддерживает несколько физических движков;
- меньше возможностей в области распределённых симуляций.

Таким образом, анализ средств разработки робототехнических систем можно свести в таблицу, оценивая рассмотренные критерии по пятибалльной шкале (табл. 1.).

Таблица 1

Сравнительный анализ средств разработки робототехнических систем по 5-балльной шкале

Критерии оценки	Средства разработки мобильных приложений		
	CoppeliaSim	Gazebo	Webots
Поддержка ROS	4	5	4
Гибкость настройки	5	5	3
Физическая достоверность	4	5	3
Качество визуализации	3	3	3
Удобство интерфейса	3	2	5
Простота освоения	3	2	5
Расширяемость и API	5	5	4
Скорость работы	4	3	5
Поддержка сенсоров/камер	4	5	4
Применимость для обучения ИИ	4	4	3

Проведя сравнительный анализ трех разных средств разработки робототехнических систем, было выбрано CoppeliaSim для реализации моей исследовательской работы по разработке информационной системы для управления наземным роботом с учетом внешних факторов как наиболее гибкое и подходящее средство.

Гибкость обусловлена возможностью интеграции API ZeroMQ для реализации асинхронного обмена сообщениями между CoppeliaSim и контроллером, написанном на Python. Пример реализации представлен на рисунке 4.

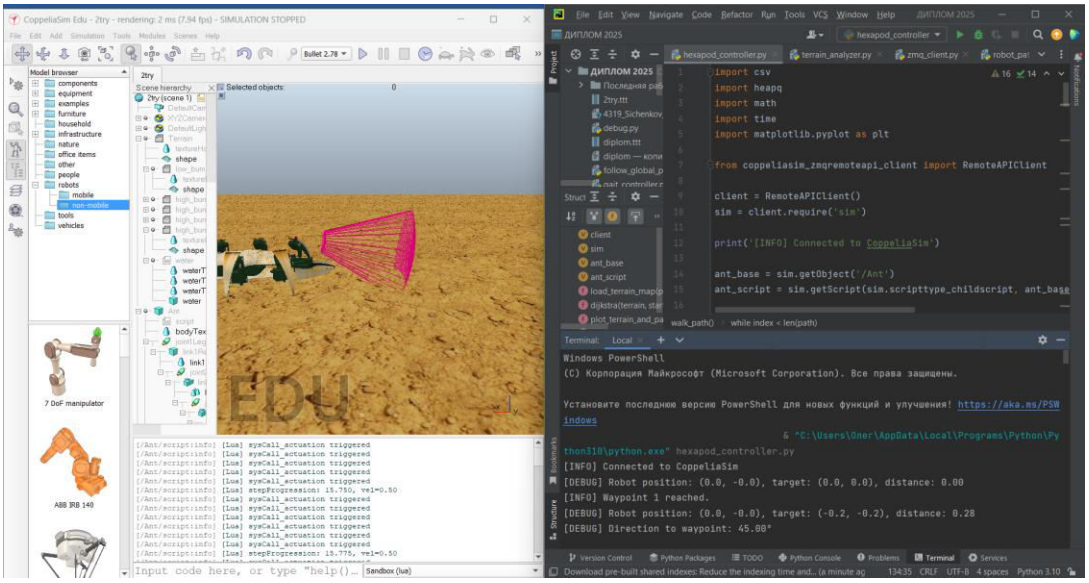


Рис.4. Разработка в программной среде CoppeliaSim с интеграцией ZMQ API

Таким образом, CoppeliaSim является наилучшим средством разработки робототехнических систем в рамках данной исследовательской работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CoppeliaSim Robotics simulation platform [Электронный ресурс] // MathWorks. Accelerating the pace of engineering and science // URL: https://www.mathworks.com/products/connections/product_detail/coppeliasim.html (дата обращения - 28.11.2024).

2. Gazebo. Мощное программное обеспечение для исследования сенсорных систем и робототехники [Электронный ресурс] // Сайт-ПАЯЛЬНИК 'cxem.net' // URL: https://cxem.net/software/gazebo.php (дата обращения - 01.12.2024).

3. Webots Reference Manual [Электронный ресурс] // Cyberbotics URL: https://cyberbotics.com/doc/reference/index (дата обращения - 9.12.2024).

4. *Бжихатлов И.А*. Моделирование робототехнических систем в программе V-REP. // СПб. - Ун-т ИТМО - 2018. - 59 с.

5. Официальная документация симулятора V-REP [Электронный ресурс] // URL: http://www.coppeliarobotics.com/helpFiles.

6. Rohmer Eric. Singh and Marc Freese. V-REP: a Versatile and Scalable Robot Simulation Framework // Eric Rohmer, P.N. Surya. - 2013.

7. *S. Nansai and R.E. Mohan*, “A survey of wall climbing robots: recent advances and challenges," // Robotics, vol. 5, no. 3, p. 14, 2016. EDN: QCMMBT.

8. *Hintjens P., ZeroMQ:* The Guide [Электронный ресурс] // URL: http://zguide.zeromq.org/ (дата обращения 15.01.2025).

9. *Барков И.А*. Семантическое моделирование учебных задач в интеллектуальных образовательных средах / И.А. Барков, И.И. Бикмуллина // Вестник Казанского Государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2012. - №2. – С. 216-220. – EDN PUAQWL.

10. *Бикмуллина И.И.* Разработка методики автоматизированного синтеза информационных систем на основе семантических отношений предметной области / И.И. Бикмуллина, И.А. Барков, А.П. Кирпичников // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, №7. – С. 236-242. – EDN TUUIMZ.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DEVELOPMENT TOOLS FOR ROBOTICS SYSTEMS

Sichenkov O.V.

Scientific adviser: Bikmullina I.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article discusses several of the most common development tools for robotic systems. A brief overview of the development tools is provided, and the advantages and disadvantages of each tool are summarized in a comparative table.

УДК 004

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

Тимаков Н.С.

Научный руководитель: Бикмуллина И.И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г.Казань)

Аннотация. Уделим внимание инструментам для нативной разработки. В качестве объектов анализа выбраны три наиболее распространённых среды разработки: Android Studio, Eclipse и NetBeans IDE.

Введение

Для того чтобы наглядно рассмотреть достоинства и недостатки существующих типов инструментам для нативной разработки, приведем в качестве примера сравнительную таблицу основных критериев см. табл. 1.

Приведем обзор средств разработки для мобильного ПО. В качестве первого примера рассмотрим официально рекомендуемую Google платформу Android Studio.

Основная часть

Android Studio

Android Studio по праву считается стандартным решением для создания приложений под Android. Эта интегрированная среда разработки (IDE) предназначена специально для самой распространённой мобильной ОС, которая установлена более чем на 2/3 смартфонов в мире. Далее рассмотрим ключевые особенности, преимущества и недостатки платформы, а также основные этапы работы с ней [1].

Android Studio — это официальная среда разработки от Google, предназначенная для создания приложений под смартфоны, планшеты, умные часы, телевизоры и другие устройства на базе Android. Её главное преимущество — полная совместимость с операционной системой, поскольку обе платформы разработаны одной компанией.

Ещё один важный фактор — долгая история развития. Android Studio была представлена Google ещё в 2013 году, и с тех пор регулярно обновляется, что обеспечивает её стабильность и актуальность [2].

Как и любая IDE, Android Studio обладает рядом сильных и слабых сторон.

Ключевые преимущества:

- Поддержка нескольких языков программирования (Kotlin, Java, C/C++ и др.);
- Удобный редактор кода с автодополнением и подсветкой синтаксиса;
- Богатый функционал, включающий множество инструментов и дополнительных модулей;
- Бесплатное распространение (open-source);
- Обширная библиотека шаблонов для быстрого старта проектов;
- Большое сообщество разработчиков, готовых помочь с решением проблем;
- Детальная документация (официальная и пользовательская);
- Встроенные средства отладки и тестирования (эмуляторы устройств);
- Кроссплатформенность (разработка под смартфоны, часы, ТВ и др.).

Основной недостаток:

- Высокие системные требования — для комфортной работы требуется мощный ПК, иначе производительность среды будет низкой.

Таким образом, Android Studio остаётся лучшим выбором для разработки под Android, несмотря на некоторые ограничения. Её функционал и интеграция с экосистемой Google делают её незаменимым инструментом для профессиональных разработчиков.

Eclipse

Eclipse IDE — это многофункциональная интегрированная среда разработки (IDE), поддерживающая широкий спектр языков программирования, включая Java, C++, Python, PHP и другие. Благодаря модульной архитектуре и возможности расширения функционала через плагины, Eclipse подходит как для начинающих, так и для профессиональных разработчиков [3].

Среда позволяет разрабатывать:

- Десктопные приложения
- Веб-приложения
- Мобильные приложения
- Программы для встроенных систем

Эта универсальность делает Eclipse популярным выбором среди разработчиков, работающих с разными технологиями и платформами.

Преимущества Eclipse:

- Бесплатность и открытый исходный код – свободное распространение и возможность модификации.
- Активное сообщество – множество ресурсов для обучения и оперативная техническая поддержка.
- Кроссплатформенность – работает на Windows, macOS и Linux.

- Гибкость и расширяемость – поддержка плагинов для дополнительного функционала.
- Интеграция с другими инструментами – совместимость с системами сборки, контроля версий и отладки.

Таким образом, Eclipse IDE остается востребованным инструментом благодаря своей адаптивности, открытости и широким возможностям для разработки программного обеспечения различного типа.

NetBeans IDE

NetBeans IDE представляет собой кроссплатформенную среду разработки с открытым исходным кодом, созданную сообществом NetBeans Community. Особенностью данной IDE является модульная архитектура, где весь функционал реализуется через систему плагинов, что обеспечивает поддержку множества языков программирования [4].

Основные возможности:

- Разработка нативных мобильных приложений на Java
- Создание веб-приложений с использованием HTML5, JavaScript и PHP
- Поддержка удаленной отладки через интернет-соединение
- Интеграция с системами контроля версий (GitHub, Mercurial, Subversion)
- Минимальные системные требования: 512 МБ ОЗУ (рекомендуется 2 ГБ)

Интерфейс NetBeans схож с Eclipse, но имеет некоторые отличия:

- Отсутствие встроенного окна отладки
- Наличие нумерации строк в редакторе кода
- Полностью настраиваемый рабочий стол

Преимущества:

- Кроссплатформенность (Windows, Linux, macOS)
- Компактный размер дистрибутива
- Интуитивно понятный интерфейс
- Функция автодополнения кода
- Поддержка CVS
- Гибкие настройки интерфейса

Недостатки:

- Отсутствие встроенной поддержки SVN
- Нет интерактивной справочной системы по языкам программирования
- Повышенное потребление памяти из-за Java-реализации
- Иногда некорректное автодополнение кода
- Отсутствие встроенных инструментов тестирования приложений

NetBeans IDE представляет собой легковесную и удобную среду разработки, особенно подходящую для начинающих программистов. Несмотря на некоторые ограничения, она остается популярным выбором благодаря простоте использования и кроссплатформенности. Однако для профессиональной разработки может потребоваться подключение дополнительных инструментов.

Таким образом, анализ средств разработки мобильных приложений[1-4] можно свести в таблицу, оценивая рассмотренные критерии по пятибалльной шкале[5, 6] (табл. 1.).

Таблица 1

Сравнительный анализ средств разработки мобильных приложений по 5-балльной шкале

Критерии оценки	Средства разработки мобильных приложений		
	AndroidStudio	Eclipse	NetBeansIDE
Функциональность	5	4	3
Удобство интерфейса	5	5	5
Возможность подключения дополнительных модулей	1	5	4
Требовательность к системе	1	5	4
Возможность подключения к системам контроля версий	1	1	5
Наличие встроенных компонентов тестирования приложения	3	1	1

Проведя сравнительный анализ трех разных средств разработки мобильных приложений, была выбрана AndroidStudio.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Как пользоваться Android Studio: руководство для начинающих [Электронный ресурс] // Сравни.ру. - URL: https://www.sravni.ru/kursy/info/kak-polzovatsya-android-studio/ (дата обращения: 01.05.2025).

2. Обзор Eclipse: возможности и особенности [Электронный ресурс] // Sky.pro. - URL: https://sky.pro/wiki/javascript/obzor-eclipse-vozmozhnosti-i-osobennosti/ (дата обращения: 01.05.2025).

3. Обзор NetBeans IDE [Электронный ресурс] // AboutIDE. - 2011. - 23 марта. - URL: https://aboutide.wordpress.com/2011/03/23/обзор-netbeans-ide/ (дата обращения: 01.05.2025).

4. Сравнительный анализ инструментов разработки мобильных приложений [Электронный ресурс] // Наука и технологии. - 2017. - №5. - URL: https://technology.snauka.ru/2017/05/13222 (дата обращения: 01.05.2025).

5. *Барков И.А.* Семантическое моделирование учебных задач в интеллектуальных образовательных средах / И.А. Барков, И.И. Бикмуллина // Вестник Казанского Государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2012. - №2. – С. 216-220. – EDN PUAQWL.

6. *Бикмуллина И.И.* Разработка методики автоматизированного синтеза информационных систем на основе семантических отношений предметной области / И.И. Бикмуллина, И.А. Барков, А.П. Кирпичников // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, №7. – С. 236-242. – EDN TUUIMZ.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DEVELOPMENT TOOLS FOR A MOBILE APPLICATION

Timakov N.S.

Supervisor: Bikmullina I.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan*)

Abstract. In this article, we will focus on tools for native development. Three of the most common development environments are selected as objects of analysis: Android Studio, Eclipse, and NetBeans IDE.

УДК 004

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТУРИСТИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Тимаков Н.С.

Научный руководитель: Бикмуллина И.И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. На сегодняшний день существует огромное разнообразие приложений для путешественников. Рассмотрим подробно преимущества и недостатки некоторых сервисов.

Введение

Приведем обзор средств разработки для мобильного ПО:

izi.TRAVEL — приложение помогает путешествовать по всему миру. В izi.travel хранятся аудиогиды по достопримечательностям [1]. Данное приложение можно сравнить с сервисом YouTube, с той лишь разницей, что в сервисе YouTube хранятся в основном видео материалы, а в izi.travel, хранятся аудио материалы в виде аудиогидов, викторин, квестов.

К достоинствам приложения можно отнести:

- присутствует аудиогид;
- показывает интересные места на карте рядом с пользователем;
- фотографии достопримечательностей;
- добавление места в избранное.

К недостаткам приложения можно отнести:

- нет оценки от пользователей;
- нет комментариев;
- нет возможности добавлять новые места.

Пример работы приложения приведен на рисунке 1.

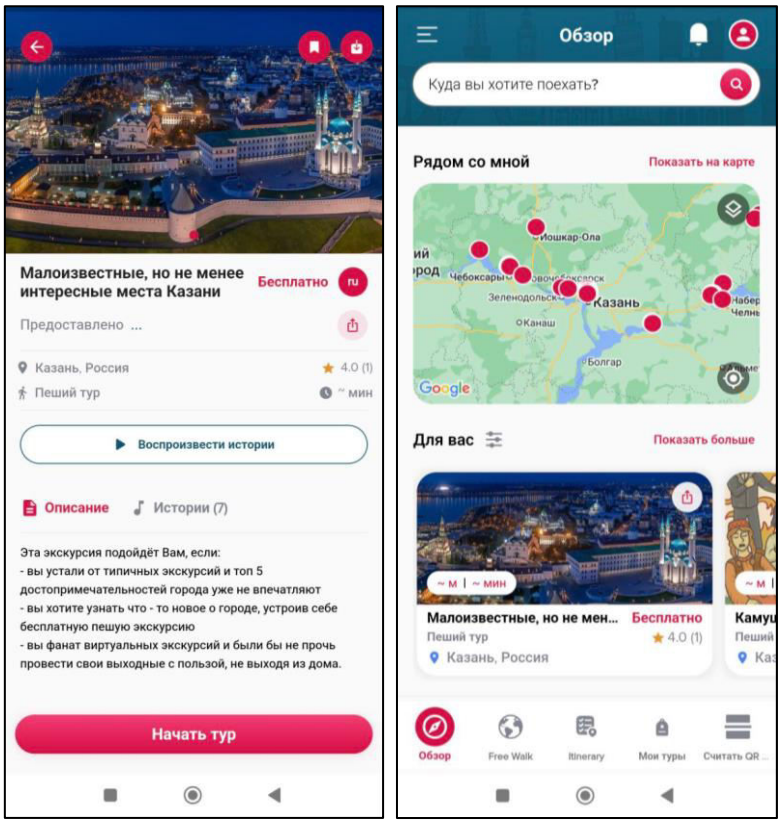


Рисунок 1. Работа приложения izi.TRAVEL

TripAdviser – это мобильное приложение, которое поможет обосноваться в незнакомом

городе и сэкономить деньги. Оно позволяет спланировать поездку, ознакомиться с местными достопримечательностями и забронировать номер в гостинице или столик в ресторане по выгодным ценам. Сервис сотрудничает с туристическими центрами, отелями и ресторанами, поэтому в приложении размещена самая свежая и актуальная информация. TripAdvisor охватывает 45 стран мира и продолжает расширение.

К достоинствам приложения можно отнести:

- планирование поездок;
- добавление новых мест пользователем;
- оставление отзывов.

К недостаткам приложения можно отнести:

- нет карты с интересными местами поблизости.

Пример работы приложения приведен на рисунке 2.

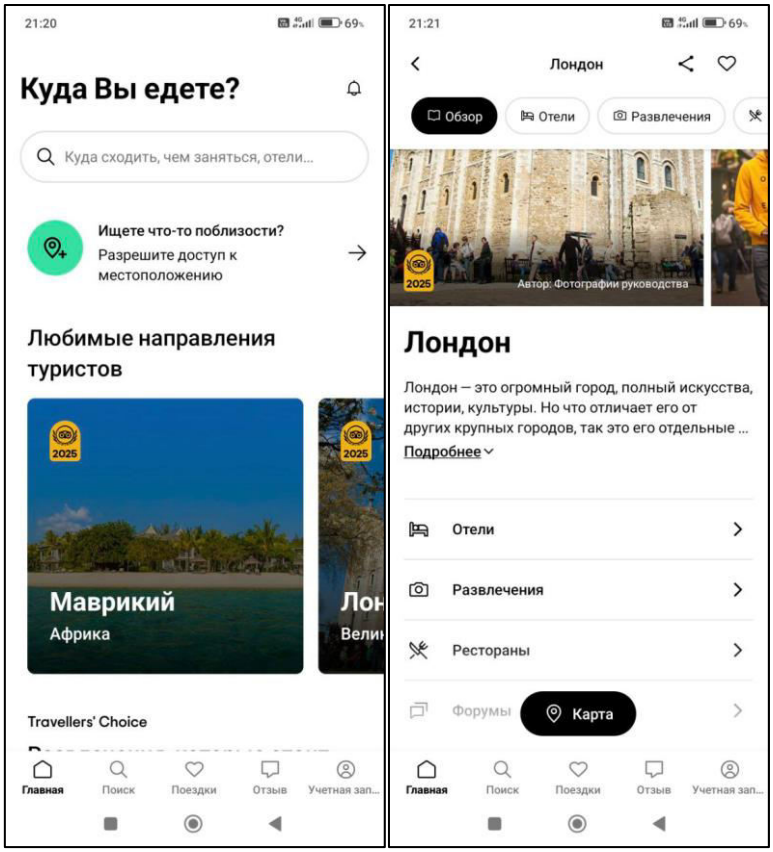


Рисунок 2. Работа приложения TripAdvisor

Rome2Rio – предлагает путешественникам самолеты, поезда, автобусы, паромы, путешествие на арендованном автомобиле, на такси, знает, как работает общественный транспорт внутри почти любого города, знает пешеходные тропы и дороги, разобьет ваш путь на этапы и расскажет, какой фрагмент путешествия на каком транспорте лучше преодолеть. Кроме того, сайт укажет точные или примерные цены, в том числе рассчитает стоимость топлива, если вы путешествуете на автомобиле, определит время вашей поездки.

К достоинствам приложения можно отнести:

- Планирование поездок
- Прокладывание оптимального маршрута до места
- Подсчет примерной цены за поездку

К недостаткам приложения можно отнести:

- Нет русского языка
- Нет записей об интересных местах
- Нет отзывов

Пример работы приложения приведен на рисунке 3.

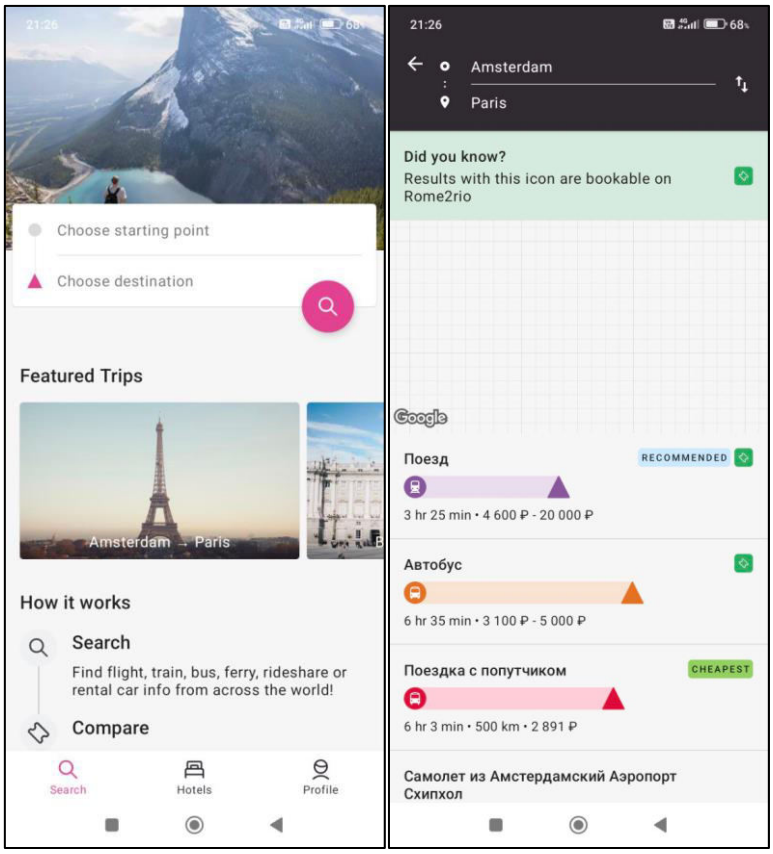


Рисунок 3. Работа приложения Rome2Rio

Сведем все характеристики[1-3] приложений в сравнительная таблицу 1. И укажем те характеристики создаваемого приложения «Путеводитель по городу», которые будут реализованы.

Таблица 1

Сравнительная таблица мобильных приложений для путешественников

Характеристика	izi.TRAVEL	TripAdvisor	Rome2Rio	**Путеводитель по городу (Собственная разработка)**
Платформы	Android, iOS	Android, iOS	Android, iOS	Android, IOS
Возможность оставлять отзывы о местах	Нет	Есть	Нет	Есть
Возможность добавлять новые места пользователем	Нет	Есть	Нет	Есть
Возможность оценить место	Нет	Нет	Нет	Есть
Есть аудиогид	Есть	Нет	Нет	Нет
Прокладывание маршрута	Нет	Нет	Есть	Нет
Планирование поездок	Нет	Есть	Есть	Есть
Реклама	Есть	Есть	Есть	Нет
Поддержка русского языка	Есть	Есть	Нет	Есть

Проведя сравнительный анализ, можно сделать вывод о том, что приложение «Путеводитель по городу» не будет уступать по возможностям своим аналогам, а в некоторых моментах даже превосходить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Livetyping.com: мобильные приложения для туризма [Электронный ресурс]. – URL: https://livetyping.com/ru/mobilnye-prilozheniya-dlya-turizma (дата обращения: 01.05.2025).

2. *Барков И.А.* Семантическое моделирование учебных задач в интеллектуальных образовательных средах / И.А. Барков, И.И. Бикмуллина // Вестник Казанского Государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2012. - №2. – С. 216-220. – EDN PUAQWL.

3. *Бикмуллина И.И.* Разработка методики автоматизированного синтеза информационных систем на основе семантических отношений предметной области / И.И. Бикмуллина, И.А. Барков, А.П. Кирпичников // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, №7. – С. 236-242. – EDN TUUIMZ.

COMPARATIVE ANALYSIS OF TRAVEL APPLICATIONS

Timakov N.S.

Supervisor: Bikmullina I.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. Today, there is a huge variety of applications for travelers. Let's take a closer look at the advantages and disadvantages of some services.

УДК 004

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТОВ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ

Тишина Т.С.

Научный руководитель: Бикмуллина И. И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. Для разработки мобильных приложений существует множество инструментов и платформ. Рассмотрим возможные варианты инструментов разработки и выберем наиболее подходящий вариант.

Введение

Рассмотрев существующие системы и проанализировав вопрос удобства пользователей, был сделан вывод, что наиболее предпочитаемым будет разработка мобильного приложения, нежели сайта или десктоп-приложения, так как мобильный телефон является неотъемлемой частью жизненной деятельности человека и доступ к единому приложению наиболее удобен.

Следовательно, необходимо рассмотреть платформы, с помощью которых возможно разработать приложение. Из наиболее популярных и распространённых платформ можно выделить Flutter, Xamarin, React Native и Android Studio. Рассмотрим каждую отдельно.

Flutter является фреймворком и комплексом средств разработки, созданным Google. Платформа дает возможность разработки для операционных систем Android и iOS на языке Dart [1].

Xamarin является инструментом разработки для операционных систем Android и iOS на основе .Net на языке C# с помощью среды разработки Visual Studio [2].

React Native - разработанный Facebook кросплатформенный инструмент разработки, позволяющий создавать приложения с помощью JavaScript и React [3].

Android Studio - один из самых популярных инструментов для создания мобильных приложений. Заточен под операционную систему Android. Поддерживает такие языки программирования, как Java и Kotlin [4].

Наглядно рассмотрим разницу инструментов в таблице 1:

Таблица 1

Сравнительный анализ инструментов разработки

Характеристика	**Flutter**	**Xamarin**	**React Native**	**Android Studio**
Платформа	Android и iOS	Android и iOS	Android и iOS	Android
Язык программирования	Dart	C#	JavaScript	Java и Kotlin
Поддержка	Растущее сообщество	Достаточно большое сообщество	Достаточно большое сообщество	Очень большое сообщество, много информации и уроков
Архитектура	Виджет-ориентированная	MVVM, MVC	Компонент-ориентированная	MVVM, MVC, MVP
Сложность отладки	Простая	Умеренная	Умеренная	Простая
Для каких целей чаще используют	Электронная коммерция, образовательные программы, IoT	Корпоративные приложения, Бизнес и финансы, здравоохранение	Социальные сети, контент и медиа, Приложения для путешествий	Приложения для обработки видео материалов, Банковские приложения, IoT

Теперь рассмотрим выбор инструмента разработки.

Целевая платформа - Android, поэтому в данном пункте подходят все инструменты.

Поддержка является одной из важных характеристик при выборе системы, потому что чем больше и дольше история развития инструмента, тем больше информации и различных источников существует для изучения, тем стремительнее развивается и поддерживается сама платформа. В этом случае выигрывает Android Studio.

В программировании для описания архитектур используются различные шаблоны проектирования. Были выведены следующие принципиальные архитектурные шаблоны проектирования приложений: MVC, MVVM, MVP. Перечисленные шаблоны отличаются лишь незначительными нюансами принципов взаимодействия структурных частей программы между собой. Общий принцип заключается в четком разделении данных, логики и визуальной составляющей программы.

Вопрос архитектуры рассмотрим чуть детальнее.

Виджет-ориентированная архитектура. В этой архитектуре интерфейс выстраивается на основе UI-элементов (виджетов). Каждый виджет отвечает за свою часть экрана и имеет собственную логику отображения и обработки событий [5].

Компонент-ориентированная архитектура. Приложение разбивается на независимые компоненты, которые можно переиспользовать. Каждый компонент скрывает свою логику, состояние и внешний вид. Компоненты взаимодействуют друг с другом через интерфейсы [8].

MVVM (Model-View-ViewModel), MVC (Model-View-Controller) и MVP (Model-View-Presenter) являются трехслойными архитектурами, где

Model - бизнес-логика и работа с данными;

View - работа с пользователем, интерфейс.

Отличие заключается в третьем компоненте.

Controller (MVC): Получает пользовательский ввод и обновляет Model и View. При этом View может напрямую обращаться к Model. Controller часто становится “толстым”, так как содержит логику обновления и контроля работы View и Model [5].

Presenter (MVP): Получает пользовательский ввод и обновляет Model, после получения ответа из Model форматирует данные и снова передает во View. View в этом случае пассивен и отвечает только за отображение информации [5].

ViewModel (MVVM): Не получает пользовательский ввод напрямую. View как бы привязывается к ViewModel, вызывая его свойства, благодаря чему обновляется автоматически. ViewModel отвечает за подготовку данных для View [5].

Android Studio в данном случае предоставляет более широкий выбор архитектур.

Частота использования инструментов в той или иной сфере не является таким уж значимым в данном контексте, так как каждый инструмент при желании можно настроить под необходимые потребности. К тому же, если рассматривать каждый из рассматриваемых инструментов, то можно понять, что все они используются в довольно широком диапазоне тематик.

Делая выбор на основе распространения, простоты обучения и большой базы поддержки, имеет смысл остановаться на Android Studio.

Так как Android Studio дает возможность разработки сразу на двух языках, кратко рассмотрим каждый из них.

Java имеет долгую историю, которая начинается еще в 1995 году. Язык имеет довольно сильную устоявшуюся аудиторию и поддержку, для него существует обширная база библиотек и шаблонов. Основным его плюсом является его скорость и производительность, из минусов - сложность написания кода [6].

Kotlin - относительно молодой язык, представленный в 2011 году. Можно назвать его потомком Java. Он является более простым и легким, позволяет писать более «чистый код» [6].

В данном случае можно не зацикливаться на выборе языка, так как Android Studio предоставляет возможность одновременного использования обоих языков в одном приложении, так как код на Kotlin полностью совместим с кодом на Java.

Последним рассматриваемым элементом является база данных [7-8]. Хранение данных также важным аспектом. Затрагивая тему баз данных, необходимо отметить, что выбор оной является достаточно сложной задачей. Нужно учитывать множество факторов для выбора типа используемой базы, что, собственно, зависит от того, какого типа данные нам необходимо хранить, какой будет поток запросов к базе и так далее. Основной выбор строится на том, выбрать ли нам табличную форму хранения, то есть реляционную базу данных, либо нереляционную, при выборе которой придётся задуматься о том, в какой же виде нам будет удобнее хранить данные: в формате ключ-значение, в виде колонок, документов или каким-либо другим образом.

В Android Studio есть возможность настроить простую интеграцию с облачной документоориентированной базой данных Firebase, что позволит обрабатывать запросы от многих пользователей одновременно в реальном времени.

Также, Firebase располагает хранилищем данных, в котором будет возможно хранить медиа файлы, отчеты и другие подобные материалы.

В таблице 2 отобразим набор выбранных инструментов.

Таблица 2

Выбранные инструменты

Характеристика	Выбранное средство	Причина
Платформа	Android Studio	Большое постоянно развивающееся сообщество, постоянная поддержка
Язык программирования	Java	Надежный язык с устоявшейся базой и поддержкой
Архитектура	MVVM	Автоматическое подтягивание и обновление информации с помощью data binding
База данных	Firebase Realtime Database	Встроенное хранилище для содержания нестандартных типов данных, например, изображений, работа в реальном времени, хорошие инструменты защиты и аутентификации пользователей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Алеев А*. Быстрый старт Flutter-разработчика / А. Алеев. - Москва : Питер, 2021. - 368 с.

2. *Xamarin Е.Д*. Разработка Android-приложений на C# с использованием Xamarin с нуля / Е. Д. Умрихин. - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2021. - 336 с.

3. *Boduch A*. React and React Native / A. Boduch, R. Derks. – Birmingham : Packt Publishing, 2020. - 526 с.

4. *Пирская Л.*В. Разработка мобильных приложений в среде Android Studio / Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2019. - 125 с.

5. *Ferrer Garcia, R*. iOS Architecture Patterns: MVC, MVP, MVVM, VIPER, and VIP in Swift / R. Ferrer Garcia. - New York : Apress, 2023. - 409 p.

6. *Макгрегор Д*. От Java к Kotlin. Руководство по рефакторингу / Д. Макгрегор, Н. Прайс. - Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2021. - 441 с.

7. *Бикмуллина И.И.* Модели кодирования и преобразования информации / И.И. Бикмуллина, М.П. Шлеймович, И.С. Ризаев. – Казань : Мастер Лайн, 2019. – 218 с.

8. *Бикмуллина И.И.* Разработка методики автоматизированного синтеза информационных систем на основе семантических отношений предметной области / И.И. Бикмуллина, И.А. Барков, А.П. Кирпичников // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, №7. – С. 236-242. – EDN TUUIMZ.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SYSTEM DEVELOPMENT TOOLS

Tishina T.S.

Supervisor: Bikmullina I. I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan*)

Abstract. There are many tools and platforms for developing mobile applications. Let's look at the possible options for development tools and choose the most appropriate option.

УДК 004

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Тишина Т.С.
Научный руководитель: Бикмуллина И.И., доцент, кандидат технических наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Существует множество приложений и сайтов, которые достойны внимания, и которые есть необходимость проанализировать, выявить их отличительные черты, достоинства и недостатки, чтобы разработать достойный аналог, который будет отражать все лучшие черты проанализированных программных средств. В этой работе мы рассмотрим одни из наиболее известных и посещаемых.

Введение

Тема экологии является одной из самых часто затрагиваемых в различных источниках. Существует множество журналов, книг, статей и телепередач, посвящённых экологической проблеме. Кроме того, благодаря большому количеству подобных источников, есть возможность рассмотреть некоторые нюансы со всех сторон.

В последние годы цифровые решения для изучения и улучшения состояния окружающей среды привлекают все большее внимание, использование технологий для решения экологических проблем имеет все более обширное распространение. Этот растущий интерес подтверждается как научными исследованиями, так и практическим опытом.

Одним из центральных направлений является исследование преимуществ мобильных приложений как инструментов повышения экологической осведомленности. То есть, использование приложений как точки распространения информации среди людей.

Например, работа «Digital Technologies and Environmental Sustainability» (2020) [1] описывает успешное применение мобильных технологий в экологическом образовании, подчеркивая способность приложений предоставлять актуальную информацию о состоянии экологии в реальном времени и предлагать интерактивные функции, такие как отслеживание углеродного следа. Эти возможности значительно повышают осведомленность пользователей и способствуют формированию более ответственного отношения к окружающей среде. Кроме того, приложения позволяют визуализировать влияние ежедневных действий на экологию, делая проблему более ощутимой и мотивируя к изменениям.

Статья «The Role of Social Media in Environmental Movements» (2019) [2] анализирует, как цифровые платформы, включая мобильные приложения, способствуют укреплению связей между активистами, облегчая организацию мероприятий и акций, обмен информацией и координацию усилий. Интеграция социальных функций, таких как возможность делиться достижениями, создавать группы по интересам и организовывать совместные проекты, значительно увеличивает масштаб и эффективность экологических инициатив. Это говорит о том, что у людей есть острая необходимость в поддержке их интересов, необходима компания и чувство принадлежности, чем может стать сообщество, которое соберется внутри приложения.

Важным аспектом является влияние современных технологий на изменение поведения пользователей. Исследование «Behavioral Change through Mobile Applications: A Review» (2021) [3] рассматривает методы эффективного формирования экологически устойчивых поведенческих моделей. Особое внимание уделяется геймификации как способу повышения вовлеченности, создающему ощущение достижения и соревнования, мотивирующему к активным действиям. Примерами могут служить приложения, начисляющие баллы за экологически дружественные действия, предлагающие задания и конкурсы, а также позволяющие сравнивать свои результаты с результатами других пользователей. То есть, с помощью некоторой условной поддержки пользователей в виде поощрения с помощью начисления баллов за их действия, будет вырабатываться положительная реакция со стороны

пользователи и некая «привычка», которая сподвигнет пользователя использовать приложение чаще.

В целом, рассмотренные материалы убедительно демонстрирует значительный потенциал мобильных приложений в поддержке экологических сообществ, повышении осведомленности и стимулировании экологически ответственного поведения. Помимо прочего, на основе технических и программных средств можно составлять отчёты, проводить оповещение граждан о различных экстренных ситуациях и выполнять ещё много других интересных задач. Исходя из этого, необходимо провести анализ средств и методов разработки, а также рассмотреть аналогичные приложения, для полного видения картины, чтобы понимать на что же всё-таки следует опираться при разработке приложения.

Ecolife

Тип: Веб приложение.

Происхождение: Иностранная платформа.

Назначение: Помогает пользователям осознавать свой вклад в углеродные выбросы, предлагает практические советы по уменьшению углеродного следа.

Основной функционал:

- Обучение пользователей экологическим практикам;
- Предоставление информации о минимизации отходов и устойчивом потреблении;
- Мониторинг личного воздействия на окружающую среду через предлагаемые инструменты и советы.

Плюсы:

- Удобный интерфейс и навигация.
- Широкая база данных обучающих материалов.
- Интерактивные функции для отслеживания личных экологических действий.

Поддержка сообщества через форумы и дискуссионные площадки.

Минусы:

- Ограниченные функции в бесплатной версии.
- Некоторые разделы могут быть перегружены информацией.
- Отсутствие аналитики данных, петиций и мероприятий.

Greenpeace

Тип: Веб приложение.

Происхождение: Иностранная платформа.

Назначение: Предоставляет актуальную информацию о проблемах экологии, организует акции и петиции для защиты окружающей среды

Основной функционал:

- Информирование и активация общественности по вопросам экологической политики;
- Организация кампаний против загрязнения и изменения климата;
- Привлечение средств в поддержку экологических проектов и исследований.

Плюсы:

- Широкий охват экологических тем и инициатив.
- Возможность участия в глобальных кампаниях и подписания петиций.
- Поддержка обновлений по актуальным вопросам экологии.

Минусы:

- Ограниченные интерактивные возможности.
- Меньшее внимание к локальным проблемам, таким как проблема экологии в конкретных городах/районах.

«Эко-трекер»

Тип: Мобильное приложение.

Происхождение: Российская платформа.

Назначение: Приложение предлагает внедрять в жизнь экологические привычки: сортировать мусор, экономить потребление воды и электроэнергии, ходить пешком вместо поездки на авто и т.д. Приложение позволяет контролировать прогресс и постепенно внедрять новые привычки.

Основной функционал:

- Отслеживание уровня углеродных выбросов пользователей;
- Предоставление советов по уменьшению воздействия на природу;
- Создание сообщества экологически осознанных людей, делящихся опытом и находками.

Плюсы:

- Удобство в отслеживании личных экологических привычек и целей.
- Подходит для пользователей, которые только начали заниматься проблемами экологии.
- Интерактивные графики и статистика по личному прогрессу.

Минусы:

- Меньшее количество обучающих материалов по сравнению с конкурирующими платформами.
- Большая нацеленность на личные привычки пользователей.
- Возможно, стоит уделить большее внимание к общей статистике экологии.

TrashOut

Тип: Мобильное приложение.

Происхождение: Российская платформа.

Назначение: В приложении можно указывать на карте места несанкционированных свалок, скопления строительного и другого мусора. Достаточно сделать одно или несколько фото, а GPS точно определит координаты и внесёт их в систему.

Основной функционал:

- Позволяет пользователям сообщать о проблемах с отходами и свалками;
- Сбор данных, которые помогают властям в решении проблемы управления отходами;
- Поддержка просветительской работы о важности правильной утилизации.

Плюсы:

- Фокус на проблемах утилизации отходов и активном вовлечении пользователей.
- Возможность сообщать о незаконных свалках и получать помощь.
- Хорошая интеграция с картографическими системами.

Минусы:

- Ограниченное взаимодействие с другими пользователями.
- Отсутствие статистики и мероприятий.
- Иногда может быть недостаточно информации о способах утилизации.

«Наша природа»

Тип: Мобильное приложение.

Происхождение: Российская платформа.

Назначение: Официальный софт от Министерства природных ресурсов и экологии РФ. С его помощью пользователи могут сообщать в органы власти об экологических нарушениях и проблемах. Можно сделать фото или снять видео, добавить пояснение и указать местоположение объекта.

Основной функционал:

- Информирование о текущих экологических проблемах и инициативах;
- Обеспечение платформы для обсуждения и обмена знаниями о защите окружающей среды;
- Организация акций и мероприятий для содействия улучшению окружающей среды.

Плюсы:

- Местная направленность и акцент на локальные экопроблемы.
- Поддержка сообществ и мероприятий на уровне района.
- Информирование о природных ресурсах и заповедниках.

Минусы:

- Ограниченный функционал для отслеживания целей.
- Меньшая база данных по сравнению с международными платформами.
- Отсутствие современных технологических возможностей (например, аналитики).

Отобразим данные в виде таблицы 1:

Таблица 1

Сравнительный анализ систем

Продукт	**Обучающий модуль**	**Петиции и мероприятия**	**Отслеживание траты ресурсов**	**Поиск мест переработки**	**Модуль отчётности и статистики**
Ecolife	+	-	+	-	-
Greenpeace	+	+	-	-	+
Эко-трекер	+	-	+	-	+
TrashOut	+	-	-	+	-
Наша природа	+	+	-	-	-
GreenWorld (Собственная разработка)	**+**	**+**	**+**	**+**	**+**

По итогам анализа программных средств, можно сделать вывод, что большинство программ ориентируется на определённый аспект экологии, будь то утилизация отходов или информационный ресурс для простого погружения в тему.

В рамках цифровизации происходит масштабное внедрение технологий искусственного интеллекта. Это означает использование интеллектуальных компьютерных программ для решения различных задач [4,5].

Но основная проблема людей заключается в том, что поиск необходимой информации часто вызывает проблемы и дальнейшее нежелание погружаться в тему, поэтому необходимо отразить в разрабатываемом приложении то необходимое количество функций, имея которые, можно будет уверенно считать, что пользователи будут достаточно заинтересованны и увлечены выбранной тематикой. Предполагается, что в одном приложении будут собраны все надлежащие для достаточного внедрения пользователей в эко активную позицию функции и возможности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Chen X.* Digital Technologies and Environmental Sustainability / X. Chen // Computers in Human Behavior. - 2020. - с. 1-32.

2. The Role of Social Media in Environmental Movements – URL: https://www.researchgate.net/publication/46672 (дата обращения: 10.02.2025).

3. *Martinson Q.* Behavioral Change through Mobile Applications: A Review / Q. Martinson, F. Omar // Optimizing Health Monitoring Systems With Wireless Technology. - 2021. - с. 130-154.

4. *Бикмуллина И.И.* Модели кодирования и преобразования информации / И.И. Бикмуллина, М.П. Шлеймович, И.С. Ризаев. – Казань : Мастер Лайн, 2019. – 218 с.

5. *Бикмуллина И.И.* Разработка методики автоматизированного синтеза информационных систем на основе семантических отношений предметной области / И.И. Бикмуллина, И.А. Барков, А.П. Кирпичников // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, №7. – С. 236-242. – EDN TUUIMZ.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ECOLOGICAL SYSTEMS

Tishina T.S.
Supervisor: Bikmullina I. I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. There are many applications and websites that are worthy of attention, and which need to be analyzed, to identify their distinctive features, advantages and disadvantages in order to develop a worthy analogue that will reflect all the best features of the analyzed software. In this paper, we will look at some of the most famous and visited ones.

УДК 004

УЛУЧШЕНИЕ УРОВНЯ ОБРАЗОВАНИЯ В УЧЕБНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ CRM-СИСТЕМ И ВЕБ-РЕСУРСОВ

Тюрин А.В.
Научный руководитель: Аппалонова Н.А., доцент, к. э. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена вопросам повышения качества образования в учебных учреждениях через цифровую трансформацию управления. Рассматриваются возможности и преимущества внедрения CRM-систем и web-ресурсов как инструментов повышения эффективности образовательного процесса. В качестве примера приводится опыт одного из современных образовательных центров, успешно реализовавшего цифровые решения в своей деятельности.

Современные образовательные учреждения сталкиваются с необходимостью повысить гибкость, прозрачность и персонализированность образовательного процесса. Для решения этих задач активно применяются цифровые технологии — в частности, CRM-системы и web-ресурсы. Их внедрение позволяет не только улучшить административное управление, но и существенно повысить вовлечённость обучающихся, качество сервиса и скорость принятия решений.

Современные вызовы, стоящие перед системой образования, требуют пересмотра традиционных подходов к управлению, обучению и взаимодействию с обучающимися. В условиях цифровой трансформации экономика и общество предъявляют к образовательным учреждениям новые требования: гибкость, прозрачность процессов, персонализированный подход и высокую адаптивность. Эти задачи невозможно решить без использования современных информационных технологий.

Цифровизация образования — это системный процесс внедрения и интеграции цифровых решений в управленческие, образовательные и коммуникационные процессы учебного учреждения. В отличие от автоматизации, которая касается лишь частичной замены ручного труда на машинную обработку, цифровизация подразумевает качественное преобразование всей архитектуры управления и взаимодействия в образовательной среде.

Одними из ключевых инструментов цифровой трансформации в образовательных учреждениях сегодня становятся:

1. CRM-системы (Customer Relationship Management) — программные решения, ориентированные на управление взаимоотношениями с различными категориями участников образовательного процесса (обучающимися, родителями, преподавателями, контрагентами). Такие системы позволяют систематизировать взаимодействие, выстраивать персонифицированную коммуникацию, фиксировать обратную связь, а также анализировать вовлечённость и удовлетворённость пользователей.

2. Web-ресурсы — сайты, онлайн-платформы, личные кабинеты и другие цифровые интерфейсы, обеспечивающие открытость, оперативность и удобство получения информации, услуг и образовательного контента. Веб-ресурсы служат не только витриной учреждения, но и полноценным управленческим инструментом, особенно при наличии интеграции с CRM, бухгалтерией, платформами дистанционного обучения и системами аналитики.

Цифровизация позволяет:

1. Повысить управляемость за счёт прозрачности и автоматизации процессов;
2. Оптимизировать ресурсы (время, финансы, человеческий капитал);
3. Обеспечить контроль качества образования и обратную связь;
4. Сократить информационные разрывы между участниками образовательного процесса;
5. Развивать индивидуальные траектории обучения, адаптируя образовательный процесс под возможности и цели каждого учащегося.

С теоретической точки зрения, цифровизация образования представляет собой пересечение трёх ключевых областей:

1. Управление знаниями (Knowledge Management) — накопление, структурирование и использование образовательной информации;
2. Цифровое управление (Digital Governance) — применение цифровых решений в принятии управленческих решений и координации процессов;
3. Клиентоориентированность — подход, при котором обучающийся и его путь становятся центральным объектом внимания всей цифровой системы.

CRM-системы (системы управления взаимоотношениями с клиентами) в традиционном бизнесе применяются для оптимизации процессов привлечения, удержания и сопровождения клиентов. Однако в последние годы они всё шире находят применение в образовательной сфере — как в высших учебных заведениях, так и в учреждениях дополнительного, среднего профессионального и общего образования.

Особенность образовательной CRM-системы заключается в том, что «клиентами» здесь выступают не только обучающиеся, но и родители, преподаватели, партнёрские организации, спонсоры, выпускники. Это формирует сложную многоуровневую структуру взаимодействия, требующую систематизации и цифровой поддержки.

Основные функции CRM в образовании:

1. Управление жизненным циклом обучающегося:
1. регистрация и приём заявок;
2. отслеживание истории обучения и успеваемости;
3. фиксация достижений, участия в проектах, олимпиадах;
4. сопровождение до завершения обучения и далее (как выпускника).
2. Автоматизация коммуникаций:
1. рассылка уведомлений, расписаний, напоминаний;
2. отправка персонализированных предложений (например, о выборе элективов, курсов повышения квалификации);
3. систематизация всех видов обращений (вопросы, жалобы, отзывы, предложения).
3. Управление обратной связью:
1. анкетирование студентов и родителей;
2. анализ удовлетворенности качеством преподавания и организации учебного процесса;
3. выявление «слабых звеньев» в управлении и преподавании.
4. Аналитика вовлечённости и успеваемости:
1. формирование отчётов по участию обучающихся в программах, активности в цифровой среде;
2. визуализация данных для управленческих решений;
3. прогнозирование рисков отсева, снижения мотивации и др.

Преимущества внедрения CRM в учебных учреждениях:

1. Персонализация взаимодействия: CRM позволяет учитывать индивидуальные особенности каждого обучающегося, предлагать адаптированные форматы взаимодействия, поддерживать обратную связь.
2. Снижение нагрузки на административный персонал: автоматизация рутинных задач (приём заявок, напоминания, работа с обращениями) освобождает ресурсы для более сложных управленческих функций.
3. Повышение прозрачности управления: наличие единой базы данных, доступной различным подразделениям, позволяет сократить дублирование информации, повысить согласованность действий и оперативность.
4. Укрепление партнёрских отношений: с помощью CRM можно выстраивать системную работу с внешними контрагентами — компаниями, родительским сообществом, фондами и т.п.

Реализация цифровых решений в образовательной среде постепенно переходит из стадии экспериментального внедрения к повседневной практике. Ряд учебных организаций — как государственные, так и частные — уже продемонстрировали, что грамотная интеграция CRM-систем и web-инфраструктуры способна заметно изменить динамику развития учреждения, повысить вовлечённость участников образовательного процесса и существенно упростить управленческие процедуры. Особенно значительные изменения происходят в тех учреждениях, где образовательная деятельность сочетается с проектной, организационной или сервисной функцией — например, в инженерных школах, центрах дополнительного образования, детских технопарках и платформах, взаимодействующих с родителями и внешними партнёрами.

На практике цифровизация начинается с самых заметных и ресурсозатратных процессов — регистрации учащихся, сбора оплаты, формирования расписаний, ведения отчетности. В этих точках сосредоточено множество рутинных действий, связанных с большим объёмом данных и высокой частотой ошибок, возникающих из-за человеческого фактора. После внедрения базовой инфраструктуры, включающей в себя CRM-систему и функциональный веб-сайт, учреждение получает возможность выстраивать более целостную модель управления. CRM позволяет не просто регистрировать учащихся, но и сопровождать их по всей образовательной траектории, отслеживать успеваемость, взаимодействие с преподавателями, участие в мероприятиях. Сайт, в свою очередь, превращается из информационной витрины в полноценную цифровую платформу: через него осуществляется приём заявок, сбор обратной связи, размещение расписаний, проведение анкетирования, а также подключение к онлайн-курсам и электронным дневникам.

Пример внедрения подобной цифровой архитектуры в одной из региональных образовательных организаций, ориентированных на техническое и инженерное образование, показал, что за период в два года удалось добиться значительного прогресса. Рост количества участников образовательных программ составил порядка 40%, а доля повторных обращений и регистраций — более 50%, что свидетельствует о росте лояльности. Существенно возросли и финансовые показатели: объём платных образовательных услуг увеличился почти на три четверти, при этом расходы на административный персонал остались на прежнем уровне благодаря снижению операционной нагрузки. Кроме того, внутренняя культура организации претерпела важные изменения — от бумажного документооборота и ручных таблиц к централизованной системе учёта, управляемой по ключевым показателям в режиме реального времени.

Однако, несмотря на положительный опыт, цифровизация образования сопряжена с рядом вызовов и ограничений. Первым и самым очевидным барьером становятся затраты: закупка, настройка и сопровождение цифровых решений требует вложений, особенно на старте. Учебные заведения, как правило, не располагают значительными ИТ-бюджетами, а переход на облачные модели оплаты (например, по подписке) или использование открытых платформ может потребовать высокой квалификации специалистов. Кроме того, цифровая

трансформация неизбежно затрагивает персонал, который должен не только освоить новые инструменты, но и изменить сам подход к выполнению своих задач. Без соответствующего обучения и изменения организационной культуры внедрение даже самой прогрессивной системы может столкнуться с пассивным сопротивлением или недоверием сотрудников.

Особого внимания требует и вопрос информационной безопасности. Работа с персональными данными учащихся, учёт платежей, фиксация образовательных результатов — всё это требует защиты от внешних угроз, чёткой регламентации доступа и соблюдения правовых норм. Здесь важна не только техническая надёжность, но и выстраивание политики кибергигиены внутри организации.

Тем не менее, правильно выстроенный процесс цифровизации приносит долгосрочные и устойчивые эффекты. Становится возможным управление на основе объективных данных, а не субъективных оценок; появляется реальное понимание того, как функционирует организация, в каких зонах наблюдаются отклонения и где скрыты точки роста. Возникает гибкость, столь необходимая в современном образовательном ландшафте, подверженном постоянным изменениям — от требований регуляторов до ожиданий со стороны учащихся и их родителей. Цифровые инструменты позволяют быстрее адаптироваться, перераспределять ресурсы, выявлять закономерности и выстраивать стратегию на основе фактов.

Таким образом, опыт практического внедрения CRM-систем [1-6] и web-платформ [7] показывает, что цифровая трансформация образования — это не просто смена технологий, а фундаментальное изменение логики управления. При ответственном подходе цифровизация позволяет преодолеть фрагментарность процессов, повысить вовлечённость участников, усилить прозрачность и, в конечном итоге, сделать образование более современным, доступным и качественным.

Цифровая трансформация управления в образовательных учреждениях — это не модный тренд, а стратегическая необходимость, обусловленная требованиями времени и ожиданиями пользователей. Внедрение CRM-систем и web-ресурсов способствует росту качества образования, улучшению коммуникаций и оптимизации внутренних процессов. Практический опыт отдельных организаций подтверждает высокую эффективность этих решений при грамотной интеграции и адаптации, а также их положительное влияние на устойчивое развитие образовательной среды.

В современных условиях именно цифровые инструменты позволяют учебным заведениям сохранять конкурентоспособность, эффективно взаимодействовать с различными группами участников, расширять спектр образовательных услуг и оперативно адаптироваться к внешним изменениям. Перспективность внедрения CRM и web-решений заключается не только в повышении управленческой эффективности, но и в создании основ для дальнейшего развития персонализированного и гибкого образования, ориентированного на потребности каждого обучающегося.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville* – Deep Learning [Электронный ресурс] / «deeplearningbook.org». – Режим доступа: https://www.deeplearningbook.org, (дата обращения: 01.02.2025).

2. *Афанасьев М.Ю*. Информационные технологии в управлении образовательной организацией [Электронный ресурс] / Современные технологии в образовании. – Режим доступа: https://edu-techjournal.ru/article/afan2021-it, (дата обращения: 01.07.2025).

3. *Лапидус В.А., Гаранин А.Н*. — CRM-системы: теория и практика управления взаимоотношениями с клиентами. — М.: Инфра-М, 2020. — 224 с.

4. *Соловьев Д.А*. — Цифровая трансформация образования: возможности и вызовы [Электронный ресурс] / Образовательные технологии и общество. – Режим доступа: https://journal.edutech.ru/article/soloviev-digital2022, (дата обращения: 01.07.2025).

5. *Щукин А.Н.* — Управление образовательными учреждениями в условиях цифровизации экономики [Электронный ресурс] / Вестник цифровой экономики. – Режим доступа: https://cyberedu.ru/articles/management-2021, (дата обращения: 01.07.2025).

6. *Ивашкин В.Ю., Печенкина Е. В.* — Информационные системы в управлении: ERP, CRM и BI в образовательной среде. — Казань: Казанский федеральный университет, 2020. — 128 с.

7. *Портнов Д.А.* — Web-ресурсы как основа цифровой среды образовательного учреждения [Электронный ресурс] / Электронное образование в России. – Режим доступа: https://eledujournal.ru/articles/portnov-web2023, (дата обращения: 01.07.2025).

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Tyurin A.V.

Supervisors: Appalonova N.A., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Annotation. The article is devoted to the issues of improving the quality of education in educational institutions through digital transformation of management. The possibilities and advantages of implementing CRM systems and web resources as tools for improving the efficiency of the educational process are considered. As an example, the experience of one of the modern educational centers that successfully implemented digital solutions in its activities is given.

УДК 004.8:622.24:550.38

ИНТЕГРАЦИЯ ДАННЫХ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА И ГЕОМАГНИТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНУЮ СИСТЕМУ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Ханнанов Н.К.

Научный руководитель*:* Воробьев А.В., д. т. н.

(*Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа*)

Аннотация. Освоение арктических месторождений, на долю которых приходится более 20% российских запасов нефти и 75% запасов газа, сопряжено с особыми трудностями, обусловленными высокой нестабильностью геомагнитного поля. Эта проблема приобретает критическое значение для наклонно-направленного бурения (ННБ), где геомагнитные возмущения, спровоцированные солнечной активностью, вызывают погрешности измерений, многократно превышающие допустимые нормы в ±2°. В исследовании представлен инновационный методологический подход к управлению процессом ННБ в условиях повышенной геомагнитной активности, ориентированный на прогнозирование дополнительной погрешности магнитных инклинометров. В ходе работы установлены статистически значимые зависимости между параметрами солнечного ветра, геомагнитными флуктуациями и точностью измерительных систем, позволившие определить основные индикаторы экстремальных геомагнитных явлений. Созданная система поддержки принятия решений представляет собой комплексную платформу, интегрирующую информацию от глобальных магнитных сетей, космических наблюдений и алгоритмов искусственного интеллекта. На примере суперсуббури 24 августа 2023 года представлены количественные показатели предложенного решения: модель случайного леса продемонстрировала точность с MAE = 0.01° и R^2 = 0.7.

Введение

К 2035 году спрос на нефть превысит 4 трлн тонн в нефтяном эквиваленте [1]. В связи с этим освоение трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) углеводородов в арктических регионах становится критически важным. Для России арктический шельф представляет особую

ценность: к 2050 году ожидается, что 20-30% национальной добычи будет приходиться на эту зону [2,3].

Для разработки ТРИЗ арктического шельфа широко применяется технология наклонно-направленного бурения (ННБ) требующая высокой точности позиционирования бурового инструмента, обеспечиваемой инклинометрическими системами [4-6]. Однако в арктических регионах точность таких измерений существенно снижается из-за воздействия солнечного ветра на магнитосферу Земли [7]. Даже умеренные геомагнитные вариации могут приводить к ошибкам в определении азимутального угла, превышающим 12.5° [8].

Несмотря на то, что существуют исследования в области геомагнитного мониторинга [9-15], создание полнофункциональной системы поддержки принятия решений для ННБ остается актуальной задаче. Таким образом, целью работы является создание научно-обоснованного подхода к поддержке принятия решений при ННБ в арктических условиях, обеспечивающего снижение рисков вызванного недостатком данных о геомагнитном поле Земли (ГМП) и прогнозирование погрешности магнитных инклинометров.

Методология прогнозирования экстремальной дополнительной погрешности магнитных инклинометров

В процессе ННБ контроль траектории ствола скважины как правило проводится с использованием инклинометрических систем, как правило, состоящих из набора трехосных приборов: гироскопа, акселерометра и магнитометра (рис. 1).

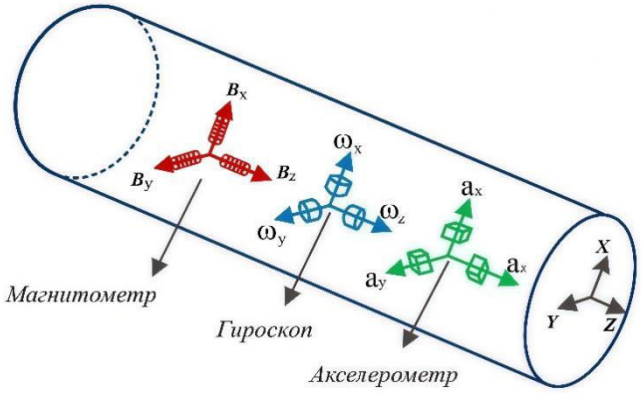


Рис 1. Схема инклинометрической системы, используемой в процессе ННБ [4]

Инклинометрическая система размещается соосно с основной осью бурового инструмента в привязанной системе координат XYZ, где ось Z направлена вдоль продольной оси инструмента, а поперечные оси X и Y образуют ортогональную плоскость, перпендикулярную этой оси. При этом критически важным параметром пространственной ориентации выступает азимутальный угол, определяемый как угол в горизонтальной плоскости между направлением на магнитный север и проекцией оси инструмента, отсчитываемый против часовой стрелки в соответствии с общепринятыми геодезическими стандартами. Данный угол рассчитывается в соответствии с выражением (1) и служит ключевым параметром при управлении траекторией бурения, обеспечивая точность пространственного позиционирования бурового инструмента в процессе выполнения наклонно-направленных скважин.

$$\psi = \arctan \frac{\|G\|(B_z g_x - B_x g_z)}{B_y(g_x^2 + g_z^2) - g_y(B_x g_x + B_z g_z)}, \text{ град} \quad (1)$$

где $\|G\|$ – норма вектора ускорения свободного падения, м/с^2; g_x, g_y, g_z – составляющие вектора ускорения свободного падения акселерометра, м/с^2; B_x, B_y, B_z – индукция магнитного поля вдоль осей X, Y и Z магнитометра соответственно, нТл.

Показания трехосного магнитометра входящего в состав инклинометрической системы при определении ориентации бурового инструмента в пространстве учитываются также

согласно выражению (1). Из него же следует, что точность измерений магнитометра имеет определяющую значимость в процессе ННБ.

Согласно действующей руководящей документации (РД 153-39.0-072-01) допустимая основная погрешность измерения азимута для зенитных углов более 3° не должна превышать ±2°, а основная погрешность измерения зенитного угла должна укладываться в диапазон ±0,5°. При этом, как показывают исследования [4-6, 13], в периоды ГМВ дополнительная погрешность магнитных инклинометров может существенно превышать данный предел. Экстремальные же возмущения ГМП (например, магнитосферные суперсуббури или SSS-события (англ. SuperSubStorm) [16]) могут создавать погрешности, превышающие максимальный порог в 2 и более раза (Таблица 2).

Для оценки погрешностей предложено использовать индексы геомагнитной активности (SML, SMU, SME), которые рассчитываются по данным наземных станций и коррелируют с суббуревой активностью. Однако, как показывает опыт, наиболее значимым является SML-индекс (от англ. SuperMAG Lower), имеющий наивысшую корреляцию с фазами развития магнитосферных суббурь. SSS-событие характеризуется значением SML ≤ -2500 нТл [17–20].

При этом одним из ключевых предикторов SSS-событий является функция скорости переноса магнитного потока на дневной стороне магнитопаузы $d\Phi_{MP}/dt$ [21]. В качестве альтернативного предиктора часто используется параметр vB_s, где v – полный вектор скорости частиц солнечного ветра, а $Bs = B_z$, если $B_z<0$. Функция $d\Phi_{MP}/dt$ рассчитывается согласно [21] по эмпирической формуле (2):

$$d\Phi_{MP} / dt = v^{4/3} B_T^{2/3} \sin^{8/3}(\theta_c / 2), \text{ км/с}^{4/3}\times\text{нТл}^{2/3} \quad (2)$$

где:v – полный вектор скорости частиц солнечного ветра, км/с; B_T – полный вектор магнитной индукции межпланетного магнитного поля (ММП), нТл; q_C – часовый угол ММП, рассчитываемый согласно выражению $\theta_C = \arctan(B_y / B_z)$, где B_y, B_z – составляющие вектора магнитной индукции ММП в геоцентрической солнечно-магнитной системе координат по оси y и по оси z соответственно, нТл.

Структура системы поддержки принятия решений магнитных измерений во время бурения

На рис. 2 схематически показана структура предлагаемой СППР. Данная система включает три основных уровня: уровень данных, уровень обработки и уровень представления

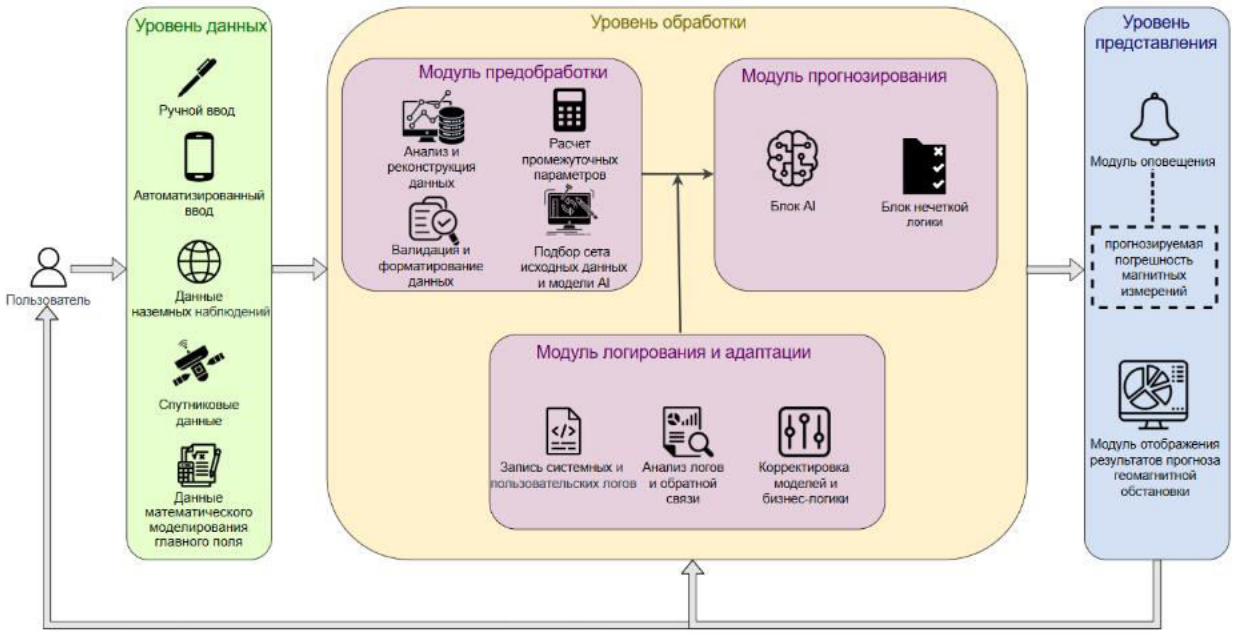


Рис 2. Структура СППР

На уровне данных осуществляется сбор и агрегация различных источников данных, таких как пользовательские данные, введенные вручную или автоматизировано с помощью пользовательского устройства, данные наземных наблюдений с магнитных станций, спутниковые данные о солнечном ветре и данные математического моделирования главного поля. Пользовательские данные включают в себя данные географическом положении пользователя. Данные наземных наблюдений, такие как векторные составляющие магнитного поля поступают из глобальной сети магнитных станций посредством интеграции с системой SuperMAG, обеспечивающей временную и пространственную привязку. Спутниковые данные о параметрах солнечного ветра, включая величину межпланетного магнитного поля, скорость потока, его плотность и давление, извлекаются из спутниковых источников (например, спутник ACE или DISCOVER) через соответствующий прикладной программный интерфейс. Данные математического моделирования главного поля Земли представляют из себя рассчитанные значения магнитного склонения и магнитного наклонения в каждой точке Земного шара. Все входящие данные поступают в централизованное хранилище, размещённое на сервере, который одновременно обеспечивает долговременное хранение, предобработку, кэширование и предоставление промежуточных и итоговых результатов расчётов.

Уровень обработки реализует интеллектуальные алгоритмы анализа и прогнозирования, в том числе экстраполяции параметров солнечного ветра и геомагнитной обстановки. Здесь также используется механизм нечёткой логики для оценки степени вероятности наступления событий, способных вызвать критические отклонения в работе инклинометров. Предусматривается возможность адаптации и обучения системы на основе исторических данных, что обеспечивает гибкость и повышенную точность прогнозов при изменяющихся внешних условиях.

На уровне представления реализован пользовательский интерфейс в форме чат-бота, предоставляющий средства ввода исходных параметров, запроса текущей аналитической информации, а также получения предупреждающих уведомлений. Пользователю доступны как числовые показатели уровня геомагнитной активности, так и визуальные элементы — графики, отображающие динамику изменения ключевых параметров. Особое внимание уделяется механизму уведомлений, активируемому при срабатывании предопределённых триггеров, что позволяет своевременно предупредить пользователя о возможных сбоях в работе магнитного оборудования.

Связи между компонентами системы организованы как в виде непрерывных потоков данных от внешних источников к серверу обработки, так и в виде событийно-ориентированных взаимодействий с пользователем. Последние реализуются либо по запросу пользователя, инициирующего расчёт и получение прогноза, либо автоматически, при наступлении условий, соответствующих повышенной вероятности возникновения сбоев в работе инклинометров.

Валидация результатов поддержки принятия решений на основе предлагаемого подхода

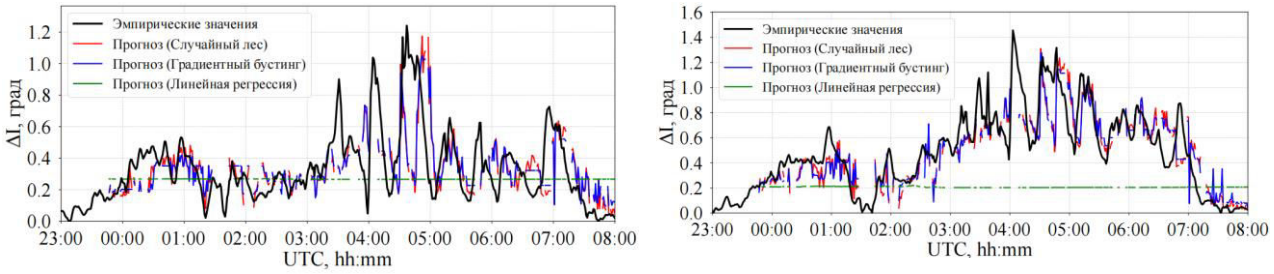
В качестве примера рассмотрим SSS-событие 24 апреля 2023 г. В табл. 1 представлены максимальные значения погрешности, зарегистрированные на некоторых станциях во время SSS-события 24.04.2023.

Таблица 1

Максимальные значения погрешности, зафиксированные на некоторых станциях во время SSS-события 24.04.2023

Станция	IAGA-код	GEOLON	GEOLAT	ΔI_{max}, град.	ΔD_{max}, град.
Masi	MAS	23.70	69.46	1.24	5.14
Summit	SUM	321.70	72.30	0.73	1.55
Sodankyla	SOD	26.63	67.37	1.45	6.04
Upernavik	UPN	303.85	72.78	0.79	2.37

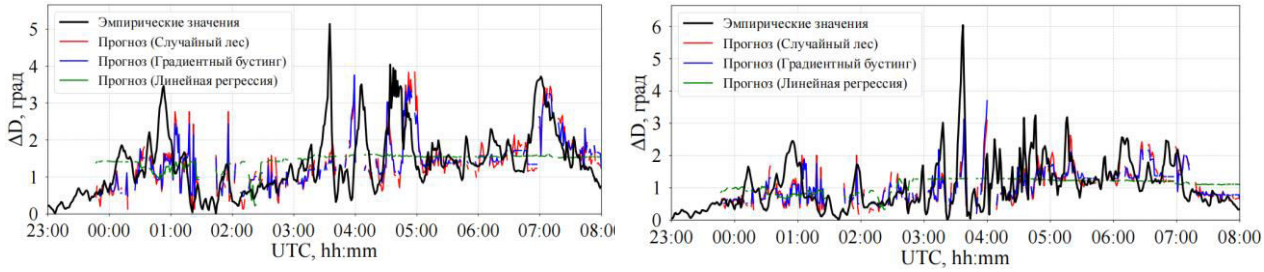
На рис. 3 приведена временная диаграмма измеренных и спрогнозированных значений ΔI станции MAS(а) и SOD(б), часть прогнозируемых значений пропущена в связи с отсутствием значений исходных параметров.



а б

Рис 3. Временная диаграмма измеренных и спрогнозированных значений ΔI станции MAS(а) и SOD(б)

На рис. 4 приведена временная диаграмма измеренных и спрогнозированных значений ΔD станции MAS(а) и SOD(б), часть прогнозируемых значений пропущена в связи с отсутствием значений исходных параметров.



а б

Рис 4. Временная диаграмма измеренных и спрогнозированных значений ΔD станции MAS(а) и SOD(б)

Для оценки качества построенных прогностических моделей был проведен сравнительный их анализ на основе стандартных метрик: средней абсолютной ошибки (MAE), среднеквадратичной ошибки (MSE), корня из среднеквадратичной ошибки (RMSE), а также коэффициента детерминации (R^2), отражающего адекватность синтезируемой модели. Результаты расчетов для моделей случайного леса, линейной регрессии и градиентного бустинга приведены в табл. 2.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о значительном превосходстве ансамблевых методов над классической линейной регрессией, что может быть объяснено отсутствием линейной зависимости между входными признаками и целевой переменной. Модель случайного леса показала наименьшую ошибку (MAE = 0.01°) и наивысший коэффициент детерминации ($R^2 = 0.7$) при прогнозировании погрешностей ΔI и ΔD.

Таблица 2

Метрики качества прогностических моделей для различных моделей машинного обучения при прогнозировании ΔI и ΔD

Модель	Метрика	ΔI MAS	ΔI SOD	ΔD MAS	ΔD SOD
Случайный лес	MAE	0.09	0.11	0.52	0.40
	MSE	0.01	0.03	0.51	0.34
	RMSE	0.12	0.16	0.72	0.59
	R^2	0.61	0.70	0.02	0.21
Линейная регрессия	MAE	0.09	0.12	0.46	0.42
	MSE	0.01	0.03	0.40	0.35

	RMSE	0.13	0.17	0.63	0.60
	R^2	0.57	0.68	0.23	0.19
Градиентный бустинг	MAE	0.16	0.22	0.64	0.53
	MSE	0.04	0.06	0.55	0.42
	RMSE	0.2	0.25	0.74	0.65
	R^2	0.01	0.29	0.05	0.05

Заключение

В работе представлен подход к поддержке принятия решений при ННБ в условиях высокой вариабельности ГМП, характерной для АЗРФ. Разработанный подход положен в основу прототипа СППР, предназначенной для прогнозирования дополнительной погрешности магнитных инклинометров и соответствия данных характеристик принятому регламенту.

Релевантность предложенного подхода была подтверждена результатами численного эксперимента, на базе SSS-события 24.04.2023. Эксперимент показал, что прогнозирование экстремальной погрешности на основе случайного леса обеспечивает точность до 0.01°.

Практическая значимость работы заключается в создании инструмента для снижения рисков при разработке трудноизвлекаемых запасов в Арктической зоне РФ. Для дальнейшего совершенствования предложенного подхода необходимо проведение дополнительных исследований касающихся алгоритмов динамического расчета времени распространения солнечного ветра от точки первой точки Лагранжа до Земли с учетом изменяющейся скорости частиц солнечного ветра, а также расширения исследуемой выборки за счет включения большего количества SSS-событий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Nagy R., Hartyanyi M., Bejczi R., Bartha L., Puskas S.* Recent aspects of chemical enhanced oil recovery // Chemical Papers. – 2025. – № 79, – С. 2695–2716. DOI:10.1007/s11696-025-03943-7.

2. *Zhang Y., Msangi S., Edmonds J., Waldhoff S*. Limited increases in Arctic offshore oil and gas production with climate change and the implications for energy markets // Scientific Reports. – 2024. – № 14. – С. 6699. DOI:10.1038/s41598-024-54007-x.

3. *Cherepovitsyn A.E., Rutenko E., Yudin S*. Global challenges and opportunities for Arctic oil and gas projects. // E3S Web of Conferences. – 2023. – № 378. DOI:10.1051/e3sconf/202337806007.

4. *Yang J., Cai J., Wang S.* Online Compensation of Geomagnetic Measurement Errors While Drilling // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2024. – № 73. С. 1-9. DOI:10.1109/TIM.2024.3379082.

5. *Yang C., Zeng Q., Xiong Z., Yang J.* IMU/Magnetometer-Based Azimuth Estimation with Norm Constraint Filtering // Sensors. – 2024. – № 24(10), – С. 2982. DOI:10.3390/s24102982.

6. *Chang J.L., Jung K.L*. Highly Accurate Accelerometer- and Magnetometer-based Elevation and Azimuth Estimation Procedure Under Stationary Conditions // JOURNAL OF SENSOR SCIENCE AND TECHNOLOGY. – 2025. – № 34(1). – С. 8-18. DOI:10.46670/JSST.2025.34.1.8.

7. *Buzulukova N., Tsurutani B*. Space Weather: From solar origins to risks and hazards evolving in time // Frontiers in Astronomy and Space Sciences. – 2022. – № 9. DOI:10.3389/fspas.2022.1017103.

8. *Soloviev A.A., Sidorov R.V., Oshchenko A.A., Zaitsev A.N*. On the Need for Accurate Monitoring of the Geomagnetic Field during Directional Drilling in the Russian Arctic // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. – 2022. – № 58. – С. 420–434. DOI:10.1134/S1069351322020124.

9. *Ягова Н.В., Розенберг И.Н., Гвишиани А.Д., Сахаров Я.А., Гаранин С.Л., Воронин В.А., Пилипенко В.А., Дубчак И.А.* Исследование влияния геомагнитной активности на функционирование систем железнодорожной автоматики в Арктической зоне России //

Арктика: экология и экономика. — 2023. — Т. 13, — № 3. — С. 341-352. DOI:10.25283/2223-4594-2023-3-341-352.

10. *Gvishiani A., Rozenberg I., Soloviev A*. Geophysical Processes in the Arctic and the System Analysis of their Impact on Operation and Development of the Transport Infrastructure // World of Transport and Transportation. – 2023. – № 21. – С. 6-34. DOI:10.30932/1992-3252-2023-21-3-1.

11. *Kudin D., Gvishiani A., Nikitina I., Belov I., Dzeboev B., Grudnev A., Dzeranov B.V., Krasnoperov R*. Storage and Processing of Big Data for Geomagnetic Support of Directional Drilling // Applied Sciences. – 2024. – № 14. – С. 9730. DOI:10.3390/app14219730.

12. *Vorobev A., Lapin A., Soloviev A., Vorobeva G*. An Approach to Interpreting Space Weather Natural Indicators to Evaluate the Impact of Space Weather on High-Latitude Power Systems // Izvestiya Physics of the Solid Earth. – 2024. – № 60. – С. 604-611. DOI:10.1134/S106935132470054X.

13. *Love J., Finn C.* Real-time geomagnetic monitoring for space weather-related applications: Opportunities and challenges // Space Weather. – 2017. – № 15. DOI:10.1002/2017SW001665.

14. *Vorobev A.V., Vorobeva G.R*. Machine Learning for Diagnostics of Space Weather Effects for the Arctic Region // Moscow University Physics Bulletin. –2023. – № 78 (Suppl 1), – С. 226–S235. DOI:10.3103/S0027134923070317.

15. *Костяной А.Г., Гвишиани А.Д., Розенберг И.Н., Красноперов Р.И., Гвоздик С.А., Лебедев С.А., Никитина И.М., Дубчак И.А., Шевалдышева О.О., Сергеев В.Н., Гвоздик Г.А.* Geoinformation Analysis of Regional Climatic Changes in the Central and Western Russian Arctic for Railway Development // Russian Journal of Earth Sciences. – 2025. – №. 1. – С. 1-34. DOI:10.2205/2025ES000956.

16. *Kumar S., Pulkkinen T.I*. Statistical analysis of magnetopause response during substorm phases // Annales Geophysicae. – 2025. – № 43, – С. 137–149. DOI:10.5194/angeo-43-137-2025.

17. *Lao C., Forsyth C., Freeman M., Smith A., Mooney M*. On the Association of Substorm Identification Methods // Journal of Geophysical Research: Space Physics. – 2024. – № 129. DOI:10.1029/2024JA032762.

18. *Boudouridis A., Weygand J., Zesta E*. Statistical Comparison of Southern and Northern Auroral Electrojet Indices as a Function of Solar Wind and IMF Conditions // Journal of Geophysical Research: Space Physics. – 2024. – № 129. DOI:10.1029/2023JA032362.

19. *Bergin A., Chapman S., Gjerloev J.* AE, DST, and Their SuperMAG Counterparts: The Effect of Improved Spatial Resolution in Geomagnetic Indices // Journal of Geophysical Research: Space Physics. – 2020. – № 125. DOI:10.1029/2020JA027828.

20. *Nesse Tyssoy H., Partamies N., Babu E., Smith-Johnsen C., Salice J.* The Predictive Capabilities of the Auroral Electrojet Index for Medium Energy Electron Precipitation // Frontiers in Astronomy and Space Sciences. – 2021. – № 8. DOI:10.3389/fspas.2021.714146.

21. *Newell P., Sotirelis T., Liou K., Meng C., Rich F. A* Nearly Universal Solar-Wind Magnetosphere Coupling Function Inferred from Ten Magnetospheric State Variables. Journal of Geophysical Research. – 2007. – № 112. DOI:10.1029/2006JA012015.

INTEGRATION OF SOLAR WIND AND GEOMAGNETIC OBSERVATION DATA INTO AN INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM

Hannanov N.K.

Supervisor: VorobevA.V., Doctor of Engineering Sciences

(Ufa University Science and Technology, Ufa)

Abstract. Developing Arctic oil and gas reserves – which account for over 20% of Russia's oil and 75% of its gas – is challenged by intense geomagnetic instability that severely disrupts directional drilling measurements, often exceeding acceptable ±2° error margins. This study introduces an AI-powered decision-support system that integrates solar wind data, global magnetic

observations, and machine learning (Random Forest, MAE=0.01°, R^2=0.7) to predict and compensate for magnetic survey errors during extreme space weather events, such as the August 24, 2023 superstorm.

УДК 004

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВИКТОРИН

Хисматова Л.Ф.
Научный руководитель: Бикмуллина И.И., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлен анализ современных мобильных приложений, предназначенных для проведения викторин. Компьютер в учебных технологиях развивает самостоятельность, навыки самооценки, активность, воображение и модельное видение. Осуществление контроля знаний обучаемых, в свою очередь, логично приводит к решению проблемы создания надежных методов диагностики качества знаний, способствующих оперативному управлению процессом их усвоения. В этой связи очевидна актуальность технологического совершенствования процедуры контроля, средств, методов и форм ее проведения. Одним из таких методов может являться викторина. В работе рассматриваются особенности пользовательского интерфейса и функциональные возможности.

Приложение «Quiz Planet»

Quiz Planet – это игровое мобильное приложение, которое предлагает пользователям возможность участвовать в викторинах на различные темы. Приложение сочетает элементы обучения и развлечения, предлагая динамичные баттлы и разнообразные категории вопросов [1].

Основная функциональность приложения [1-3]:

- Пользователи могут создавать свои собственные вопросы и викторины.
- Пользователи могут зарабатывать очки, достигать новых уровней и открывать достижения.
- Приложение позволяет пользователям соревноваться друг с другом в реальном времени.
- Приложение предлагает множество викторин, которые охватывают различные темы.

Плюсы приложения:

- Яркий и дружелюбный интерфейс.
- Интуитивная навигация.
- Анимации и звуковые эффекты.

Минусы приложения:

- Избыток рекламы;
- Долгая загрузка вопросов при слабом интернете.

Пример работы приложения приведен на рисунке 1.

Рисунок 1. Работа приложения «Quiz Planet»

Приложение «QuizzLand»

QuizzLand – это мобильное приложение, которое предлагает пользователям возможность тестировать свои знания в различных областях через увлекательные викторины.

Социальные функции:

- Возможность соревноваться с друзьями и другими пользователями.
- Приложение предлагает систему достижений и очков.

Плюсы приложения:

- Широкий выбор категорий дает возможность находить интересные и познавательные викторины.
- Конкуренция с друзьями и система достижений делает приложение более интересным.
- Приложение доступно на разных платформах.

Минусы приложения:

- Иногда вопросы могут содержать неточные ормулировки или несколько правильных ответов.
- Наличие встроенных покупок, ограничивающих доступ к определенному контенту.

Пример работы приложения приведен на рисунке 2.

Рисунок 2. Работа приложения «QuizzLand»

Приложение «Бесконечная викторина»

Бесконечная викторина – это интерактивная игра в формате викторины с динамически генерируемыми вопросами.

Основная функциональность приложения:

- Широкий спектр различных тем.
- Возможность выбирать уровень сложности вопросов.
- Могут быть одновариантные ответы, множественный выбор и открытые вопросы.
- Возможность играть с друзьями или участниками со всего мира.
- Возможность отслеживать свои достижения и прогресс.

Плюсы приложения:

- Обширный выбор вопросов и категорий.
- Возможность улучшать знания и развивать эрудицию.
- Интересный и увлекательный формат.

Минусы приложения:

- Возможные ошибки в вопросах или ответах.
- Реклама, если прижение бесплатное – может отвлекать от игры.
- Зависимость от интернет-соединения для игры в режиме онлайн.

Пример работы приложения приведен на рисунке 3.

Рисунок 3. Работа приложения «Бесконечная викторина»

Сведем все характеристики приложений в сравнительная таблицу[1-5]. И укажем те характеристики создаваемого приложения «Квест знаний», которые будут реализованы.

Таблица 1

Сравнительная таблица мобильных приложений с викторинами

Характеристика	**Quiz Planet**	**QuizzLand**	**Бесконечная викторина**	**Квест знаний**
Жанр	Викторина	Викторина	Викторина	Викторина
Платформы	Android, iOS	Android, iOS	Android, iOS	Android
Многопользователь-ский режим	Да	Да	Да	Да
Типы вопросов	Разнообразные (включая картинки)	Разнообразные	Разнообразные (включая картинки)	Разнообразные
Достижения и награды	Да	Да	Да	Нет
Возможность исследования	Да	Да	Ограниченная	Ограниченная
Онлайн-соревнование	Да	Да	Нет	Нет
Управление рейтингом	Регулярное обновление	Регулярное обновление	Регулярное обновление	Регулярное обновление
Частота обновлений контента	Высокая	Высокая	Умеренная	Умеренная
Кастомизация аватара	Да	Да	Нет	Нет
Реклама	Да (в бесплатной версии)	Да (в бесплатной версии)	Да (в бесплатной версии)	Нет
Доступные языки	Многоязычная поддержка	Многоязычная поддержка	Русский и другие	Русский
Социальные функции	Поделиться результатами	Поделиться результатами	Ограниченные	Ограниченные

Проведя сравнительный анализ, можно сделать вывод о том, что приложение «Квест знаний» не будет уступать по возможностям своим аналогам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Как создать интерактивную викторину: просто о сложном [Электронный ресурс] https://zenclass.ru/ponyatno/creating-an-interactive-quiz (Дата обращения: 01.05.2025).

2. *Барков И.А*. Семантическое моделирование учебных задач в интеллектуальных образовательных средах / И.А. Барков, И.И. Бикмуллина // Вестник Казанского Государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2012. - №2. – С. 216-220. – EDN PUAQWL.

3. *Бикмуллина И.И.* Разработка методики автоматизированного синтеза информационных систем на основе семантических отношений предметной области / И.И. Бикмуллина, И.А. Барков, А.П. Кирпичников // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, №7. – С. 236-242. – EDN TUUIMZ.

4. *Бикмуллина, И.И.* Разработка информационной технологии синтеза диаграмм классов / И.И. Бикмуллина, И.А. Барков, А.П. Кирпичников // Вестник Технологического университета. – 2016. – Т. 19, №24. – С. 96-101. – EDN XDXWZN.

5. *Бикмуллина, И.И.* Математическая модель синтеза UML диаграммы классов / И.И. Бикмуллина // Вестник Технологического университета. – 2016. – Т. 19, №22. – С. 100-105. – EDN XCNBNH.

ANALYSIS OF EXISTING MOBILE QUIZ APPLICATIONS

Khismatova L.F.
Supervisor: Bikmullina I.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences,
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The paper presents an analysis of modern mobile applications designed for conducting quizzes. The computer in educational technologies develops independence, self-assessment skills, activity, imagination and model vision. The control of students' knowledge, in turn, logically leads to solving the problem of creating reliable methods for diagnosing the quality of knowledge, contributing to the operational management of the process of their assimilation. In this regard, the urgency of technological improvement of the control procedure, means, methods and forms of its implementation is obvious. One of these methods may be a quiz. The paper discusses the features of the user interface and functionality.

УДК 004

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Хисматова Л.Ф.
Научный руководитель: Бикмуллина И.И., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Рассмотрены наиболее популярные на сегодняшний день среды разработки мобильных приложений под операционную систему Android: Android Studio, IntelliJ IDEA, Eclipse.

Введение

Для того чтобы наглядно рассмотреть достоинства и недостатки существующих типов мобильных приложений, приведем в качестве примера сравнительную таблицу основных критериев см. табл. 1.

Таблица 1

Сравнение основных видов мобильных приложений

Вид мобильного приложения	**Доступ к функционалу устройства**	**Скорость работы**	**Стоимость разработки**	**Распространение через магазин**	**Процесс одобрения**
Нативный	полный	очень высокая	высокая	доступно	обязательный
Гибридный	полный	очень высокая	приемлемая	доступно	малозатратный
Веб-приложение	частичный	высокая	приемлемая	не доступно	отсутствует

Приведем обзор средств разработки для мобильного ПО. В качестве первого примера рассмотрим официально рекомендуемую Google платформу Android Studio.

Основная часть

Android Studio — официальная среда разработки (IDE) для Android, созданная Google. Она предоставляет все необходимые инструменты для разработки, тестирования и отладки приложений. Android Studio поддерживает Java, Kotlin и C++. Эта IDE является наиболее популярным выбором среди разработчиков Android благодаря своей интеграции с Android SDK и множеству полезных функций [1].

Преимущества Android Studio:

- Полная интеграция с Android SDK, что позволяет легко управлять версиями SDK и инструментами.
- Встроенный эмулятор Android, который позволяет тестировать приложения на различных виртуальных устройствах.
- Поддержка Gradle для автоматизации сборки, что упрощает управление зависимостями и процессом сборки.

Инструменты для анализа производительности, такие как профайлеры CPU, памяти и сети, которые помогают оптимизировать приложение.

Пример работы в среде Android Studio продемонстрирован на рисунке 1.

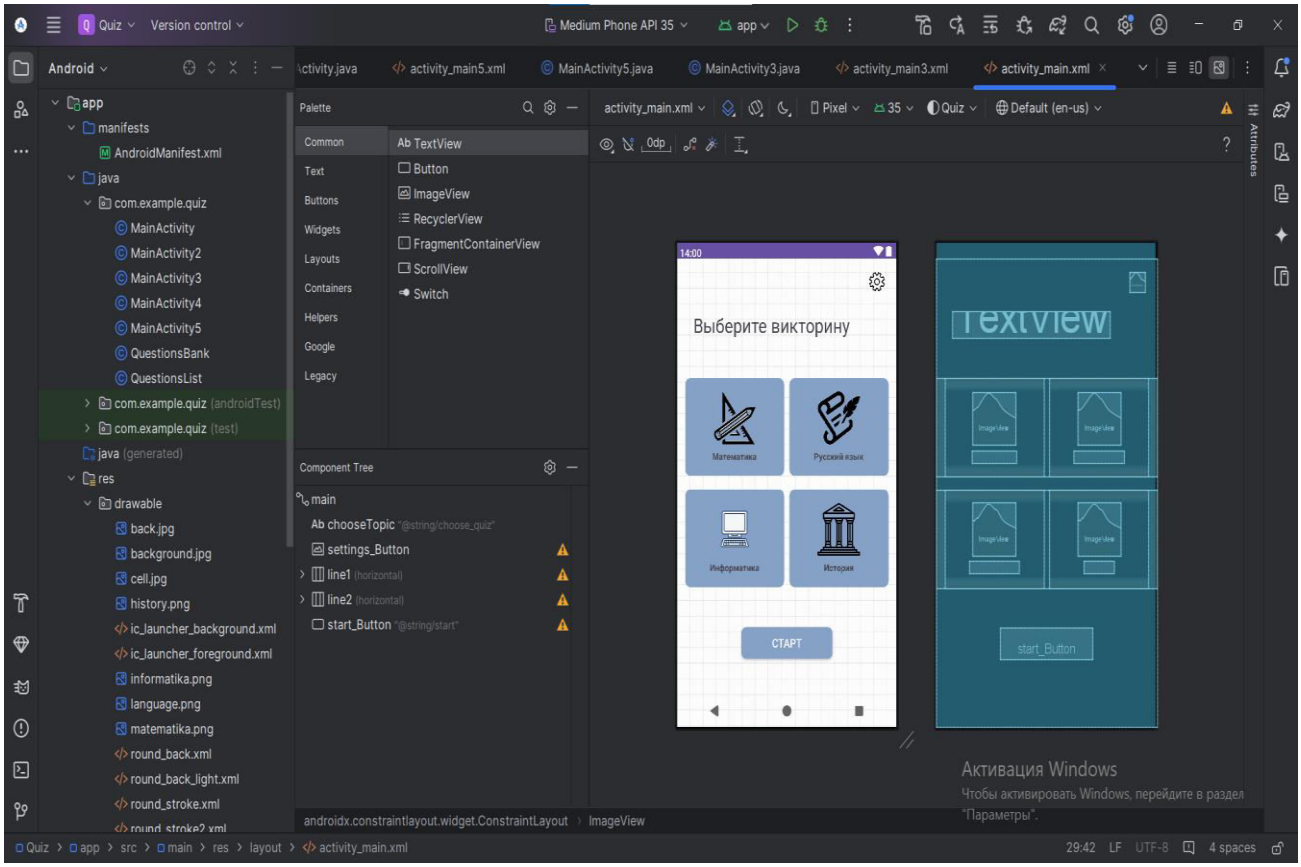


Рисунок 1. Графический редактор интерфейса в среде разработки Android Studio

IntelliJ IDEA — мощная IDE от JetBrains, которая также поддерживает разработку приложений для Android. Android Studio основана на IntelliJ IDEA, поэтому многие функции и плагины совместимы между этими двумя IDE. IntelliJ IDEA предлагает множество инструментов для повышения производительности и удобства разработки [2].

Преимущества IntelliJ IDEA:

- Интеллектуальная поддержка кода, включая автозаполнение, рефакторинг и анализ кода.
- Множество плагинов для расширения функциональности, которые позволяют интегрировать различные инструменты и технологии.
- Поддержка различных языков программирования, что делает эту IDE универсальным инструментом для разработчиков.

Пример работы в среде IntelliJ IDEA продемонстрирован на рисунке 2.

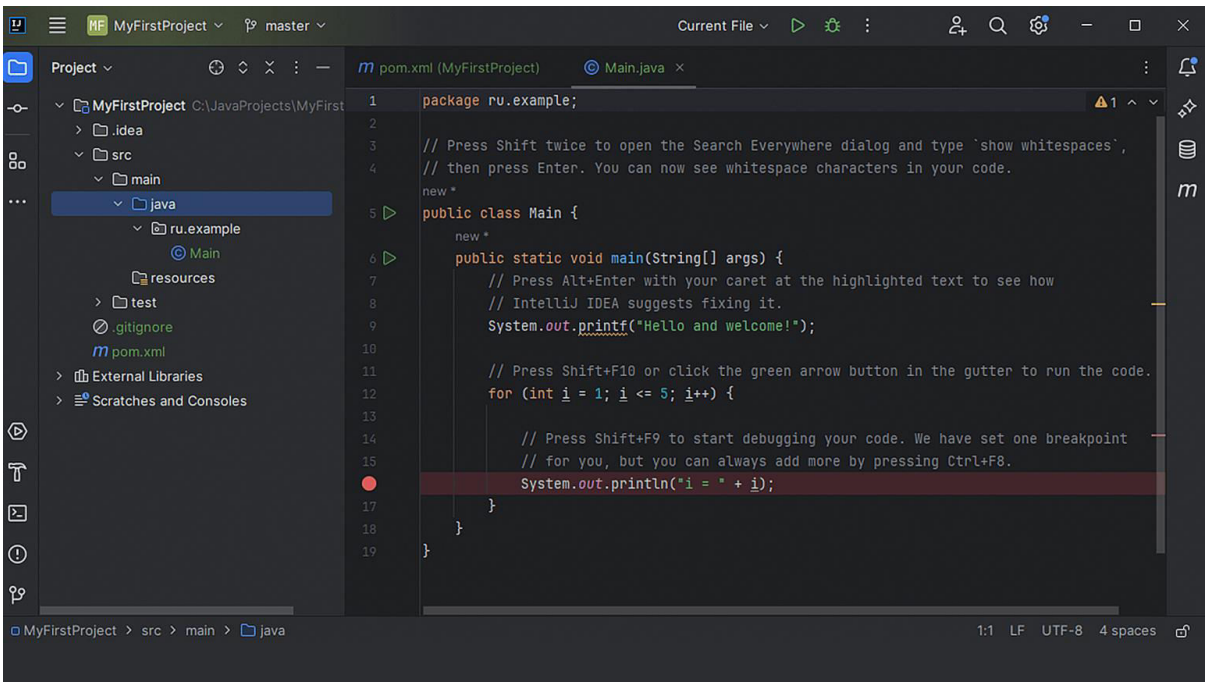


Рисунок 2. Графический редактор интерфейса в среде разработки IntelliJ IDEA

Eclipse — еще одна популярная IDE, которая может использоваться для разработки Android-приложений с помощью плагина Android Development Tools (ADT). Однако Google прекратил поддержку ADT, и Android Studio является более предпочтительным выбором. Тем не менее, Eclipse все еще используется некоторыми разработчиками благодаря своей гибкости и широкому набору плагинов [3].

Преимущества Eclipse:

- Поддержка множества языков и технологий, что делает его универсальным инструментом для разработки.
- Большое количество плагинов, которые позволяют расширять функциональность IDE и интегрировать различные инструменты.

Пример работы в среде Eclipse продемонстрирован на рисунке 3.

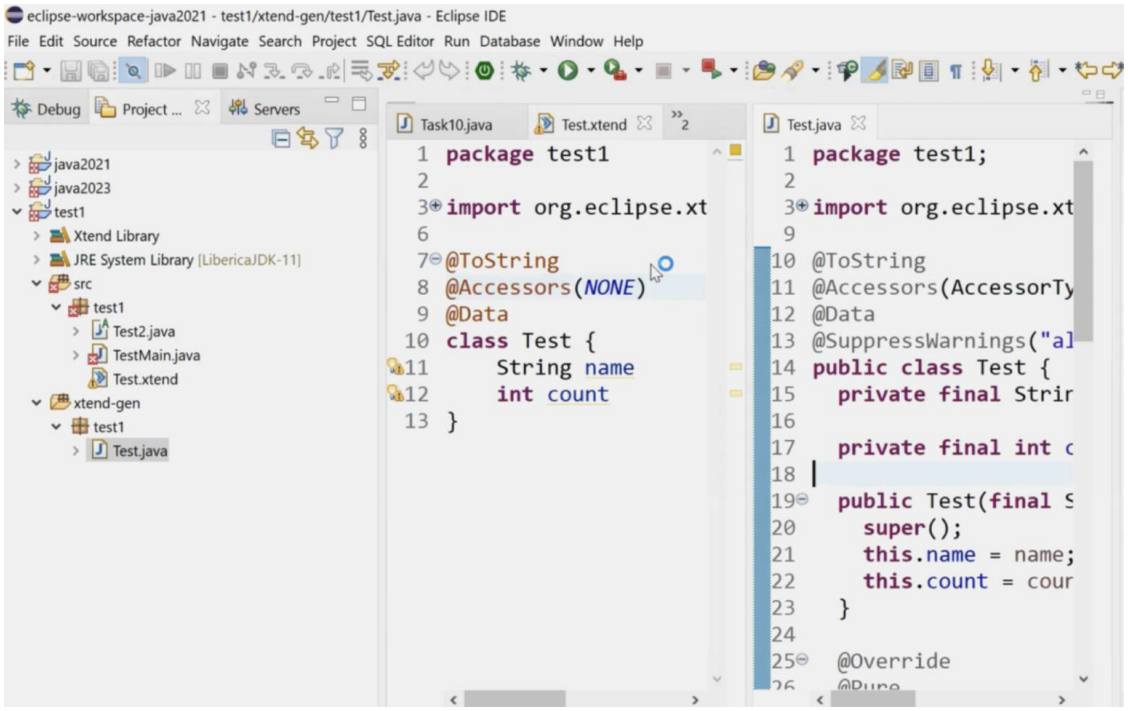


Рисунок 3. Графический редактор интерфейса в среде разработки Eclipse

Для более наглядного представления сведем всю информацию в таблицу 2[1-7].

Таблица 2

Сравнение характеристик средств разработки.

Характеристика	**Android Studio**	**IntelliJ IDEA**	**Eclipse**
Основное назначение	Специально для разработки Android приложений	Многофункциональная IDE для Java и других языков	Многофункциональная IDE с поддержкой Java
Поддерживаемые языки	Java, Kotlin, C++	Java, Kotlin, Scala, Groovy и другие	Java, C/C++, Python и другие
Поддержка Android API	Полная поддержка всех версий API Android	Поддержка через плагины	Поддержка через плагины
Пользовательский интерфейс	Интуитивно понятный интерфейс с фокусом на Android	Многофункциональный интерфейс	Менее современный интерфейс
Инструменты отладки	Встроенные инструменты, включая профилировщик, эмулятор	Стандартные инструменты отладки	Инструменты отладки доступны через плагины
Система сборки	Gradle	Maven, Gradle	Ant, Maven, Gradle
Поддержка плагинов	Ограниченная, в основном для Android	Широкая поддержка плагинов	Широкая поддержка плагинов
Платформа	Windows, macOS, Linux	Windows, macOS, Linux	Windows, macOS, Linux
Лицензия	Бесплатно	Платная и бесплатная версия	Бесплатно, открытый исходный код

Таким образом, для создания мобильных приложений можно использовать различные технологии разработки[5-7]. Рассмотренные выше технологии предназначены для разработки мобильных приложений и повсеместно применяются для их реализации. Однако каждой присущи свои преимущества и уязвимые места. В зависимости от поставленных перед разработчиком целей следует выбирать подходящую технологию проектирования. Правильный выбор поспособствует эффективному и качественному созданию приложения, поэтому стоит помнить о том, что каждая технология имеет свои отличительные черты.

Исходя из вышеперечисленных сред разработки и их сравнительного анализа, для создания мобильного приложения отдадим предпочтение среде разработки Android Studio.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Голощапов А.А*. Google Android: программирование для мобильных устройств. – Спб.: БХВ – Петербург 2014. 163 с.

2. *Ефимов А.А., Давыдов С.*В. IntelliJ IDEA. Профессиональное программирование на Java. – Спб.: БХВ – Петербург 2005. 800 с.

3. *Машин Т.С*. Eclipse: разработка RCP-, Web-, Ajax– и Android-приложений на Java. – Спб.: БХВ – Петербург 2013. 384 с.

4. *Барков И.А.* Семантическое моделирование учебных задач в интеллектуальных образовательных средах / И.А. Барков, И.И. Бикмуллина // Вестник Казанского Государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2012. - №2. – С. 216-220. – EDN PUAQWL.

5. *Бикмуллина И.И.* Разработка методики автоматизированного синтеза информационных систем на основе семантических отношений предметной области /

И.И. Бикмуллина, И.А. Барков, А.П. Кирпичников // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, №7. – С. 236-242. – EDN TUUIMZ.

6. *Бикмуллина И.И*. Разработка информационной технологии синтеза диаграмм классов / И.И. Бикмуллина, И.А. Барков, А.П. Кирпичников // Вестник Технологического университета. – 2016. – Т. 19, №24. – С. 96-101. – EDN XDXWZN.

7. Бикмуллина, И.И. Математическая модель синтеза UML диаграммы классов / И.И. Бикмуллина // Вестник Технологического университета. – 2016. – Т. 19, №22. – С. 100-105. – EDN XCNBNH.

ANALYSIS OF EXISTING MOBILE APPLICATION DEVELOPMENT TOOLS

Khismatova L.F.

Supervisor: Bikmullina I.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The article discusses the most popular mobile application development environments for the Android operating system today: Android Studio, IntelliJ IDEA, and Eclipse.

СЕКЦИЯ 19
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 004.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В МОБИЛЬНОМ ПРИЛОЖЕНИИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ ПРИ САХАРНОМ ДИАБЕТЕ

Аликберова Е.О.

Научный руководитель: Захарова О.И., доцент, к. т. н.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара)

Аннотация. В статье рассматривается разработка мобильного приложения, использующего технологии искусственного интеллекта и компьютерного зрения для автоматического подсчёта хлебных единиц в продуктах питания. Решение направлено на повышение качества жизни людей, страдающих сахарным диабетом, за счёт упрощения процесса контроля потребляемых углеводов.

Сахарный диабет — хроническое метаболическое заболевание, характеризующееся гипергликемией, возникающей в результате дефицита инсулина (диабет 1 типа) или нарушения чувствительности тканей к инсулину (диабет 2 типа) [1]. Для контроля уровня сахара в крови пациентам рекомендуется учитывать количество потребляемых углеводов, переводя их в хлебные единицы. Одна хлебная единица соответствует 10–13 граммам углеводов и позволяет рассчитать необходимую дозу инсулина [6]. Однако ручной подсчёт хлебных единиц является трудоёмким и зачастую ошибочным процессом, особенно у пожилых пациентов или детей.

Стоит отметить, что эффективный самоконтроль пациентов, который предполагает регулярный и точный подсчёт хлебных единиц, представляет собой трудоёмкую задачу, которая требует времени, внимания и определённых знаний. Зачастую пациенты нередко испытывают трудности в определении состава продуктов питания, особенно, если у них есть ограничение по времени или пациент находится в общественном месте. В таких условиях на помощь пациентам приходят прогрессивные цифровые решения. К таким цифровым решениям относятся мобильные приложения способные автоматизировать и упростить процесс подсчёта хлебных единиц.

Развитие мобильных технологий открыло новые возможности для поддержки пациентов с сахарным диабетом. Первые мобильные приложения для диабетиков выполняли функции электронных дневников, в которых вручную вводились данные о приёмах пищи и дозах инсулина [5]. С развитием технологий появились более сложные решения с интеграцией Bluetooth-глюкометров, автоматизированным анализом и графическим интерфейсом. Современные приложения всё чаще включают элементы искусственного интеллекта, обеспечивая персонализированные рекомендации, предиктивную аналитику и визуальное распознавание продуктов питания [2], [6].

В рамках данного проекта первым и ключевым этапом стала постановка задач и формирование общей методики разработки интеллектуальной системы для автоматизированного подсчёта хлебных единиц (ХЕ). Для этого была проведена тщательная оценка требований: определены целевые метрики точности распознавания, ограничения по скорости обработки и энергопотреблению на мобильных устройствах, а также требования к удобству пользовательского интерфейса. На основании полученных данных был разработан пошаговый план работ, включающий сбор и разметку данных, обучение и оптимизацию модели, интеграцию в мобильное приложение и валидацию через тесты и опросы конечных пользователей.

Этап сбора и подготовки данных предусматривал формирование сбалансированного датасета из изображений основных категорий продуктов (хлеб, фрукты, овощи, молочные изделия и проч.). Изображения собирались в разных ракурсах и при разнообразных условиях освещения, после чего вручную размечались: каждой фотографии присваивалась категория продукта и приблизительное значение углеводной ценности, необходимое для расчёта ХЕ. Для

повышения устойчивости модели к реальным условиям съёмки была применена аугментация: случайные повороты, изменённая яркость и контраст, добавление шума. Все изображения нормализовались и приводились к единому размеру.

В процессе разработки приложения были применены методы компьютерного зрения и машинного обучения [3], [4]. В качестве ядра системы для классификации изображений была выбрана сверточная нейронная сеть MobileNetV2, оптимизированная под мобильные платформы за счёт инверсных остаточных блоков и глубинных свёрток. Модель обучалась на размеченном датасете с использованием функции потерь «категориальная кросс-энтропия» и оптимизатора Adam. Применялась пятирядная кросс-валидация для оценки обобщающей способности и предотвращения переобучения. Подбор гиперпараметров (learning rate, batch size, число эпох) осуществлялся методом сеточного поиска. Для контроля качества использовались метрики Top-1/Top-5 accuracy, precision, recall и F1-score, а также измерялись время инференса и объём потребляемой оперативной памяти на тестовых Android-устройствах.

После завершения обучения модель была конвертирована в формат TensorFlow Lite с пост-тренировочным квантованием, что позволило существенно уменьшить размер файла и ускорить вывод без заметного снижения точности [5]. Интеграция в мобильное приложение на Kotlin включала реализацию модуля захвата кадра с камеры, пред- и пост-обработки изображения и асинхронного инференса в фоновом потоке для сохранения отзывчивости интерфейса. Дополнительно была создана база данных продуктов с указанием их углеводной ценности и соответствующего количества хлебных единиц [6].

Для комплексной проверки работоспособности системы были проведены лабораторные испытания на отложенной выборке и на специально снятых «полевых» фотографиях, а затем организовано полевое тестирование с участием волонтёров, страдающих сахарным диабетом.

Финальным шагом стало документирование всех используемых библиотек (TensorFlow Lite, Kotlin, Android SDK) и публикация скриптов предобработки, обучения и валидации в открытом репозитории с подробным описанием. Это обеспечивает полную воспроизводимость методики и даёт возможность другим исследователям верифицировать и расширить результаты работы.

Функциональность прототипа мобильного приложения может включать:

- захват изображения продукта с камеры телефона;
- определение типа продукта на основе ИИ-модели;
- отображение информации о количестве ХЕ;
- ведение пользовательского журнала учёта приёмов пищи.

Разработка мобильного приложения для автоматизированного подсчёта хлебных единиц демонстрирует широкий потенциал применения искусственного интеллекта в решении прикладных задач здравоохранения. В предлагаемом решении ключевую роль играет интеграция методов компьютерного зрения, позволяющая анализировать визуальный контент — изображения продуктов питания — и на их основании автоматически оценивать количество углеводов, выражаемое в условных хлебных единицах (ХЕ). Такая автоматизация берёт на себя рутинную, но критически важную задачу точного расчёта дозировки инсулина, снижая вероятность человеческой ошибки и освобождая пациента от необходимости вручную искать справочную таблицу или вводить данные в приложение.

Описанная методика охватывает полный цикл разработки: от сбора и многоступенчатой разметки датасета до обучения и тонкой настройки нейросетевой модели, оптимизированной для мобильной платформы. На каждом этапе обеспечивается контроль качества — проверка корректности аннотации, применение методов аугментации для повышения устойчивости модели к различным условиям съёмки и использование кросс-валидации для оценки обобщающей способности. Интеграция обученной модели в мобильное приложение требует дополнительных усилий по оптимизации: конверсия в формат TensorFlow

Lite и квантование позволяют значительно уменьшить объём исполняемого кода и снизить нагрузку на процессор и оперативную память смартфона.

Особое внимание стоит уделить выбору нейросетевой архитектуры MobileNetV2, сочетающей компактность и высокую скорость работы без значительной потери точности классификации. Это решение обеспечивает приемлемый уровень детекции продуктов даже на устройствах средней ценовой категории, что критически важно для повседневного использования пациентами с сахарным диабетом. Пользовательский интерфейс приложения спроектирован таким образом, чтобы минимизировать количество шагов для получения результата: достаточно сделать фото, и система мгновенно выдаёт оценку ХЕ, отображая её в наглядном и понятном формате.

Данное приложение может выступать не только как самостоятельный инструмент для самоконтроля, но и как платформа для дальнейшего развития. В перспективе его архитектуру можно масштабировать, расширив базу продуктов, интегрировав модули анализа сложных блюд и расчёта порций, а также добавив функции персонализированных рекомендаций по питанию. Более того, возможна интеграция с системами электронного здравоохранения и устройствами «умного дома» — что позволит врачам и диетологам получать актуальные данные о питании пациентов в реальном времени и корректировать терапию на основе объективных данных. Таким образом, проект закладывает фундамент для создания комплексной экосистемы цифровой медицины, направленной на повышение качества жизни и безопасности людей с хроническими заболеваниями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Глобальный доклад по диабету. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://rmbic.tatarstan.ru/file/rmbic/File/3(10).pdf (дата обращения: 15.04.2025).

2. *Иванова Л.П., Астахов А.С.* Искусственный интеллект в мобильных медицинских приложениях // Вестник цифровых технологий. — 2021. — №3. — С. 45–52.

3. *Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E.* Imagenet classification with deep convolutional neural networks // Advances in Neural Information Processing Systems. — 2012. — Vol. 25.

4. *Simonyan K., Zisserman A.* Very deep convolutional networks for large-scale image recognition //arXiv preprint arXiv:1409.1556. – 2014.

5. TensorFlow Lite Documentation – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://www.tensorflow.org/lite (дата обращения: 12.04.2025).

6. *Никулин А.А.* Технологии компьютерного зрения: применение в медицине // Цифровая медицина. 2020. №4. С. 60–66.

THE USE OF COMPUTER VISION TECHNOLOGIES IN A MOBILE APPLICATION FOR SELF-MONITORING IN DIABETES MELLITUS

Alikberova E.O.

Supervisor: Zaharova O.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, Samara)

Annotation. The article discusses the development of a mobile application that uses artificial intelligence and computer vision technologies to automatically count bread units in food. The solution is aimed at improving the quality of life of people with diabetes by simplifying the process of controlling carbohydrates consumed.

УДК 629.7.02

ТРАССИРОВКА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ НА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ С УЧЁТОМ КРИТЕРИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Амирханов А.А.

Научный руководитель: Гайнутдинов Р.Р., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе рассматривается задача многокритериальной трассировки кабелей на летательных аппаратах. Представлена разработка алгоритма абстрактного роя для поиска оптимальных путей прокладки кабелей в летательном аппарате. В качестве критериев трассировки предложены минимизация суммарной длины кабелей и минимизация влияния внешних электрических полей на жгуты кабелей.

Современные летательные аппараты (ЛА) оснащаются сложным бортовым радиоэлектронным оборудованиям (БО). Ключевую роль при передаче сигналов между БО в таких ЛА играет бортовая кабельная сеть (БКС). Она обеспечивает передачу данных, управляющих сигналов и электропитания, напрямую влияя на надежность и качество функционирования всего ЛА. По статистике, 80-85% отказов авионики связаны с бортовой электросетью [1], что подчеркивает важность качества БКС и соблюдения требований электромагнитной совместимости (ЭМС).

Проектирование БКС ЛА связан с множеством этапов, одним из которых является трассировка кабелей, которая в большинстве случаев носит эвристический характер и опирается на многолетний опыт конструкторов ЛА. Это увеличивает сроки и стоимость разработки, так как отсутствуют отработанные алгоритмы, позволяющие выполнять автоматизированную многокритериальную трассировку. Несмотря на множество исследований и существующие САПР БКС, по-прежнему остается актуальным задача разработки алгоритмов многокритериальной трассировки кабелей в ЛА, в том числе и с учетом критериев ЭМС [2]. Целью же данной работы является разработка алгоритма трассировки кабелей на ЛА с учетом критерия ЭМС. В качестве такого критерия предлагается минимизировать влияние внешних электрических полей на жгуты кабелей путем учета в процессе трассировки распределение напряженности электрического поля, полученное в ходе имитационное моделирования электромагнитных процессов в ЛА.

Задачу трассировки кабелей в конструкции ЛА сформулируем следующим образом: имеется монтажное пространство БКС ЛА, представленное в виде графа-решетки, содержащей в себе множество всех возможных маршрутов прокладки кабелей (рис. 1), необходимо найти такие маршруты кабелей на графе, которые вкупе наилучшим образом удовлетворяют критериям.

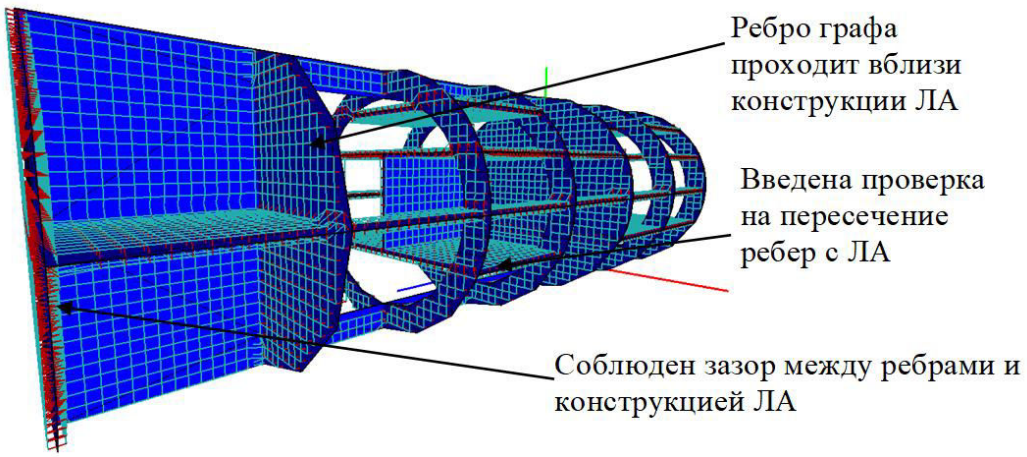


Рис. 1. Пример графа-решетки монтажного пространства кабельной сети ЛА

Исходными данными задачи при такой постановки будут являться: трехмерная компьютерная модель ЛА, множество кабельных соединений, распределение напряженности электрического поля на графе монтажном пространстве БКС ЛА, допустимые значения напряженности помех для кабельных соединений. Критерий задачи трассировки кабелей в ЛА при заданной постановке примут вид:

1. Минимизация длины всех кабелей:

$$\sum_{i=1}^{|C|}\sum_{j=1}^{|X|} a \cdot y_{i,j} \cdot h \to \min; \quad (1)$$

где C – множество кабелей, X - множество вершин графа, a — весовой коэффициент, определяющий важность критерия, $y_{i,j}$ — величина, принимающая значение 1, если i-ый кабель проходит через j-ую вершину, и 0 в противном случае, h – длина ребер графа

2. Минимизация влияния внешних электрических полей на кабели:

$$\sum_{i=1}^{|C|}\sum_{j=1}^{|X|} b \cdot y_{i,j} \cdot h \cdot f_{i,j} \to \min; \quad (2)$$

где b — весовой коэффициент, определяющий важность критерия, $f_{i,j}$ — величина, принимающая значение 1, если уровень напряженности электрического поля в j-ой вершине превышает максимально допустимое значение для i-го кабеля, и 0 в противном случае.

Для учета критерия ЭМС (2) необходимо получить картину распределения напряженности электрического поля во внутрифюзеляжном пространстве ЛА. С этой целью предлагается применить имитационное моделирование электромагнитных процессов в ЛА с помощью специализированных программ, реализующих численные методы решения уравнения Максвелла [3]. Результирующими данными трассировки будут являться: пути прокладки кабелей на графе монтажного пространства и трехмерные модели прокладки кабелей в конструкции ЛА.

Задача трассировки представляет собой задачу нахождения пути из одной вершины взвешенного графа в другую. При наличии критериев задача сводится к нахождению решения с минимальным значением целевой функции. Данная задача относится к классу задач дискретной комбинаторной оптимизации [4] и решается с применением таких базовых алгоритмов, как алгоритм обхода в ширину, алгоритм обхода в глубину, алгоритм Дейкстры, Алгоритм Беллмана-Форда, Алгоритм A*, Алгоритм Флойда-Уоршелла, Алгоритм Джонсона, Алгоритм Ли, Алгоритм Йена и т.д. Задача трассировки с учетом ЭМС усложняется дополнительным критерием (2), которая может противоречить критерию (1). В таких ситуациях вычислительная сложность классических алгоритмов растет и на помощь приходят эвристические методы, которые обеспечивают получение решений, близких к оптимальному, за приемлемое время. В последнее время растет интерес к природоподобным вычислительные подходам, заимствующие принципы у природных и социальных процессов. Особенно заметен прогресс в области алгоритмов, моделирующих коллективное интеллектуальное поведение в природе (роевой интеллект или Swarm Intelligence) [5], что свидетельствует о растущей востребованности таких решений в инженерном проектировании. В качестве алгоритма решения задачи трассировки был выбран и модифицирован алгоритм абстрактного роя, представленный в работе [6]. Блок схема алгоритма представлена на рисунке 2.

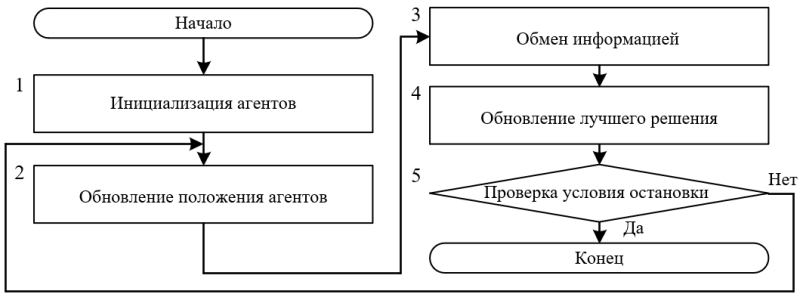


Рис. 2. Блок схема алгоритма абстрактного роя.

Параметрами алгоритма являются: количество агентов, радиус крика агентов, диапазон возможных значений скорости агентов. В данном алгоритме агенты – сущности, способные воспринимать и действовать курсируют между двумя вершинами на графе – блоками бортового оборудования (пункт А и пункт Б), которые являются началом или концом кабельного соединения. Представим более подробно шаги работы алгоритма:

Шаг 1. Создается популяция агентов. Каждому агенту случайно назначается вершина графа, направление, скорость и текущий пункт назначения А или Б. У каждого агента инициализируются счетчики – предполагаемые расстояние до пункта А или Б.

Шаг 2. Каждый агент обновляет свое положение в соответствии с его скоростью и направлением, прибавляя при этом к каждому из своих счетчиков число $h*(a+b*f_{ij})$ при этом: если агент «натыкается» на один из пунктов А или Б, то он обнуляет соответствующий счетчик, а если агент “натыкается” на свой текущий пункт назначения, то он меняет пункт назначения и направление на противоположные.

Шаг 3. Каждый агент “выкрикивает” значения своих счетчиков на дистанцию крика и прислушается к “выкрикиваниям” других агентов, находящихся в пределах дистанции крика, при этом, если агент “услышал” значение счетчиков, меньшее, чем у себя, то он обновляет соответствующий счетчик, а если у агента обновился счетчик до текущего пункта назначения, то он меняет направление в сторону агента, от которого услышал обновляющее значение;

Шаг 4. Исходя из убывания значений счетчиков агентов формируется маршрут из пункта А в пункт Б и рассчитывается сумма критерия (1) и (2) и если она меньше глобального, то глобальное решение обновляется.

Шаг 5. Алгоритм повторяет шаги 2–5 до выполнения одного из условий остановки: достигнута максимальное число итерации или достигнута минимальная разница в длине маршрутов между итерациями i и $i+1$.

Для проверки работы алгоритма на примере абстрактного ЛА (рис. 1) было разработано программное обеспечение на языке C#. Результат трассировки кабеля в ЛА с применением разработанного алгоритма представлен на рисунке 3.

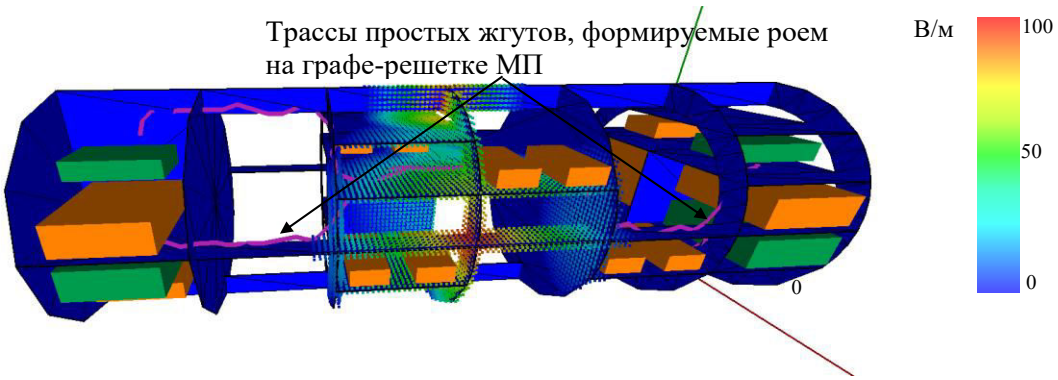


Рис. 3. Результат трассировки кабелей в ЛА

Результат исследования алгоритма подтверждает его практическую применимость для рассматриваемой задачи. Представленный алгоритм обладает такими существенными преимуществами, как масштабируемость, универсальность относительно различных критериев оптимизации и возможность одновременной прокладки множества кабелей.

Заключение

В данной работе была рассмотрена задача трассировки кабелей в ЛА с учётом дополнительного критерия для обеспечения ЭМС БКС ЛА. В качестве такого критерия предлагается минимизировать влияние напряженности электрического поля на кабели, путем учета в процессе трассировки распределение напряженности электрического поля, полученное в ходе компьютерного моделирования электромагнитных процессов в ЛА. Для трассировки кабелей в ЛА был разработан и модифицирован алгоритм абстрактного роя как один из перспективных методов решения представленного класса задач многокритериальной

оптимизации. Для автоматизации трассировки было разработано программа трассировки на языке C# с применением интерфейса Windows Forms и библиотеки классов OpenGL.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Монтаж, контроль и испытание электротехнического оборудования ЛА / А.Н. Коптев, А.А. Миненков, Б.Н. Марьин, Ю.Л. Иванов. – Москва: Научно-техническое издательство «Машиностроение», 1998. – 295 с. – ISBN 5-217-02655-3.

2. *Низамов Р.А*. Проектирование бортовой кабельной сети беспилотного летательного аппарата / Р. А. Низамов // Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли: Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, Казань, 08–10 августа 2018 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, 2018. – С. 167-171.

3. *Давыдов Е.И.* Моделирование характеристик электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств: магистерская диссертация: 11.04.01 / Уральский федеральный университет. – Екатеринбург, 2016. – 78 с.

4. *Ватутин Э.И.* Решение дискретных комбинаторных оптимизационных задач с использованием эвристических методов: методические указания / Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2016. – 30 с.

5. *Карпенко А.П.* Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие — Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 446 с - ISBN 978-5-7038-3949-2

6. Swarm intelligence simulation. Project "Screaming Insects" // YouTube: [сайт]. – URL: https://www.youtube.com/watch?v=Yu7sF9rcVJY (дата обращения 01.01.2025).

ROUTING OF COMMUNICATION CABLE LINES ON AIRCRAFT TAKING INTO ACCOUNT THE CRITERION OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY

Amirkhanov A.A.

Supervisor: Gaynutdinov R.R., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper considers the problem of multi-criteria cable routing on aircraft. The development of an abstract swarm algorithm for finding optimal cable routing paths in an aircraft is presented. Minimization of the total cable length and minimization of the influence of external electric fields on cable bundles are proposed as routing criteria.

УДК 004.896; 621.396.1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ АНТЕННЫХ СИСТЕМ

Арусланов Ш.Р.

Научный руководитель: Чермошенцев С.Ф., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Выполнен сравнительный анализ метаэвристических алгоритмов стаи серых волков и имитации отжига с жадным алгоритмом при размещении антенных систем на фюзеляже беспилотного летательного аппарата с учётом критериев электромагнитной совместимости. Эксперименты в единой постановке (общие исходные данные, одинаковые начальные условия и число итераций) показали преимущество алгоритма стаи серых волков по качеству решения при большей вычислительной трудоёмкости; имитация отжига уступает в качестве решений, но имеем меньшие требования к вычислительным ресурсам. Практически рекомендуется применять алгоритм стаи серых волков при жёстких требованиях по

электромагнитной совместимости, а имитацию отжига для быстрой оценки и генерации стартовых конфигураций.

Введение

Проектная процедура размещения элементов – это выбор такого их взаимного расположения, при котором были бы оптимизированы выбранные критерии качества (минимальная суммарная взвешенная длина соединений, минимальное число пересечений, максимальное число цепей простой конфигурации и т.п.) [1]. Задача размещения относится к классу NP-трудных проблем оптимизации [2]. Уже при пяти-шести размещаемых элементах число потенциальных вариантов размещения растёт экспоненциально. На практике при решении подобных задач применяются приближённые методы, которые за разумное время находят квазиоптимальную конфигурацию.

Здесь возникает противоречие между стремлением проектировщика быстро получать гарантированно близкие к оптимальным многокритериальные решения различных задач размещения и отсутствием объективного выбора алгоритмов оптимизации, показавших свою эффективность в сравнительном анализе с другими методами.

Особенно остро стоит вопрос выбора алгоритма оптимизации при решении задачи размещения антенных систем на беспилотном летательном аппарате (БПЛА). Бурное расширение применений БПЛА приводит к неизбежному росту количества бортовых радиосистем, а следовательно – к уплотнению антенных устройств на ограниченной поверхности фюзеляжа. При этом нормативы по электромагнитной совместимости (ЭМС) ужесточаются, требуя гарантированно низкого взаимного влияния антенн в широком диапазоне частот. Чаще всего подобные конфигурации либо подбираются вручную, либо оптимизируются одним-единственным эвристическим методом без анализа его эффективности в различных условиях. Отсутствие сравнительного анализа не позволяет проектировщику обоснованно выбирать алгоритм под конкретный размер задачи и жёсткость ограничений, что ведёт к затратным итерациям и риску получить некачественное размещение элементов.

Постановка задачи

Целью данной работы является сравнительный анализ эффективности метаэвристических алгоритмов имитации отжига и стаи серых волков с жадным алгоритмом при решении задачи размещения антенных систем на БпЛА. В качестве метаэвристических выбраны алгоритм стаи серых волков и алгоритм имитации отжига как методы глобального поиска, устойчивые к локальным минимумам и не требующие строгих ограничений по целевой функции; жадный алгоритм используется как простой и быстрый базовый ориентир для сравнения качества решений и времени расчёта.

Задача размещения антенных систем на БПЛА состоит в подборе точек монтажа антенн на фюзеляже так, чтобы обеспечить выполнение критерия ЭМС антенн, учитывая геометрию монтажного пространства, характеристик антенных систем, их взаимных помех. Неправильное размещение антенн на БПЛА может вызвать критические сбои в работе важнейших систем (радиосвязь, навигация).

Полагается, что каждая антенна является источником или рецептором помехи (в самом общем случае антенна может выполнять обе функции в разных частотных диапазонах). Параметры антенн, такие как коэффициент усиления и диаграмма направленности, а также геометрические размеры фюзеляжа БПЛА, считаются заданными. Пусть существуют r антенных систем, воспринимающих помеху (рецепторы), и s антенных систем, генерирующих помеху (источники). Положение любой антенны описывается вектором координат x на поверхности фюзеляжа.

Для выполнения критерия ЭМС необходимо, чтобы мощность помехи $P_{\text{ИП}i}^{ij}$, поступающей от j -го источника на i-й рецептор по основному каналу, не превышала допустимого значения $P_{\text{РП}i\ \text{доп}}$, также и мощность помехи интермодуляционного продукта $\boldsymbol{P}_{\text{ИМ}}$ не должна превышать допустимой интермодуляционной помехи $P_{\text{РП}i\ \text{ИМ доп}}$.

$$\boldsymbol{P}_{\text{РП}i\text{ доп}} > \boldsymbol{P}_{\text{ИП}i}^{ij} = \boldsymbol{P}_{\text{ИП}} + \boldsymbol{L}_{\text{ИП}} + \boldsymbol{L}_{\text{РП}} + \boldsymbol{L}_{\text{ср}},$$
$$\boldsymbol{P}_{\text{РП}i\text{ ИМ доп}} > \boldsymbol{P}_{\text{ИМ}} = k_1\boldsymbol{P}_{\text{ИП1}} + k_2\boldsymbol{P}_{\text{ИП2}} - k_{\text{ИМ}},$$
$$\boldsymbol{P}_{\text{РП}i\text{ ИМ доп}} > \boldsymbol{P}_{\text{ИМ}} = k_1\boldsymbol{P}_{\text{ИП1}} + k_2\boldsymbol{P}_{\text{ИП2}} + k_3\boldsymbol{P}_{\text{ИП3}} - k_{\text{ИМ}},$$

где $\boldsymbol{P}_{\text{ИП}}$ – мощность источника помехи, $\boldsymbol{L}_{\text{ИП}}$ – ослабление помехи источником, $\boldsymbol{L}_{\text{РП}}$ – ослабление помехи рецептором, $\boldsymbol{L}_{\text{ср}}$ – ослабление помехи средой распространения, k_1, k_1, k_1 – целые числа (1, 2, …, 6), $i = \overline{1..r}$, $j = \overline{1..s}$.

Таким образом, для обеспечения ЭМС антенных систем требуется, чтобы помеха не превышала допустимое значение, при этом чем меньше будет данная разница, тем меньшее влияние окажет помеха рецептор, и формируются два критерия оптимизации: критерий парной оценки помехи по основному каналу F_1 и критерий интермодуляционной устойчивости F_2.

$$F_1 = \max\left(\boldsymbol{P}_{\text{ИП}i}^{ij} - \boldsymbol{P}_{\text{РП}i\text{ доп}}\right) \to min,$$
$$F_2 = \max\left(\boldsymbol{P}_{\text{ИМ}} - \boldsymbol{P}_{\text{РП}i\text{ ИМ доп}}\right) \to min.$$

Учет нескольких критериев. В работе используем два подхода для учета нескольких критериев: линейную свёртку (с использованием весовых коэффициентов) и подход на основе оптимальности по Парето.

В рамках линейной свертки несколько частных критериев объединяются в один целевой показатель:

$$F = \alpha F_1 + \beta F_2 \to min,$$

где α и β – весовые коэффициенты. Стоит отметить, что большим недостатком свертки является субъективность подбора весовых коэффициентов.

При ранжировании решений по Парето строится множество недоминируемых решений и далее выбирается компромиссный вариант, который улучшает один из критериев, не ухудшая другой.

Алгоритмы оптимизации и методика сравнения

Перейдем к рассмотрению применяемых для решения задачи размещения антенных систем алгоритмов, среди которых жадный алгоритм рассматривается как базовый ориентир при сравнении метаэвристических методов.

Жадный алгоритм – это алгоритм, где на каждом шаге выбирается локально наилучший вариант по простому критерию. Такой метод привлекателен своей простотой и скоростью, особенно в задачах, где структура позволяет такой выбор привести к оптимальному результату.

Пошаговое описание жадного алгоритма следующее:

Шаг 1. Генерация начального решения.

Шаг 2. Оценка текущего решения.

Шаг 3. Генерация соседнего решения.

Шаг 4. Оценка соседнего решения.

Шаг 5. При улучшении значения целевой функции переход в соседнее решение.

Шаг 6. Проверка критерия остановки, при невыполнении переход к Шаг 3.

Рассмотрим метаэвристические алгоритмы, представленные алгоритмами стаи серых волков и имитации отжига.

Алгоритм стаи серых волков упрощённо воспроизводит иерархию и охотничье поведение стаи: роль «вожаков» играют три лучшие особи, а остальные ориентируются на них. Новые позиции рассчитываются относительно тройки лидеров, что позволяет уточнять «координаты добычи» и постепенно сжимать поиск вокруг перспективных областей. Переключение между разведкой и окружением достигается управляемыми коэффициентами, которые по мере итераций переводят стаю от глобального поиска к локальному доработанному движению. Уникальность метода заключается в использовании трёх опорных лидеров вместо одного и в простой модели окружения/атаки, обеспечивающей хорошую адаптируемость и малую параметризованность. [3, 4].

Пошаговое описание алгоритма стаи серых волков следующее:

Шаг 1. Генерация начальной популяции волков в пространстве поиска.

Шаг 2. Инициализация параметров алгоритма и коэффициентов a, A, C.

Шаг 3. Оценка целевой функции для всех особей.

Шаг 4. Определение лидеров-волков: α, β, δ по наилучшим значениям.

Шаг 5. Обновление коэффициентов a, A, C для баланса «поиска/окружения».

Шаг 6. Генерация новых позиций особей относительно тройки лидеров.

Шаг 7. Переоценка целевой функции и перестановка иерархии при улучшениях.

Шаг 8. Обновление позиций лидеров Xα, Xβ, Xδ.

Шаг 9. Проверка критерия остановки; при невыполнении – возврат к шагу 5.

Шаг 10. Вывод лучшего решения и фиксация результата.

Алгоритм имитации отжига имитирует медленное охлаждение расплавленного металла: имеется «температура», от которой зависит вероятность принять даже худшее решение, что позволяет выходить из локальных минимумов. По мере охлаждения система «замерзает» вблизи глобального минимума. Уникальность метода в сочетании случайного поиска с контролируемым уменьшением допуска к худшим состояниям: это даёт простой, универсальный способ глобальной оптимизации без необходимости знать градиенты и без строгих ограничений на форму функции [5].

Пошаговое описание алгоритма имитации отжига следующее:

Шаг 1. Инициализация температуры и параметров.

Шаг 2. Генерация начального решения.

Шаг 3. Оценка текущего решения.

Шаг 4. Генерация соседнего решения.

Шаг 5. Оценка соседнего решения.

Шаг 6. Принятие решения по распределению Больцмана.

Шаг 7. Обновление температуры по методу охлаждения.

Шаг 8. Проверка критерия остановки, при невыполнении переход к Шаг 4.

Методика сравнения представленных алгоритмов размещения включает в себя следующие шаги:

Шаг 1. Формирование единого экспериментального набора исходных данных (модель фюзеляжа, STEP-модели антенн, ограничения).

Шаг 2. Запуск жадного алгоритма и алгоритмов имитации отжига и стаи серых волков при одинаковых условиях (одни и те же стартовые позиции антенн, одинаковое количество итераций).

Шаг 3. Фиксация значений целевых функций на каждой итерации и времени работы алгоритмов.

Шаг 4. Оценка качества результатов размещения и скорости решения задачи.

Таким образом, были зафиксированы используемые алгоритмы и определена единая процедура их сравнения. Это обеспечивает корректное сопоставление результатов работы алгоритмов и служит основой для дальнейшего изложения хода решения.

Ход решения

После предварительного формирования единого набора исходных данных выбирается общее начальное размещение антенн на поверхности фюзеляжа. Одна и та же стартовая конфигурация используется для всех алгоритмов, чтобы исключить смещение результатов. Далее задаются единые для сравнения ограничения и критерии F_1 и F_2, а также настраиваются параметры методов: для имитации отжига – начальная температура и коэффициенты свертки, для стаи серых волков определяются размер популяции и параметры a, A, C с законом их изменения. Для корректности сопоставления фиксируются одинаковое число итераций.

Для проведения экспериментов разрабатывается и используется программа, реализующая три алгоритма в единой оболочке. В ходе работы программа на каждой итерации вычисляет значения целевых функций, после завершения работы алгоритма формируется график зависимости значений целевых функций от номера итерации (штриховой линией

указан жадный алгоритм, длинным штрихом – алгоритм имитации отжига и сплошной линией отображен алгоритм стаи серых волков).

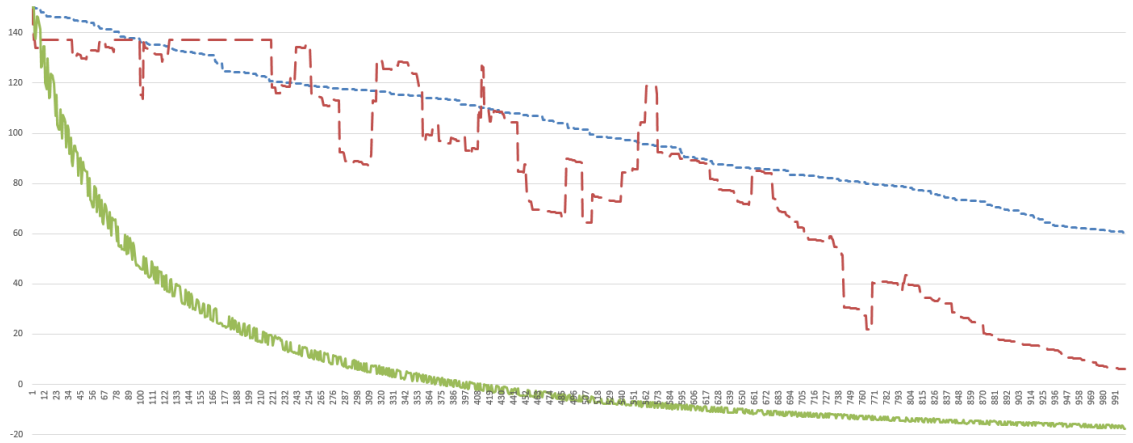


Рис. 1. Изменение целевой функции F_1

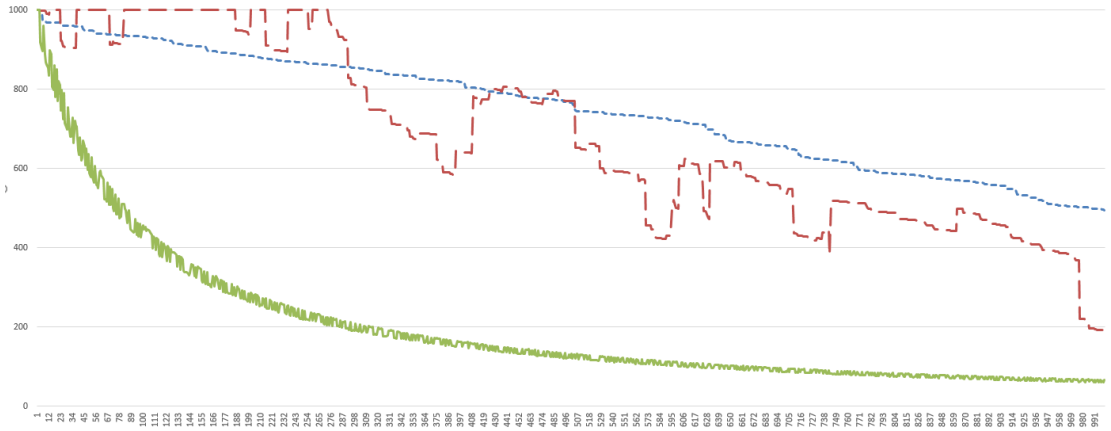


Рис. 2. Изменение целевой функции F_2

Заключение

В ходе выполнения данной работы был проведен сравнительный анализ эффективности метаэвристических алгоритмов имитации отжига и стаи серых волков с жадным алгоритмом при решении задачи размещения антенных систем на БПЛА, по итогам которого установлено следующее:

1. При одинаковом начальном размещении и общем количестве итераций наилучшие значения критериев F_1 и F_2 стабильно демонстрировал алгоритм стаи серых волков: он лучше остальных минимизировал превышения по основному каналу и по интермодуляционным помехам и в меньшей степени зависел от стартовой конфигурации. Однако алгоритму соответствует высокая вычислительная нагрузка и большее время до сходимости.

2. Алгоритм имитации отжига показал снижение целевых функций при малых вычислительные затраты, однако чаще «застывал» на близких к локальным минимумам уровнях и уступал по итоговым значениям F_1 и F_2.

3. Жадный алгоритм обеспечил минимальное время счета, но давал наихудшее качество размещения и наибольшую чувствительность к начальному состоянию.

Практический вывод состоит в том, что для задач с жесткими требованиями по ЭМС при больших вычислительных ресурсах предпочтителен выбор алгоритма стаи серых волков, при дефиците вычислительных ресурсов и необходимости оперативной оценки конфигураций разумно применять имитацию отжигая, жадный подход уместен как быстрый базовый ориентир или генератор стартовых решений. Перспективой дальнейших исследований видится гибридизация, в которой алгоритм имитации отжига формирует качественное

начальное размещение, а алгоритм стаи серых волков выполняет оптимизацию до требуемого уровня по F_1 и F_2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Автоматизации проектирования электронных средств: учебное пособие / В.В. Воронова, И.В. Суздальцев. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2022. – 92 с.

2. *Махонина, Ю.В*. Решение задачи раскроя-упаковки с помощью комбинированного эволюционнно-генетического алгоритма / Ю.В. Махонина, Е.А. Неймарк // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2021. № 2. С. 24-31. DOI: 10.46960/1816-210X_2021_2_24.

3. *Частикова В.А., Жерлицын С.А.* Исследование алгоритма серых волков // Научные труды КубГТУ. 2016. № 16. С. 136–142.

4. *Лагунова А.Д.* Алгоритм стаи серых волков (GWO) для задач оптимизации // Оригинальные исследования. 2019. Т. 9. № 4. С. 52-62.

5. *Щербина О.А*. Метаэвристические алгоритмы для задач комбинаторной оптимизации (обзор) // Таврический вестник информатики и математики. 2014. № 1 (24). С. 56–72.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METAHEURISTIC ALGORITHMS FOR ANTENNA SYSTEM PLACEMENT

Aruslanov S.R.

Supervisor: Chermoshentsev S.F., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. A comparative analysis was conducted of the Grey Wolf Optimizer and simulated annealing, benchmarked against a greedy algorithm, for placing antenna systems on the fuselage of an unmanned aerial vehicle with respect to electromagnetic compatibility criteria. Experiments carried out within a unified setting (shared input data, identical initial conditions, and the same number of iterations) demonstrated the superiority of the Grey Wolf Optimizer in solution quality at the cost of greater computational effort; simulated annealing produced lower-quality solutions but required fewer computational resources. In practice, the Grey Wolf Optimizer is recommended when electromagnetic compatibility requirements are stringent, whereas simulated annealing is suitable for rapid assessment and for generating initial configurations.

УДК 658.512

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМПОНОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ ПО МОДУЛЯМ ГИБКО-ЖЕСТКОЙ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Аскаров А.И.

Научный руководитель: Суздальцев И.В., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается автоматизация компоновки элементов на гибко-жесткой печатной плате с использованием генетического алгоритма. Основное внимание уделяется анализу проектной процедуры, разработке функциональных и поведенческих моделей, а также математическому обеспечению и информационному обеспечению задачи. Реализация метода обеспечивает минимизацию длины соединений и их пересечений при соблюдении конструктивных ограничений, что подтверждено тестовым примером.

В современной электронике особую актуальность приобретает задача автоматизации компоновки элементов на гибко-жестких печатных платах. Это связано с необходимостью создания компактных и надежных устройств, способных выдерживать механические нагрузки

и обеспечивать высокую плотность монтажа. В данной работе рассматривается применение генетического алгоритма для решения этой задачи, что позволяет значительно сократить время проектирования и улучшить качество конечного продукта.

Целью данной работы является разработка и применение генетического алгоритма для автоматизации процесса компоновки элементов по модулям гибко-жесткой печатной платы.

Исходные и результирующие данные задачи.

Входными данными для нашей задачи будут являться: список электрических соединений, ограничения на количество элементов, габаритные размеры ГЖПП, ограничение на количество соединений, тепловые параметры элементов, габаритные размеры модулей, габаритные размеры элементов, температурная карта, распределение элементов по модулям.

В результате решения задачи мы получим:

Утвержденная электрическая принципиальная схема с результатом компоновки - схема, которая определяет полный состав элементов, электрические соединения между элементами, оптимальное распределение элементов платы с учетом минимизации межмодульных соединений и теплового равновесия системы.

Математическая постановка задачи

В основу математической постановки задачи положена графовая модель G(E,U), где:

$E=\{e_1, e_2, \dots e_n\}$ — множество элементов схемы (вершины графа),

U — множество электрических соединений (рёбра графа).

Каждый элемент e_i характеризуется геометрическими размерами ($x_i \times y_i$), тепловыделением (Q_i) и массой (m_i). Плата разделена на модули жесткого и гибкого типа.

Целевая функция задачи имеет вид:

$$F = K_1 * \left(C_{\text{внутр}} + \text{C}_{\text{меж}}\right) + K_2 * T_{\text{нер}} \rightarrow min \quad (1)$$

где:

$$\text{C}_{\text{внутр}} = \sum_{(m)} \sum_{(i,j \in m)} c_{ij} \text{ - количество соединений внутри модулей} \quad (2)$$

$$\text{C}_{\text{меж}} = \sum_{((m1,m2))} \sum_{(i \in m1, j \in m2)} c_{ij} \text{ - количество соединений между модулями} \quad (3)$$

$$T_{\text{нер}} = \sqrt{\left(\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{m \in z} T_m - T_{\text{ср}}\right)^2} \text{ - стандартное отклонение тепловых нагрузок} \quad (4)$$

K_1, K_2 – весовые коэффициенты, которые отражают важность критерия минимизации количества соединений и критерия равномерности тепловыделения соответсвенно.

В задаче рассматриваются основные ограничения:

Ограничение на непересечение элементов:

$$\begin{cases} a_i + \frac{x_i}{2} \leqslant a_j - \frac{x_j}{2}, a_i \in (1; x), x_i \in (1, X) \\ a_j + \frac{x_j}{2} \leqslant a_i - \frac{x_i}{2}, a_j \in (1; x), x_j \in (1, X) \\ b_i + \frac{y_i}{2} \leqslant b_j - \frac{y_j}{2}, b_i \in (1; y), y_i \in (1, Y) \\ b_j + \frac{y_j}{2} \leqslant b_i - \frac{y_i}{2}, b_j \in (1; y), y_j \in (1, Y) \end{cases}$$

Ограничение на размещение элементов в пределах монтажной области ГЖПП: Выход элементов за пределы платы делает конструкцию неработоспособной и нарушает технологические стандарты.

$$\begin{cases} \frac{x_i}{2} \leqslant a_i \leqslant X - \frac{x_i}{2}, a_i \in (1; x), x_i \in (1; X) \\ \frac{y_i}{2} \leqslant b_i \leqslant Y - \frac{y_i}{2}, b_i \in (1; y), y_i \in (1; Y) \end{cases}$$

Рассмотрим описание **алгоритма**.

Генетический алгоритм (ГА) для компоновки элементов на гибко-жесткой печатной плате (ГЖПП) является эвристическим методом, применяемым для решения задач оптимизации, где необходимо учесть множество ограничений и критериев, таких как минимизация длины соединений, равномерное распределение тепловой нагрузки и соблюдение конструктивных ограничений[1].

Базовая идея ГА заключается в моделировании процессов естественного отбора и эволюции для нахождения приближённого оптимального решения. Подобно тому, как в природе наиболее приспособленные организмы имеют больше шансов выжить и передать свои гены потомкам, в ГА лучшие решения имеют больше шансов быть использованными для создания следующего поколения решений.

Процесс эволюции в ГА реализуется через следующие основные этапы: генерация начальной популяции, оценка приспособленности, скрещивание, мутация и отбор. После нескольких поколений "эволюции" алгоритм стремится к нахождению наиболее оптимального решения задачи.

Рассмотрим принцип действия алгоритма.

Шаг 1. Инициализация начальной популяции.

Генерация N хромосом, каждая из которых представляет распределение элементов по модулям. Будет создана последовательность значений, представляющая собой набор элементов, которые мы хаотично распределяем по модулям, согласно нашим исходным данным. Согласно генетической терминологии, каждая генерация будет называться хромосомами, которая в свою очередь будет создавать популяцию.

Этот этап является важным, именно от него будет зависеть качество поиска. Однако, наш алгоритм является эвристическим, от этого качество итогового решения зависит от того, сколько хромосом мы создадим.

Шаг 2. Расчет целевой функции.

На данном шаге, для созданных хромосом, мы считаем целевую функцию. Это делается для того, чтобы перейти к следующему шагу, по выбору родителей, для создания потомков, с последующей мутацией и на этой основе создании новой популяции.

Шаг 3. Селекция.

Для селекции, будем использовать турнирный метод селекции. Турнирный отбор — это метод селекции в генетических алгоритмах, который заключается в следующем:

1. Из популяции случайным образом выбирается подгруппа (турнир) из нескольких хромосом. Из выбранной подгруппы выбирается лучший участник — хромосома с наименьшим значением целевой функции.

2. Этот процесс повторяется для выбора всех родителей, необходимых для следующего поколения.

Турнирный отбор сохраняет разнообразие популяции: Даже хромосомы с незначительно худшим значением F могут быть выбраны для следующего поколения.

Шаг 4. Скрещивание.

Скрещивание происходит путем комбинирования частей хромосом родителей для создания потомков, обеспечение уникальности элементов в потомках.

Принцип скрещивания:

1) Выбираем модули для передачи генов от родителей.

От P1 берем M1, от P2 берем M2.

2) Формируем базу потомков

3) Добавляем оставшиеся элементы

Все элементы из множества {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}, которые еще не добавлены в потомка, распределяются по недостающим модулям.

4) Избегаем дубликатов.

5) Получим потомков

Шаг 5. Мутация.

Внесение случайных изменений в хромосомы с вероятностью, которая задается в исходных данных. Здесь мутация будет заключаться в взаимном перемещении элементов между модулями.

Шаг 6. Оценка новой популяции.

На этом шаге считаем целевую функцию для получившейся новой популяции. Созданные потомки становятся на позиции, отобранных на предыдущих пунктах, хромосом.

Шаг 7. Проверка критерий останова.

Проверка условий останова алгоритма. К условиям отнесем достижения количества популяций, либо достижение условия о том, что значения целевой функции остается неизменным на протяжении нескольких поколений или изменяется на минимальное значение.

Шаг 8. Отрисовка результата.

Рассмотрим работу **алгоритма.**

Исходная задача представлена на рисунке 1.

Преобразуем нашу схему в текстовый вид.

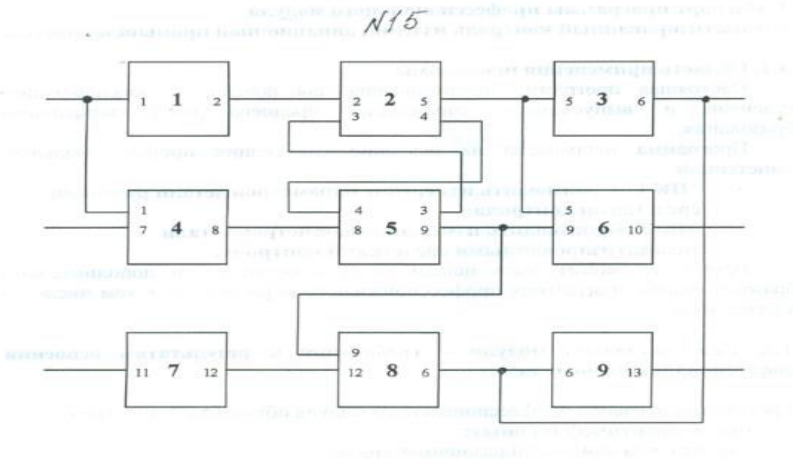


Рис. 1. Контрольный пример

1. Описание платы и модулей

Плата: 120 мм × 80 мм, гибкая зона в центральном продольном сечении (20 мм).

Модули (не перекрываются, все находятся в жёсткой зоне):

Модуль 1. «Питание» — 60 × 30 мм, ≤ 5 Вт

Модуль 2. «Управление» — 50 × 30 мм, ≤ 4 Вт

Модуль 3. «Связь» — 40 × 30 мм, ≤ 3 Вт

Таблица 1

Набор элементов

Элемент	Размеры (мм)	Мощность (Вт)	Функция
E1	10*10	1,5	DC-DC-преобразователь
E2	8*8	0,8	Линейный регулятор
E3	12*12	2	Микроконтроллер
E4	6*6	0,5	Датчик температуры
E5	10*10	1,2	Операционный усилитель
E6	8*8	0,7	Интерфейсный трансивер
E7	12*6	1	Фильтр питания
E8	14*14	2,5	Модем связи
E9	6*6	0,4	Светодиодный индикатор

Запишем количество соединений между каждой вершиной:

Для вершины 1: 1→ 2: (2); 1→4: (1); Для вершины 2: 2→ 1: (2); 2→3: (5); 2→5(4); 2→5(3); 2→6(5); Для вершины 3: 3→ 2: (5); 3→6: (5); 3→ 9: (6); 3→8: (6); Для вершины 4: 4→ 1: (1); 4→5: (8); Для вершины 5: 5→ 4: (8); 5→2: (3); 5→2: (4); 5→6: (9); 5→8: (9); Для вершины 6: 6→ 5: (9); 6→8: (9); 6→2: (5); 6→3: (5); Для вершины 7: 7→ 8: (12); Для вершины 8: 8→7: (12); 8→5: (9); 8→6: (9); 8→9: (6); 8→3: (6); Для вершины 9: 9→ 8: (6); 9→3: (6);

2.Ограничения и целевая функция

1) Габариты модулей: суммарная площадь элементов в модуле ≤ площадь модуля.

2) Тепловая нагрузка: суммарная рассеиваемая мощность в модуле ≤ допустимой.

3) Максимум компонентов: не более 3 элементов в каждом модуле.

4) Максимальное количество соединений на гибком шлейфе:

Между модулями 1 и 2: ≤ 5 соединений

Между модулями 2 и 3: ≤ 6 соединений

Между модулями 1 и 3: ≤ 3 соединений

3. Решение одной итерации

В первую очередь нам необходимо проинициализировать популяцию в начальном виде

Шаг 1. Создании популяции

Создадим, к примеру, 3 случайные хромосомы, обозначающие распределение элементов по модулям.

Хромосома 1. Модуль 1 — 1,2,3; Модуль 2 — 4,5,6; Модуль 3 — 7,8,9;

Хромосома 2. Модуль 1 — 1,4,7; Модуль 2 — 2,5,8; Модуль 3 — 3,6,9;

Хромосома 3. Модуль 1 — 1,5,9; Модуль 2 — 2,6,7; Модуль 3 — 3,4,8;

Шаг 2. Оценка целевой функции.

Для каждой хромосомы рассчитаем значение целевой функции, а также всех параметров, которые необходимые для целевой функции.

1) Посчитаем соединения для элементов внутри модуля — D.

Модуль 1 (M1): L(1;2) + L(2;3) = 5 + 2 = 7.

M2: L(4;5) + L(5;6) = 8 + 9 = 17

M3: L(7;8) + L(8;9) = 12 + 6 = 18

D = 7 + 17+ 18 = 42.

2) Посчитаем соединения для элементов вне модуля — $D_{меж}$.

$D_{меж}$ = L(1;4) + L(2;5) + L(2;5) + L(2;6) + L(3;6) + L(3;9) + L(3;8) + L(5;8) + L(6;8) = 1 + 3 + 4 + 5 + 5 + 6 + 6 + 9 + 9 = 48.

3) $T_{сум}$ — Сумма тепловой мощности в каждом модуле.

M1 = P1 + P2 + P3 = 1,5 + 0,8 + 2 = 4,3 Вт

M2 = P4 + P5 + P6 = 2,4 Вт.

M3 = P7 + P8 + P9 = 3,9 Вт.

$T_{ср}$ = 3,533; $T_{нер}$ = 0,946

Подсчитаем целевую функцию $F = K_1 * (D + D_{меж}) + K_2 * T_{нер} = 1 * (42 + 48) + 0,5 * 0,946 = 90,473$

Шаг 3. Подсчитаем все то же самое, но уже для Хромосомы 2.

D = M1 + M2 + M3 = 1 + 16 + 11 = 28.

$D_{меж}$ = 73.

$T_{нер}$ = 0,856

$F = K_1 * (D + D_{меж}) + K_2 * T_{нер} = 1 * (28 + 73) + 0,5 * 0,856 = 101,428$.

Шаг 4. Подсчитаем все то же самое, но уже для Хромосомы 3.

D = M1 + M2 + M3 = 0 + 6 + 5 = 11.

$D_{меж}$ = 79; $T_{нер}$ = 1,282; F = 90,641.

Шаг 5. Рассмотрим полученные результаты

X1: F = 90,473; X2: F = 101,428; X3: F = 90,641

Шаг 6. Кроссинговер.

Проведем турнирную селекцию.

Турнир 1: Выбор первого родителя

Случайно выбираем T=2 хромосомы для турнира.

Допустим, выбраны:

Хромосома 1 (F = 90,473), Хромосома 2 (F = 101,428).

Сравниваем F: F1 = 90,473, F2 = 101,428.

Выбор: Хромосома 2 (F = 90,473).

Турнир 2: Выбор второго родителя

Случайно выбираем T = 2 хромосомы для турнира.

Допустим, выбраны: Хромосома 1 (F = 101,428), Хромосома 3 (F = 90,641).

Сравниваем F: F1 = 101,428, F3 = 90,641.

Выбор: Хромосома 1 (F = 90,641).

Проведем кроссинговер с X1 и X2

Родитель 1 (1, 2, 3) / (4, 5, 6) / (7, 8, 9)

Родитель 2 (1, 5, 9) / (2, 6, 7) / (3, 4, 8)

Кроссинговер проходит следующим образом:

1) Выбираем модули для передачи генов от родителей.

От P1 берем M1, от P2 берем M2.

2) Формируем базу потомков

П1: (1, 2, 3) / (2, 5, 8). П2: (1, 4, 7) / (4, 5, 6).

3) Добавляем оставшиеся элементы

Все элементы из множества {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}, которые еще не добавлены в потомка, распределяются по недостающим модулям.

4) Избегаем дубликатов.

Используем «черный список» для учета уже добавленных элементов

П1 уже имеет (1, 2, 3, 5, 8), остаются (4, 6, 7, 9) → M3 (4, 6, 7), а элемент 9 добавляем в M2.

П2 имеет (1, 4, 7, 5, 6), остаются (2, 3, 8, 9) → M3 (2, 3, 8), а элемент 9 добавляем в M2

5) Получим потомков

П1 (1, 2, 3) / (5, 8, 9) / (4, 6, 7). П2 (1, 4, 7) / (5, 6, 9) / (2, 3, 8).

Шаг 9. Мутация.

Вероятность мутации — 10% - замена 1 го элемента между модулями одной хромосомы.

Шаг 10. Создание новой популяции.

Была продемонстрирована одна итерация, в итоге получим новую популяцию - (П1, П2, X3).

Заключение

В данной работе была рассмотрена задача автоматизации компоновки элементов на гибко-жестких печатных платах, что является важным этапом в проектировании современных электронных устройств. Использование генетического алгоритма позволило эффективно решить многокритериальную задачу компоновки, минимизируя количество соединений между модулями и обеспечивая равномерное распределение тепловой нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Макконелл Дж*. Основы современных алгоритмов. — М.: Техносфера, 2004. — 368 с.

2. *Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М.* Генетические алгоритмы. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 320 с.

3. *Воронова В.В.* Информационные технологии проектирования электронных вычислительных средств: Учебное пособие. — Казань: Изд-во КГТУ им. Туполева, 2007. — 207 с. [Электронный ресурс]. URL: http://jirbis.library.kai.ru/_docs_file/795827/ HTML/index.html (Дата обращения: 17.03.2021).

4. *Воронова В.В., Суздальцев И.В.* Генетический алгоритм при автоматизации проектирования электронных средств: Учебное пособие. — Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2016. [Электронный ресурс]. URI: http://www.e-library.kai.ru/reader/hu/flipping/Resource-2946/916.pdf/index.html (Дата обращения: 15.01.2019).

5. *Березина Л.Ю.* Графы и их применения. М.: Просвещение, 1979.

6. *Зыков А.Г., Поляков В.И.* Алгоритмы конструкторского проектирования ЭВМ. — СПб: Университет ИТМО, 2014.

7. *Курейчик В.М.* Математическое обеспечение конструкторского и технологического проектирования с применением САПР. — М.: Радио и связь, 1990.

8. *Мелихов А.Н., Верштейн В.С., Курейчик В.М.* Применение графов для проектирования дискретных устройств. — М.: Наука, 1974.

9. *Пирогова Е.В.* Проектирование и технология печатных плат: Учебник. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. — 368 с.

AUTOMATION OF THE LAYOUT OF CIRCUIT ELEMENTS ACCORDING TO MODULES OF A FLEXIBLE-RIGID PRINTED CIRCUIT BOARD BASED ON A GENETIC ALGORITHM

Askarov A.I.

Supervisor: Suzdalev I.V., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. This article discusses the automation of component layout on a flex-rigid printed circuit board using a genetic algorithm. The focus is on the analysis of the design procedure, the development of functional and behavioral models, as well as the mathematical and informational support of the task. The implementation of the method ensures the minimization of connection lengths and their intersections while adhering to design constraints, which is confirmed by a test example.

УДК 658.512.2:629.7.022

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМПОНОВКИ БЛОКОВ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА ЛЕТУЧИХ МЫШЕЙ

Ахмадуллина А.Ф.

Научный руководитель: Суздальцев И.В., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе проведён анализ процесса автоматизированной компоновки блоков бортовой аппаратуры космического аппарата с использованием алгоритма летучих мышей. Рассмотрена возможность повышения эффективности размещения блоков за счёт оптимизации суммарной длины соединений и минимизации отклонения центра масс. Показана эффективность применения метаэвристического метода для решения многокритериальной задачи оптимизации компоновки.

Современные космические аппараты становятся все более сложными, их конструкция требует высокой точности, надёжности и эффективности использования внутреннего объёма. С каждым годом возрастает количество функциональных блоков, устанавливаемых в корпусах космических аппаратов, а вместе с этим ужесточаются требования к их компоновке. Необходимость оптимального размещения бортовой аппаратуры обусловлена стремлением минимизировать массу соединений, обеспечить правильное положение центра масс и предотвратить возможные пересечения блоков, что в конечном итоге влияет на устойчивость и работоспособность аппарата [1]. Выполнение этих требований вручную требует

значительных трудозатрат, а также не гарантирует поиска наилучшего возможного решения. Именно поэтому автоматизация процесса компоновки с использованием современных алгоритмов оптимизации приобретает особую значимость. Автоматизированные методы позволяют существенно сократить время проектирования, повысить точность расчётов и обеспечить соблюдение всех конструктивных и эксплуатационных требований [2].

Основной целью данной работы является разработка и реализация математической и программной модели, позволяющей автоматизировать процесс компоновки блоков бортовой аппаратуры космического аппарата с учётом существующих ограничений и критериев оптимальности. В рамках работы требуется разработать алгоритм, который обеспечит минимизацию суммарной длины соединений между функциональными блоками, а также минимизацию отклонения центра масс компоновки от заданной точки. Для достижения поставленной цели в работе применяется алгоритм летучих мышей, который позволяет эффективно искать оптимальное размещение блоков в многомерном пространстве с учётом сложных ограничений [3].

В данной работе рассматривается бортовая аппаратура космического аппарата, состоящая из нескольких функциональных блоков. Каждый блок имеет определённые габариты, массу и смещение центра масс относительно своего геометрического центра. Задача заключается в том, чтобы разместить все блоки внутри корпуса космического аппарата таким образом, чтобы суммарная длина соединительных кабелей между блоками была минимальной, а центр масс всей компоновки находился максимально близко к заданной точке [1]. При этом необходимо учитывать ряд ограничений: все блоки должны полностью помещаться в пределах корпуса, между ними не должно быть пересечений, а отклонение центра масс не должно превышать допустимого значения.

Математически задача формализуется следующим образом: требуется минимизировать аддитивную целевую функцию, включающую два критерия – длину соединений и отклонение центра масс:

$$F = \alpha F_1 + \beta F_2 \to min$$

где – F_1 критерий минимизации суммарной длины соединений, F_2 – критерий минимизации смещения центра масс от требуемого, α и β – весовые коэффициенты.

Ограничения задачи:

— блоки не выходят за пределы внутреннего объёма корпуса;

— блоки не пересекаются между собой;

— отклонение центра масс не превышает допустимого значения.

В качестве исходных данных задаются габариты корпуса, параметры всех блоков, соединения между ними и допустимое отклонение центра масс [4].

Для решения поставленной задачи в работе выбран алгоритм летучих мышей, который относится к классу метаэвристических методов оптимизации. Алгоритм имитирует поведение колонии летучих мышей, использующих эхолокацию для обнаружения пищи и ориентирования в пространстве [3]. В рамках адаптации алгоритма к задаче компоновки каждая «летучая мышь» представляет собой отдельный вариант размещения блоков в корпусе космического аппарата. Алгоритм позволяет эффективно обрабатывать многокритериальные задачи и обеспечивает быстрое нахождение приемлемых решений в условиях сложных ограничений [5].

Основная идея алгоритма заключается в следующем. В начале формируется начальная популяция, в которой каждая особь имеет набор координат всех блоков. Для каждой особи рассчитывается значение целевой функции, определяющей качество решения. Далее на каждом шаге алгоритма обновляются параметры летучих мышей – их частоты, скорости и положения. Особенности алгоритма позволяют плавно переключаться от глобального поиска возможных решений к локальной тонкой настройке вблизи уже найденных удачных компоновок [3].

В процессе работы алгоритма используются следующие параметры: частота звуковых сигналов, громкость и скорость перемещения особей. Частота управляет диапазоном

перемещений блоков, громкость регулирует вероятность принятия новых решений, а скорость определяет направление и интенсивность изменения позиций. Алгоритм включает процедуру локального поиска, которая позволяет дополнительно улучшать найденные решения за счёт небольших случайных изменений в окрестности текущего положения [5].

Важной частью алгоритма является проверка ограничений: на каждом шаге необходимо убедиться, что все блоки остаются внутри корпуса, не пересекаются между собой и центр масс компоновки находится в допустимой зоне [4]. Если новое решение нарушает хотя бы одно из ограничений, оно отклоняется.

Преимуществом алгоритма летучих мышей является его высокая гибкость, способность эффективно учитывать сложные нелинейные ограничения и устойчивость к попаданию в локальные минимумы, что делает его особенно подходящим для рассматриваемой задачи [5].

В качестве контрольного примера была смоделирована компоновка десяти функциональных блоков внутри отсека корпуса космического аппарата размером 3×2,5×3 метров. Блоки имели различные габариты, массы и смещения центров масс. Также были заданы соединения между блоками и допустимое отклонение центра масс, равное 0.5 метра. Алгоритм летучих мышей был запущен с размером популяции 20 особей и параметрами, обеспечивающими баланс между скоростью сходимости и качеством решений.

На первой итерации была сгенерирована начальная компоновка, удовлетворяющая всем ограничениям. Были рассчитаны длины соединений и отклонение центра масс. В результате локального поиска была предложена незначительная корректировка положения одного из блоков, что позволило уменьшить длину соединений и слегка приблизить центр масс к требуемому положению.

В дальнейшем алгоритм продолжал корректировать положения блоков. После 10 итераций наблюдалось значительное улучшение показателей по сравнению с исходным вариантом: суммарная длина соединений уменьшилась примерно на 7.5%, а отклонение центра масс сократилось на 12%.

Для наглядности в таблице 1 приведены абсолютные значения параметров до и после оптимизации.

Таблица 1

Значения параметров

Параметр	Исходное значение	После 10 итераций	Улучшение
Суммарная длина соединений	25.0 м	23.1 м	–7.5%
Отклонение центра масс	0.50 м	0.44 м	–12%

Таким образом, итоговое отклонение центра масс составило 0.44 м (при допустимом значении 0.5 м), а суммарная длина соединений – 23.1 м, что демонстрирует эффективность применения алгоритма летучих мышей для решения задачи автоматизированной компоновки.

На основе полученных данных была построена визуализация расположения блоков внутри корпуса (рисунок 1), которая наглядно демонстрирует, что предложенное размещение обеспечивает выполнение всех требований [2]. Визуально было подтверждено отсутствие пересечений между блоками.

В ходе выполнения работы была успешно решена задача автоматизированной компоновки блоков бортовой аппаратуры космического аппарата с использованием алгоритма летучих мышей. Разработанная математическая модель учитывает все важные особенности процесса: габариты блоков, их массу, допустимое отклонение центра масс, а также необходимость минимизации суммарной длины соединений [1]. Алгоритм летучих мышей показал высокую эффективность при решении многокритериальной задачи и обеспечил приемлемое качество компоновки за ограниченное число итераций [3].

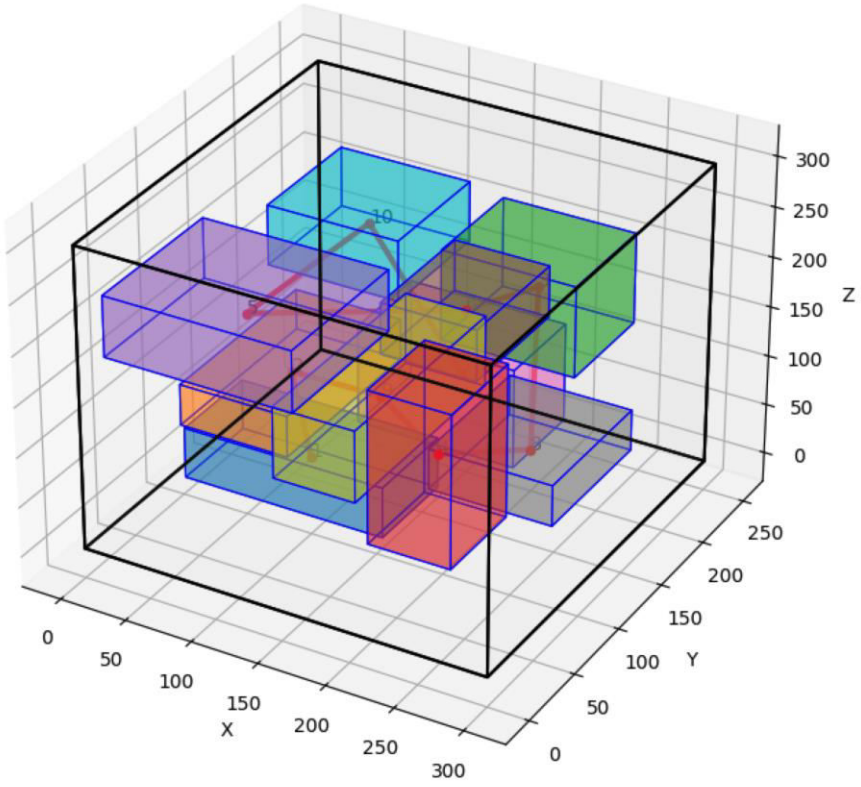


Рисунок 1. Визуализация расположения блоков внутри корпуса

В ходе моделирования было подтверждено, что применяемый метод позволяет находить оптимальные решения, удовлетворяющие всем конструктивным и эксплуатационным требованиям. Результаты моделирования продемонстрировали, что предложенный подход позволяет существенно сократить трудоёмкость проектирования и повысить качество компоновочных решений [2]. Выполненная работа показала перспективность использования метаэвристических методов в задачах автоматизации проектирования бортовой аппаратуры космических аппаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Туманов В.Е.* Основы компоновки бортового оборудования пилотируемых космических аппаратов. — М.: Машиностроение, 2005. — 320 с.

2. *Соловьёв Ю.А.*, *Карасев В.П.* Автоматизация проектно-конструкторских работ в ракетно-космической технике. — М.: Машиностроение, 2017. — 256 с.

3. *Янг Х.* Искусственный интеллект в инженерных задачах. — СПб.: БХВ-Петербург, 2018. — 480 с.

4. *Пичугин В.Г.*, *Соколов Б.А.* Проектирование космических аппаратов. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 512 с.

5. *Patel V.K.*, *Savsani V.J.* Optimization of mechanical design problems using metaheuristic algorithms // Structural and Multidisciplinary Optimization. 2016. Vol. 54. P. 1457–1474.

AUTOMATED LAYOUT OF SPACECRAFT ONBOARD EQUIPMENT BLOCKS USING THE BAT ALGORITHM

Akhmadullina A.F.

Supervisor: Suzdaltsev I.V., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Annotation. The paper presents an analysis of the automated layout process of spacecraft onboard equipment blocks using the bat algorithm. The possibility of improving block placement

efficiency by optimizing the total connection length and minimizing the deviation of the center of mass is considered. The effectiveness of applying a metaheuristic method for solving the multi-objective layout optimization problem is shown.

УДК 658.512.2:629.7.022

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА КУКУШКИ

Галиуллин Н.А.
Научный руководитель: Суздальцев И.В., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена автоматизации размещения элементов на печатной плате с использованием модифицированного алгоритма кукушки. В работе разработаны и реализованы модифицированный алгоритм кукушки для автоматизированного размещения элементов на печатной плате, описана постановка задачи и приведён пример работы алгоритма с учётом минимизации длины соединений, числа их пересечений и соблюдения ограничений.

Современные тенденции в электронике требуют высокой плотности монтажа, миниатюризации и надежности устройств. Ручные методы проектирования неэффективны для задач размещения элементов на печатной плате, где критичны минимизация длины соединений и числа их пересечений. Автоматизация на основе интеллектуальных алгоритмов актуальна для снижения трудоемкости и улучшения качества проектов.

Целью данной работы является разработка модифицированного алгоритма кукушки для решения задачи автоматизированного размещения компонентов на печатной плате с учетом топологических критериев и ограничений.

Исходные и результирующие данные задачи.

Задача формализуется в двумерном пространстве печатной платы, где каждый компонент представлен вершиной графа $G(V, U)$, а соединения – рёбрами. Координаты центра i-го элемента обозначаются как (x_i, y_i).

Целевые функции включают:

1. Минимизацию суммарной длины соединений:

$$F_1 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{ij} d_{ij} \to min,$$

где $d_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$ – евклидово расстояние, $c_{ij} \in \{0,1\}$ – наличие связи, n – количество элементов.

2. Минимизацию пересечений соединений:

$$F_2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} q_{ij} \to min,$$

где $q_{ij} \in \{0,1\}$ определяется наличием пересечения между соединениями.

Общая целевая функция:

$$F = k_1 F_1 + k_2 F_2,$$

где $k_1 + k_2 = 1$.

Ключевые ограничения:

1. Компоненты размещаются в пределах платы:

$$\frac{w_i}{2} \le x_i \le W - \frac{w_i}{2},$$

$$\frac{h_i}{2} \le y_i \le H - \frac{h_i}{2},$$

где W и H – ширина и высота печатной платы, w_i и h_i – ширина и высота посадочного места i-го элемента.

2. Посадочные места i-го и j-го элементов не перекрываются:

$$\begin{cases} x_i + \frac{w_i}{2} \le x_j - \frac{w_j}{2}, \\ x_j + \frac{w_j}{2} \le x_i - \frac{w_i}{2}, \\ y_i + \frac{h_i}{2} \le y_j - \frac{h_j}{2}, \\ y_j + \frac{h_j}{2} \le y_i - \frac{h_i}{2}. \end{cases}$$

3. Элементы не попадают в запрещённые зоны:

$$\begin{cases} x_i + \frac{w_i}{2} \le x_з - \frac{w_з}{2}, \\ x_з + \frac{w_з}{2} \le x_i - \frac{w_i}{2}, \\ y_i + \frac{h_i}{2} \le y_з - \frac{h_з}{2}, \\ y_з + \frac{h_з}{2} \le y_i - \frac{h_i}{2}, \end{cases}$$

где $x_з$ и $y_з$ – координаты центра запрещённой зоны, $w_з$ и $h_з$ – ширина и высота запрещенной зоны.

Рассмотрим описание алгоритма. Алгоритм кукушки, вдохновлённый гнездовым поведением кукушек, эффективно применяется для автоматизации размещения компонентов на печатной плате. Каждое размещение рассматривается как потенциальное решение, оцениваемое по целевым функциям. Новые варианты формируются с помощью случайных перестановок, основанных на механизме Levy-полётов, что позволяет одновременно улучшать уже найденные решения и искать новые в других, ещё не исследованных вариантах размещения. Лучшие конфигурации сохраняются, а наименее удачные заменяются новыми, что обеспечивает устойчивый прогресс в поиске. Такой подход позволяет эффективно решать сложные задачи размещения, достигая высокого качества при разумных затратах времени [1].

Рассмотрим принцип работы модифицированного алгоритма кукушки по шагам:

1. «Инициализация»

Формируется популяция $S = \{X_1, X_2, \dots, X_N\}$ из N решений. Каждое решение представляет собой размещение всех n компонентов на плоскости. Размещение задаётся координатами центров элементов:

$$X_i = \{(x_1, x_1), (x_2, x_2) \dots, (x_n, x_n)\}.$$

Координаты выбираются случайным образом из фиксированного диапазона. Также создаётся одно текущее рабочее решение X_c, выбранное случайным образом.

2. «Проверка ограничений»

Размещение X_i проверяется на выполнение всех проектных ограничений:

- компоненты размещаются в пределах платы;
- посадочные места компонентов не перекрываются;
- элементы не попадают в запрещённые зоны.

Если хотя бы одно ограничение нарушено, размещение отклоняется, и алгоритм возвращается к шагу 1 для генерации нового варианта.

Если все ограничения соблюдены, выполняется переход к шагу 3.

3. «Генерация нового размещения»

На основе текущего рабочего решения X_c создаётся новое размещение X'_c путём случайного изменения координат всех элементов:

$$X'_c = X_c + \alpha \oplus Levy(\lambda),$$

где $\alpha -$ масштаб шага, а $Levy(\lambda)$ – вектор случайных значений, $\bigoplus$ – произведение Адамара, λ – коэффициент.

Длина шага полета Леви s может быть получена как:

$$s = \frac{u}{|v|^{1/\beta}},$$

где u и v – случайные значения, имеющие нормальное распределение со следующими параметрами математического ожидания и дисперсии:

$$u \sim N(0, \sigma_u^2), v \sim N(0,1),$$

где

$$\sigma_u = \left\{ \frac{\Gamma(1+\beta)\sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{(1+\beta)}{2}\right)\beta 2^{\frac{\beta-1}{2}}} \right\}^{\frac{1}{\beta}},$$

где Г – гамма-функция, $\beta -$ параметр формы [2].

Тогда новые координаты элемента:

$$x'_c = x_c + \alpha \cdot s \text{ и } y'_c = y_c + \alpha \cdot s.$$

4. «Проверка ограничений»

Новое размещение X'_c проверяется на выполнение всех проектных ограничений:

- компоненты размещаются в пределах платы;
- посадочные места компонентов не перекрываются;
- элементы не попадают в запрещённые зоны;

Если хотя бы одно ограничение нарушено, размещение отклоняется, и алгоритм возвращается к шагу 2 для генерации нового варианта.

Если все ограничения соблюдены, выполняется переход к шагу 4.

5. «Выбор случайного решения»

Случайным образом выбирается одно из решений популяции, обозначим его X_i.

6. «Данное решение лучше?»

Новое решение X'_c сравнивается с X_i по значению целевой функции. Если $F(X'_c) > F(X_i)$, т.е. новое решение лучше, то осуществляется переход к шагу 5, иначе – к шагу 6.

7. «Замена решения»

Решение X'_c заменяет X_i в популяции.

8. «Удаление слабых решений»

С вероятностью p_a несколько случайных решений с наибольшим значением F удаляются из популяции.

9. «Генерация новых случайных размещений»

На место удаленных решений генерируются новые случайные размещения.

10. «Поколение достигло заданного предела?»

Если поколение достигло заданного предела, то выбирается решение с наименьшим значением целевой функции и алгоритм завершается, иначе осуществляется переход к шагу 3.

Результаты размещения, полученные в ходе работы алгоритма, представлены на рис. 1:

Значение целевой функции Fдля этого размещения равно 236.91.

В результате было достигнуто улучшение целевых показателей качества решений на 40,6% по критерию минимальной длины соединений и на 25% по критерию числа пересечений между ними.

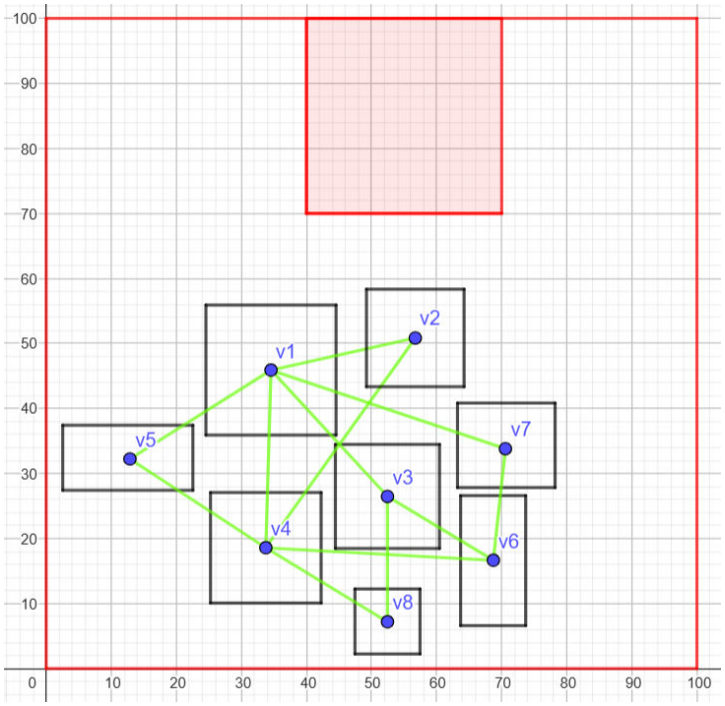


Рис. 1. Результат размещения

Реализация модифицированного алгоритма кукушки доказала эффективность в автоматизации размещения компонентов на печатной плате, обеспечив снижение целевой функции F. Время работы алгоритма зависит от числа элементов, ограничений платы и параметров поиска: увеличение шага α ускоряет сходимость, но требует баланса с точностью, а рост вероятности замены решений p_a расширяет исследование пространства решений. Метод применим для сложных задач при условии оптимизации параметров и строгого контроля конструктивных ограничений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Зиновьев И.В.* Сравнение эффективности алгоритмов адаптивного управления светофорами // Научный журнал. — 2016. — № 4(22). — С. 57–60.

2. *Алалван А.Р.Д., Лихута В.И., Кислов Л.С.* Некоторые аспекты использования алгоритма кукушки в обучении и управлении роботами - Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2019. — 7 с.

AUTOMATION OF COMPONENT PLACEMENT ON A PRINTED CIRCUIT BOARD BASED ON THE CUCKOO SEARCH ALGORITHM

Galiullin N.A.

Supervisor: Suzdaltsev I.V., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. The article is dedicated to the automation of component placement on a printed circuit board using a modified cuckoo search algorithm. In this work, a modified cuckoo search algorithm for automated component placement on a printed circuit board has been developed and implemented. The problem statement is described, and an example of the algorithm's operation is presented, taking into account the minimization of connection lengths, the number of crossings, and the satisfaction of constraints.

УДК 004

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ИЗДЕЛИЙ

Гильмуллин Ф.В.

Научный руководитель: Богула Н.Ю., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань

Аннотация. В статье рассматривается архитектура и реализация системы управления данными трехмерных моделей изделий, ориентированной на исключение дублирования и обеспечение актуальности информации. Описаны принципы построения структуры хранения, проектирования базы данных и разработки программного обеспечения с функциями валидации, управления версиями и истории изменений. Представлен опыт применения системы и обоснована ее практическая значимость для решения инженерных и образовательных задач.

1. Введение. В условиях активной цифровизации промышленного производства возрастает потребность в надежном управлении инженерными данными. Особенно это актуально для работы с трехмерными моделями изделий, которые составляют основу проектной документации, участвуют в технологических и сборочных процессах и требуют строгого контроля версий. Управление такими данными предполагает не только их структурированное хранение, но и предотвращение дублирования, возможность отслеживания изменений и обеспечения коллективной работы.

Существующие промышленные решения (в том числе PDM/PLM-системы) предоставляют широкий спектр функций, однако зачастую оказываются избыточными для небольших проектных групп или не обладают достаточной гибкостью в настройке структуры данных под конкретные производственные задачи. Это определяет актуальность создания легковесной и адаптируемой системы, сосредоточенной на решении прикладных задач хранения, валидации и управления 3D-моделями изделий.

2. Обзор существующих решений. На сегодняшний день существует широкий спектр программных решений, направленных на управление инженерными данными. Среди коммерческих систем можно выделить Autodesk Vault, PTC Windchill, Siemens Teamcenter, T-FLEX DOCs, Лоцман:PLM и 1С:PLM. Эти продукты охватывают практически весь жизненный цикл изделия — от проектирования и выпуска документации до сопровождения эксплуатации и утилизации. Они предлагают богатый функционал: поддержка коллективной работы, контроль изменений, интеграция с CAD-средами, управление спецификациями и жизненным циклом.

В рамках данной работы основной целью не является создание конкурентного универсального решения. Вместо этого акцент сделан на узком, но прикладном аспекте: разработке системы, обеспечивающей централизованное хранение 3D-моделей изделий, минимизацию дублирования компонентов и автоматическое распространение изменений. Такой подход ориентирован прежде всего на небольшие инженерные группы, где требуется гибкая, локально адаптируемая система с понятной структурой и открытой архитектурой.

3. Разработка структуры хранения данных. Ключевым принципом в разработке архитектуры хранения стала идея, согласно которой каждая деталь и соответствующий ей файл трехмерной модели существуют в системе в единственном экземпляре. Если определенная деталь входит в состав нескольких изделий, в базе данных она указывается как общая ссылка, что позволяет исключить дублирование информации. Формально структура описывается следующим образом.

Предполагается, что каждое изделие $p \in P$ состоит из набора деталей:

$$R_{PD} \subseteq P \times D. \quad (1)$$

Как показано в формуле (1), деталь d входит в структуру изделия p [1]. Каждая деталь $d \in D$ связана ровно с одной 3D-моделью:

$$f_M : D \to M, \tag{2}$$

то есть отображение (3)

$$f_M(d) = m \tag{3}$$

сопоставляет детали единственную трехмерную модель $m \in M$. Данная структура обеспечивает следующее важное свойство: 3D-модель не дублируется в базе, так как каждый экземпляр модели связан с одной деталью. Также деталь может быть использована в нескольких изделиях, что отражено отношением (1). Формула (4) используется для представления метаданных, связанных к возможным деталям и их моделям:

$$f_{MD} : M \cup D \to MD. \tag{4}$$

Данная функция связывает каждый элемент 3D-модели или детали с набором характеристик — версии, автора, даты, параметров проверки и т.д.

Таким образом, описанная структура данных представляет собой совокупность множеств и отношений, представленных в формуле (5):

$$S = (P, D, M, MD, R_{PD}, f_M, f_{MD}). \tag{5}$$

4. Проектирование базы данных и разработка программного обеспечения. На уровне базы данных реализована реляционная модель, отражающая логику структуры изделия и принципы недопущения дублирования.

В качестве СУБД использована PostgreSQL, обладающая необходимыми средствами для построения устойчивых связей, индексации, поддержки транзакций и масштабирования. Проектирование базы данных предусматривало отказ от избыточности, поддержку целостности связей и оптимизацию запросов на выборку при построении иерархий.

Программное обеспечение системы реализовано в виде клиент-серверного приложения. На серверной стороне функционирует логика загрузки, обработки и проверки моделей. Пользовательский интерфейс, представленный на рис. 1, позволяет работать с иерархией изделий, просматривать состав, управлять файлами и отслеживать историю изменений.

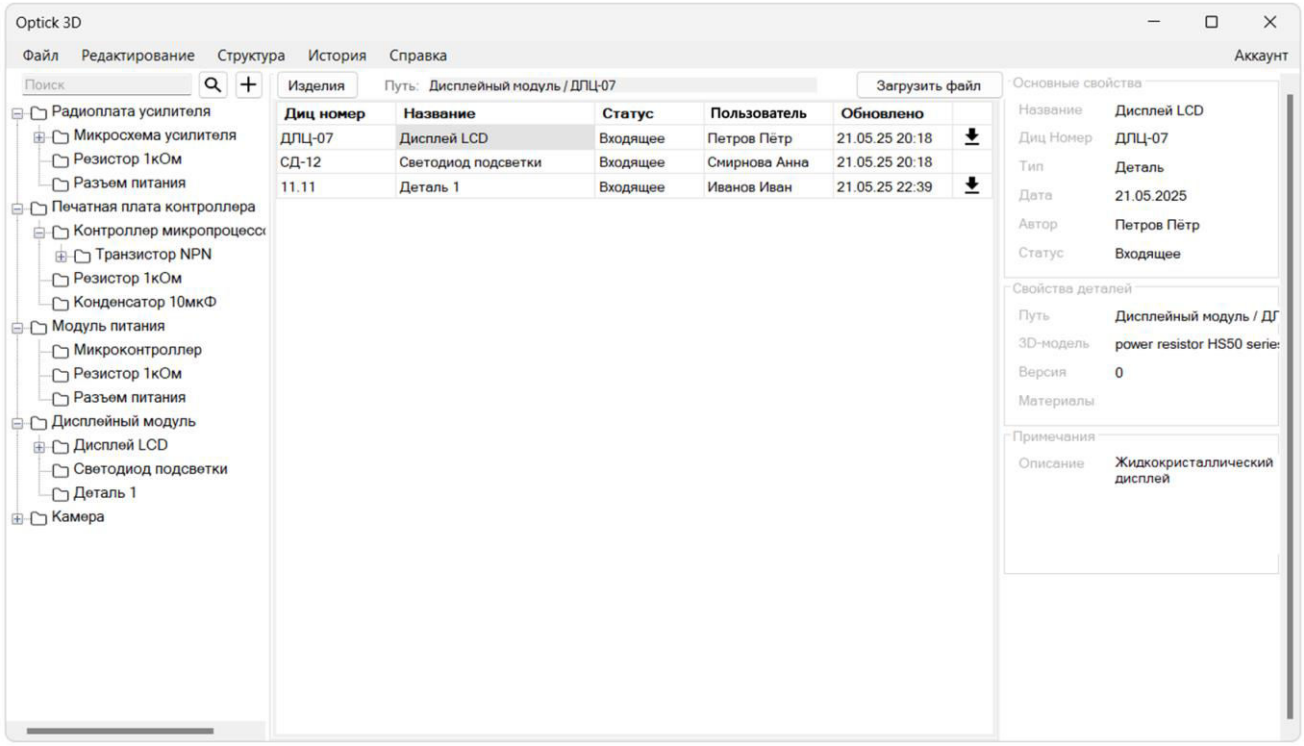


Рис. 1. Интерфейс программы

Окно для загрузки 3D-модели в систему представлено на рис. 2. При загрузке модели происходит автоматическая валидация файла: проверяется корректность структуры, соответствие формату STEP, наличие необходимых атрибутов [2]. В случае обнаружения ошибок система уведомляет пользователя и предлагает рекомендации по устранению.

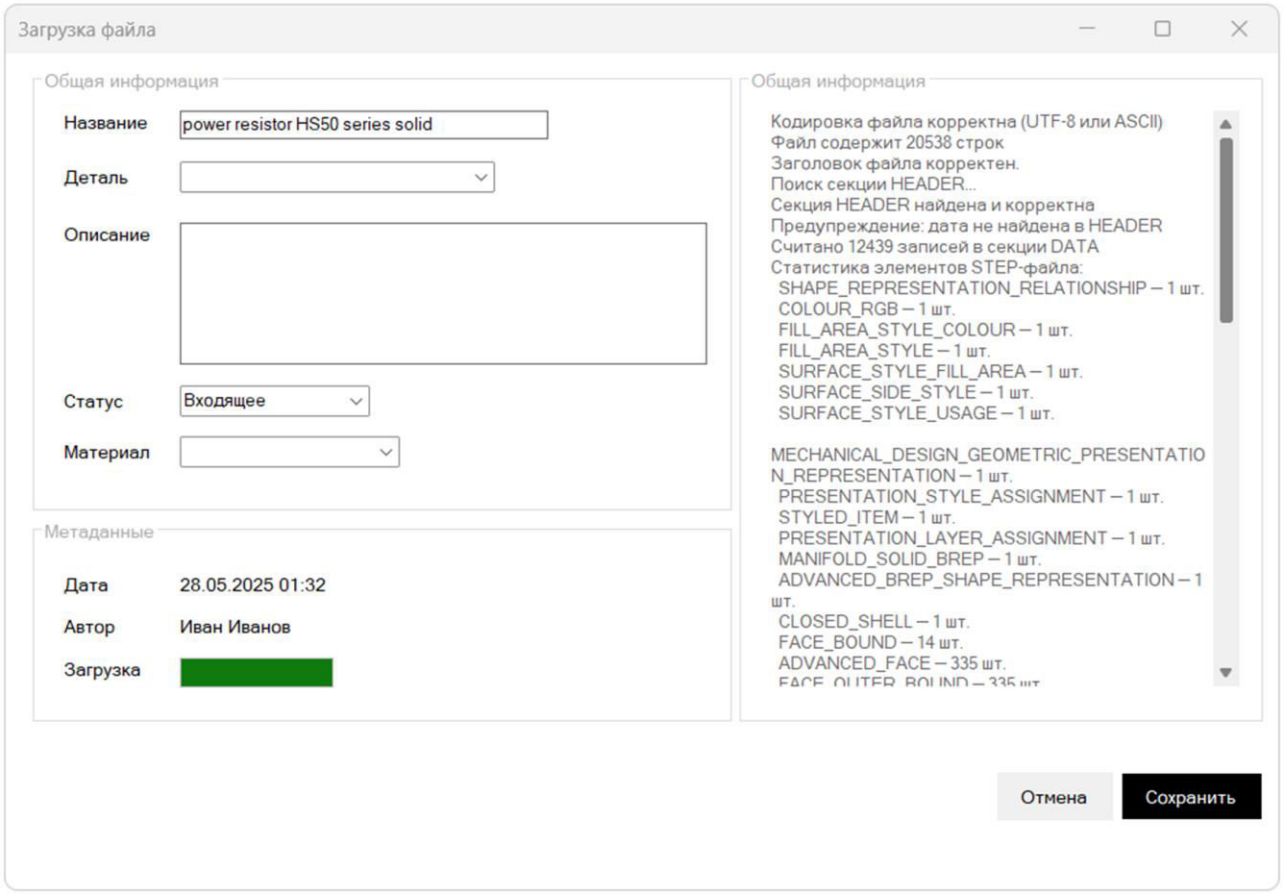


Рис. 2. Процесс загрузки файла

Важным механизмом является вычисление хеш-сумм для файлов моделей, что позволяет определять идентичные модели на уровне содержимого и исключать их повторную загрузку [3].

Модуль управления версиями позволяет отслеживать все изменения, происходящие с моделью. Каждое изменение фиксируется в базе данных с сохранением предыдущего состояния, а также всей сопутствующей информации — кто, когда и по какой причине вносил изменения.

5. Результаты и область применения. Разработанная система тестировалась на демонстрационных наборах моделей изделий. В процессе апробации подтвердилось, что при повторном использовании деталей объем базы данных остается неизменным, что свидетельствует об успешной реализации механизма исключения дублирования. Автоматическая проверка моделей на этапе загрузки позволяет обнаруживать ошибки на ранних стадиях, существенно снижая риск внесения некорректных данных в систему и, как следствие, ошибок на более поздних этапах проектирования. Механизм управления версиями и ведения истории изменений обеспечивает прозрачность всех операций и облегчает контроль в условиях коллективной работы. Интерфейс системы позволяет быстро ориентироваться в структуре изделия, получать доступ к связанным компонентам и отслеживать актуальное состояние моделей и деталей.

Учитывая архитектурную гибкость и независимость от внешних платформ, систему целесообразно применять в инженерных коллективах, где требуется локальное и настраиваемое решение для хранения и сопровождения трехмерных моделей. Кроме того, ее

можно использовать в образовательных учреждениях и исследовательских лабораториях для упрощения проектной деятельности и демонстрации принципов структурированного управления инженерными данными.

6. Заключение. Предложенная система управления данными трехмерных моделей ориентирована на решение конкретной задачи — исключения дублирования и обеспечения актуальности информации при совместной работе. За счет единообразного хранения, автоматической валидации и встроенного управления версиями достигается высокая надежность хранения инженерных данных. Система реализована с учетом требований к масштабируемости и адаптации под специфические производственные задачи. В перспективе предполагается расширение функциональности: интеграция с CAD-средами, добавление механизмов согласования и реализация пользовательских сценариев работы с моделью изделия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Вичугова А.А.* Формальная модель структуры взаимосвязей разнотипных объектов проектирования / А.А. Вичугова, В.Н. Вичугов, Г.П. Цапко // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322, № 5. – С. 164–169.

2. *Тараканов О.В.* Анализ методов контроля целостности файлов // Перспективы развития информационных технологий. – [М. : б. и.], 2015. – С. 184–188.

3. *Пономарёв М.В.* Использование файлов формата STEP в процессе автоматизированного технологического проектирования. Особенности, проблемы, реализация //Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – №. 1. – С. 127-131.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR MANAGING 3D PRODUCT MODEL DATA

Gilmullin F.V.

Supervisor: Bogula N.Yu., Associate Professor.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the architecture and implementation of a data management system for three-dimensional product models, designed to eliminate duplication and ensure information relevance. It describes the principles of storage structure design, database development, and software implementation with functions for validation, version control, and change history tracking. The paper presents the experience of applying the system and substantiates its practical significance for addressing engineering and educational tasks.

УДК 621.391.825

АВТОМАТИЗАЦИЯ АНАЛИЗА ПРЕДНАМЕРЕННЫХ HIRF-ВОЗДЕЙСТВИЙ НА БОРТОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВЕРТОЛЕТА

Ефремова Е.Н.

Научный руководитель: Суздальцев И.В., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Бортовое оборудование подвержено влиянию HIRF-воздействий, источниками которых могут быть: радиолокационные системы другой авиационной техники, радиолокационного обнаружения, радиопередатчики и радары. HIRF-воздействие может стать причиной выхода из строя компонент оборудования, возникновения кондуктивных помех, распространение которых осуществляется по проводящим элементам оборудования, искажения сигналов [1]. Влияние может сводиться к ухудшению характеристик канала передачи информации, возникновению неисправности оборудования или искажению

передаваемой по линиям связи информации. В связи с этим возникает задача анализа таких воздействий.

Основным приёмником HIRF-воздействий являются линии связи, которые обеспечивают передачу данных между бортовым оборудованием. Они включают в себя не только технические средства, но и физическую среду и могут состоять из кабелей передачи данных (могут быть экранированными или неэкранированными), цифровых интерфейсов, шин данных. В бортовом оборудовании линии связи обеспечивают взаимодействие его составляющих [2].

HIRF – излучаемое поле высокой интенсивности. HIRF-воздействие можно рассматривать как разновидность электромагнитного поля. Оно используется для тестирования бортового оборудования, в частности – самолетов и вертолетов. Учитываются только помехи от оборудования и систем вне собственной системы вертолета.

Кондуктивные помехи [3] распространяются в проводящей среде и могут возникать как в Земле, так и в проводниках и формируются в результате передачи высокочастотных колебаний или сигналов по проводам за счет гальванической и индуктивной связи. Помехи могут усиливаться при недостаточном или неправильном экранировании, несимметричности линии связи и возникновении резонансных явлений.

Прогнозирование и анализ HIRF-воздействий на бортовое оборудование позволяет убедиться, что система должным образом экранирована и при воздействии иного радиосигнала, оборудование не выйдет из строя.

К входным данным можно отнести длину линии связи и вибратора, который в данной задаче будем рассматривать в качестве источника HIRF-воздействий, длительность импульса амплитуды напряженности и тока, сопротивления на концах линии связи, расстояние между источником и приемником воздействий, параметры экрана (толщина экрана, толщина скин-слоя, материал, длина экранированной линии), радиус проводника и расстояние между проводниками.

Результатом решения задачи будут осциллограммы, иллюстрирующие HIRF-воздействие и его влияние на возникновение помех в линиях связи. По полученным в ходе анализа воздействия данным, включающим диаграммы, графики и численные значения, необходимо сделать вывод о помехоустойчивости.

В качестве источника HIRF-воздействий рассмотрим антенну, которая представляет собой элементарный вибратор – линейный проводник, а помехи, создаваемые воздействием HIRF, представим в виде импульсов.

В результате HIRF-воздействия, в линиях связи наводятся кондуктивные помехи. Опишем их через наведенные токи и напряжения [5], оказывающие воздействия на линии связи.

HIRF-воздействие представим в виде трёх векторов: вектора магнитного поля, электрического и вектора Пойнтинга. Вектор Пойнтинга позволяет описать движение энергии в электромагнитном поле и при воздействии HIRF.

Для расчета токов и напряжений используем эквивалентную схему, представленную на рис. 1.

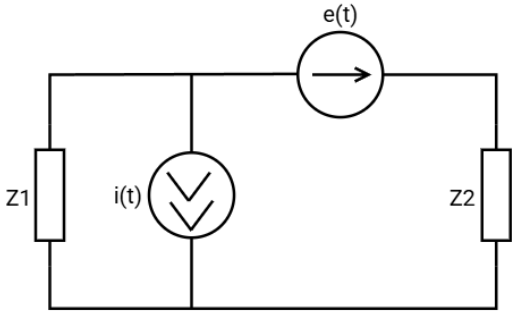


Рис. 1. Эквивалентная схема

Для расчетов используем следующие формулы [5]:

Напряжение, создаваемое источником HIRF в линии связи, вычислим согласно соотношению (1):

$$u(t) = 2\mu_0 l \times \frac{h}{2} \times \frac{dH_\psi(t)}{dt}, \quad (1)$$

где l – длина линии связи, h – расстояние между проводниками, $H_\psi(t)$ – аксиальная составляющая напряженности электрического поля.

В результате вычисления производной, получим формулу (2) для вычисления напряжения [5]:

$$u(t) = 2\mu_0 l \times \frac{h}{2} \times \frac{I_m L \times sin\theta}{4\pi rc} \times \sqrt{\sigma^2 + \omega_0^2} \times e^{-\sigma \times \left(t - \frac{r}{c}\right)} \times (-\sigma) \times \sin\left[\omega_0 \times \left(t - \frac{r}{c}\right) - arctg\frac{\omega_0}{\sigma}\right] + \frac{I_m L \times sin\theta}{4\pi rc} \times \sqrt{\sigma^2 + \omega_0^2} \times e^{-\sigma \times \left(t - \frac{r}{c}\right)} \times cos\left[\omega_0 \times \left(t - \frac{r}{c}\right) - arctg\frac{\omega_0}{\sigma}\right] \times \omega_0, \quad (2)$$

где I_m – амплитуда тока, L – длина элементарного вибратора – антенны, являющегося источником HIRF-воздействий, r – расстояние между источником и приемником HIRF-воздействий, ω_0 – угловая частота, θ – зенитный угол.

Ток в нагрузке вычислим по формуле (3):

$$i_н(t) = \frac{u(t)}{R_1 + R_2}, \quad (3)$$

где R_1 и R_2 – сопротивления на концах линии связи.

Используя преобразование Лапласа, напряжение на нагрузке можно представить в виде следующей зависимости (4):

$$U_н(p) = I_Л(p) \times R_a(p) \times l. \quad (4)$$

Здесь $I_Л(p)$ – изображение тока по Лапласу, а $R_a(p)$ – это операторная функция $R_a(p) = \frac{1}{T^2p^2 + mp + n} + pM$, модуль которой использует для аппроксимации модуль сопротивления, вычисляемый согласно следующему соотношению (5):

$$\underline{R}_a(\omega) = \frac{1 + j}{2\pi r_0 \times \sigma_э \times \delta \times sh\left[\frac{(1+j)\times d}{\delta}\right]} + j\omega M, \quad (5)$$

где d – толщина экрана, r_0 – радиус экрана, $\sigma_э$ – удельная проводимость для материала экрана, δ – толщина скин-слоя для материала экрана, M – взаимная индуктивность между внутренними проводниками линии связи и экраном.

В случае протекания тока по экрану, напряжение на нагрузке вычисляется из соотношения (6), а значение коэффициента можно найти по формуле (7):

$$U_н(p) = k \times \frac{1 + pM \times (T^2p^2 + mp + n)}{T^2p^2 + mp + n} \times \frac{\omega_0 - (p + \sigma)}{(p + \sigma)^2 + \omega_0^2}, \quad (6)$$

$$k = \frac{I_m l \times S^2 h \times (\sigma^2 + \omega_0^2) \times sin\theta}{2rc^2 \ln\left(\frac{2h}{a}\right)} \times arctg\left[\frac{\omega_0 \times (\sigma + c)}{c\sigma - \omega_0^2}\right], \quad (7)$$

где T, m и n – коэффициенты, a – радиус проводника, S – длина экранированной линии связи.

Постоянные, используемые в вычислениях:

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{Гн}{м}$ – магнитная постоянная;

$c = 3 \times 10^8 \frac{м}{с}$ – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды;

$\varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12} \frac{Ф}{м}$;

$\sigma = 2{,}5 \times 10^9 \frac{1}{с}$.

Рассмотрим пример анализа HIRF-воздействий на бортовую систему вертолета в среде электромагнитного моделирования. Создадим корпус вертолёта и линии связи двух типов в нём – линии с двумя слоями изоляции (коаксиальные кабели) и двойную линию с одним слоем изоляции. Компоненты оборудования представим в виде медных параллелепипедов. Модель вертолета представлена на рис. 2, модели линий связи изображены на рис. 3-4.

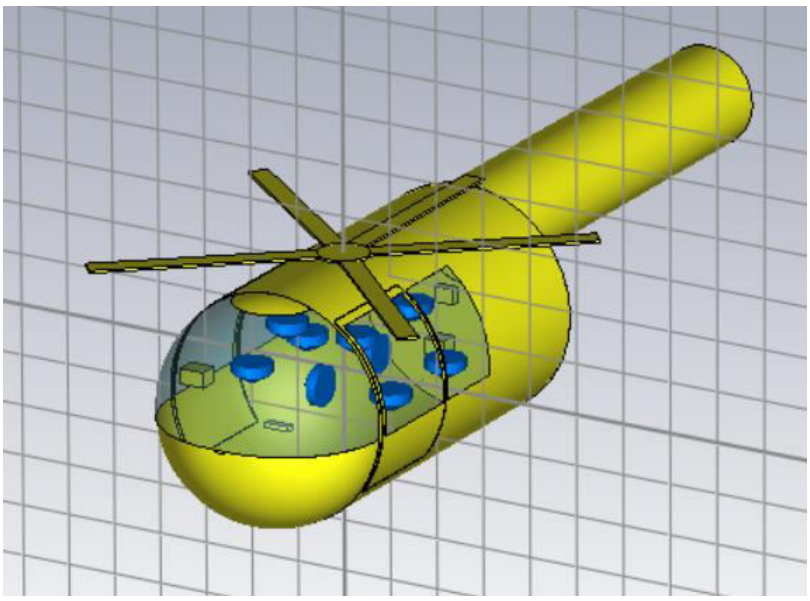


Рис. 2. Модель вертолета

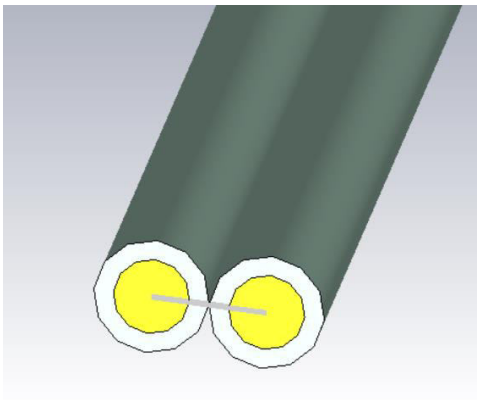


Рис. 3. Модель двойной линии связи

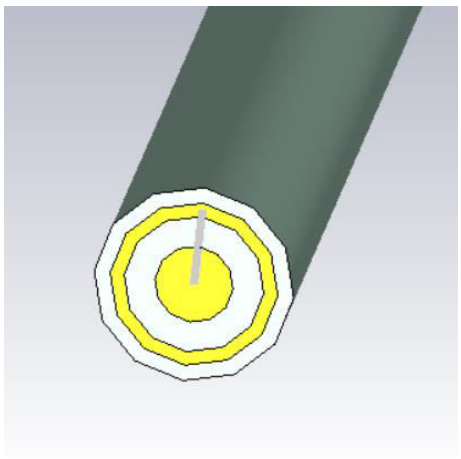


Рис. 4. Модель линии связи с двойной изоляцией

HIRF-воздействие представим в виде плоской волны с частотой 1 ГГц и напряженностью 200 В/м. Волна распространяется под углом к корпусу вертолета, с левой стороны (относительно позиции наблюдателя). Сигналы на конце линии каждого типа представлены на рис. 5-6. Максимальное напряжение для двойной линии связи составило 0,175 В, а минимальное -0,198 В. Для линии связи с двойным экранированием эти значения меньше: максимальное 0,0053 В, минимальное -0,0065 В.

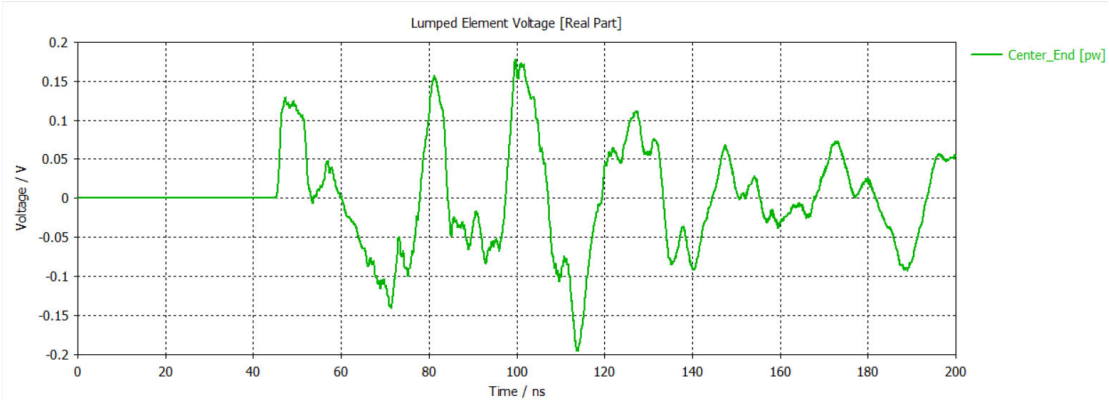


Рис. 5. Сигнал на конце двойной линии связи

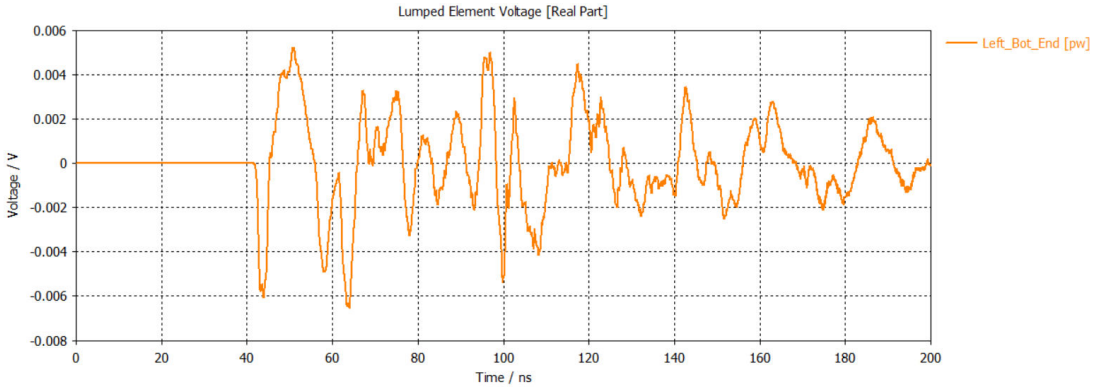


Рис. 6. Сигнал на конце линии связи с двойной изоляцией

Форма сигнала на графиках, рассмотренных выше, неровная, хаотичная, напряжение колеблется, что говорит о влиянии помех, вызванных воздействием HIRF, на линии связи. Для радиооборудования, при воздействии поля с указанными параметрами, в качестве допустимого значения используется напряжение 10 мВ. Этому уровню соответствуют только линии связи с двойной изоляцией, а напряжения для двойной линии связи представляют опасность для устройств в составе бортового оборудования и функционирования вертолета в целом.

Исходя из полученных графиков, можем сказать, что линия связи с межслоевым экранированием (с двумя слоями меди и полиамида) эффективнее подавляет помехи. Добавление ещё одного слоя экранирования снижает помехи на 97% (0,2 В против 0,006 В). Полученные результаты иллюстрируют важность и необходимость анализа HIRF-воздействий при проектировании бортового оборудования вертолета, учёта систем экранирования, фильтрации и иных методов защиты от радиочастотных воздействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Николаев П.А*. Устойчивость автомобиля к электромагнитному воздействию. Технологии электромагнитной совместимости. 2014. №4. С. 72-76.

2. *Моисеев В.С.* Комплексы бортового оборудования перспективных беспилотных вертолетов. – Казань: Редакционно-издательский центр «Школа». 2021. – 248 с.

3. *Кравченко В.И., Болотов Е.А., Летунова Н.И.*; под ред. В.И. Кравченко. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи. – М.: Радио и связь. 1987. – 256 с.

4. *Андреев В.А*. Временные характеристики кабельных линий связи. – М.: Радио и связь. 1986. – 104 с.

5. *Кириллов В.Ю., Томилин М.М.* Воздействие преднамеренных электромагнитных помех на бортовые кабели космических аппаратов. Труды МАИ. 2013. №66. С. 2-10.

AUTOMATION OF ANALYSIS OF INTENTIONAL HIRF-AFFECTS ON HELICOPTER BOARD EQUIPMENT

Efremova E.N.
Supervisors Suzdaltsev I.V., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Onboard equipment is affected by HIRF effects, which can be caused by other aircraft radar systems, radar detection systems, radio transmitters, and radars. HIRF effects can cause equipment components to malfunction, generate conductive interference that spreads through the equipment's conductive elements, and distort signals [1]. These effects can lead to degradation of the information transmission channel, equipment malfunctions, or distortion of transmitted information. Therefore, it is crucial to analyze these effects.

УДК 621.396.6:621.391.827

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ КОРПУСА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТ

Зайцев И.Ю.
Научный руководитель: Голубович Д.А., старший преподаватель
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Аннотация. В данном докладе рассматривается процесс электризации корпуса космического аппарата. Разработана имитационная модель космического аппарата. Получен численный, графический и визуальный результат распределения напряженности электромагнитного поля внутри и снаружи корпуса КА.

Введение

Воздействие статического электричества на КА приводит к накоплению зарядов потенциалов ∼1–20 кВ. Вследствие электризации возникают электрические разряды, создающие интенсивные электромагнитные помехи, а в некоторых случаях приводящие к повреждению и разрушению элементов аппаратуры. В результате на КА наблюдается большое количество аномалий в работе бортовой аппаратуры и оборудования: происходит самопроизвольное включение и выключение различных устройств, изменяется ориентация антенн, прекращается подача электроэнергии от солнечных батарей. Кроме того, активное использование в создании БРА достижений нано и микротехнологий снижает степень устойчивости (микросхемы становятся бескорпусными, многовыводными, уменьшается диэлектрический слой), применяемой аппаратуры к воздействию электромагнитных полей, что повышает актуальность данной проблемы в современных условиях [1-3].

Для оценки накопления и перераспределения поверхностного заряда используется модель электризации диэлектрических материалов, применяемых в конструкции КА. Такая модель реализуется в виде электрической схемы, содержащей элементы, эквивалентные емкостям, индуктивностям и сопротивлениям, а также источники тока, имитирующие воздействие внешних потоков частиц и вторично эмитированных электронов, возвращающихся с поверхностей КА.

Постановка задачи

Целью работы является исследование процесса электризации, возникающего в результате дифференциальной зарядки, при которой между различными зонами поверхности и конструктивными элементами космического аппарата формируются значительные перепады потенциала.

Основной задачей данной работы является моделирование процесса электризации корпуса КА.

Основная причина возникновения электризации на поверхности космического

аппарата (КА) происходит в результате контакта с космической плазмой. Происходит накопление электрических зарядов на различных участках внешней оболочки аппарата, что обусловлено воздействием потоков заряженных частиц — преимущественно электронов и ионов — из окружающей космической плазмы. Это может привести к возникновению разности потенциалов, электростатическим разрядам и, как следствие, к нарушению функционирования бортовой электроники или повреждению конструктивных элементов КА.

Проектирование имитационной модели процесса космической электризации осуществляется в программном комплексе трехмерного электромагнитного моделирования. Объектом анализа является КА, вы полненный из алюминия материала.

Моделирование процесса электризации происходит на спроектированной имитационной модели. Основным результатом является уровень образующихся электромагнитных помех на электронном оборудовании и размещённых интерфейсах, установленных на борту КА.

Методика для анализа электризации корпуса космического аппарата

Для расчета и анализа поставленной задачи была разработана методика. Основные этапы методики, следующие:

Изучить начальные данные о космическом аппарате, это диэлектрическую проницаемость материала корпуса, электрические данные о материале и геометрические параметры КА.

Разработать имитационную модель КА, т.е. необходимо разработать модель, которая будет участвовать в процессе электризации корпуса под воздействием космической среды.

Моделирование процесса электризации, в программном пакете трёхмерного электромагнитного моделирования. Результатом моделирования являются численные и графические данные об уровне напряженностей электрического и магнитного моля внутри корпуса КА.

Анализ полученных данных.

Формулирование выводов, по проделанной работе. Разработка рекомендаций.

Данный процесс анализа может быть итерационным.

Электризация корпуса космического аппарата

В данном докладе производится моделирование процесса электризации на при мере КА, так как в настоящее время, в основном, данный вид летательных аппаратов выполняется из композитных материалов.

Объект КА имеет следующие размеры фюзеляжа: длина 820 мм, ширины 730 мм; высота 880 мм; толщина стенки 30 мм. Материал КА - алюминий имеет следующие параметры на частоте 1000 МГц: электрическая проницаемость 10^{-15} – 10^{7} см/м.

Для имитации воздействия космической электризации, вокруг верхней части космического аппарата был размещён медный обтекатель и пять источников питания, которые в совокупности имитируют распределения заряда на корпусе КА. (Рисунок 1).

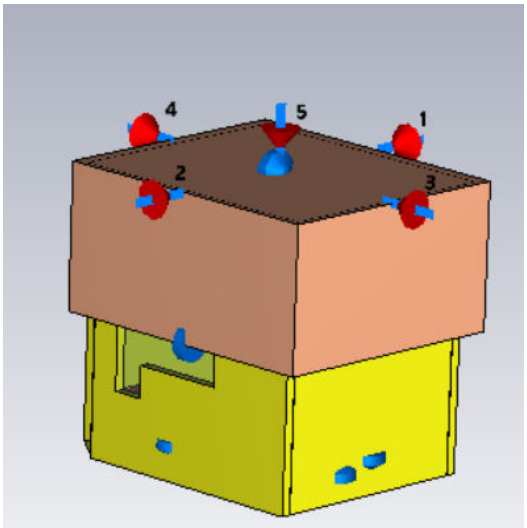


Рисунок 1. Вид имитационной модели КА

После создания модели КА, была проведена работа по созданию кабелей на основе интерфейса RS 485, которые тянутся по всей модели КА, заходя в крылья к сервоприводам и в киль к антенне и сервоприводу (Рисунок 2).

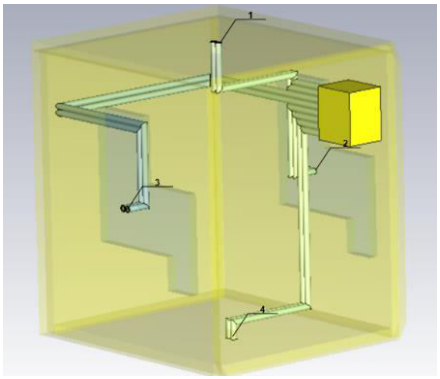


Рисунок 2. Кабели на основе интерфейса RS 485, где позиции 1-4 — точки, места расположения датчиков.

На рисунке 2 показано равномерное расположение датчиков напряженностей электрического поля.

Значение магнитного напряженность электромагнитного поля образуется в месте, где установлен первый датчик напряженности электрического и магнитного полей.

Максимальные значения достигаются равной 1911 В/м это показано на рисунке 6.

Результаты моделирования представлены на рисунках 3-6.

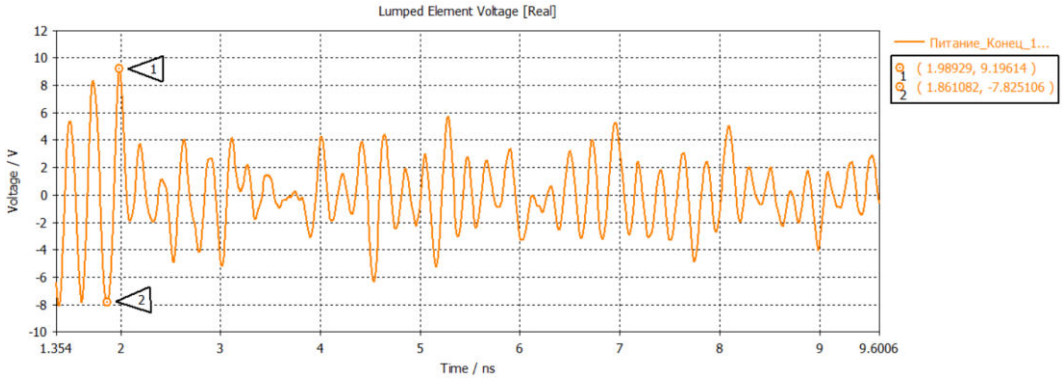


Рисунок 3. Электромагнитная помеха в интерфейсной линии связи, идущей к правой пластине терморегулирующего покрытия корпуса КА (рисунок 2, т. 2). В этой линии возникает максимальные значения электризации равной 1710 В/м.

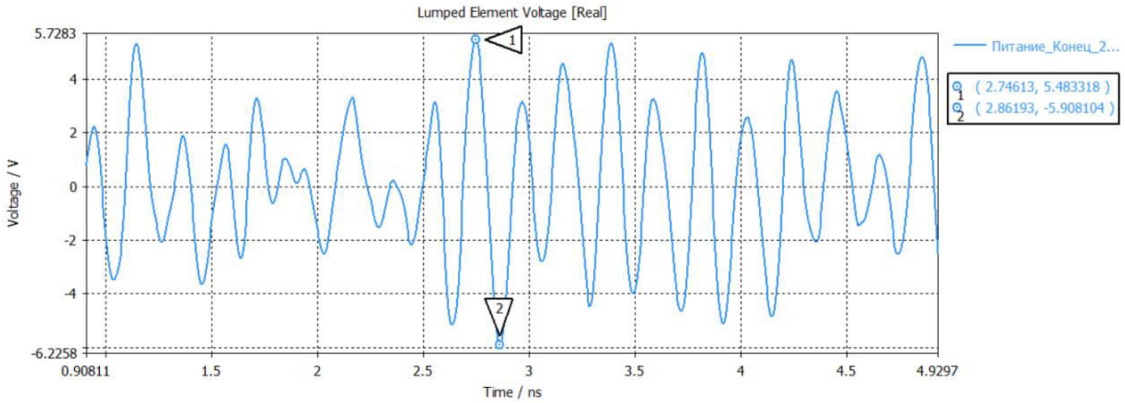


Рисунок 4. Электромагнитная помеха в интерфейсной линии связи, идущей к верхней пластине экранно-вакуумного теплоизоляции корпуса КА (рисунок 2, т. 1). В этой линии возникает максимальные значения электризации равной 1149 В/м.

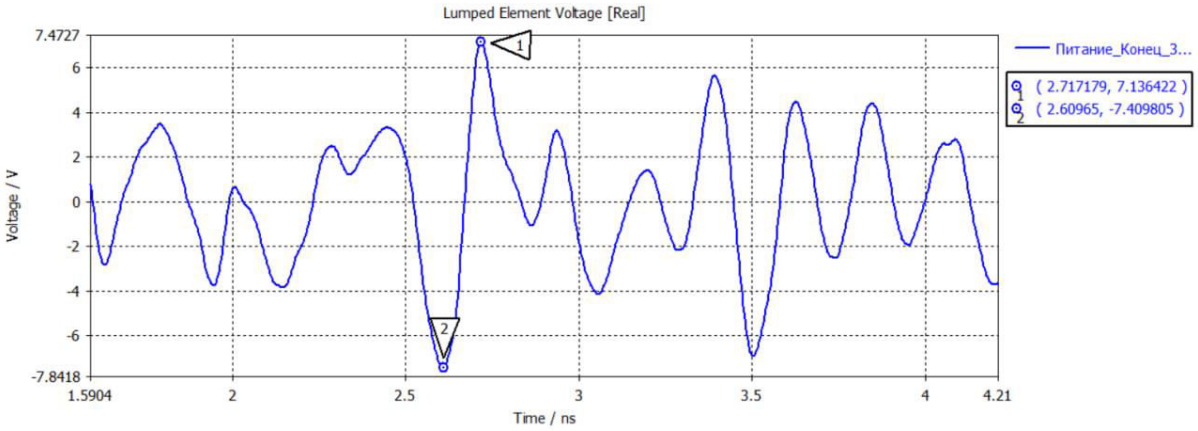


Рисунок 5. Электромагнитная помеха в интерфейсной линии связи, идущей к левой пластине терморегулирующего покрытия корпуса КА (рисунок 2, т. 1). В этой линии возникает максимальные значения электризации равной 1457 В/м.

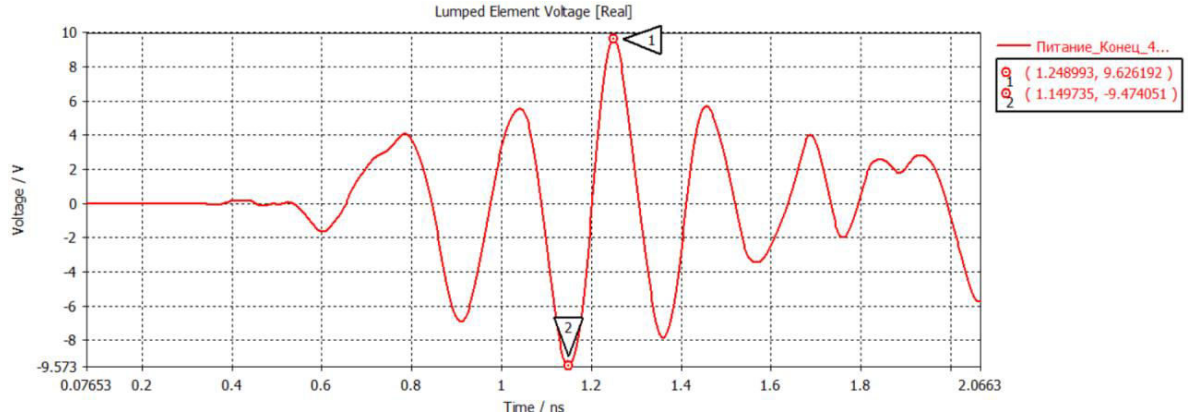


Рисунок 6. Электромагнитная помеха в интерфейсной линии связи, идущей к нижней пластине экранно-вакуумного теплоизоляции корпуса КА (рисунок 2, т. 4). В этой линии возникает максимальные значения электризации равной 1911 В/м.

Таким образом, можно сделать вывод, что максимальное электромагнитное поле возникает в нижней части КА (Рисунок 6). Электромагнитные помехи от воздействия космической радиации на интерфейсные линии связи достигают значений, при которых помеха может нарушить работоспособность бортового оборудования.

Рекомендации

1. Устанавливать функционально важное для КА оборудования в верхней части корпуса КА, где уровни электромагнитного поля существенно ниже.

2. Использовать токопроводящие слои в структуре композитных материалов корпуса для уменьшения проникновения электромагнитных помех внутрь конструкции.

3. Предусматривать применение экранирующих кожухов и заземляющих шин вблизи уязвимых участков, особенно в верхней части корпуса, для снижения уровня наведённых помех на интерфейсные линии связи.

Заключение

В заключении можно сделать следующие выводы:

Для моделирования воздействия космической электризации разработана имитационная модель КА.

Моделирование процесса космической электризации на КА проводилось в программном пакете трёхмерного электромагнитного моделирования.

Результатом работы является получение численных и графических данных по напряжённостям электромагнитного поля в корпусе и помех в линиях связи. Анализ результатов выявил, что возникающие электромагнитные помехи в линиях связи опасны для работоспособности КА.

Разработаны рекомендации по снижению электромагнитных помех, включая использование токопроводящих слоёв в композитных материалах корпуса, оптимальное размещение оборудования и применение экранирующих и заземляющих элементов.

Данная методика моделирования воздействия космической электризации применима для различных космических аппаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Дорофеев Р.Ю., Жуков А.А*. Особенности защиты бортовой аппаратуры космических аппаратов от электростатического разряда на этапе ее схемотехнического проектирования. // Труды II Всероссийской научно–технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий», посвященной 100-летию со дня рождения М.С. Рязанского. 2-4 июня 2009 года. М.: Радиотехника, 2010, С. 140-149.

2. *Дорофеев Р.Ю.* Алгоритм для моделирования электризации КА в орбитальных условиях эксплуатации. // Сборник тезисов IV Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий».15-17 июня 2011 года М.: Радиотехника, 2011.

3. *Кечиев Л.Н., Пожидаев Е.Д*. Защита электронных средств от воздействия статического электричества. – М.: Издательский дом «Технологии», 2005. – 352 с.

MODELING OF SPACECRAFT BODY ELECTRIZATION

Zaitsev I.Yu.

Supervisor: Golubovich D.A., Senior Lecturer

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. This report examines the process of spacecraft body electrification. A simulation model of the spacecraft has been developed. Numerical, graphical, and visual results of the electromagnetic field intensity distribution inside and outside the spacecraft body have been obtained.

УДК 004.056+004.85

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ИИ: АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ И РАЗРАБОТКА GDSHIELD

Запьянцев О.В.

Научный руководитель: Стефанова И.А., доцент

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара)

Аннотация. В докладе рассматриваются современные вызовы биометрических систем, связанные с развитием генеративных технологий и кибератак. Проведен сравнительный анализ алгоритмов биометрической аутентификации и предложен новый гибридный алгоритм "GDShield", сочетающий преимущества различных методов для повышения безопасности и точности аутентификации.

На сегодняшний день системы биометрической верификации сталкиваются с серьезными трудностями, обусловленными развитием технологий создания фейковых данных и продвинутых методов взлома [1]. Особенно остро стоит вопрос использования дипфейк-видео, трехмерных масок и поддельных отпечатков пальцев. Это требует разработки более устойчивых и адаптивных решений для защиты информации [2].

Проблема совершенствования биометрической аутентификации остаётся актуальной, поскольку такие технологии находят всё более широкое применение в финансовой сфере, на транспорте, в здравоохранении, образовании и других областях [3].

Однако массовое внедрение таких систем приводит к следующим проблемам:

– к росту числа спуфинг-атак на биометрические системы [4];

– к необходимости устойчивости к квантовым вычислениям и разработки новых подходов для защиты данных [5];

– к выработке требований к скорости обработки данных в реальном времени [6].

Для решения задач биометрической аутентификации можно привлечь искусственный интеллект (ИИ) и алгоритмы машинного обучения. Проведем сравнительный анализ существующих алгоритмов биометрической аутентификации по трём направлениям:

– обучение моделей (эффективность, скорость, устойчивость к переобучению).

– защита данных (криптостойкость, быстродействие, совместимость).

– эффективность систем ИИ в реальных условиях (точность, масштабируемость за счет модульной архитектуры, поддержка мультимодальности с разными данными).

Рассмотрим сначала первое направление повышения биометрической аутентификации по критерию обучения моделей. Сравнение аналогов, используемых в машинном обучении, используемых в биометрических системах, представлен в таблице1.

Таблица 1

Аналоги, используемые в машинном обучении

Модели	Тип обучения ИИ	Скорость обучения	Точность аутентифи-кации	Устойчивость к переобучению	Применение
ResNet-50	Контролируемое	Средняя	94.5%	Высокая	Распознавание лиц
GAN (Generative)	Самообучение	Низкая	91.2%	Средняя	Синтез данных
Vision Transformer	Контролируемое	Высокая	96.8%	Очень высокая	Анализ видео
LightGBM	Ансамблевое	Очень высокая	89.7%	Средняя	Классификация

Как видно из приведенных результатов:

– модель компьютерного зрения ResNet-50 позволяет автоматизировать анализ изображения [8];

– алгоритм машинного обучения GAN широко используются для формирования искусственных биометрических образцов, однако их применение связано с высокой вычислительной нагрузкой [9];

– трансформатор зрения Vision Transformer демонстрирует самые высокие показатели точности, но его использование ограничено из-за необходимости применения оборудования с высокой производительностью. [10];

– фреймворк LightGBM с открытым исходным кодом подходит для быстрого развертывания, но уступает в точности [11].

Анализ приведенных средств, используемых в машинном обучении говорит о том, что не один метод не является универсальным и выбор того или иного метода зависит от поставленной задачи [12]. Поскольку алгоритмы обучения в дальнейшем планируются к использованию при защите биометрических систем аутентификации, то, чтобы принять решение об использовании нужного метода обучения, рассмотрим второй подход к существующим алгоритмам защиты данных. В таблице 2 приведен обзор существующих методом биометрических шаблонов от утечек взлома.

Таблица 2

Анализ методов защиты биометрических шаблонов от утечек и взлома

Методы	Тип защиты	Криптостойкость	Быстродействие	Совместимость
Fuzzy Vault	Шаблонное шифрование	Высокая	Среднее	Ограниченная
Homomorphic Encryption	Гомоморфное шифрование	Очень высокая	Низкое	Универсальная
Biometric Tokenization	Токенизация	Средняя	Высокое	Широкая
Quantum Hashing	Квантовое хеширование	Экстремальная	Низкое	Специализированная

О методах можно отметить, что:

– Fuzzy Vault представляет собой криптографическую систему, которая обеспечивает защиту биометрических шаблонов в базе данных путем связывания их со случайным ключом. Однако данный подход не предусматривает дополнительных механизмов, направленных на повышение уровня конфиденциальности информации [13];

– Homomorphic Encryption выполняет вычисление с зашифрованными данными и обеспечивает максимальную безопасность, но непригоден для систем реального времени [14];

– Biometric Tokenization – это технология, при которой оригинальный биометрический шаблон заменяется на уникальный идентификатор (токен), не имеющий прямой связи с исходными данными. Такой подход обеспечивает хороший компромисс между скоростью обработки и уровнем информационной безопасности [15];

– Quantum Hashing – перспективное направление для постквантовой криптографии, которое стало использоваться при появлении квантовых компьютеров и квантовых атак. По скорости вычисления традиционных криптографических алгоритмов квантовые компьютеры значительно превосходят классические компьютерные архитектуры, поэтому современные криптографические системы становятся потенциально уязвимыми для криптографических атак. А постквантовые криптографические конструкции способны спасти от квантовых атак [16].

Таким образом, выбор метода шифрования напрямую влияет на производительность и безопасность всей системы. Это становится особенно важным при переходе к практической реализации решений, учитывающих не только точность распознавания, но и уровень защиты данных [17].

Рассмотрим эффективность аутентификации биометрических данных в реальных условиях. Результаты сопоставления алгоритмов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Сравнение алгоритмов в реальных условиях

Модели	Точность аутентификации	Ресурсо-затратность	Масштабируе-мость	Поддержка мульти-модальности
CNN-LSTM	93.7%	Высокая	Средняя	да
Vision Transformer	95.1%	Очень высокая	Высокая	да
3D-микродвижения	91.8%	Средняя	Низкая	нет

Согласно рассмотренным данным:

– гибридная модель CNN+LSTM объединяет возможности сверточной (CNN) и рекуррентной (LSTM) архитектуры, которая имеет возможность обрабатывать как графические данные, так и временные ряды [18];

– трансформатор зрения Vision Transformer требует дорогостоящего оборудования [19];

– 3D-микродвижения подходят для решения узкоспециализированных задач [20].

Несмотря на высокую эффективность распознавания образов, применение Vision Transformer в технических устройствах с ограниченными вычислительными ресурсами может быть проблематичным. Это обстоятельство значительно ограничивает его использование в бюджетных серийных системах [21]. В то же время архитектура CNN-LSTM демонстрирует сбалансированное соотношение между качеством аутентификации и вычислительной нагрузкой, что делает её более подходящим решением для реализации в промышленных условиях [22].

Объединяя результаты всех трёх направлений анализа, можно сделать вывод о необходимости разработки комплексного решения, которое будет одновременно эффективным в плане распознавания, устойчивым к современным угрозам и экономически целесообразным при внедрении [23].

На основе проведенного анализа предлагается гибридный алгоритм «GDShield», объединяющий передовые технологии машинного обучения, динамического анализа и постквантовой криптографии. Гибридный алгоритм "GDShield" сочетает в себе преимущества современных подходов для повышения безопасности и точности биометрических систем.

Архитектура алгоритма GDShield приведена на рисунке 1. Она содержит 3 модуля:

1. Генеративно-состязательный модуль (GAN-Enhanced), выполняющий функции детекции – обнаружения и выявления синтетических и поддельных биометрических данных (блок 4, рисунок1). Модуль содержит Style Generative Adversarial Network (сокращенно, стиль StyleGAN), представляющий собой расширение архитектуры GAN (Сеть генерации и состязания стилей). Использование StyleGAN4 (модифицированной версии) позволяет генерировать разнообразные атаки, включая такие как:

Deepfake с искусственными артефактами (например, аномалии моргания) и 3D-маски с имитацией текстуры кожи.

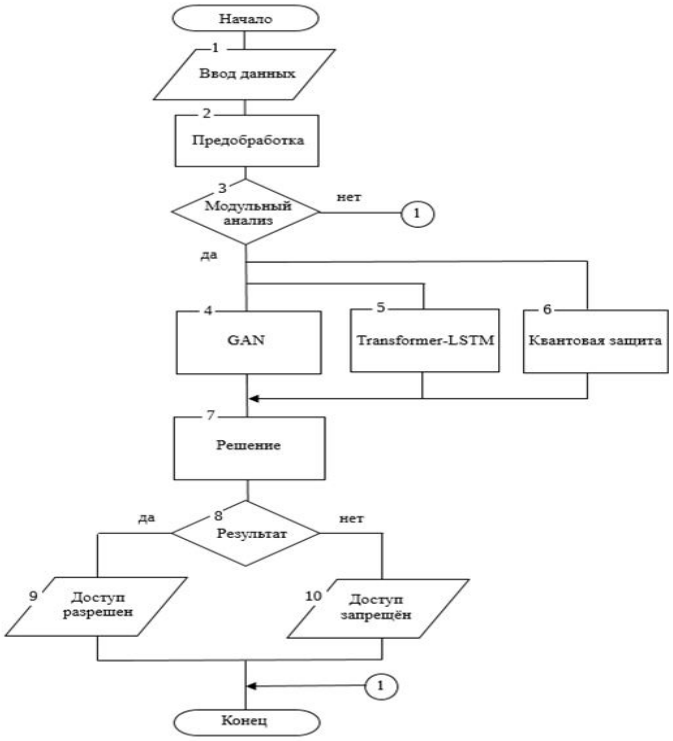


Рисунок 1. Блок-схема алгоритма GDShield

Сеть GAN-Enhanced может содержать дифференциальный анализ микротекстур: например, пор кожи на лице человека или отпечатках пальцев.

При использовании стиль StyleGAN обучение начинается на изображениях с низким разрешением (например, 4×4 пикселя), и модель постепенно масштабируется до более высоких разрешений (1024×1024 или более). Этот пошаговый рост позволит генератору изучать сложные признаки медленно и стабильно, что приведет к более четким и подробным результатам. Кроме того, изображение с использованием стиль StyleGAN воспроизводится гораздо более эстетически приятным.

2. Временной анализатор на основе Transformer-LSTM (блок 5, рисунок1). Он сочетает в себе архитектуру трансформера (Transformer), способного запоминать только важные биты входных данных с помощью механизма внимания, а также их можно распараллеливать, что делает их обучение намного быстрее, чем рекурсивные LSTM сетей (Long Short-Term Memory), которые должны обрабатываться последовательно.

Временной анализатор выполняет функции анализа динамических биометрических параметров, таких как голос, походка, жесты человека. Сама же гибридная архитектура для биометрической аутентификации позволяет воспроизводить пространственные признак, такие, как например, положение губ при речи и механизмы внимания для временных аномалий таких как например, изменение тембра голоса.

При глубоком обучении дополнительный слой позволяет анализировать контекстные данные, например, GPS-локацию для проверки типичных мест использования.

3. Квантово-устойчивый модуль защиты выполняет функции шифрования и хранения биометрических шаблонов (блок 6, рисунок 1). Он содержит динамический Fuzzy Vault 2.0, с автоматической ротацией ключей каждые 24 часа. Использует биометрические поведенческие паттерны такие как скорость набора пароля для генерации ключей. Криптографические алгоритмы стойкие как относительно классических атак, так и квантовых атак.

Кроме того, могут использоваться квантовые хеш-функции SPHINCS и XMSS (построенные на основе алгоритмов постквантовой криптографии). Генерация одноразовых ключей происходит на основе квантового генератора случайных чисел (QRNG).

Алгоритм GDShield реализуется в три этапа:

Этап 1: Предварительная обработка данных

На первом этапе осуществляется подготовка входных биометрических данных к дальнейшему анализу (блок 1, рисунок 1). На этом этапе проводится:

Нормализация – корректировка параметров изображений или сигналов с учётом этнических, возрастных и гендерных особенностей. Например, применяются методы коррекции освещения для лиц с разным оттенком кожи.

Синтетическое обучение – создание искусственных атак, таких как «шрамы» на отпечатках пальцев, неестественные движения губ и другие поддельные элементы, чтобы модель могла распознавать реальные угрозы и противостоять им.

Балансировка датасета – процесс устранения смещений (bias) в данных, который позволяет повысить объективность и устойчивость модели при работе с различными группами пользователей.

Этот этап обеспечивает высокое качество данных и подготавливает систему к эффективному функционированию в сложных условиях.

Этап 2: Параллельный анализ (блоки 4-5, рисунок 1).

Второй этап реализуется через два независимых, но взаимодействующих модуля:

GAN-модуль используется для проверки статических биометрических данных, таких как изображение лица или радужной оболочки глаза. Он направлен на обнаружение артефактов дипфейков и других видов подделок. Примером может служить выявление отсутствия микродвижений зрачка – характерного признака синтетического видео.

Transformer-LSTM отвечает за анализ динамических биометрических характеристик, включая голосовые паттерны, походку и мимику. Благодаря механизму внимания

трансформера и рекуррентным возможностям LSTM система способна выявлять временные аномалии, такие как неестественные паузы в речи, созданные с помощью ИИ.

Такая параллельная архитектура позволяет одновременно оценивать, как пространственные, так и временные особенности биометрических данных, обеспечивая многоуровневую защиту от подделок.

Этап 3: Защита и хранение (блоки 6,7, рисунок 1).

Заключительный этап связан с безопасным хранением и шифрованием биометрических данных. Для этого используется механизм токенизации, который предусматривает три типа токенов:

Локальный токен – хранится на устройстве пользователя и защищён надёжным шифрованием AES-256.

Федеративный токен – используется в облачной среде и основан на технологии гомоморфного шифрования, которая позволяет выполнять операции над зашифрованными данными без их расшифровки.

Квантовый токен – это одноразовые ключи, которые обновляются при каждой аутентификации. Такие ключи генерируются с помощью квантового генератора случайных чисел (QRNG), что делает их устойчивыми к современным и будущим квантовым атакам.

Кроме того, в системе используются постквантовые криптографические методы, такие как SPHINCS и XMSS, а также динамический Fuzzy Vault 2.0, обеспечивающий автоматическую ротацию ключей каждые 24 часа.

В случае успешной защиты биометрических данных (блок 8, рисунок 1) принимается решение о доступе к ним или запрете работы с данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Долинина О.Н., Панфилов И.А., Хорошев А.Н.* Современные методы биометрической аутентификации: проблемы и перспективы // Вестник новых информационных технологий. – 2021. – № 3. – С. 45–53.

2. *Чжан Ю., Ван Л.* Обнаружение дипфейков с помощью гибридных нейронных сетей: обзор // IEEE Access. – 2022. – Том 10. – С. 12345–12360.

3. *Галкин М.В., Кузнецов С.П.* Методы защиты биометрических данных в условиях квантовых угроз // Информационная безопасность. – 2023. – № 2. – С. 89–97.

4. *Чен С., Ли М.* Трансформаторы зрения в биометрическом распознавании: сравнительное исследование // Letters on Pattern Recognition. – 2023. – Том 165. – С. 112–120.

5. *Wang, X., Zhang, Y.* Deep Learning for Biometric Authentication: A Review of Current Trends and Challenges // Information Sciences, 2023. – Vol. 621. – P. 45–68.

6. *Гупта А., Шарма Д.* Преобразователи изображений для биометрии на основе изображений // Компьютерное зрение и понимание изображений, 2023. – Т. 226. – С. 103587.

7. *Ли, К., Чен, З.* Выбор модели при биометрической аутентификации с использованием машинного обучения // Международный журнал машинного обучения и кибернетики, 2022. – Т. 13. – С. 2345-2358.

8. *Кумар Р., Сингх А.* Безопасное хранение биометрических шаблонов с использованием Fuzzy Vault // Журнал сетевых и компьютерных приложений, 2021. – Том 178. – С. 103009.

9. *Чжан В., Лю Ю.* Гомоморфное шифрование для биометрической аутентификации с сохранением конфиденциальности // Компьютерные системы будущего поколения, 2022. – Т. 127. – С. 456-467.

10. *Чжао К., Хуан Л.* Биометрическая токенизация: повышение безопасности и совместимости // Безопасность и коммуникационные сети, 2023. – Идентификатор статьи 6677890.

11. *Нгуен Т., Тран Х.* Квантовое хеширование для постквантовой биометрической безопасности // Квантовая обработка информации, 2022. – Т. 21. – С. 213.

12. *Чжоу Ю., Сюй Б.* Гибридные модели CNN-LSTM для биометрического временного анализа // Нейрокомпьютинг, 2021. – Т. 456. – С. 321-330.

13. *Ли Дж., Ким Д.* Вычислительные требования к преобразователям зрения в приложениях реального времени // Транзакции ACM во встроенных вычислительных системах, 2022. - Т. 21 (3). – С. 1-22.

14. *Ян М., Лю Х.* Использование 3D-микропроцессоров. Движения при биометрической верификации // Датчики, 2023. - Т. 23 (2). – С. 890.

15. *Чен Х., Чжан Ю.* Ограничения преобразователей зрения в устройствах с ограниченными ресурсами // Мобильные сети и приложения, 2022. – Том 27. – С. 1789 –1801.

IMPROVING BIOMETRIC AUTHENTICATION USING AI: ANALYSIS OF ALGORITHMS AND DEVELOPMENT OF GDSHIELD

Zap'yantsev O.V.

Supervisor: Stefanova I.A., Associate Professor.

(*Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, Samara*)

Abstract. The report discusses the current challenges of biometric systems related to the development of generative technologies and cyberattacks. It provides a comparative analysis of biometric authentication algorithms and proposes a new hybrid algorithm called "GDShield" that combines the advantages of various methods to enhance the security and accuracy of authentication.

УДК 004.8

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННГО ВЕБ-ПАРСЕРА

Иванов К.Н., Кушуков С.В.

Научный руководитель: Левашкин С.П., доцент, к. ф.-м. н

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара)

Аннотация. В статье рассматривается использование мультиагентных систем (МАС) для автоматизированного веб-парсинга. Показано, что взаимодействие агентов обеспечивает распределённость, параллелизм и гибкость, повышающие эффективность сбора данных. Отмечаются преимущества и вызовы подхода, включая вопросы ресурсов, разработки и правовых ограничений.

Извлечение данных из Всемирной паутины, известное как веб-парсинг или веб-скрейпинг, стало неотъемлемой частью современного информационного общества. От бизнес-аналитики, мониторинга цен и конкурентов, сбора данных для машинного обучения до академических исследований и агрегации новостей – ценность информации, доступной на веб-сайтах, огромна. В условиях экспоненциального роста объемов данных и динамичности веб-контента, автоматизация процесса сбора данных является не просто удобством, а необходимостью. Однако традиционные подходы к автоматизированному парсингу, часто реализуемые в виде монолитных приложений или простых распределенных скриптов, сталкиваются с существенными ограничениями. К ним относятся проблемы масштабируемости при работе с большим количеством сайтов или страниц, низкая отказоустойчивость при возникновении ошибок или блокировок, а также трудности адаптации к постоянно меняющимся структурам веб-сайтов и все более изощренным механизмам защиты от парсинга (anti-scraping).

Перспективным решением для преодоления этих ограничений является применение парадигмы мультиагентных систем (МАС) [1, 2]. МАС – это вычислительные системы, состоящие из множества автономных, взаимодействующих компонентов, называемых агентами. Каждый агент обладает определенными свойствами: автономией (способность действовать без прямого внешнего вмешательства), реактивностью (способность

воспринимать свое окружение и реагировать на изменения в нем), проактивностью (способность действовать целенаправленно для достижения своих целей) и социальностью (способность взаимодействовать с другими агентами). Применяя эту парадигму к веб-парсингу, мы можем рассматривать процесс сбора данных как сложную задачу, решаемую коллективно группой специализированных, координирующихся агентов. Такой подход позволяет естественным образом реализовать распределенность, параллелизм и адаптивность, необходимые для эффективного парсинга в современных условиях.

Применение МАС в веб-парсинге открывает ряд значительных преимуществ по сравнению с традиционными архитектурами [3]:

1. Повышенная масштабируемость**:** архитектура МАС изначально рассчитана на распределенность. Увеличение производительности системы достигается простым добавлением новых агентов (горизонтальное масштабирование), которые могут взять на себя часть общей нагрузки. Задачи парсинга (например, обработка URL из очереди) могут динамически распределяться между доступными агентами, позволяя эффективно утилизировать вычислительные ресурсы и обрабатывать большие объемы данных или сканировать множество сайтов параллельно без необходимости кардинального перепроектирования системы.

2. Улучшенная отказоустойчивость и робастность: в монолитной системе сбой одного компонента может привести к остановке всего процесса. В МАС выход из строя отдельных агентов (из-за сетевых проблем, ошибок парсинга специфичной страницы, блокировки IP-адреса) не является фатальным для всей системы. Оставшиеся агенты могут продолжить работу, а система координации (например, агент-менеджер или сами агенты через протоколы взаимодействия) может обнаружить сбой и перераспределить задачи отказавшего агента другим исполнителям, обеспечивая непрерывность процесса сбора данных.

3. Адаптивность к изменениям и мерам защиты: веб-сайты постоянно меняются, а их владельцы активно внедряют меры защиты от автоматического сбора данных. Агенты в МАС могут быть спроектированы так, чтобы автономно отслеживать изменения в структуре HTML-страниц (например, изменение CSS-селекторов или XPath-выражений) и адаптировать свои алгоритмы извлечения данных. Более того, координируя свои действия, агенты могут реализовывать сложные стратегии обхода защиты: совместно использовать и ротировать пулы прокси-серверов и User-Agent'ов, имитировать поведение человека (задержки между запросами, переходы по ссылкам), распределять нагрузку на целевой сайт между разными IP-адресами, чтобы избежать блокировок по частоте запросов.

4. Эффективность через специализацию и параллелизм: МАС позволяет реализовать принцип разделения труда путем создания агентов, специализированных на выполнении конкретных подзадач процесса парсинга. Типичная архитектура может включать:

- Агентов-разведчиков (Discovery Agents): отвечают за обнаружение новых URL для парсинга путем анализа ссылок на страницах, обработки карт сайта (sitemap.xml) и т.д.
- Агентов-загрузчиков (Fetcher Agents): осуществляют непосредственную загрузку веб-страниц, управляют HTTP-запросами, обрабатывают ответы сервера, управляют сессиями и cookies, взаимодействуют с пулом прокси.
- Агентов-экстракторов (Extractor Agents): извлекают целевую информацию из загруженного контента (HTML, JSON, XML), используя заданные правила (CSS-селекторы, XPath, регулярные выражения) или даже модели машинного обучения.
- Агентов-валидаторов (Validator Agents): проверяют извлеченные данные на корректность, полноту и соответствие ожидаемому формату.
- Агентов хранения (Storage Agents): записывают успешно извлеченные и проверенные данные в целевое хранилище (базу данных, файловую систему, облачное хранилище).

Такое разделение позволяет выполнять различные этапы парсинга параллельно множеством специализированных агентов, что существенно повышает общую пропускную способность системы (рисунок 1).

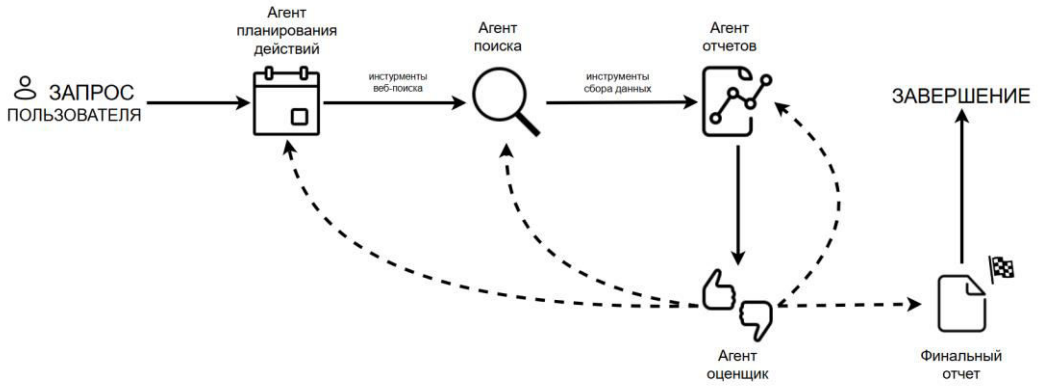


Рисунок 1. Схема представления мультиагентной системы веб-парсинга на основе больших языковых моделей (LLM)

Проектирование эффективной МАС для парсинга требует внимания к нескольким ключевым аспектам. Во-первых, координация и коммуникация агентов являются критически важными. Необходимо определить, как агенты будут получать задачи, обмениваться информацией и координировать свои действия. Это может быть реализовано через централизованного агента-менеджера, который распределяет задачи и собирает результаты, либо через децентрализованные механизмы, такие как доски объявлений (blackboard systems) или прямые сообщения между агентами. В качестве транспортного уровня для коммуникации часто используются брокеры сообщений (RabbitMQ, Kafka), обеспечивающие асинхронное и надежное взаимодействие.

Во-вторых, необходимо эффективное управление ресурсами. Система должна разумно использовать сетевые ресурсы (избегать чрезмерной нагрузки на целевые сайты, соблюдать правила robots.txt и задержки между запросами – politeness policy), управлять пулами IP-адресов (прокси), распределять вычислительную нагрузку и управлять доступом к хранилищу данных.

В-третьих, выбор технологического стека зависит от конкретных требований. Часто используются языки программирования, хорошо подходящие для сетевых задач и обработки текста, такие как Python (с библиотеками Scrapy, Requests, BeautifulSoup, asyncio, aiohttp) или Java (с фреймворками для МАС, например, JADE, или акторными моделями типа Akka). Для обеспечения масштабируемости и управляемости часто применяются технологии контейнеризации (Docker) и оркестрации (Kubernetes). В качестве хранилищ данных могут использоваться как реляционные (PostgreSQL, MySQL), так и NoSQL базы данных (MongoDB, Elasticsearch), в зависимости от структуры собираемых данных и требований к запросам.

Несмотря на многочисленные преимущества, разработка мультиагентных систем парсинга сопряжена и с определенными вызовами:

1. Сложность проектирования и отладки: создание и поддержка распределенной системы с множеством взаимодействующих автономных компонентов сложнее, чем разработка монолитного приложения. Отладка параллельных процессов, диагностика проблем взаимодействия и обеспечение консистентности состояния требуют специальных подходов и инструментов.

2. Накладные расходы на координацию: коммуникация между агентами (передача сообщений, запросы к координатору) вносит дополнительные задержки и потребляет ресурсы. Неоптимально спроектированные механизмы координации могут стать узким местом и снизить общую производительность системы. Требуется найти баланс между уровнем автономии агентов и необходимостью их согласованных действий.

3. Этические и юридические аспекты: автоматизированный сбор данных должен всегда осуществляться с соблюдением этических норм и законодательства. Это включает использование (Terms of Service) целевых сайтов, ограничение частоты запросов для

избежание перегрузки серверов и соблюдение законов о защите данных (например, GDPR, CCPA), если собирается персональная информация. Распределенная природа МАС не освобождает разработчиков и операторов системы от ответственности за ее поведение [4].

Мультиагентные системы представляют собой мощную и гибкую архитектуру для построения современных систем автоматизированного веб-парсинга. Способность к масштабированию, повышенная отказоустойчивость, адаптивность к изменениям и возможность эффективного распараллеливания задач за счет специализации агентов делают этот подход особенно привлекательным для решения сложных задач сбора данных в динамичной и гетерогенной среде веба. Хотя разработка таких систем требует больших начальных усилий по сравнению с традиционными подходами, долгосрочные выгоды в производительности, надежности и гибкости часто оправдывают эти вложения.

Дальнейшее развитие мультиагентного парсинга может идти по пути интеграции более совершенных методов искусственного интеллекта и машинного обучения. Например, использование обучения с подкреплением (Reinforcement Learning) может позволить агентам автономно вырабатывать оптимальные стратегии обхода защиты от парсинга. Также перспективными направлениями являются разработка стандартизированных протоколов взаимодействия для агентов парсинга, создание самоорганизующихся и самовосстанавливающихся агентных систем, способных адаптироваться к непредвиденным ситуациям без вмешательства человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Han S.* LLM Multi-agent Systems: Challenges and Open Problems / S. Han, Q. Zhang, Y. Yao [et al] // arXiv preprint arXiv: 2402.03578v2. – 2025.

2. *Li X.* A survey on LLM-based multi-agent systems: workflow, infrastructure, and challenges /X. Li, S. Wang, Y. Wu [et al] // Vicinagearth 1, 9. – 2024. – URL: https://doi.org/10.1007/s44336-024-00009-2.

3. *Huang W.* AutoScraper: A Progressive Understanding Web Agent for Web Scraper Generation / W. Huang, Z. Gu, C. Peng [et al] // arXiv preprint arXiv:2404.12753v2. – 2024.

4. McCarthy Law Group. Is Web Scraping Legal? A 2025 Breakdown of What Need to Know – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://mccarthylg.com/is-web-scraping-legal-a-2025-breakdown-of-what-you-need-to-know/ (дата обращения: 11.06.2025).

MULTI-AGENT IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED WEB PARSER

Ivanov K.N., Kushukov S.V.

Supervisor: Levashkin S.P., Associate Professor, Candidate of Physico – Mathematical Science

(Povolzsky State University of Telecommunications and Informatics, Samara)

Abstract. The paper explores the use of multi-agent systems (MAS) for automated web parsing. It shows that agent interaction provides distribution, parallelism, and flexibility, improving data collection efficiency. The advantages and challenges of this approach are highlighted, including resource management, development complexity, and legal constraints.

УДК 004.8

ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДОКУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Иванов К.Н., Кушуков С.В.

Научный руководитель: Левашкин С.П., доцент, к. ф.-м. н.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара)

Аннотация. В статье рассматривается подход к автоматизированному формированию базы данных документов с применением нейросетевого детектора YOLO и крупных языковых моделей (LLM). YOLO используется для выделения ключевых областей документа (текст,

таблицы, подписи, штампы), после чего OCR-системы преобразуют их в текст, на последнем этапе LLM выполняет исправление ошибок, нормализацию и структурирование данных. Такой конвейер позволяет повысить качество извлечения информации, сократить объём ручных правок и обеспечить масштабируемую обработку больших массивов документов.

Современные компании и государственные учреждения вынуждены ежедневно сталкиваться с лавинообразным ростом неструктурированных документов: договоров, отчётов, технических паспортов, заявлений и множества иных бумажных форм, переведённых в электронный вид. Ручная верификация, ввод данных и проверка корректности заносят серьёзные задержки в рабочие процессы и требуют значительных человеческих ресурсов.

Классический алгоритм обработки сканов обычно включает в себя подготовку изображений, распознавание текста (OCR), применение жёстко заданных правил парсинга и, наконец, ручную правку результатов. При этом меняющаяся структура документов, отсутствие единого шаблона и вариативность качества сканов приводят к постоянным доработкам парсеров и либо к «пропущенным» полям, либо к избыточным ложным срабатываниям. Результат — затраты времени на исправления и повторную проверку, а для бизнеса это означает рост издержек и снижение скорости принятия решений.

YOLO (You Only Look Once) — эффективный алгоритм, способный за один проход определить на изображении координаты области интереса и отнести её к конкретному классу [1]. В контексте документа это может быть логотип и шапка организации, основной текст, таблицы, подписи, штампы, QR- или штрих-коды [2]. Благодаря единому конвейеру детектор обрабатывает страницу за сотни миллисекунд на современном GPU, а добавление нового типа области требует лишь дополнительной разметки и дообучения модели (рисунок 1).

Такая гибкость и скорость позволяют строить параллельные очереди задач, где десятки тысяч страниц распознаются одновременно на кластере GPU-узлов.

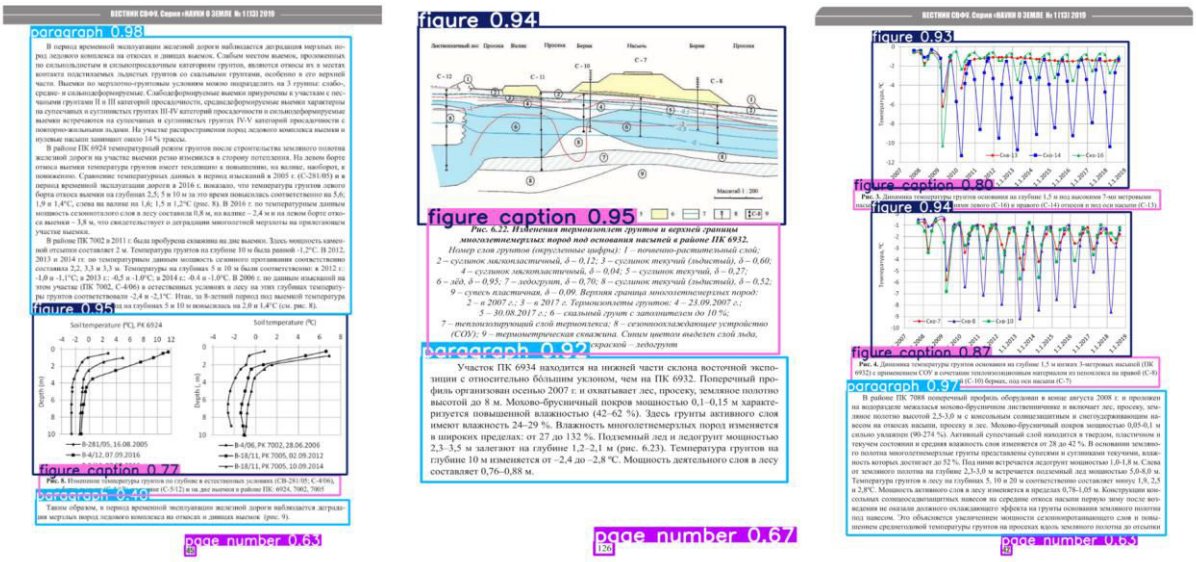


Рисунок 1. Определение фрагментов документа YOLO-моделью

После выделения областей следующий этап — оптическое распознавание символов. На этом шаге используется предварительная обработка (коррекция перспективы, удаление шумов, бинаризация изображения), а затем OCR-движок (Tesseract, OCRmyPDF или облачные сервисы вроде Google Vision и AWS Textract) преобразует пиксели в «сырые» строки [3]. Однако в этих строках часто встречаются неточности: датам приданы разные форматы, суммы записаны с разными разделителями, а адреса написаны по-разному (рисунок 2). Поэтому для нормализации и семантической фильтрации текста подключается LLM [4].

```
1 df['page_text'][0]

['<image_0_0>',
 'DOI 10.25587/SVFU.2019.13.27555\nУДК 551.345\n',
 'С. П. Варламов\nИнститут мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Яку
 'ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ ГРУНТОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ \nЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ
 'Аннотация. Рассматривается проблема тепловой реакции верхних льдистых гориз
дороги в экстремальных ин-\nженерно-геокриологических условиях на фоне совре
исследуемой проблемы, кратко охарактеризованы особенности \nгеокриологическ
\nопытного полигона железнодорожного строительства. Представлены резуль
на участке распространения \nпород ледового комплекса, где использовали инно
основания и тела земляного полотна железной дороги при широком \nприменении
\nУстановлено поднятие верхней кровли многолетнемерзлых пород и охлаждения г
слоя и повышение сред-\nнегодовой температуры грунтов на просеках вдоль земл
земляного полотна при отсыпке нулевой насыпи с \nудалением сезонно-талого сл
выемок. Оценена охлаждающая эффективность применения СОУ на бермах в сочета-
многолетне-\nмерзлых пород. Конструкции консольных солнцезащитных навесов на
Экспериментальные данные являются \nинформационной основой для прогноза
условиях изменяющегося климата.\n',
 'Ключевые слова: ледовый комплекс, многолетнемерзлые грунты, земляное
 'грунта, мощность деятельного слоя, мониторинг, динамика.\n',
 'S. P. Varlamov\nMelnikov Permafrost Institute, SB RAS, Yakutsk, Russia\n',
 'THE SOIL THERMAL PROPERTIES IN THE IMPACT ZONE \nOF RAILWAY IN CENTRAL YAK
 'Abstract. The problem of the thermal reaction of the upper ice
considered on the example of the railway in extreme geotechnical \nconditions
problem under \nstudy are substantiated, the features of the geocryological
```

Рисунок 2. Результат работы OCRmyPDF над мультиязыковым текстом

Крупные языковые модели, такие как GPT-4 или локальные инстансы LLaMA-семейства, легко справляются с исправлением OCR-ошибок и стандартизацией данных [4]. В промпте мы формулируем задачу примерно так: «На основе переданного текста извлеки номер документа, дату (в формате ГГГГ-ММ-ДД), сумму и наименование контрагента, верни результат в виде JSON-объекта». Модель анализирует контекст, «понимает» поле в сложных случаях и восстанавливает искажённые фрагменты.

Структурированные записи удобно сохранять в реляционной базе данных (PostgreSQL) для сложных транзакций и объединения таблиц, а для полнотекстового поиска и аналитики используется Elasticsearch. Такой дуэт обеспечивает быстрый отклик на запросы пользователей по любому ключевому слову, дате или комбинации метаданных.

Веб-интерфейс с REST-API позволяет сотрудникам находить нужные документы за секунды и мгновенно проверять результаты автоматической обработки. К тому же все правки пользователей сохраняются в «золотой» датасет, который затем используется для дообучения детектора YOLO и уточнения промптов LLM, повышая качество решения со временем.

Начать можно с подготовки аннотационной выборки: собрать несколько тысяч сканов различных типов и разметить на каждом изображении прямоугольники с подписью класса области. После этого модель YOLO обучается до заданных метрик точности и полноты распознавания. Конвейер строится на очереди сообщений (RabbitMQ, Kafka), где первые стадии выделения областей и OCR обрабатываются на GPU и CPU-нодах, а затем семантическая часть уходит через API к LLM-сервису. Наконец, мониторинг ключевых показателей (доля ручных правок, среднее время обработки) помогает настроить периодические циклы дообучения и оптимизации промптов (рисунок 3).

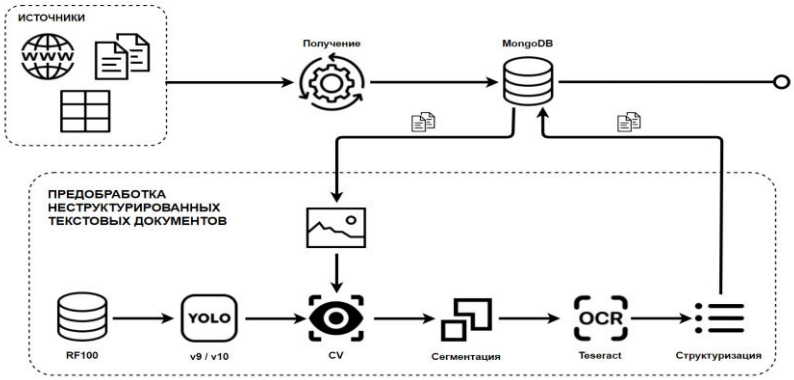


Рисунок 3. Блок-схема формирования базы данных на основе текстовых документов

Использование описанного подхода позволяет обрабатывать десятки тысяч страниц за считанные часы вместо недель, заметно сокращая затраты на ручную верификацию и ввод данных. Масштабируемость системы даёт возможность «докупить» дополнительные вычислительные ресурсы в самые пиковые периоды, а LLM-самокоррекция обеспечивает более высокое качество базовых данных.

В будущем мы видим развитие системы в сторону активного обучения на пользовательских правках, интеграции Retrieval-Augmented Generation (RAG) для «умных» запросов к архиву, а также более сложной предобработки изображений с помощью специализированных нейросетей. Всё это позволит сделать автоматическую платформу по работе с документами ещё более самодостаточной и надёжной, превращая её в стратегический актив организации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Wang A*. YOLOv10: Real-Time End-to-End Object Detection / A. Wang, H. Chen, L. Liu [et al] // arXiv preprint arXiv: 2405.14458v2. – 2024.

2. Roboflow. Dataset paper-part-4. – Текст: электронный. – 2022. – URL: https://universe.roboflow.com/roboflow-100/paper-parts/dataset/4 (дата обращения: 11.06.2025).

3. OCRmyPDF. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://ocrmypdf.readthedocs.io/en/latest/ (дата обращения: 11.06.2025).

4. HuggingFace. Post-OCR-Correction: 1 billion words datasets of automated OCR correction by LLM. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://huggingface.co/blog/Pclanglais/post-ocr-correction (дата обращения: 11.06.2025).

DOCUMENT DATABASE FORMATION BASED ON A NEURAL NETWORK

Ivanov K.N., Kushukov S.V.

Supervisor: Levashkin S.P., Associate Professor, Candidate of Physico – Mathematical Science

(Povolzsky State University of Telecommunications and Informatics, Samara)

Abstract. The paper discusses an approach to automated document database formation using the YOLO neural network detector and large language models (LLMs). YOLO is applied to extract key areas of a document (text, tables, captions, stamps), which are then converted into text by OCR systems. At the final stage, LLMs perform error correction, normalization, and data structuring. This pipeline improves the quality of information extraction, reduces the amount of manual editing, and enables scalable processing of large volumes of documents.

УДК 658.512.2; 621.3.049.75

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ НА ОСНОВЕ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА

Кардопольцев Д.Д.

Научный руководитель: Суздальцев И.В., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Данная работа посвящена разработке математического и программного обеспечения подсистемы автоматизированного размещения компонентов на печатной плате с учётом критериев электромагнитной и тепловой совместимости. Для решения многокритериальной задачи размещения компонентов на печатной плате предлагается использование муравьиного алгоритма. В работе проводятся результаты исследования эффективности муравьиного алгоритма в зависимости от значений управляющих параметров.

На современном этапе проектирования печатных плат усложняется решение задачи размещения элементов на монтажной области печатной платы из-за увеличения количества элементов, а также из-за необходимости учета электромагнитной и тепловой совместимостей. Современные системы автоматизированного проектирования не позволяют реализовать качественное и эффективное решение рассматриваемой задачи. В связи с этим возникает необходимость в автоматизации процесса размещения элементов на печатной плате.

Целью работы является разработка математического и программного обеспечения подсистемы автоматизированного размещения компонентов на печатной плате с учётом критериев электромагнитной и тепловой совместимости.

Решению задачи размещения элементов с учетом электромагнитной и тепловой совместимостей посвящен ряд работ: [1 – 10]. Однако, существенным недостатком данных работ является фокусирование лишь на одном критерии, не предоставляя одновременный учет ЭМС и тепловой совместимости.

Задача размещения заключается в поиске оптимального расположения элементов на монтажной области печатной платы.

Исходными данными являются принципиальная электрическая схема, габаритные размеры элементов, а также их тепловые и электрические параметры.

Результирующими данными являются координаты местоположения элементов. При решении задачи должны учитываться ограничения на минимальное расстояние между элементами и размещение элементов в запрещенных зонах.

Критериями задачи является оптимизация суммарной длины соединений между элементами, а также ЭМС и тепловая совместимость.

Для минимизации суммарной длины межсоединений воспользуемся формулой вида:

$$F_L = \sum_{i=1}^{q} \sum_{j=1}^{q} c_{ij} * l_{ij} \rightarrow min,$$

где q – количество элементов; c_{ij} – число связей между элементами i и j; l_{ij} – расстояние между i-м и j-м элементами.

Каждый элемент подключен проводником, который создает электромагнитное поле, влияющее на другие элементы и межсоединения. Оценка максимального уровня электромагнитного излучения, создаваемого токами в соединениях между элементами i и j, определяется формулой вида [1]:

$$E_{ij} = \max_{f} \sum_{m=1}^{c_{ij}} I_m l_{ij} f^2,$$

где c_{ij} – число связей между элементами i и j; I_m – максимальное значение силы тока в проводнике; l_{ij} – расстояние между i-м и j-м элементами; f – частота переменного тока.

Элементы перемещаются, чтобы свести к минимуму максимальный уровень электромагнитного излучения, то есть:

$$F_{EMC} = E_{max} \rightarrow min,$$

где E_{max} – максимальное из значений E_{ij}, рассчитанных для всех пар элементов i и j.

Тепловой баланс в точке на плоскости описывается формулой вида:

$$\frac{dQ}{dt} = \sum_{i=1}^{4} \left(\frac{dQ}{dt}\right),$$

где левая часть уравнения представляет собой изменение тепла в точке в единицу времени t, а правая – сумму тепловых потоков от соседних точек.

Уравнение теплового баланса для компонента в точке (i,j) с учетом тепловых потоков от соседних точек имеет вид [2]:

$$T_{i,j}^{t+1} = T_{i,j}^{t} + h\begin{bmatrix} a_{i-1,j}\left(T_{i-1,j}^{t} - T_{i,j}^{t}\right) + a_{i+1,j}\left(T_{i+1,j}^{t} - T_{i,j}^{t}\right) + \\ a_{i,j-1}\left(T_{i,j-1}^{t} - T_{i,j}^{t}\right) + a_{i,j+1}\left(T_{i,j+1}^{t} - T_{i,j}^{t}\right) \end{bmatrix} + hp_{i,j} + h * r_{i,j}\left(T_a - T_{i,j}^{t}\right),$$

где $T_{i,j}^{t+1}$ – температура элемента в узле сетки (i, j) в момент времени t+1; h – шаг по времени; $a_{i,j}$ – коэффициент теплопередачи; $p_{i,j}$ – мощность тепловыделения элемента в узле сетки (i, j); $r_{i,j}$ – коэффициент теплообмена с внешней средой; T_a – температура окружающей среды.

Целевая функция по критерию тепловой совместимости имеет вид:

$$F_T = T_{max} \to min,$$

где T_{max} – максимальная температура элемента на ПП.

Обобщенная целевая функция имеет вид:

$$F = k_L * F'_L + k_{EMC} * F'_{EMC} + k_T * F'_T,$$

где F'_L, F'_{EMC} и F'_T – нормированные значения целевых функций; k_{EMC}, k_L и k_T – коэффициенты, сумма которых соответствует:

$$k_{EMC} + k_L + k_T = 1.$$

Для нормирования целевых функций используется формула вида:

$$x' = a + \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} * (b - a),$$

где a и b – минимальное и максимальное значение требуемого диапазона; x_{min} и x_{max} – минимальное и максимальное значение нормируемой целевой функции; x – текущее значение нормируемой целевой функции.

При вычислении F_{emc} и F_{len} используется l_{ij} – расстояние между двумя элементами. Для прогнозирования теоретически минимального значения целевой функции l_{ij} считается равным единице, а для максимального значения – расстоянию между двумя противоположными углами ПП. Максимальные и минимальные значения целевых функций соответствуют формулам:

$$E_{ij}^{min} = \max_f \sum_{m=1}^{c_{ij}} I_m f^2,$$

$$E_{ij}^{max} = \max_f \sum_{m=1}^{c_{ij}} I_m f^2 \sqrt{L^2 + W^2},$$

$$F_L^{min} = \sum_{i=1}^{q}\sum_{j=1}^{q} c_{ij},$$

$$F_L^{max} = \sum_{i=1}^{q}\sum_{j=1}^{q} c_{ij}\sqrt{L^2 + W^2},$$

где L и W – длина и ширина ПП (мм).

Для теплового критерия x_{min} представляет из себя начальную температуру – температуру окружающей среды, а x_{max} – результат вычисления формулы (5) для элемента с максимальным тепловыделением, окруженного четырьмя другими элементами с максимальным тепловыделением.

В последние годы при размещении элементов на ПП внимание уделяется использованию интеллектуальных алгоритмов оптимизации. С их помощью возможно осуществить оптимальное размещение, учитывающее ЭМ и тепловой критерии.

В процессе работы алгоритма муравьи осуществляют построение пути в графе, который соответствует схеме соединения элементов [11].

Описание шагов алгоритма:

1. Присвоение значения коэффициенту испарения, коэффициенту Q, минимальному расстоянию между элементами, а также весовым коэффициентам.

2. Создание k-го муравья на вершине графа.

3. Обход графа k-м муравьем. Следующая вершина выбирается в соответствии с формулой вида:

$$P_{ij} = \begin{cases} \dfrac{\tau_{ij} * c_{ij} * I_{ij} * \dfrac{1}{p_j}}{\sum_{x \in T} \tau_{ix} * c_{ix} * I_{ix} * p_x}, \text{если } T \in \text{непройденные элементы;} \\ 0, \text{если } j - \text{й элемент уже был пройден,} \end{cases}$$

где P_{ij} — вероятность выбора j-го элемента; τ_{ij} — количество феромонов на ребре i-j; T – множество элементов, имеющих связи с i-м элементом; c_{ij} – количество связей между j-м и i-м элементами; I_{ij} – максимальная сила тока проводника между i-м и j-м элементами; p_j – тепловыделение j-го элемента.

4. Если не были посещены все вершины, возврат к шагу 4.

5. Размещаем элементы на монтажной области печатной платы, используя результат обхода графа. Их следует размещать, начиная с первых пройденных элементов, так как они имеют наибольшее количество связей. Каждый элемент размещается относительно уже размещенных таким образом, чтобы длина его связей с размещенными элементами была минимальной.

6. Вычисляем значение целевой функции F при текущем расположении по формуле вида:

$$F = k_L * F'_L + k_{EMC} * F'_{EMC} + k_T * F'_T,$$

7. Запоминание наилучшего решения задачи, обладающего минимальным значением целевой функции.

8. Если n муравьев не выполнило обход, возврат к шагу 3.

9. Обновление феромонов на каждом ребре по формуле вида:

$$\tau_{ij} = \frac{Q}{F}\left((1 - k_e)\,\tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}\right),$$

где k_e — коэффициент испарения феромонов; τ_{ij} — количество феромонов на ребре i-j; $\Delta\tau_{ij}$ — феромоны, оставленные на ребре i-j по завершении обхода.

10. Если не выполнено необходимое количество итераций, возвращаемся к шагу 3.

Алгоритм реализован в виде программы на языке программирования C++ [12]. В качестве исследуемого параметра выбрано начальное количество феромонов на ребрах графа. Пример работы программы представлен на рис. 1.

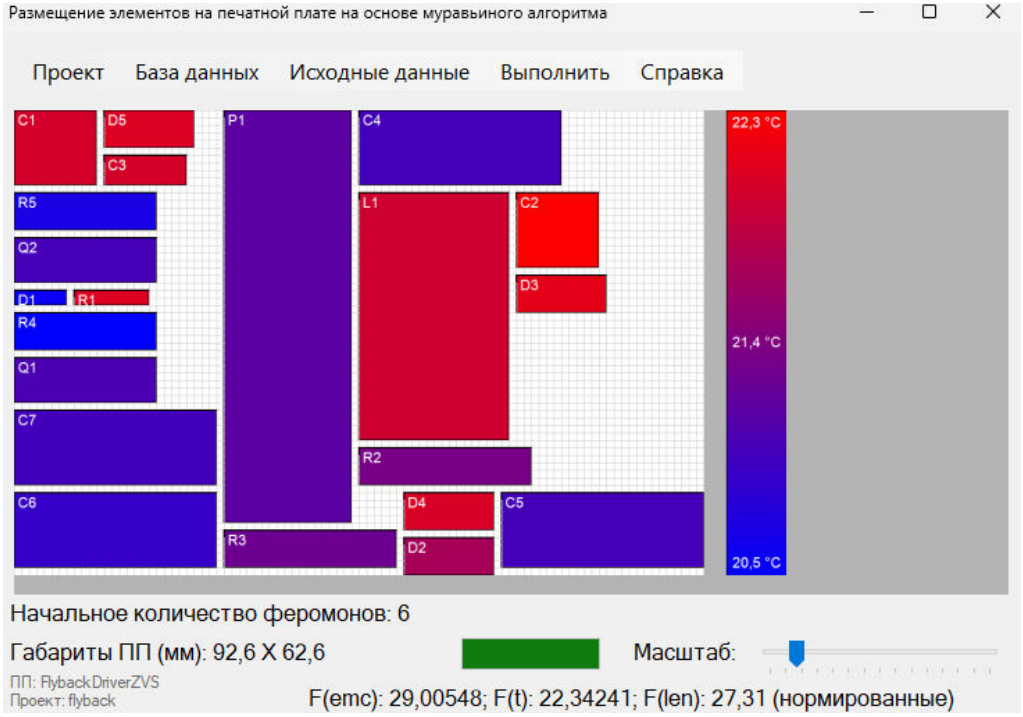


Рис. 1. Пример работы программы

В данной работе были проведены исследования эффективности муравьиного алгоритма от начального значения феромонов на ребрах графа. График зависимости целевой функции от исследуемого параметра представлен на рис. 2.

Рис. 2. График зависимости целевой функции

Наилучшие результаты достигаются при малом значении управляемого параметра. В этом случае целевая функция принимает минимальное значение, что свидетельствует о более эффективном размещении элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Fukumoto Y.* et al. A method of automatic placement that reduces electromagnetic radiation noise from digital printed circuit boards // IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Symposium Record (Cat. No. 00CH37016). – IEEE, 2000. – Т. 1. – С. 363-368.

2. *Wang L., Lu G., Yang K.* Thermal optimization of electronic devices on PCB based on the ant colony algorithm // 2018 International Conference on Electronics Technology (ICET). – IEEE, 2018. – С. 55-59.

3. *Eswarawaka R.* et al. An efficient placement of electronic components using genetic annealing algorithm: Comparative study // 2016 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT). – IEEE, 2016. – Т. 3. – С. 1-6.

4. *Ismail F.S., Yusof R., Khalid M.* Optimization of electronics component placement design on PCB using self organizing genetic algorithm (SOGA) //Journal of intelligent Manufacturing. – 2012. – Т. 23. – С. 883-895.

5. *Макеев П.А., Чермошенцев С.Ф.* Апробация методики автоматизированного размещения элементов на гибко-жесткой печатной плате на практических примерах //Труды МАИ. – 2024. – №. 134.

6. *Корячко В.П., Перепелкин Д.А., Ликучев В.Ю.* Математическая модель представления мультиагентных систем и ее применение в задачах топологического проектирования модулей радиоэлектронных средств //Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2023. – №. 83. – С. 48-61.

7. *Suwa T., Hadim H.* Multidisciplinary placement optimization of heat generating electronic components on a printed circuit board in an enclosure // IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies. – 2007. – Т. 30. – №. 3. – С. 402-410.

8. *Delaram H., Dastfan A., Norouzi M.* Optimal thermal placement and loss estimation for power electronic modules // IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology. – 2018. – Т. 8. – №. 2. – С. 236-243.

9. *Pang W., Ding J., Kou D.* A dual-stage algorithm to optimize the thermal placement of the smartphone multiple chips // IEEE 2nd International Conference on Information Systems and Computer Aided Education (ICISCAE). – 2019. – P. 385-388. – DOI 10.1109/ICISCAE48440.2019.221658.

10. *Deb K., Jain P., Gupta N.K., Maji H.K.* Multiobjective Placement of Electronic Components Using Evolutionary Algorithms // IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies. – 2004. – Vol. 27, No. 3. – P. 480-492.

11. *Colorni A., Dorigo M., Maniezzo V.* Distributed Optimization by Ant Colonies // Proceedings of the First European Conference on Artificial Life. – Paris, France: Elsevier Publishing, 1991. – P. 134–140

12. *Страуструп Б.* Язык программирования C++; 4-е изд. – М.: Вильямс, 2023 – 1136 с.

DEVELOPMENT OF A SUBSYSTEM FOR AUTOMATED PLACEMENT OF ELEMENTS ON A PRINTED CIRCUIT BOARD BASED ON ANT ALGORITHM

Kardopoltsev D.D.

Supervisor: Suzdaltsev I.V., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical Institute named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This work is devoted to the development of mathematical and software subsystem for the automated placement of components on a printed circuit board, taking into account the criteria of electromagnetic and thermal compatibility. To solve the multi-criteria problem of placing components on a printed circuit board, it is proposed to use an ant algorithm. The paper presents the results of a study of the effectiveness of the ant algorithm depending on the values of the control parameters.

УДК 004

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА СЕРЫХ ВОЛКОВ

Козловский А.В.

Научный руководитель: Суздальцев И.В., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается подсистема САПР для оптимального размещения элементов на печатной плате с использованием алгоритма серых волков, минимизирующего длину межсоединений и обеспечивающего равномерное тепловое распределение. Алгоритм учитывает требования электромагнитной совместимости, снижая значение целевой функции на 5–12% по сравнению с ручным размещением. Подсистема интегрируется с Delta Design, повышая эффективность автоматизированного проектирования.

Современные электронные устройства характеризуются стремительным увеличением плотности компоновки элементов и ростом рабочих частот, что существенно усложняет проектирование печатных плат (ПП). Эти тенденции требуют учета таких факторов, как электромагнитная совместимость (ЭМС), тепловые характеристики и длина межсоединений, чтобы обеспечить стабильную работу устройств. Недостаточное внимание к этим аспектам может привести к перекрестным помехам, локальным перегревам и снижению стабильности изделий [1]. Существующие системы автоматизированного проектирования (САПР), такие как Altium Designer или Delta Design, часто ограничены базовыми функциями размещения элементов, что не позволяет эффективно решать задачи, связанные с высокой плотностью монтажа и сложными физическими ограничениями.

В этой связи разработка специализированных подсистем автоматизированного проектирования, способных учитывать ЭМС и тепловые факторы, является актуальной задачей. Цель данной работы заключается в создании подсистемы САПР для оптимального размещения элементов на ПП с использованием метаэвристического алгоритма серых волков. Разработанная подсистема включает базу данных для управления проектной информацией, алгоритм, обеспечивающий минимизацию электромагнитных помех и равномерное распределение тепла, а также возможность интеграции с Delta Design. Такой подход позволяет повысить качество проектных решений, сократить влияние человеческого фактора и улучшить производительность процесса проектирования [1].

Задача размещения элементов на печатной плате заключается в определении оптимального расположения элементов на заданной площади с учетом конструктивных, электрических и тепловых ограничений. Формально она представляется как задача оптимизации, направленная на минимизацию целевой функции, описывающей качество размещения, при строгом соблюдении требований.

Пусть печатная плата задана прямоугольной областью с размерами $L \times W$. На плате размещается множество элементов $C = \{c_1, c_2 \dots, c_i\}$, где каждый элемент c_i характеризуется:

- (a_i, b_i) – габаритные размеры (ширина и высота);
- p_i – максимальная потребляемая мощность (Вт), определяющая тепловыделение;
- $t_i \in \{\text{цифровой}, \text{аналоговый}\}$ – тип элемента, влияющий на требования ЭМС;
- (x_i, y_i) – координаты центра элемента;
- $\varphi_i \in \{0°, 90°, 180°, 270°\}$ – угол поворота.

Множество запрещенных зон $Z \in \{z_1, z_2 \dots, z_m\}$ задается координатами $\left(x_{zp}, y_{zp}\right)$ длиной a_{zp} и шириной b_{zp}, соответствующими областям, где размещение элементов недопустимо (например, монтажные отверстия или разъемы).

Электрические соединения между элементами описываются гиперграфом $J = (V, E)$, где $V = C$ – множество вершин, соответствующих элементам, а $E \in \{e_1, e_2 \dots, e_k\}$ – множество гиперребер, представляющих электрические цепи. Каждое гиперребро $e_k \in E$ связывает подмножество элементов $\{c_{k1}, c_{k2} \dots, c_{km}\}$.

Целевая функция задачи направлена на минимизацию двух ключевых критериев:

1. Минимизация суммарной длины межсоединений для упрощения трассировки и снижения паразитных эффектов:

$$L_{len}(f) = \sum\nolimits_{e_s \in E} w_s \left(\max_{v_i, v_j \in e_s} d_{ij} \right) \to min,$$

где $d_{ij} = \sqrt{\left(x_i - x_j\right)^2 + \left(y_i - y_j\right)^2}$ – евклидово расстояние между элементами c_i и c_j, входящими в гиперребро e_k.

2. Обеспечение равномерного распределения тепла для предотвращения локальных перегревов:

$$L_{heat}(f) = \sum\nolimits_{i<j} \frac{P_i + P_j}{d_{ij}} \to min,$$

где P_i – расчётная тепловая мощность элементами i [Вт].

Общая целевая функция формируется как взвешенная сумма:

$$F(f) = \omega_{len} L_{len} + \omega_{heat} L_{heat},$$

где $\omega_{len}, \omega_{heat}$ – коэффициенты веса критериев

Ограничения задачи включают:

1. Размещение элементов в пределах платы
2. Взаимное непересечение элементов
3. Непересечение элементов с запретными зонами
4. Расположение аналоговых и цифровых элементов в своих зонах

Задача сводится к поиску набора $\{(x_i,\ y_i,\ \varphi_i)\}_{i=1}^{n}$, минимизирующего значение целевой функции F при соблюдении всех ограничений. Для ее решения в работе применяется алгоритм серых волков, обеспечивающий эффективный поиск оптимальной конфигурации размещения элементов [2].

Алгоритм серых волков (Grey Wolf Optimizer, GWO) — метаэвристический метод роевой оптимизации, имитирующий социальную иерархию и охотничье поведение стаи волков. Он эффективно определяет оптимальное расположение компонентов на печатной плате, учитывая заданные ограничения и критерии.

Каждый волк в стае представляет один вариант размещения всех элементов. Стая состоит из нескольких волков, среди которых лучшие варианты обозначаются как лидеры (альфа, бета, дельта), а остальные следуют за ними, корректируя свои позиции. Алгоритм использует гиперграф для описания электрических связей между элементами и итеративно улучшает размещение, стремясь к оптимальному решению [3].

Процесс алгоритма представлен на блок-схеме (рисунок 1):

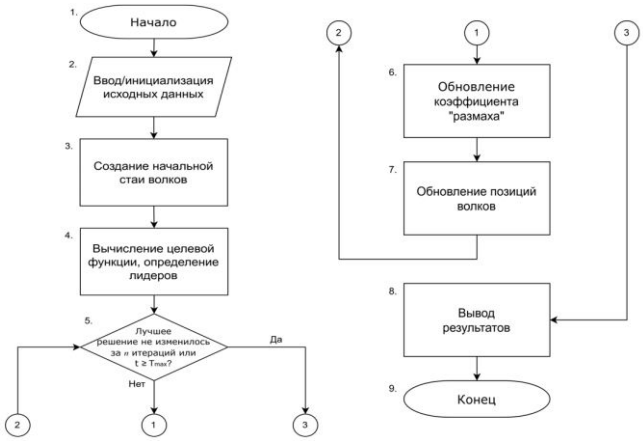


Рис. 1. Блок-схема алгоритма серых волков

1. Начало работы алгоритма.
2. Задание параметров: размерность задачи, число волков N, максимальное число итераций T_{max}.
3. Генерация N случайных вариантов размещения, где каждый волк кодирует координаты и повороты элементов.
4. Оценка вариантов по целевой функции, выбор лидеров: α, β, δ.
5. Проверка условия остановки: если лучшее решение не улучшалось n итераций или достигнуто T_{max}, переход к выводу результатов.
6. Обновление коэффициента a, уменьшающегося от 2 до 0 по формуле:

$$a = 2 - t \times \frac{2}{T_{max}},$$

7. Обновление позиций волков по формулам:

$$D_\alpha = \left|C_1 \bullet X_\alpha - X\right| \quad D_\beta = \left|C_2 \bullet X_\beta - X\right| \quad D_\delta = \left|C_3 \bullet X_\delta - X\right|$$

$$X_1 = X_\alpha - A_1 \bullet D_\alpha \quad X_2 = X_\beta - A_2 \bullet D_\beta \quad X_3 = X_\delta - A_3 \bullet D_\delta$$

$$X(t+1) = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3},$$

где $A = 2 \bullet a \bullet r_1 - a,\ C = 2 \bullet a \bullet r_2,\ \ r_1, r_2 \in [0,\ 1]$

8. Вывод лучшего решения X_α.
9. Завершение работы алгоритма.

Алгоритм серых волков сочетает высокую скорость сходимости к оптимальным решениям с приемлемой вычислительной сложностью, что делает его перспективным для применения в задачах автоматизированного проектирования печатных плат.

Разработанная подсистема (рисунок 2) автоматизированного проектирования была протестирована на модельных задачах размещения элементов на печатной плате. Тестовые схемы включали от 6 до 100 компонентов, с учетом их размеров, потребляемой мощности, типа (аналоговый или цифровой) и областей, где размещение запрещено. Алгоритм серых волков оценивался по критериям минимизации длины соединений и равномерности теплового распределения при строгом соблюдении требований электромагнитной совместимости.

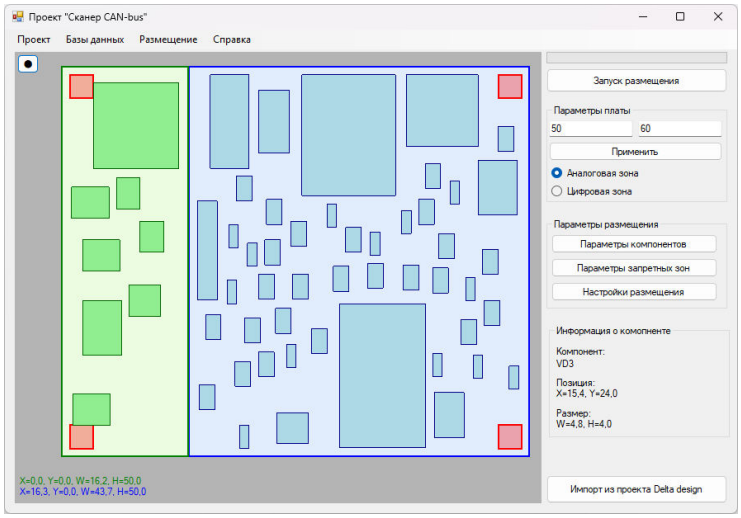
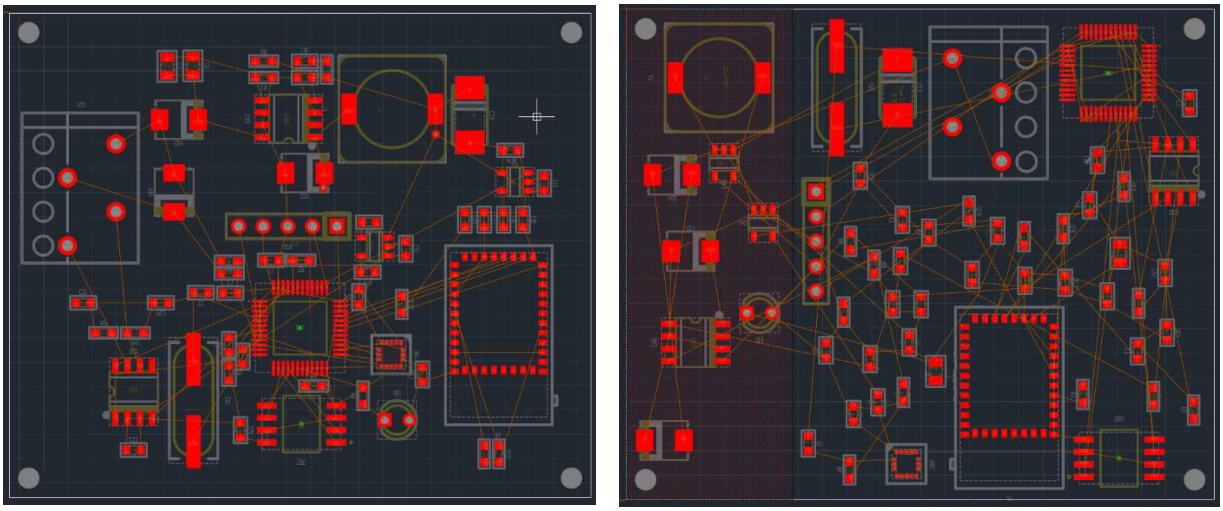


Рис. 2. Результат размещения элементов в разработанной программе на одном из примеров

Далее, после получения результата размещения в программе у пользователя есть возможность экспортировать его в среду Delta Design для дальнейшего проектирования печатной платы.

Тестирование показало (рисунок 3), что значение целевой функции уменьшилось на ~12% по сравнению с размещением, выполненным вручную. Это позволило улучшить равномерность теплового распределения за счет учета потребляемой мощности, снижая локальные перегревы, а также сократить суммарную длину соединений между элементами. Требование ЭМС, предполагающее размещение аналоговых и цифровых элементов в отведенных для них зонах без пересечения этих зон, выполнялось во всех случаях.



а) б)

Рис. 3. Результат размещения в системе Delta Design: а) размещение вручную (значение $F \approx 630$); б) размещение алгоритмом серых волков (значение $F \approx 551$)

Разработанная программа продемонстрировала эффективность применения алгоритма серых волков в задаче размещения элементов на печатной плате. Полученные результаты

показали, что значение целевой функции уменьшилось на несколько процентов за счет соответствия решений заданным критериям. Кроме того, размещение элементов стало полностью соответствовать требованиям ЭМС, что подтверждает перспективность предложенного подхода для автоматизированного проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кечиев Л.Н.* Практическое руководство по конструированию многослойных печатных плат: инженерное пособие – Москва: Грифон, 2021. – 416 с.

2. *Гладков Л.А.* Интеллектуальные системы: модели и методы метаэвристической оптимизации: монография / Л.Н. Кечиев, Ю.А. Кравченко, В.В. Курейчик, С.И. Родзин. – Чебоксары: Среда, 2024. – 228 с.

3. *Кулиев Э.В.* Адаптивный алгоритм стаи серых волков для решения задач проектирования / Э.В. Кулиев, С.Н. Щеглов, Е.А. Пантелюк, Н.В. Кулиева // Известия ЮФУ Технические науки. – 2017. – № 62. – С. 28-38.

4. Полное руководство по языку программирования C# 13 и платформе .NET 9: сайт. – URL: https://metanit.com/sharp/tutorial/ (дата обращения: 20.04.2025).

AUTOMATION OF COMPONENT PLACEMENT ON A PRINTED CIRCUIT BOARD USING THE GREY WOLF OPTIMIZER ALGORITHM

Kozlovskiy A.V.

Supervisor: Suzdal'tsev I.V., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article presents a CAD subsystem for optimal component placement on a printed circuit board using the Grey Wolf Optimizer algorithm, which minimizes interconnection length and ensures uniform thermal distribution. The algorithm accounts for electromagnetic compatibility requirements, reducing the target function value by 5–12% compared to manual placement. The subsystem integrates with Delta Design, enhancing the efficiency of automated design.

УДК 004.89

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ИСКУСТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОЕКТИРУЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

Крачинова М.В., Пармоник В.В.

Научный руководитель: Осипова Ю.А., старший преподаватель

(Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к автоматизированному контролю качества проектируемых изделий с использованием технологий компьютерного зрения и искусственного интеллекта. Анализируются преимущества интеграции интеллектуальных систем с CAD/CAE-средами, обеспечивающих высокоточную и оперативную идентификацию дефектов на всех этапах производственного цикла. Подчеркивается роль машинного обучения и нейросетевых алгоритмов в повышении надежности контроля, адаптации к изменяющимся условиям производства и снижении зависимости от человеческого фактора.

На сегодняшний день актуальность темы автоматизированного контроля качества проектируемых изделий обусловлена необходимостью снижения человеческого фактора и увеличением оперативности в сфере современного промышленного производства, где интеграция с автоматизированными системами контроля с CAD/CAE-средами способствует

замещению традиционных методов контроля качества, основанных на ручных и визуальных проверках, с целью повышения скорости обработки данных и обеспечения комплексного анализа характеристик изделий [1].

Промышленное производство без привлечения искусственного интеллекта в процессы контроля качества разработок характеризуется участием операторов и использованием классических форм измерения и визуального контроля.

Отсутствие интеллектуальных систем обуславливает необходимость ручной переналадки оборудования, изменения конструкторских параметров продукции.

Традиционные методы контроля несоизмеримо зависят от квалификации операторов и как таковые не предусматривают возможности выявления скрытых корреляций и тенденций для последующего прогнозирования дефектности продукции. Применяемые в настоящее время способы обнаружения дефектов не позволяют осуществлять высокоэффективный контроль качества в условиях массового производства.

Искусственный интеллект стал широко использоваться предпринимателями СНГ, обладая при этом расширенным набором навыков и аналитических возможностей, что привело к переосмыслению организационной структуры производственных процессов.

С 1960-го года нейросеть стала академическим предметом и технологический прогресс дошел до имитации человеческого зрения. В 1974 году появилась технология оптической интерпретации символов (OCR), которая позволяла распознавать шрифт и анализировать текст.

Далее появились системы интеллектуального распознавания символов (ICR).

Синтез OCR и ICR дал возможность производить обработку счетов-фактур, документов, считывать номера автотранспорта, осуществлять машинные переводы [2].

В настоящее время ИИ – это синергия компьютерных наук, построенная на алгоритмах и методах, позволяющих обрабатывать большие объемы информации, заточенная на выполнение конкретных задач. Искусственный интеллект не отменяет операторов, а только грамотно принимает переданную часть функций.

Современные методы машинного обучения и глубоких нейронных сетей обеспечивают искусственному интеллекту возможность автоматизированного обнаружения дефектов продукции с высокой точностью и скоростью, значительно превосходящей человеческие возможности.

Такие системы способны эффективно обрабатывать большие объёмы визуальной информации в реальном времени, что позволяет выявлять даже минимальные отклонения от стандартов качества, повышая тем самым надёжность и эффективность контроля на производстве.

Несмотря на высокий уровень автоматизации, алгоритмы ИИ требуют регулярного обучения на актуальных данных, обновления моделей и постоянного мониторинга со стороны квалифицированных специалистов для адаптации к изменяющимся производственным условиям и новым видам дефектов [3].

Машинное зрение, базирующееся на данных технологиях, находит широкое применение в автомобилестроении, пищевой промышленности, фармацевтике, производстве электроники и тяжёлой промышленности, где требования к качеству и безопасности продукции особенно высоки.

Внедрение подобных систем способствует не только улучшению качества выпускаемой продукции, но и оптимизации производственных процессов, снижению затрат и минимизации влияния человеческого фактора, что в совокупности повышает конкурентоспособность предприятий и способствует устойчивому развитию отраслей.

Современные системы машинного зрения представляют собой сложные технико-программные комплексы, предназначенные для автоматизированного анализа изображений в реальном времени. Их архитектура включает ряд ключевых компонентов, каждый из которых выполняет специализированные функции, обеспечивая высокую точность и надежность обработки визуальных данных.

Составляющие системы машинного зрения:

– цифровые камеры или другие альтернативные;
– программное обеспечение либо оцифровщик снимков;
– процессор;
– инструменты для разработки;
– дополнительно созданные источники света;
– датчики синхронизации;
– разработанную систему отбора брака.

Основу системы формируют цифровые камеры, оснащенные ПЗС- или КМОП-матрицами, обеспечивающими преобразование оптического сигнала в цифровой формат. В зависимости от решаемых задач могут применяться альтернативные устройства, такие как инфракрасные камеры, спектрометры или 3D-сканеры, позволяющие получать данные за пределами видимого спектра или в трехмерном пространстве.

Оцифровка и первичная обработка изображений осуществляются специализированным программным обеспечением, включающим алгоритмы шумоподавления, коррекции освещенности и геометрических искажений. В ряде случаев применяются аппаратные оцифровщики, обеспечивающие высокоскоростную предварительную обработку сигнала перед передачей данных на центральный процессор [3].

Обработка и анализ изображений выполняются на базе высокопроизводительных процессоров, которые могут быть реализованы в виде:

– универсальных центральных процессоров для задач средней сложности;
– графических ускорителей при необходимости параллельных вычислений;
– специализированных чипов в системах, требующих минимальных задержек.

Для создания и настройки алгоритмов анализа применяются специализированные среды разработки, например, OpenCV, Halcon, MATLAB Vision Toolbox, предоставляющие библиотеки функций для обработки изображений, машинного обучения и нейросетевого анализа [4].

Контролируемые источники света светодиодные, лазерные, стробоскопические играют критическую роль в обеспечении стабильных условий съемки. Их конфигурация (кольцевые, темнопольные, структурированные подсветки) подбирается исходя из характеристик объекта и требуемого контраста [5].

Для согласования работы камер, освещения и конвейерных механизмов используются датчики синхронизации (энкодеры, фотоэлектрические датчики), обеспечивающие захват изображений в строго заданные моменты времени.

Результаты обработки передаются в исполнительные механизмы (сортировочные манипуляторы, маркираторы), осуществляющие автоматизированное отделение бракованных изделий.

Эффективность машинного зрения на производстве зависит от данных, на которых тренируются алгоритмы. Системы получают информацию с камер наблюдения, технических паспортов оборудования, отчетов сотрудников и другого с последующей корректировкой для преобразования данных в знания искусственного интеллекта.

Основное предназначение машинного зрения заключается в следующем:

1) прием цифрового изображения;
2) обработка данных, полученных с изображения для выявления заводских повреждений;
3) распознавание геометрических характеристик объекта;
4) обработка данных, полученных с кодовой маркировки (штрих-кода).

Видеокамеры, работающие на инфракрасных, ультрафиолетовых, рентгеновских диапазонах волн, различают электромагнитные волны в более широком спектре, чем человеческий глаз. Устоявшиеся отделы качества не всегда способны распознавать мельчайшие дефекты в отличие от систем машинного зрения. Такие системы способны считывать серийные номера и искать поверхностные дефекты круглосуточно.

Модернизация на производстве, включая замену материалов деталей или обновление стандартов производства влечет за собой непрерывное обучение компьютерного разума.

С внедрением нейронных сетей в производство качество изделий становится частью проектирования – алгоритмы предлагают способы недопущения дефектов с помощью изменения параметров изделий.

Искусственный интеллект помогает оптимизировать процессы, снижать издержки и повышать эффективность работы компаний также способом интеграции с ERP-системами. Взаимодействие этих систем углубляет сквозной анализ данных на предприятиях, таким образом, сообщения о настройке оборудования в реальном времени поступают в базу данных, создавая непрерывные улучшения на всех этапах выпуска продукции.

Внедрение систем машинного зрения в производственные процессы меняет подход к контролю качества, в зависимости от специализации предприятия, технология будет решать различного рода задачи.

В автомобильной промышленности машинное зрение решит задачи контроля качества на геометрическую проверку деталей, проверку качества сварных элементов на пористость и наличие отверстий, отследит правильность сборки узлов, автоматически отбросит дефектные детали и привяжет дефект к определенной партии деталей для выявления причин брака.

В пищевой промышленности компьютерное зрение обнаружит посторонние включения в виде пластика или насекомых, тем самым повысив гигиенические стандарты, проконтролирует герметичность упаковки, корректность маркировки.

В области электроники технология способна проверять маркировку чипов относительно их расположения в схеме, проверять качество контактов разъемов, ускорит тестирование плат и в следствие чего сократит процент брака.

Внедрение систем машинного зрения в процессы контроля качества изделий представляет собой значительный технологический прорыв, обеспечивающий переход к принципиально новому уровню автоматизации производственных процессов [4].

Современные системы машинного зрения обеспечивают комплексный подход к контролю качества, включая не только выявление поверхностных дефектов, но и анализ внутренней структуры материалов с использованием многоспектральных и томографических методов.

При этом достигается полная цифровизация процессов контроля с автоматическим формированием протоколов проверки и интеграцией в системы производственного учета.

Особую ценность представляет адаптивность данных систем, позволяющая оперативно перенастраивать параметры контроля при изменении номенклатуры выпускаемой продукции.

Как итог, машинное зрение становится ключевым элементом цифровой трансформации производства, обеспечивающим достижение новых стандартов качества продукции в условиях четвертой промышленной революции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Захаров В.С.* Технологии компьютерного зрения на российском и мировых рынках и их перспективы // Вестник Таганрогского института управления и экономики. 2022. № 1. С.114 –115.

2. *Шумский С.А.* Машинный интеллект. Очерки по теории машинного обучения и искусственного интеллекта. Москва: Издательство РИОР, 2022. 340 с.

3. *Бакшанский Р.Ю.* Визуализация быстропротекающих процессов с использованием камеры машинного зрения // Избранные доклады 67-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. 19-23 апреля 2021 года. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. С. 327–328.

4. *Глория, Буэно Гарсия*. Обработка изображений с помощью OpenCV: моногр. / Глория Буэно Гарсия и др. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 210 с.

5. *Визильтер Ю.В. и др.* Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW и IMAQ Vision – М.: ДМК Пресс, 2016. – 464 с.

APPLICATION OF COMPUTER VISION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR AUTOMATED QUALITY CONTROL OF DESIGNED PRODUCTS

Krahinova M.V., Parmonik V.V.
Supervisor: Osipova J.A., Senior Lecturer
(Belarusian National Technical University, Minsk)

Abstract. The article considers modern approaches to automated quality control of designed products using computer vision and artificial intelligence technologies. It analyses the advantages of integrating intelligent systems with CAD/CAE environments that provide highly accurate and rapid identification of defects at all stages of the production cycle. The paper emphasises the role of machine learning and neural network algorithms in increasing the reliability of inspection, adapting to changing production conditions and reducing dependence on the human factor.

УДК 681.396.6.049.77

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ФЮЗЕЛЯЖЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Крупенникова Д.Е.
Научный руководитель: Гайнутдинов Р.Р., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной научной статье представлено описание и решения задачи размещения бортового оборудования в фюзеляже летательного аппарата с помощью пчелиного алгоритма. Основными критериями данной задачи стали минимизация длин линий связи, центр масс и учет электромагнитной совместимости.

Процесс проектирования летательных аппаратов относится к категории сложных инженерных задач, из-за этого следует учитывать многочисленные критерии и ограничения. В случае беспилотных летательных аппаратов данная проблема несколько упрощается, поскольку исключаются конструктивные требования, связанные с обеспечением безопасности и жизнедеятельности экипажа.

Современные летательные аппараты представляют собой сложные электронные комплексы, работоспособность которых зависит от способности функционирования бортового оборудования в различных условиях. Ключевым фактором, способным нарушить штатную работу бортового оборудования, выступает воздействие внешних электромагнитных полей. В целях обеспечения электромагнитной совместимости необходимо применять специальные методы пространственного размещения оборудования в фюзеляже.

В задачу размещения бортового оборудования входит определение оптимального расположения бортового оборудования в отсеках фюзеляжа летательного аппарата с учетом выбранных критериев и ограничений [1].

Корпус летательного аппарата делится на отсеки. У каждого отсека назначается грань, где будет возможно размещения блоков бортового оборудования. Далее происходит дискретизация каждой грани ортогональной сеткой, вследствие получается множество точек, которые являются перечнем установочных позиций для блоков.

Исходными данными задачи являются: множество блоков с их параметрами (длина, ширина, высота, масса, помехоустойчивость), центр тяжести, коэффициент свертки для каждого критерия.

Результирующие данные задачи: трехмерная модель размещения блоков бортового оборудования в фюзеляже летательного аппарата.

Для решения данной задачи размещения бортового оборудования в фюзеляже летательного аппарата были выбраны следующие критерии:

1. Минимизация длин линий связи. Этот критерий улучшает электрические характеристики устройства, упрощает последующею трассировку бортового оборудования и снижает трудоемкость изготовления летательных аппаратов. Минимизация длин линий связи также способствует повышению надежности и долговечности устройства, снижению затрат на его производство и улучшению эргономики.

Для критерия минимизации длин линий связи используется следующая целевая функция. Данный критерий представлен в формуле (1):

$$F_1 = \sum_{i=1}^{|B|-1}(\sum_{j=i+1}^{|B|} d_{i,j} l_{i,j}), \tag{1}$$

где $d_{i,j}$ – элемент матрицы G(V,E), $l_{i,j}$ – расстояние между *i-ым* и *j-ым* блоками.

Расстояние между двумя элементами находится по формуле (2):

$$\begin{gathered} d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| + |z_i - z_j|, \\ 1 \le i \le n, 1 \le j \le n, 1 \le a \le g, 1 \le b \le g, \end{gathered} \tag{2}$$

где x_i, y_i, z_i – координаты i-го бортового оборудования, x_j, y_j, z_j – координаты j-го бортового оборудования.

2. Центр масс. Учитывание центра масс летательного аппарата является ключевым фактором для обеспечения безопасности и стабильности полетов, поэтому следует минимизировать данный критерий. Отклонение от центра масс может привести к снижение летных качеств самолета при перегрузке и ухудшение управляемости самолета. Изначальный центр масс летательного аппарата берется уже с учётом фиксировано размещенных на нем блоков бортового оборудования. Данный критерий представлен в формуле (3):

$$F_2 = \sqrt{(\frac{\sum_{i=1}^{|B|} m_i x_i}{\sum_{i=1}^{|B|} m_i} - C_x)^2 + (\frac{\sum_{i=1}^{|B|} m_i y_i}{\sum_{i=1}^{|B|} m_i} - C_y)^2 + (\frac{\sum_{i=1}^{|B|} m_i z_i}{\sum_{i=1}^{|B|} m_i} - C_z)^2}, \tag{3}$$

где m_i – масса *i*-го блока, x_i, y_i, z_i – координаты *x, y* и *z* блока *i,* C_x, C_y, C_z – координаты *x, y* и *z* требуемого центра тяжести

3. Электромагнитная совместимость. При исследовании внутрисистемной электромагнитной совместимости, определяемой электромагнитными взаимодействиями внутри одного объекта, выделяется электромагнитные факторы, определяющие электромагнитную обстановку внутри отсеков фюзеляжа. Одним из факторов, создающих наиболее сложную электромагнитную обстановку, является излучения антенн радиопередатчиков [2]. Так для определения оптимальных установочных позиций бортового оборудования может быть предложен следующий критерий (4):

$$F_3 = \sum_{i=1}^{|B|} \max(0, \frac{\sum_{j=1}^{8} e_{i,j}}{8} - s_i), \tag{5}$$

где s_i - уровень помехоустойчивости i-го блока, $e_{i,j}$ – напряженность электрического поля в вершине j блока i (для блока напряженность поля берется из 8 его вершин и вычисляется среднее) [3].

В качестве ограничений задачи были взяты следующие условия:

1. Ограничение на не пересечение объемов конструкции блоков бортового оборудования с учетом их габаритных размеров.

2. Ограничение на размещение блоков в пределах корпуса [4].

Следовательно, обобщенный критерий для размещения блоков в отсеках летательного аппарат будет представлен в следующим виде (6):

$$F = (k_1 F_1^{'} + k_2 F_2^{'} + k_3 F_3^{'}) \to max, \tag{6}$$

где k_1, k_2, k_3 – весовые коэффициенты для критерия минимума суммарной взвешенной длины межблочных линий связи, минимума отклонения тяжести блоков от требуемого центра

тяжести С и минимума воздействия излучения от антенн на блоки бортового оборудования соответственно, F_1', F_2', F_3' - нормализованные критерий минимума суммарной взвешенной длины межблочных линий связи, минимума отклонения тяжести блоков от требуемого центра тяжести С и минимума воздействия излучения от антенн на блоки бортового оборудования соответственно.

Одним из эффективных методов для решения NP-сложных задач является применение бионических алгоритмов [5]. Для решения задачи размещения бортового оборудования в фюзеляже летательного аппарата в данной работе был выбран пчелиный алгоритм. Данный алгоритм был выбран из-за возможности исследования всего пространства корпуса, а также он предлагает лучший компромисс между скоростью, точностью и возможностью работы в реальных 3D-условиях.

Пчелиный алгоритм является разновидностью методов роевого интеллекта. Основной идеей, положенной в основу функционирования этой модели, является совместное исследование перспективных областей пространства (элитные участки) допустимых решений и их окрестностей, что позволяет разнообразить популяцию решений на последующих итерациях и увеличивает вероятность обнаружения близких к оптимальным решениям. Рой пчел вылетает в разных направлениях и обрабатывает достаточно большую площадь участков. На тех участках, где находится большее количество нектара, задействуется и большее число пчел.

Сначала формируется начальная популяция пчел, которая сортируется в зависимости от значений целевой функции участков. Далее выбираются элитные участки и в них отправляются пчёлы разведчики для образования новых участков в окрестностях элитных, а в остальные участки отправляются рабочие пчелы. Работа данного алгоритма зависит от следующих основных параметров, таких как: число рабочих пчел и разведчиков, число элитных и других участков, их размер, а также заданное число итераций [6].

Блок-схема пчелиного алгоритма представлена на рисунке 1.

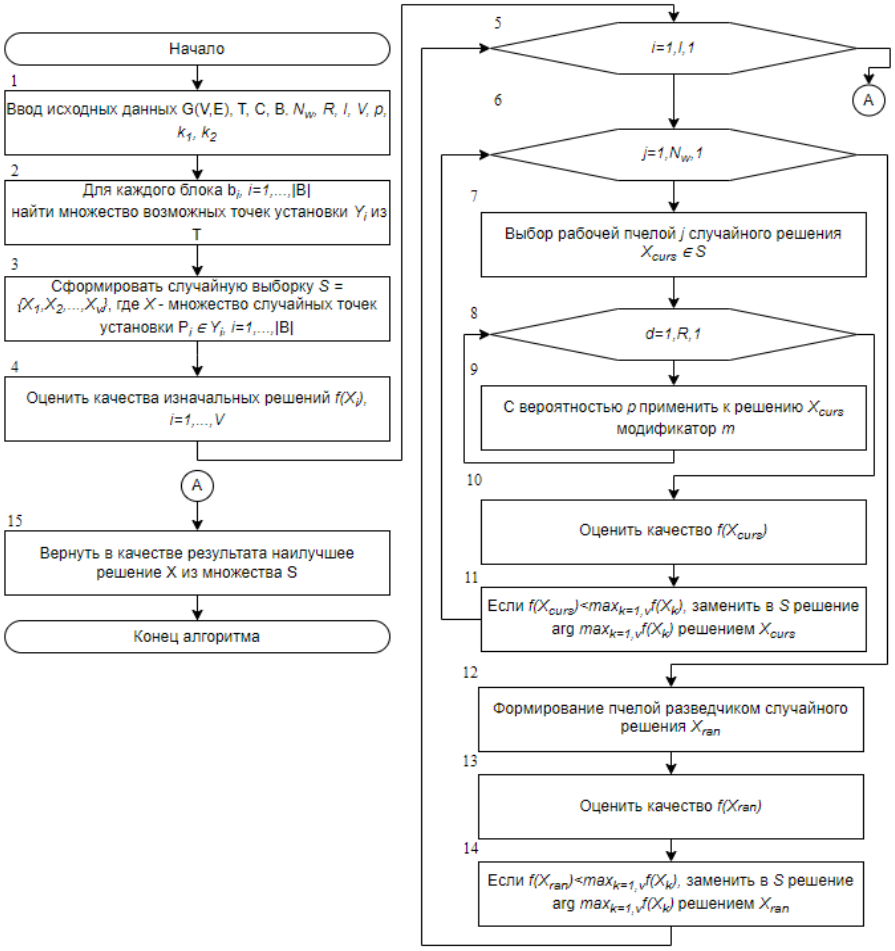


Рис.1 Блок-схема пчелиного алгоритма

Программная реализация для автоматизации решения задачи размещения бортового оборудования в фюзеляже летательного аппарата была выполнена на языке C#.

В данной работе представлено математическое описание задачи размещения бортового оборудования в фюзеляже летательного аппарата. Разработан пчелиный алгоритм для решения данной задачи. Создана программная реализация, которая иллюстрирует размещение бортового оборудования в фюзеляже летательного аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гайнутдинов Р.Р.* Размещение бортового оборудования в пространстве фюзеляжа беспилотного летательного аппарата с применением генетического алгоритма / Р.Р. Гайнутдинов, С. Ф. Чермошенцев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2024. – Т. 12, № 1(44). – С. 21.

2. *Гайнутдинов Р.Р., Чермошенцев С.Ф.* Методология обеспечения внутрисистемной электромагнитной совместимости бортового оборудования беспилотных летательных аппаратов // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2016. № 4. С. 155-160.

3. Электромагнитная совместимость технических средств подвижных объектов / Балюк Н.В., Болдырев В.Г., Булеков В.П. [и др.] М.: МАИ, 2004. 648 с.

4. *Suzdal'tsev I.V., Krupennikova D.E*. Layout of Aircraft Onboard Equipment Electronic Units Taking into Account the Electromagnetic Compatibility Criterion. Russ. Aeronaut. 67, 987–994 (2024).

5. *Воронова В.В.* Модифицированный генетический алгоритм размещения разногабаритных элементов / В.В. Воронова, С.Ф. Чермошенцев // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2017. – Т. 1. – С. 490-492.

6. Интеллектуальные системы: модели и методы метаэвристической оптимизации: монография / Л.А. Гладков, Ю.А. Кравченко, В.В. Курейчик, С.И. Родзин. – Чебоксары: Среда, 2024. – 228 с.

AUTOMATION OF PLACEMENT OF ON-BOARD EQUIPMENT IN THE FUSELAGE OF AN AIRCRAFT

Krupennikova D.E.

Supervisor: Gainutdinov R.R., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This scientific article presents a description and solutions to the problem of placing onboard equipment in the fuselage of an aircraft using the bee algorithm. The main criteria for this problem were minimizing the length of communication lines, the center of mass, and taking into account electromagnetic compatibility.

УДК 519

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИНТЕЗА ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Митина К.И.

Научный руководитель: Суздальцев И.В., старший преподаватель

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Аннотация. В работе рассмотрены способ автоматизации синтеза параметров схемы и подходящие для этого алгоритмы.

Одним из ключевых факторов успешного развития космических аппаратов является обеспечение устойчивости бортовой аппаратуры к негативным воздействиям, включая радиационные помехи, которые могут привести к повреждениям и нарушению функционирования схем.

Синтез параметров схемы представляет собой сложную задачу, требующую применения современных методов оптимизации, моделирования и оценки помехоустойчивости. Полученные результаты позволят подобрать оптимальные параметры схемы, необходимы для её устойчивости к заданному уровню радиационного излучения.

Целью данной работы является решение задачи синтеза параметров схемы для повышения радиационной устойчивости с использованием алгоритма отжига. Данная работа может стать основой для дальнейших исследований и разработки устойчивых схем

Данная задача относится к задаче параметрического синтеза в САПР. Объектом проектирования в данной работе является схема бортового оборудования космического аппарата – это графическое представление электрических цепей устройства, показывающее все компоненты и соединения между ними. Каждая разновидность бортового оборудования имеет собственную схему, состоящую из различных элементов с различными параметрами. Именно от этих параметров будет зависеть устойчивость схемы и всего оборудования в целом к радиационному излучению.

Одним из основных источников радиационных помех является электромагнитный импульс (ЭМИ) ядерного взрыва. Форма сигнала ЭМИ обычно описывается как одно- или многократный импульс с очень коротким временем нарастания и экспоненциальным спадом во времени.

При воздействии на схему радиацией возможны следующие проблемы:

– индуцирование высокочастотных помех на проводниках и элементах платы, что может привести к пробою изоляции и повреждению компонентов.

– возникновение токов наведённой ЭДС, вызывающих перегрузку и выход из строя микросхем.

– повышение температуры из-за быстрого протекания токов, что может повредить пайку.

– нарушение нормальной работы логики и управления из-за искажённых сигналов.

– возможное разрушение элементов, что приводит к полной потере функциональности оборудования.

Целевой функцией данной задачи будет являться максимизация допустимой мощности дозы радиации, при которой схема не выдаёт ложного сигнала:

$$P_{\gamma\ \text{гр}} = \frac{E_{\text{см}}}{K_\gamma} * f(R, C, L, \tau_{\text{и}}) -> max,$$

где $P_{\gamma\ \text{гр}}$ - допустимая мощность радиационной дозы, при которой схема ещё не выдаёт ложный сигнал, $E_{\text{см}}$ - напряжение источника, K_γ - коэффициент чувствительности к радиационному излучению, $f(R, C, L, \tau_{\text{и}})$ – функция, описывающая характеристики схемы, такие как сопротивление, ёмкость и индуктивность, $\tau_{\text{и}}$ - длительность ядерного импульса.

Ограничениями данной задачи будут являться диапазоны допустимых значений для каждого параметра *R, L, C*:

$$R_{min} \leq R_i \leq R_{max}$$
$$L_{min} \leq L_i \leq L_{max}$$
$$C_{min} \leq C_i \leq C_{max}$$

Для решения задачи был выбран метод имитации отжига, так как он прост в реализации и при этом способен эффективно выходить из локальных оптимумов.

Метод имитации отжига — это вероятностный метод глобальной оптимизации, основанный на процессе отжига металлов. Он улучшает решение, позволяя с некоторой

вероятностью принимать худший вариант, чтобы избежать застревания в локальных оптимумах. Алгоритм начинает работу при высокой температуре и постепенно снижает её, позволяя системе застыть вблизи глобального оптимума.

Описание алгоритма для синтеза параметров схемы для повышения радиационной устойчивости с использованием метода отжига:

1. Инициализация начальных условий алгоритма, таких как:

– t – начальная температура отжига. Чем выше начальная температура, тем выше вероятность найти глобальный оптимум, но тем больше итераций

– n, m, s – количество элементов для каждого типа параметров, таких как сопротивление, индуктивность и ёмкость.

– τ - длительность ядерного импульса

– E - напряжение источника

– K - коэффициент чувствительности к радиационному излучению

– $t_{кон}$ – конечная температура отжига, достигнув которой мы прекращаем вычисления.

– a – коэффициент остывания.

2. Инициализация начальных параметров схемы: $R_1,\ldots, R_n$; $L_1,\ldots, L_m$; $C_1,\ldots, C_s$; Выбираем некоторые значения параметров схемы, которые в дальнейшем будем оптимизировать.

3. Считаем первый вариант допустимой радиационной дозы P_{y1}, при которой схема не выдаёт ложных сигналов.

4. Проверяем условие окончания алгоритма, если температура больше конечной, переходим на следующий шаг, иначе переходим на шаг 14.

5. Задаём новые случайные параметры схемы.

6. Считаем второй вариант допустимой радиационной дозы P_{y2}, при которой схема не выдаёт ложных сигналов.

7. Считаем разность между вторым и первым вариантов допустимых радиационных доз.

8. Если эта разность больше нуля, то переходим к шагу 9, иначе – к шагу 10.

9. Если условие выполнилось, то принимаем второй вариант как наилучший, приравниваем переменную первого варианта ко второму и переходим к шагу 13.

10. Если условие не выполнилось, то генерируем случайное число для проверки.

11. Если разность второго и первого вариантов радиационных доз больше сгенерированного случайного числа, то переходим к шагу 12, иначе – к шагу 13.

12. Если условие выполнилось, то принимаем второй вариант за первый несмотря на то, что он хуже.

13. После окончания основных блоков алгоритма уменьшаем текущую температуру на заданный коэффициент и возвращаемся на шаг 4.

14. Если текущая температура меньше или равна конечной, то завершаем алгоритм и считаем последние полученные параметры оптимальными, выводя их и допустимую мощность радиационной дозы P_{y1} в качестве результата.

На рисунке 1 представлена блок-схема алгоритма.

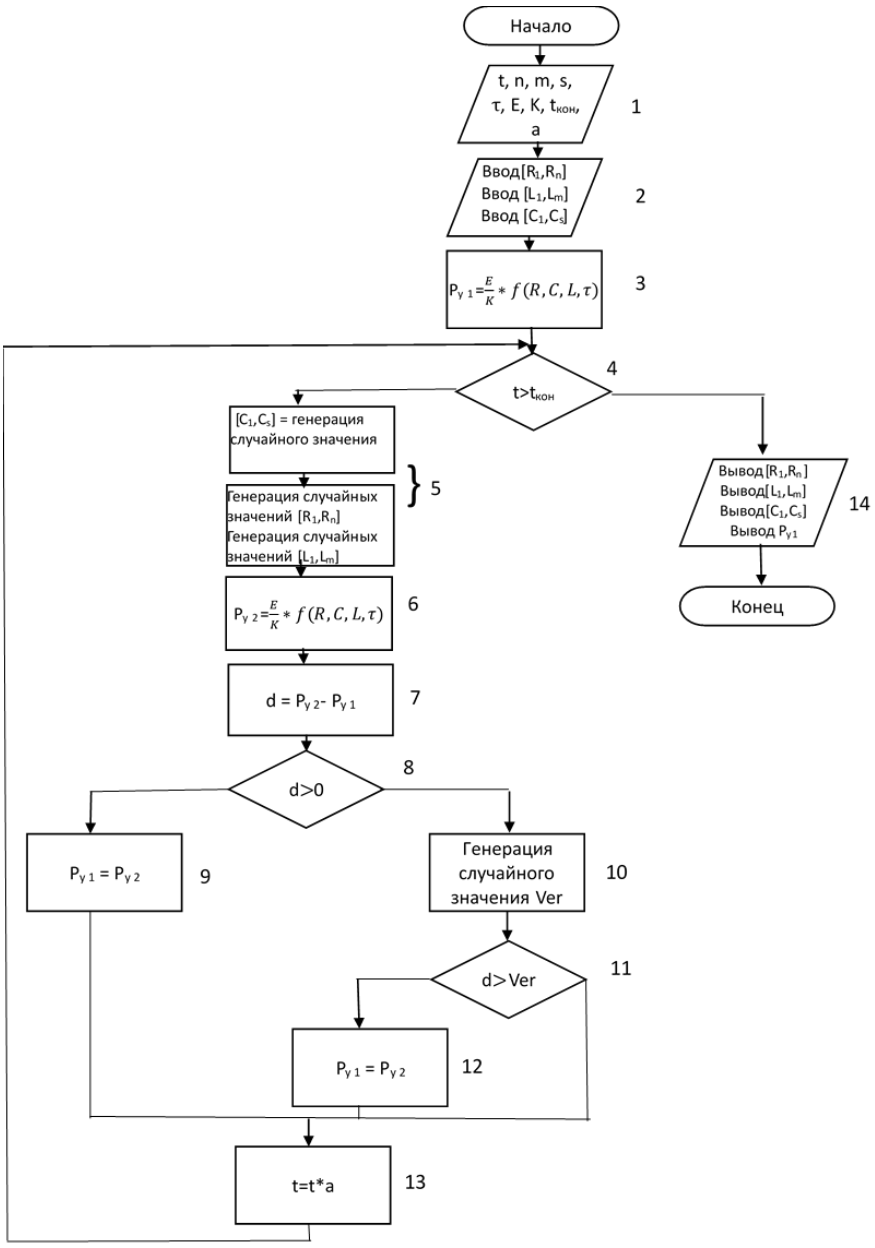


Рис.1 Блок-схема алгоритма имитации отжига для синтеза параметров схемы

Для проверки работы алгоритма был решён контрольный пример для схемы триггера, изображённой на рисунке 2.

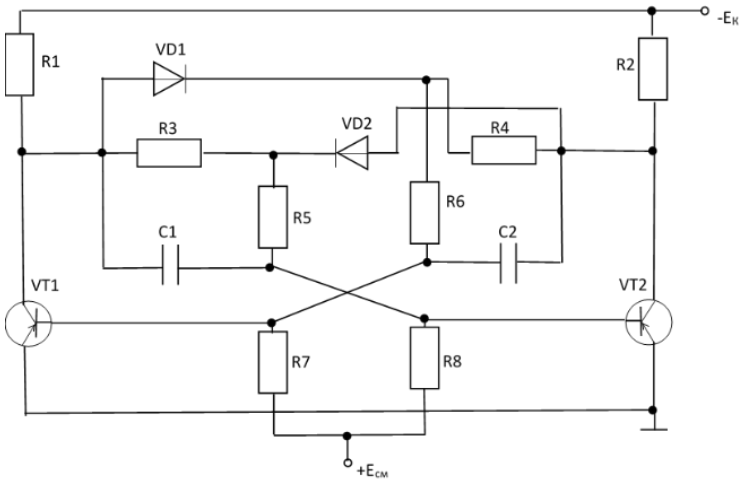


Рис.2. Схема оптимизируемого триггера

Исходные значения номинальных параметров элементов и начальные условия задачи представлены в таблице 1.

Таблица 1

Исходные значения номинальных параметров элементов и начальные условия задачи

Параметр	Значение
R_1	$2.2*10^3$ Ом
R_2	$2.2*10^3$ Ом
R_3	10^3 Ом
R_4	10^3 Ом
R_5	$4.7*10^3$ Ом
R_6	$1.5*10^3$ Ом
R_7	$5*10^3$ Ом
R_8	$6.5*10^3$ Ом
C_1	10^{-9} Ф
C_2	10^{-9} Ф
$\tau_и$	10^{-3} сек
$E_{см}$	0.5 В
K_γ	$6,8*10^{-11}$ А*с*Р$^{-1}$
$t_{нач}$	200
$t_{кон}$	25
a	0,5

При расчёте первого оптимального значения для начальных параметров мы получили $P_\gamma = 0.33052$

Результатом работы алгоритма стали следующие значения:

- оптимальное значение $P_\gamma = 2.65353$;
- вектор сопротивлений R = [$2*10^3$, $2*10^3$, $7*10^3$, 10^3, $8*10^3$, 10^3, 10^3, $12*10^3$];
- вектор емкостей C = [$7*10^{-9}$, $2*10^{-9}$]

В результате P_γ была оптимизирована на 703%. Эффективность результата зависит от начальной и конечной температуры, а также коэффициента остывания. Чем больше разница между начальным и конечным значением температур и чем меньше коэффициент остывания, тем больше будет итераций и больше вероятность найти глобальный оптимум.

В работе рассматривается метод автоматизированного подбора параметров электронной схемы, обеспечивающий её устойчивость к радиационным воздействиям на основе алгоритма имитации отжига. Применение предложенного подхода позволяет повысить надёжность бортовой аппаратуры, минимизировать ошибки от радиации, а также автоматизировать процесс проектирования схем. Данная тема активно развивается в наши дни и на базе этой работы можно проводить последующие исследования и разработки устойчивых схем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Мырова Л.О., Чепиженко А.З.* Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям. 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Радио и связь, 1988. – 296 с.: ил.

2. *Рикетс Л.У., Бриджес Дж.Э., Майлетта Дж.* Электромагнитный импульс и методы защиты: Пер. с англ. / Под ред. Н. А. Ухина. – М.: Атомиздат, 1979. – 328 с. США, 1976.

AUTOMATION OF SCHEME PARAMETER SYNTHESIS TO INCREASE RADIATION RESISTANCE

Mitina K.I.

Supervisor: Suzdaltsev I.V., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper discusses the method of automating the synthesis of scheme parameters and the algorithms suitable for this purpose.

УДК 629.7:004

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

Перепелица М.А., Ванчикова Л.С., Островская В.М.

(Департамент цифровой трансформации машиностроения АО ЛАНИТ, АО Туполев, АО «УЗГА», г. Москва)

Аннотация. В статье исследовано текущее состояние процессов разработки авиационных систем с точки зрения оценки безопасности. Выявлены недостатки в существующих подходах и используемых инструментах. Предложена концепция комплексного программного решения, способного решить поставленные проблемы.

Разработка современных авиационных систем представляет собой сложную инженерно-техническую задачу, в выполнении которой задействованы огромные коллективы специалистов. Жизненный цикл авиационных систем составляет десятки лет, что необратимо приводит к необходимости внесения изменений в их конструкцию на основе обратной связи, полученной в ходе эксплуатации.

Относительно недавно возникшая концепция цифрового двойника призвана решить проблемы, возникающие при разработке таких сложных систем, путём создания моделей, обеспечивающих информационный обмен между разработчиками и эксплуатантами систем. К сожалению, неправильное использование цифровых моделей систем не только не решает эти проблемы, но и усугубляет их. Связано это с тем, что у разработчиков возникает соблазн перенести традиционные документо-ориентированные процессы разработки в цифровой вид не учитывая смену парадигмы, в центре которой теперь данные, а не документы. В результате цифровизация процессов закрепляет устаревшие практики, а разрозненность информационных артефактов порождает искажения и недопонимания между участниками процесса проектирования.

История цифровизации процессов оценки безопасности является примером, демонстрирующим пагубность подобной практики. Так, большая часть информации о характеристиках безопасности и надёжности систем традиционно хранилась в форме таблиц. Появление электронных редакторов таблиц (например, Microsoft Excel) сделало возможным перенос документов в электронный вид и автоматизацию некоторых расчётов. Появление специализированного инженерного программного обеспечения (ПО) привнесло дополнительные возможности для реализации таких методов как анализ деревьев неисправности, марковские цепи, блок-схемы надёжности и т.д. Примером может служить довольно распространенный в нашей стране RAM Commander, который сочетает как функциональные возможности электронных таблиц, так и возможности специализированных расчётов. Следующим шагом стало использование объектно-ориентированных подходов (например, Medini Analyze) по представлению данных для процесса оценки безопасности. Можно заключить, что подходы по управлению табличными данными были оцифрованы сначала с помощью простых инструментов, а затем более продвинутых.

Результатом такой эволюции стало то, что многие нормативные стандарты и руководства по разработке, например, P4761 [1], в описании процессов явно указывают, что документация является результатом процесса. Возник феномен «нормативной парадигмы», когда устаревшее мышление было оцифровано в виде функционала инженерного ПО и закреплено на уровне нормативных стандартов.

Ситуацию усугубляет то, что нормативная документация и авиационные руководства говорят о том, «что должны делать разработчики систем», но не говорят «как». Это приводит

к тому, что разработчики систем продолжают делают основной акцент на результате (документах, отчётных формах и т.п.), а не процессе, что закрепляет устаревшие практики.

Сформированная таким образом нормативная парадигма является основным препятствием на пути к изменению устаревших практик оценки безопасности сложных авиационных систем. Вызовы, стоящие перед новым поколением ПО для оценки безопасности, заключаются не в том, чтобы предложить более широкие возможности по поддержке устаревших подходов. Настоящая проблема заключается в смене мышления, которое должно поддерживаться программным обеспечением. Определим способы решения этой проблемы через её изучение с различных перспектив.

С перспективы участников процесса можно сказать, что оценка безопасности заключается в выявлении и анализе небезопасных форм номинального поведения системы, или, что тоже самое, в описании неноминального поведения системы. Опыт отечественных предприятий показывает, что для этого специалисты по оценке безопасности и надёжности зачастую решают задачи, характерные для роли системного инженера. Связано это с необходимостью работы в условиях неполной информации о номинальном поведении системы. Фактически, информационные артефакты, являющиеся исходной информацией для специалиста по безопасности, не подготавливаются в должном виде и находятся в головах у профильных специалистов, что порождает потребность в постоянном взаимодействии первого со вторыми. Как следствие, специалисты по безопасности и надёжности приобретают системное восприятие, т.е. они способны рассуждать о системе как о целом, а не о наборе частей.

Требования, предъявляемые к ПО, призванному решить проблемы с неполной информацией о системе и необходимости в коммуникациях между различными заинтересованными сторонами, сформулированы следующим образом:

1. Система должна обеспечивать единый и понятный язык описания номинального и неноминального поведения сложных технических систем;

2. Система должна обеспечивать простые и понятные средства для коммуникации между различными сторонами процесса разработки.

Удовлетворение этих требований может быть достигнуто через следующие функции:

1. Интегрировать данные жизненного цикла системы в форме информационной модели. Это позволит объединить разрозненные информационные артефакты в единый источник истины;

2. Разрабатывать информационные модели номинального поведения системы. Использование единого языка для описания предметной области позволяет разрабатывать согласованные информационные модели поведения систем и устранять искажения в понимании между инженерами;

3. Разрабатывать информационные модели неноминального поведения системы. Формализация номинального поведения закладывает основу для уточнения неноминальных сценариев в специальной форме;

4. Реализовывать индуктивные и дедуктивные методы оценки безопасности. Формальные модели неноминального поведения выводятся из номинальных посредством индуктивных и дедуктивных методов;

Восприятие проблемы со структурной перспективы позволяет понять какие из существующих систем способны реализовать перечисленные функции:

1. Система управления жизненным циклом изделия. Как правило на предприятиях такие системы обеспечивают основу для централизованного хранения и доступа ко всем информационным артефактам, порождаемым на всех этапах жизненного цикла. Такие системы обеспечивают основу для интеграции всех данных системы в форме модели.

2. Система управления требованиями. Информационный обмен между заказчиком и исполнителем преимущественно происходит путём передачи требований в бумажном или цифровом виде. Поскольку система должна быть проверена на соответствие требованиям, то разработчикам модели номинального поведения системы необходима среда для управления требованиями.

3. Система проектирования архитектуры. Архитектура системы [2] представляет собой принципиальную организацию системы, включающую в себя её элементы, взаимосвязи между ними и со средой, а также принципы, руководящие проектированием, разработкой и эволюцией системы. Реализует функцию определения номинального поведения системы.

4. Система для оценки безопасности и расчётов надёжности. Реализует индуктивные и дедуктивные методы оценки безопасности. В качестве основы использует модель номинального поведения системы, а также требования безопасности от заказчика.

Восприятие с перспективы сходства этих систем даёт понимание, что все они оперируют одними и теми же артефактами: требованиями, функциями, компонентами, элементами конфигурации и т.п. Представляется разумным принцип, согласно которому эти сущности должны быть едиными объектами во всех системах, поскольку это позволит получать согласованное представление о разрабатываемой системе.

Восприятие различий между существующими на рынке решениями в области оценки безопасности показывает, что озвученный принцип зачастую не выполняется. Тем не менее, рассмотрим используемые на отечественных предприятиях коммерческие программные системы для оценки безопасности, чтобы установить их соответствие сформулированным требованиям:

1. RAM Commander. Одним из первых появился на рынке инженерного ПО для оценки безопасности.

Плюсы:

– Обеспечивает возможности для выполнения расчётов надёжности (анализ деревьев неисправности, анализ видов, последствий и критичности отказов) и оценки безопасности (оценка функциональных опасностей) для воздушных судов;

– Подход к реализации индуктивных методов использует формат электронных таблиц, предлагая пользователю понятный формат для заполнения информации о системе.

Минусы:

– Построение модели номинального поведения фактически невозможно, вместо этого используются древовидные иерархические структуры для описания структуры функций и компонентов системы (усложнение понимания системы);

– Процесс поддержки модели безопасности в актуальном состоянии не автоматизирован;

– Не предусмотрена возможность интеграции с системами управления жизненным циклом и системами управления требованиями.

Очевидно, что реализация системного подхода к процессу оценки безопасности в RAM Commander невозможна.

2. Medini Analyze. Является следующим поколением ПО для оценки безопасности.

Плюсы:

– В отличии от RAM Commander реализует модельно-ориентированный подход, что вкупе с использованием языка SysML позволяет получить полноценное описание номинального поведения системы;

– Обеспечивает возможности для выполнения расчётов надёжности (анализ деревьев неисправности, анализ видов, последствий и критичности отказов) и оценки безопасности (оценка функциональных опасностей) для воздушных судов;

– Доступна интеграция с системами управления требованиями, что позволяет реализовать их трассировку, процедуры верификации и валидации.

Минусы:

– Отсутствует интеграция с системами управления жизненным циклом изделия;

– Сложность с изучением и использованием SysML, который не предлагает систематических шагов по моделированию проблемной области и архитектуры системы.

Необходимо отметить, что в условиях сложившейся геополитической ситуации вендоры рассмотренного ПО приняли решение покинуть российский рынок. В связи с чем целесообразно обратиться к решениям, распространяемым по свободной лицензии:

3. OSATE 2. Это среда с открытым исходным кодом, обеспечивающая возможности для создания моделей систем на языке AADL.

Плюсы:

– AADL предлагает богатый синтаксис, что позволяет легко моделировать номинальное поведение системы в виде функциональной, логической и физической архитектуры;

– Инструмент соответствует рекомендациям руководства 4761 в части процессов оценки безопасности благодаря расширению Error Model Annex. В основе лежит оценка функциональных опасностей, анализ дерева неисправностей, анализ видов и последствий отказов;

– Автоматизированные процедуры проверки, позволяющие легко поддерживать согласованность модели в условиях постоянных изменений.

Минусы:

– Проблемная область не формализуется, хотя требования могут быть учтены в модели;

– Инструмент и язык не предлагают систематических шагов по разработке. Язык сложен в изучении;

– Интерфейс предлагает описание моделей с помощью текстового редактора, что усложняет понимание моделей другими заинтересованными сторонами;

– Не интегрирован с системами управления жизненным циклом изделия (из-за доступа к исходному коду недостаток является устранимым).

4. Altarica Wizard. Это интегрированная среда моделирования для объектно-ориентированного языка моделирования AltaRica 3.0, предназначенного для анализа безопасности.

Плюсы:

– Altarica предлагает богатый синтаксис, позволяющий моделировать сложные иерархические системы, состоящие из множества компонентов, описывать их номинальное и неноминальное поведение в динамике;

– Обеспечивает широкие возможности для расчётов надёжности (Сети Петри, динамические деревья неисправности, генератор сценариев, генератор марковских цепей и т.п.) и оценки безопасности (оценка функциональных опасностей);

Минусы:

– Проблемная область не формализуется, нет основы для трассировки требований;

– Инструмент и язык не предлагают систематических шагов по разработке. Язык сложен в изучении;

– Интерфейс предлагает описание моделей с помощью текстового редактора, что усложняет понимание моделей другими заинтересованными сторонами;

– Не интегрирован с системами управления жизненным циклом изделия.

Можно заключить, что встречается два высокоуровневых подхода к решению задачи оценки безопасности:

1. Создание расширения для высокоуровневого языка моделирования, используемого в других доменах (Medini Analyze с SysML, OSATE 2 с AADL);

2. Определение доменного языка моделирования для решения задач оценки безопасности (RAM Commander, Altarica Wizard).

Преимущества первой группы в том, что её представители хорошо решают задачи моделирования номинального поведения системы, однако для формализации неноминального поведения может потребоваться внесение изменений или доработка семантики языка.

Представители второй группы в свою очередь хорошо адаптированы для решения задач оценки безопасности, но страдают из-за отсутствия возможностей для целостной интеграции с другими шагами процесса проектирования (проблемная область не моделируется, модель поведения описывается преимущественно в терминах неноминальных режимов и т.п.).

Таким образом выбор мощного языка моделирования, способного легко принять в себя концепции, необходимые для поддержания процессов оценки безопасности является хорошим решением, поскольку обеспечивает основу для поддержания системного подхода к решению проблем, возникающих при проектировании сложных систем.

Оценка рассмотренных альтернатив с количественной точки зрения даёт понимание, что:

1. Доработка зарубежных коммерческих решений до требуемого уровня может оказаться крайне дорогим предприятием, особенно в условиях отсутствия доступа к представительствам вендора ПО из России. В некоторых случаях доработка принципиально невозможна из-за отсутствия доступа к программному интерфейсу.

2. Время, необходимое на внедрение в процессы предприятия ПО, использующего собственные доменные языки для оценки безопасности, может быть очень большим из-за присущей им сложности.

Можно заключить, что основными критериями для выбора инструмента являются:

1. Доступ к исходному коду (обеспечивает возможность для интеграции в информационные системы предприятий);

2. Простота и высокая выразительность языка моделирования (обеспечивает основу для определения номинального поведения системы и простоту в коммуникациях между инженерами).

В этом контексте рассмотрим ПО с открытым исходным кодом для поддержки модельно-ориентированной системной инженерии Capella.

Capella была создана компанией Thales [3] с целью внести вклад в трансформацию системной инженерии, предоставив подход, основанный на моделях и управляемый методом Arcadia.

Рассмотрим плюсы Capella с точки зрения целостности подхода:

1. Метод Arcadia зарекомендовал себя в проектах по внедрению в процессы на различных предприятиях, доказав свою ценность как инструмент системной инженерии;

2. Arcadia сочетает простоту языка с систематичностью подхода, предлагающего конкретные шаги для выявления проблем, стоящих перед системой;

3. Arcadia обеспечивает основу для описания моделей номинального поведения систем;

4. Capella успешно интегрируется с системами управления жизненным циклом изделия и системами контроля версий;

5. Capella интегрируется с системами управления требованиями, поддерживая информационный поток между заказчиком и исполнителем;

6. Capella обеспечивает возможности для автоматизации процесса управления изменениями;

7. Capella обладает возможностями для расширения собственной метамодели, в целях удовлетворения специфических нужд в моделировании.

К минусам Capella с точки зрения оценки безопасности можно отнести:

1. Частичное отсутствие возможностей для полноценного описания неноминального поведения системы в соответствии с авиационными стандартами;

2. Отсутствие встроенных методов для оценки безопасности архитектуры.

Capella и её метод Arcadia могут быть расширены для обеспечения требуемых возможностей в области оценки безопасности, по аналогии с OSATE 2 и Medini Analyze. Данное предприятие представляется относительно недорогим, за счёт доступа к исходному коду Capella, и гармоничным, благодаря его целостному подходу и интегрируемости инструмента с системами управления жизненным циклом изделия и системами управления требованиями.

Департамент цифровой трансформации машиностроения группы компаний ЛАНИТ разработал прототип инструмента для оценки безопасности на основе формальных моделей архитектуры - Secura (Security Assessment Software). Secura является расширением Capella и метода Arcadia, которое предлагает:

1. Функциональные возможности для описания моделей неноминального поведения системы;

2. Набор индуктивных и дедуктивных методов, используемых в процессах оценки безопасности (оценка функциональных опасностей, анализ видов и последствий отказов, анализ деревьев неисправностей);

3. Пошаговую методологию, обеспечивающую системный подход к оценке безопасности в контексте всего жизненного цикла изделия.

В настоящее время разработанный прототип Secura проходит этап апробации на реальных проектах совместно с инженерами АО «Туполев». Практическое применение инструмента направлено на решение нескольких ключевых задач:

1. Валидация методологии: проверка и тонкая настройка пошаговых инструкций Arcadia применительно к специфике отечественных стандартов и процессов предприятия.

2. Оценка эффективности: сравнительный анализ трудоёмкости и качества результатов оценки безопасности по сравнению с традиционными подходами.

3. Интеграция в контур: определение оптимальных точек интеграции с используемыми на предприятии системами управления жизненным циклом.

Ожидается, что успешная апробация приведёт к следующим результатам:

1. Снижение трудоёмкости процессов оценки безопасности за счёт автоматизации рутинных операций и сокращения междисциплинарных согласований.

2. Повышение качества и прослеживаемости: появление единого «источника истины» – связанной модели, где любое изменение в архитектуре автоматически отражается на связанных с ней анализах безопасности, минимизируя риски человеческой ошибки и обеспечивая сквозную трассировку требований.

3. Создание отечественной технологической основы: формирование полностью локализованного, независимого от иностранных вендоров программного комплекса, соответствующего потребностям российских авиастроительных предприятий и требованиям регуляторов.

Таким образом, работа с АО «Туполев» и АО «УЗГА» является ключевым шагом на пути от концепции к промышленному внедрению, результатом которого должна стать готовая к использованию в реальном проектировании комплексная система обеспечения безопасности на основе формальных моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Р4761. Руководство по методам оценки безопасности систем и бортового оборудования воздушных судов гражданской авиации // АР МАК, 2010.

2. *Eberhardt Rechtin*. The art of systems architecting / Eberhardt Rechtin, Mark Maier.- 2nd ed.- CRC Press, 2000.- P. 297-298.

3. *Jean-Luc Voirin*. Model-based System and Architecture Engineering with the Arcadia Method / Jean-Luc Voirin.- ISTE Press Ltd, 2018.- P. 12-14.

A SYSTEM APPROACH TO SAFETY ASSESSMENT OF AVIATION SYSTEMS BASED ON FORMAL MODELS

Perepelitsa M.A., Vanchikova L.S., Ostrovskaya V.M.

(Department of Digital Transformation of Mechanical Engineering of LANIT JSC, Tupolev JSC, «UWCA» JSC, Moscow)

Перепелица М.А., Ванчикова Л.С., Островская В.М.

Abstract. The article examines the current state of aviation system development processes from the point of view of safety assessment. Shortcomings in the existing approaches and tools used have been identified. The concept of a comprehensive software solution capable of solving the problems is proposed.

УДК 519

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЯМОГО УДАРА МОЛНИИ В КОМПОЗИТНЫЙ ФЮЗЕЛЯЖ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Рамазанов Т.Р.

Научный руководитель: Суздальцев И.В., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Рассматривается автоматизация прогнозирования теплового воздействия прямого удара молнии на композитный фюзеляж летательного аппарата. Для этого была разработана математическая модель на основе уравнения теплопроводности Фурье-Кирхгофа, а также выбран и описан численный алгоритм методом конечных разностей. В результате было получено распределение теплового воздействия и временные зависимости температурных изменений в ключевых точках конструкции.

В современном авиастроении активное использование полимерных композитных материалов (ПКМ) в конструкциях летательных аппаратов (ЛА) делает защиту от прямого удара молнии ключевой инженерной задачей [2]. В отличие от металлов, низкая электро- и теплопроводность ПКМ приводит к локальному и интенсивному тепловому воздействию в точке прямого попадания молнии, что может вызывать различные повреждения, ставя под угрозу конструкционную целостность фюзеляжа. Точное прогнозирование этих тепловых последствий критически важно, поскольку оно зависит от множества факторов, включая специфические свойства композитов, их поведение при экстремальных температурах, конструктивные особенности ЛА и точные параметры молниевого разряда.

Цель данной работы — разработка автоматизированной системы для моделирования и прогнозирования теплового воздействия прямого удара молнии на композитный фюзеляж летательного аппарата, с использованием математической модели на основе уравнения теплопроводности Фурье-Кирхгофа и численного метода конечных разностей, для оценки распределения температур и предотвращения повреждений конструкции.

Постановка задачи

Объектом исследования является летательный аппарат (ЛА), подвергающийся тепловому воздействию при прямом ударе молнии. Одним из важнейших аспектов обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) и безопасности ЛА является прогнозирование теплового воздействия молнии на композитные элементы конструкции. Точное моделирование данного процесса позволяет заранее определить наиболее уязвимые участки, оценить последствия термического нагрева, разрушения связующего материала и снижение прочностных характеристик.

В рамках данной работы особое внимание уделяется изучению композитных материалов. Композитный материал — это многокомпонентный материал, состоящий из двух или более фаз с различными физико-механическими свойствами, объединённых для получения улучшенных эксплуатационных характеристик.

Ключевым аспектом анализа, изучаемым в данном исследовании, является прямой удар молнии в фюзеляж летательного аппарата. Прямой удар молнии в фюзеляж летательного аппарата (ЛА) — это явление, при котором молния непосредственно попадает в поверхность самолёта, вызывая кратковременный, но интенсивный электрический разряд через его конструкцию.

Для описания теплового воздействия прямого удара молнии на композитный фюзеляж летательного аппарата используется уравнение теплопроводности Фурье–Кирхгофа [3].

Рассматривается задача теплопереноса в трехмерной области $\Omega \subset R^3$, описывающей часть композитного фюзеляжа. Температурное поле T (x, y, z,t) определяется из **уравнения Фурье–Кирхгофа**:

$$\rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_{xx}\frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{xy}\frac{\partial T}{\partial y} + \lambda_{xz}\frac{\partial T}{\partial z}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_{yx}\frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{yy}\frac{\partial T}{\partial y} + \lambda_{yz}\frac{\partial T}{\partial z}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_{zx}\frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{zy}\frac{\partial T}{\partial y} + \lambda_{zz}\frac{\partial T}{\partial z}\right) + Q(x, y, z, t)$$

где:

- ρ — плотность материала (кг/м³),
- c — удельная теплоёмкость (Дж/(кг·К)),
- λ — тензор коэффициента теплопроводности (Вт/(м·К)) [4]. Для трехмерной задачи тензор второго ранга представляет собой симметричную матрицу 3x3:

$$\lambda = \begin{pmatrix} \lambda_{xx} & \lambda_{xy} & \lambda_{xz} \\ \lambda_{yx} & \lambda_{yy} & \lambda_{yz} \\ \lambda_{zx} & \lambda_{zy} & \lambda_{zz} \end{pmatrix}$$

- **Диагональные компоненты ($\lambda_{xx}\ \lambda_{yy}\ \lambda_{zz}$)** представляют теплопроводность вдоль осей x, y, z соответственно.
- **Недиагональные компоненты** показывают, как градиент температуры по одной оси может вызывать тепловой поток по другой оси.
- Q(x, y, z, t) — объёмная плотность теплового источника (Вт/м³), моделирующая импульсное воздействие молнии.

Начальное условие задаёт температурное состояние объекта до начала теплового воздействия, то есть до момента удара молнии. Предполагается, что в начальный момент времени t=0 температура в каждой точке исследуемой области соответствует температуре покоя:

$$T(x, y, z, 0) = T_0(x, y, z)$$

где:

- T(x, y, z, 0) — температура в момент времени t=0,
- T_0(x, y, z) — однородная температура покоя.

Граничные условия:

На внешней поверхности композитного фюзеляжа учитывается теплообмен с окружающей средой посредством конвекции. Это означает, что интенсивность теплового потока пропорциональна разности температур между поверхностью и окружающим воздухом:

- **условия теплообмена с внешней средой:**

$$-(\lambda \cdot \nabla T) \cdot n = h(T - T_{окр})$$

В развернутой форме для трехмерного случая с учетом тензора теплопроводности и проекции на внешнюю нормаль:

$$-\left[\left(\lambda_{xx}\frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{xy}\frac{\partial T}{\partial y} + \lambda_{xz}\frac{\partial T}{\partial z}\right)n_x + \left(\lambda_{yx}\frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{yy}\frac{\partial T}{\partial y} + \lambda_{yz}\frac{\partial T}{\partial z}\right)n_y + \left(\lambda_{zx}\frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{zy}\frac{\partial T}{\partial y} + \lambda_{zz}\frac{\partial T}{\partial z}\right)n_z\right] = h(T - T_{окр})$$

где:

- λ — тензор коэффициента теплопроводности материала (Вт/(м·К)).
- ∇T— градиент температуры $\left(\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z}\right)$.
- n — внешняя нормаль к поверхности тела, то есть направление, перпендикулярное поверхности фюзеляжа, направленное наружу из расчётной области.
- h — коэффициент конвективной теплоотдачи (Вт/(м²·К)), характеризующий интенсивность теплообмена с воздухом.
- T — температура поверхности фюзеляжа в данной точке.
- $T_{окр}$ — температура окружающей среды.

Для решения задачи прогноза температурных последствий прямого удара молнии в композитный фюзеляж летательного аппарата может быть использован метод конечных разностей (МКР). МКР позволяет аппроксимировать производные с помощью разностных

отношений и получать значения температуры в дискретные моменты времени и в узлах регулярной сетки [1].

На рисунке 1 представлена блок-схема МКР для задачи автоматизации прогнозирования теплового воздействия прямого удара молнии на композитный фюзеляж ЛА.

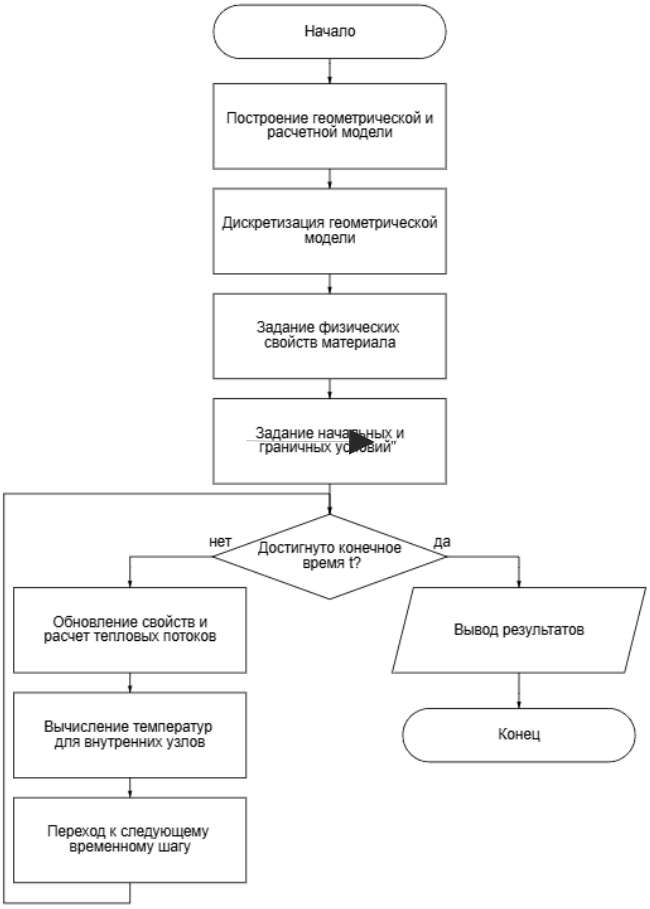


Рис. 1. Блок-схема алгоритма

Этапы применения МКР:

1. Определяется простая геометрия анализируемого сегмента фюзеляжа.
2. Вся модель разбивается на равномерную сетку узлов в пространстве и времени:

- Пространство:$x_i = \mathrm{i} \cdot \Delta x$; $y_j = \mathrm{j} \cdot \Delta y$; $z_k = \mathrm{k} \cdot \Delta z$
- Время: $t^n = n \cdot \Delta t$

3. Определяются теплофизические свойства материала, которые могут быть константами, зависеть от температуры или положения в пространстве (для неоднородных материалов):

- Плотность $\rho_{i,j,k}$;
- Удельная теплоёмкость $c_{i,j,k}$;
- Тензор теплопроводности $\lambda_{i,j,k}$;

В общем 3D случае тензор λ является матрицей 3×3:

$$\lambda = \begin{pmatrix} \lambda_{xx} & \lambda_{xy} & \lambda_{xz} \\ \lambda_{yx} & \lambda_{yy} & \lambda_{yz} \\ \lambda_{zx} & \lambda_{zy} & \lambda_{zz} \end{pmatrix}$$

Значения этих компонент для каждого узла (i,j,k) на текущем временном шаге n ($\lambda^n_{\alpha,\beta,i,j,k}$) берутся из исходных характеристик материала и, если свойства зависят от температуры, эти значения динамически пересчитываются на основе текущей температуры $T^n_{i,j,k}$ в этом узле.

4. Задание начальных и граничных условий
5. Получение уравнения теплопереноса:

$$\rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_{xx}\frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{xy}\frac{\partial T}{\partial y} + \lambda_{xz}\frac{\partial T}{\partial z}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_{yx}\frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{yy}\frac{\partial T}{\partial y} + \lambda_{yz}\frac{\partial T}{\partial z}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_{zx}\frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{zy}\frac{\partial T}{\partial y} + \lambda_{zz}\frac{\partial T}{\partial z}\right) + Q(x,y,z,t)$$

В МКР это уравнение преобразуется в разностную форму.
6. Аппроксимация производных:
Аппроксимация по методу Эйлеру:

$$\frac{T_{i,j,k}^{n+1} - T_{i,j,k}^{n}}{\Delta t} = \frac{1}{\rho_{i,j,k} \cdot c_{i,j,k}}\left[\frac{\partial}{\partial x}(\lambda \nabla T)_x + \frac{\partial}{\partial y}(\lambda \nabla T)_y + \frac{\partial}{\partial z}(\lambda \nabla T)_z + Q_{i,j,k}^{n}\right]$$

Где:

$$(\lambda \nabla T)_x = \lambda_{xx}\frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{xy}\frac{\partial T}{\partial y} + \lambda_{xz}\frac{\partial T}{\partial z}$$
$$(\lambda \nabla T)_y = \lambda_{yx}\frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{yy}\frac{\partial T}{\partial y} + \lambda_{yz}\frac{\partial T}{\partial z}$$
$$(\lambda \nabla T)_z = \lambda_{zx}\frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{zy}\frac{\partial T}{\partial y} + \lambda_{zz}\frac{\partial T}{\partial z}$$

1) Аппроксимация члена по x: $\frac{\partial}{\partial x}(\lambda \nabla T)_x$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\lambda \nabla T)_x \approx \frac{1}{\Delta x}\left[(\lambda \nabla T)_{x,i+\frac{1}{2},j,k}^{n} - (\lambda \nabla T)_{x,i-\frac{1}{2},j,k}^{n}\right]$$

На правой границе ячейки (i+1/2,j,k):

$$(\lambda \nabla T)_{x,i+\frac{1}{2},j,k}^{n} = \lambda_{xx,i+\frac{1}{2},j,k}^{n}\left(\frac{T_{i+1,j,k}^{n} - T_{i,j,k}^{n}}{\Delta x}\right) + \lambda_{xy,i+\frac{1}{2},j,k}^{n}\left(\frac{\left(T_{i+1,j+1,k}^{n} - T_{i+1,j-1,k}^{n}\right) + \left(T_{i,j+1,k}^{n} - T_{i,j-1,k}^{n}\right)}{4\Delta y}\right) + \lambda_{xz,i+\frac{1}{2},j,k}^{n}\left(\frac{\left(T_{i+1,j,k+1}^{n} - T_{i+1,j,k-1}^{n}\right) + \left(T_{i,j,k+1}^{n} - T_{i,j,k-1}^{n}\right)}{4\Delta z}\right)$$

На левой границе ячейки (i−1/2,j,k):

$$(\lambda \nabla T)_{x,i-\frac{1}{2},j,k}^{n} = \lambda_{xx,i-\frac{1}{2},j,k}^{n}\left(\frac{T_{i,j,k}^{n} - T_{i-1,j,k}^{n}}{\Delta x}\right) + \lambda_{xy,i-\frac{1}{2},j,k}^{n}\left(\frac{\left(T_{i,j+1,k}^{n} - T_{i,j-1,k}^{n}\right) + \left(T_{i-1,j+1,k}^{n} - T_{i-1,j-1,k}^{n}\right)}{4\Delta y}\right) + \lambda_{xz,i-\frac{1}{2},j,k}^{n}\left(\frac{\left(T_{i,j,k+1}^{n} - T_{i,j,k-1}^{n}\right) + \left(T_{i-1,j,k+1}^{n} - T_{i-1,j,k-1}^{n}\right)}{4\Delta z}\right)$$

Определение компонент тензора на границах:

$$\lambda_{xx,i+\frac{1}{2},j,k}^{n} = \frac{\lambda_{xx,i+1,j,k}^{n} + \lambda_{xx,i,j,k}^{n}}{2}$$
$$\lambda_{xy,i+\frac{1}{2},j,k}^{n} = \frac{\lambda_{xy,i+1,j,k}^{n} + \lambda_{xy,i,j,k}^{n}}{2}$$
$$\lambda_{xz,i+\frac{1}{2},j,k}^{n} = \frac{\lambda_{xz,i+1,j,k}^{n} + \lambda_{xz,i,j,k}^{n}}{2}$$

Аналогично аппроксимация члена по y и по z.
Итоговая формула для $T_{i,j,k}^{n+1}$:

$$T_{i,j,k}^{n+1} = T_{i,j,k}^{n} + \frac{\Delta t}{\rho_{i,j,k} \cdot c_{i,j,k}} \cdot \left[\left(\frac{\partial}{\partial x}(\lambda \nabla T)_x\right)_{i,j,k}^{n} + \left(\frac{\partial}{\partial y}(\lambda \nabla T)_y\right)_{i,j,k}^{n} + \left(\frac{\partial}{\partial z}(\lambda \nabla T)_z\right)_{i,j,k}^{n} + Q_{i,j,k}^{n}\right]$$

Рассмотрим пример решения задачи. Даны следующие исходные данные:

1. Свойства материала (Углепластик на основе связующего ВСЭ-1212 и углеродного жгута Т-800):

Плотность (ρ): 1550 кг/м^3

Удельная теплоемкость (c): 1000 Дж/(кг·К)

Тензор теплопроводности (λ):

- λ_{xx} (вдоль нитей основы) = 1.40 Вт/(м·К); λ_{yy} (вдоль жгута) = 0.51 Вт/(м·К); λ_{zz} (в перпендикулярном направлении) = 0.40 Вт/(м·К)
- Все недиагональные компоненты тензора (например, λ_{xy}) равны 0 Вт/(м·К)

2. Геометрия расчетной области (Прямоугольная пластина):

- Длина (Lx): 0.3 м; Ширина (Ly): 0.3 м; Толщина (Lz): 0.002 м.

3. Параметры дискретизации (Сетка):

- Количество узлов по X: N_x=3; Шаг сетки по X (Δx): 0.01 м
- Количество узлов по Y: N_y=3; Шаг сетки по Y (Δy): 0.01 м
- Временной шаг (Δt): 1×10^{-6}с (1 микросекунда)

4. Параметры удара молнии:

- Тип: Упрощенный объемный источник тепла в центральном элементе (узле (1,1,1)).
- Общая энергия удара ($E_{\text{молния}}$): 1000 Дж
- Длительность импульса ($t_{\text{имп}}$): 0.0001 с (100 микросекунд)
- Объемная плотность мощности ($Q^1_{1,1}$): 5× 10^{11} Вт/м3 (активна только в узле (1,1,1) и только во время импульса)

5. **Начальные и граничные условия:**

- Начальная температура ($T^0_{i,j,k}$): 298 K для всех узлов.
- Тип граничных условий: Конвективный теплообмен на всех внешних гранях.
- Коэффициент теплоотдачи (h): 10 Вт/(м^2·К)
- Температура окружающей среды ($T_{\text{окр}}$): 298 K

6. **Время симуляции**: Общее время симуляции (t_{max}): 0.001 с (1 миллисекунда)

Решение примера

1. На n=0, $T^0_{1,1}$=298 K. Поскольку ρ,c,λ заданы как константы при 298 K, их значения для текущего шага остаются неизменными.

Расчет тепловых потоков (для 2D-уравнения):

- В 2D-модели уравнение теплопереноса упрощается, исключая производные по Z.
- Так как температуры всех соседних узлов на n=0 равны 298 K, все разности температур в пространственных производных равны нулю. Следовательно, все члены, связанные с теплопроводностью, на этом первом шаге будут равны нулю:
- $\left(\frac{\partial}{\partial x}(\lambda\nabla T)_x\right)^0_{1,1} = 0$
- $\left(\frac{\partial}{\partial y}(\lambda\nabla T)_y\right)^0_{1,1} = 0$

Объемный источник тепла $Q^0_{1,1}$: На первом шаге (t=0), поскольку t≤$t_{\text{имп}}$, источник активен: $Q^0_{1,1}$=2.222×10^{11} Вт/м.

Для всех остальных узлов (i,j≠ 1,1), $Q^0_{i,j}$=0.

2. Расчет новых температур (для центрального узла (1,1) на шаге n=1)

Для 2D-задачи разностная формула для внутреннего узла примет вид:

$$T^1_{2,2} = T^1_{1,1} + \frac{\Delta t}{\rho_{1,1}\,.c_{1,1}} \cdot \left[\left(\frac{\partial}{\partial x}(\lambda\nabla T)_x\right)^0_{1,1} + \left(\frac{\partial}{\partial y}(\lambda\nabla T)_y\right)^0_{1,1} + \left(\frac{\partial}{\partial z}(\lambda\nabla T)_z\right)^0_{1,1} + Q^0_{1,1}\right]$$

Подставив значения, получим: $T^1_{2,2} = 943{,}31\ K$

Для остальных внутренних узлов (не подверженных молнии), например, (0,1):

- $Q^0_{0,1} = 0$. Все члены теплопроводности также будут равны нулю.

- $T_{3,2}^{1}$=298+$\frac{\Delta t}{\rho c}$[0+0+0]=298 K
- Аналогично для всех остальных 8 узлов, кроме (1,1), их температура останется 298 K на первом шаге.

3. Применение граничных условий и продвижение по времени

Для граничных узлов: на первом временном шаге, поскольку начальная температура 298 K равна температуре окружающей среды $T_{\text{окр}}$, и тепло еще не успело распространиться от центра, теплообмен через конвекцию на границах будет равен нулю. Температуры граничных узлов также останутся 298 K на этом первом шаге.

Продвигаем время: n=1, t=1×10^{-6} с.

4. Расчет новых температур (для центрального узла (1,1) на шаге n=2)

Центр: $T_{1,1}^{2} = 938{,}27\ K$.

Соседние узлы (1,0) и (1,2) (они нагреваются одинаково): $T_{1,0}^{2} = 300{,}27\ K$.

Соседние узлы (0,1) и (2,1) (они нагреваются одинаково): $T_{0,1}^{2} = 303{,}97\ K$.

Угловые узлы (0,0), (0,2), (2,0), (22) остаются 298 K: $T_{0,0}^{2} = 298\ K$.

5. Расчет новых температур (для центрального узла (1,1) на шаге n=3)

Центр (1,1): $T_{1,1}^{3} = 933{,}26\ K$

Соседние узлы(1,0) и (1,2) (они нагреваются одинаково): $T_{1,0}^{3} = 302{,}35$

Соседние узлы (0,1) и (2,1) (они нагреваются одинаково): $T_{0,1}^{3} = 309{,}69$K

Угловые узлы (0,0), (0,2), (2,0), (22) нагреваются одинаково: $T_{0,0}^{3} = 298{,}26\ K$

Таблица 1

Результаты

Координата	Температура
(1,1)	933,26 K
(0,1), (2,1)	309,69 K
(1,0), (1,2)	302,35 K
(0,0), (0,2), (2,0), (2,2)	298,26 K

Данные результаты демонстрируют динамику нагрева и остывания материала, что важно для понимания термических нагрузок.

Вычислены значения температур для различных узлов сетки:

- В центральном узле (1,1), куда приходится основной удар, температура достигла 933.26 K. Это указывает на значительный локальный перегрев, способный вызвать термическое разрушение материала.
- В соседних узлах, расположенных ближе к эпицентру удара (например, (0,1), (2,1) и (1,0), (1,2)), температуры также заметно повысились, достигнув 309.69 K и 302.35 K соответственно. Это демонстрирует распространение тепла от центральной точки.
- В угловых и более удаленных узлах (например, (0,0), (0,2), (2,0), (2,2)) температура изменилась незначительно, составив 298.26 K, что подтверждает локализованный характер теплового воздействия и низкую теплопроводность композита.

Заключение

Разработанная математическая модель, основанная на уравнении теплопроводности Фурье-Кирхгофа, в сочетании с численным методом конечных разностей, позволила эффективно симулировать процесс теплопереноса в композитной структуре. Этот подход обеспечивает возможность оперативной оценки температурных полей, возникающих при прямом ударе молнии, что критически важно для определения наиболее уязвимых зон и предотвращения потенциальных повреждений конструкции, вызванных термическим нагревом и разрушением связующего материала. Автоматизация такого прогнозирования значительно повышает точность и скорость анализа, что в конечном итоге способствует повышению безопасности и надёжности современных летательных аппаратов, активно использующих композитные материалы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Дроздиков В.А., Невзоров В.Н*. Основы конструкторского проектирования и теплового моделирования электронных средств. – Издательство КНИТУ-КАИ, Казань 2018, 61-71 с.

2. *Саженков Н.А., Саженков А.Н*. Молниезащитные покрытия мотогондол авиационных двигателей из полимерных композиционных материалов. Ч. 1. Анализ существующих типов молниезащиты // Технологии материалов. – 2020. – № 6. – С. 12–20.

3. *Harrell T.M., Thomsen O.T., Dulieu-Barton J.M., Madsen S.F., Carloni L.* Damage Prediction of CFRP Materials Subjected to Lightning Strike // Proceedings of the 21st International Conference on Composite Materials. – Xi'an, China, 20–25 Aug. 2017. – University of Southampton, UK & Global Lightning Protection Services A/S, Denmark.

4. *Chemartin L., Lalande P., Peyrou B., Chazottes A*. Direct Effects of Lightning on Aircraft Structure: Analysis of the Thermal, Electrical and Mechanical Constraints // Aerospace Science and Technology. – 2012. – Vol. 28, Issue 1. – P. 1–11. DOI: 10.1016/j.ast.2012.10.005.

AUTOMATION OF THERMAL IMPACT PREDICTION FOR DIRECT LIGHTNING STRIKE ON A COMPOSITE AIRCRAFT FUSELAGE

Ramazanov T.R.

Supervisor: Suzdaltsev I.V., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper discusses the automation of predicting the thermal impact of a direct lightning strike on a composite aircraft fuselage. To achieve this, a mathematical model based on the Fourier-Kirchhoff heat conduction equation was developed, and a numerical algorithm using the finite difference method was selected and described. As a result, the distribution of thermal impact and the time dependencies of temperature changes at key points of the structure were obtained.

УДК 658.512.2; 621.3.049.75

АНАЛИЗ ПОМЕХ ОТРАЖЕНИЯ И ЗАДЕРЖЕК СИГНАЛОВ В МЕЖСОЕДИНЕНИЯХ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ IBIS-МОДЕЛЕЙ

Рафанов А.В.

Научный руководитель: Суздальцев И.В., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе рассматривается задача предтопологического анализа помех отражения и задержек сигналов в межсоединениях печатной платы. Разработано математическое и программное обеспечение для построения осциллограмм и глазковых диаграмм сигналов в межсоединениях печатной платы, с использованием IBIS-моделей микросхем. В работе представлены примеры решения задач анализа помех отражения и задержек сигналов в межсоединениях печатных плат с использованием разработанной программы.

Ключевым показателем, определяющим развитие электронных средств, является их быстродействие. Повышение быстродействия системы обусловливает значимость задачи анализа и устранения искажений цифрового сигнала.

Искажения цифрового сигнала в большей степени сигнала характерны для межсоединений высокоскоростных печатных плат, передающих сигнал с частотой 1 ГГц и более.

Задача анализа целостности сигнала представляет собой комплексный процесс исследования и оценки качества передачи электрических сигналов в электронных системах.

Нарушение целостности связано с возникновением перекрестных помех, отражений и задержек сигналов. В данной работе мы анализируем только помехи отражения и задержки сигналов.

Целью данной работы является разработка подсистемы предтопологического анализа задержек и отражений сигналов в линиях связи.

Предтопологический анализ означает исследование системы и оценку помех и задержек в ней на этапе, когда неизвестна реальная трассировка, габариты системы и расположения её компонентов.

Задержки сигнала — это временной интервал между моментом передачи сигнала и его приемом в другой точке системы. Задержки сигналов, в свою очередь, связаны с конечной скоростью распространения электромагнитных волн в диэлектрической среде и зависят от геометрических параметров межсоединений и свойств материалов печатной платы.

Удельное (на единицу длины) время t_d задержки распространения ЭМ волны является величиной обратной скорости:

$$t_d = \frac{1}{v} = c\sqrt{\varepsilon_r} = 3{,}3\sqrt{\varepsilon_r}, \text{нс/м},$$

где 3,3 − величина обратная скорости света в вакууме, нс/м; ε_r − относительная (эффективная) диэлектрическая проницаемость материала основания платы.

Формула зависимости общей задержки T_{delay} от длины линии связи l:

$$T_{delay} = t_d l, \text{нс},$$

где l − длина линии передачи, м; t_d − удельная задержка распространения сигнала в линии, нс/м. [1]

Помехи отражения возникают из-за неоднородностей в линиях передачи, таких как изменение волнового сопротивления, наличие разъемов или переходных отверстий, а также из-за рассогласования импедансов между источником сигнала, линией передачи и нагрузкой. При достижении сигналом точки с измененным импедансом часть энергии отражается обратно к источнику, что приводит к наложению отраженного сигнала на исходный [2].

Для устранения искажения в межсоединении при передаче сигнала должны выполняться два условия. Во-первых, линия передачи должна быть однородной, т.е. волновое сопротивление на всем протяжении линии передачи должно оставаться неизменным. Во-вторых, линия передачи должна быть согласована с источником и приемником цифрового сигнала.

Формула коэффициента отражения в начале линии:

$$\kappa_s = \frac{R_{output} - Z_0}{R_{output} + Z_0} = 0,$$

в конце линии:

$$\kappa_r = \frac{R_{input} - Z_0}{R_{input} + Z_0} = 0,$$

где R_{output} − выходное сопротивление сопротивления драйвера совместно с согласующим резистором; R_{input} − входное сопротивление ИМС совместно с согласующим резистором; Z_0 − волновое сопротивление линии передачи.

Согласно формулам, коэффициент отражения будет равен нулю, если числитель дроби будет равен нулю, значит, согласование в начале и конце линии будет достигаться при $R_{output}=Z_0$ и $R_{input}=Z_0$ соответственно. Для достижения равенства значений принято их искусственно приближать к значению 50 Ом путем добавления в схему соединения резисторов согласования. Принцип суперпозиции волн заключается в том, волны не препятствуют распространению друг друга, это позволяет рассчитать напряжение итоговой волны, распространяющейся в данной среде. [3]

Амплитуда сигнала на выходе драйвера изменяется согласно формуле при $t=0$:

$$V_{fall} = V_{drv}\frac{Z_0}{(R_0 + Z_0)}.$$

Для расчета напряжения результирующей волны в произвольный момент времени и произвольный момент времени значения напряжений падающих волн необходимо сложить со значениями амплитуд, отраженных волны, которые сформировались за данный промежуток времени.

На рис. 1 представлена диаграмма координата-время.

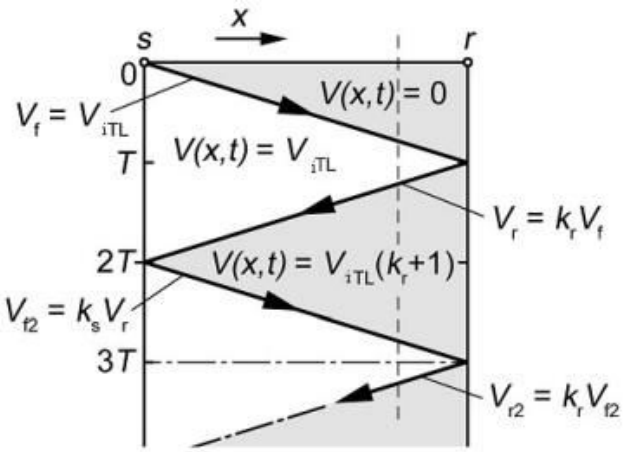


Рис. 1. Диаграмма координата-время.

Моменты *T, 2T, 3T* и т.д. соответствуют временам пробега ЭМ волны в одну сторону по линии связи. В момент времени *T* падающая волна V_{fall} отражается от приемника с коэффициентом $k_{reciever}$ и формируется первая отраженная волна $V_{reflect}$. Отраженная волна $V_{reflect}$ отражается от источника с коэффициентом k_{source} в момент времени *2T* и формируется вторая падающая волна V_{fall2}. Данный процесс повторяется бесконечное число раз, но в следствии того, что коэффициент отражения определяется отрезком [-1; 1], есть смысл проводить вычисления лишь некоторого количества итераций, пока влияние новых волн не станет критически малым.

Представим результирующую волну как сумму всех отраженных и падающих волн:

$$V_{res} = V_f + V_r + V_{f2} + V_{r2} + \cdots = V_f + V_f k_r + V_f k_r k_s + V_f k_r k_s k_r + \cdots$$

Для устранения помех отражения используют согласование импедансов. Основная идея согласования заключается в реализации мер, которые обеспечивают нулевое значение коэффициента отражения на входе или в конце линии передачи.

Последовательное согласование применяется в начале линии связи. Оно подразумевает размещение согласующего резистора последовательно на выходе драйвера.

Формула для последовательного согласования:

$$r_0 + R_{st} = Z_0.$$

Параллельное согласование применяется в конце линии связи. Оно подразумевает параллельное размещение согласующего резистора со значением сопротивления равного волновому сопротивлению линии связи.

IBIS-модель представляет собой формализованное описание поведения электронного компонента на уровне его входных и выходных портов. В отличие от SPICE-моделей, раскрывающих внутреннюю структуру элемента, IBIS подходит к устройству как к «чёрному ящику», фиксируя лишь его внешние электрические характеристики.

Ключевые параметры модели определяются экспериментально или путём имитационного моделирования и включают:

1. Статические вольтамперные характеристики (ВАХ) для различных состояний вывода.
2. Паразитные параметры.
3. Динамические характеристики, полученные на тестовой резистивной нагрузке.

Алгоритм задачи анализа помех отражения и задержек сигналов включает следующие этапы:

1. Расчет сопротивления приемника, драйвера и линии связи.

На этом этапе определяются входные параметры: сопротивления источника сигнала, приемника и волновое сопротивление линии передачи.

2. Расчет коэффициентов отражения в начале и конце линии связи.

Вычисляются коэффициенты отражения сигнала на границах линии передачи, основываясь на различии сопротивлений.

3. Расчет времени прохождения ЭМ волны по линии связи.

Определяется время, за которое электромагнитная волна проходит от одного конца линии до другого. Обычно рассчитывается на основе длины линии и скорости распространения сигнала.

4. Расчет отраженных волн.

На каждом временном шаге рассчитываются волны, отраженные от начала и конца линии.

5. Расчет формы сигнала на выходе драйвера.

Формируется сигнал, который будет наблюдаться на выходе источника (драйвера) с учётом всех отражений и начальных условий.

6. Расчет итоговой формы сигнала.

Получение результирующего сигнала в точке наблюдения (например, у приёмника) путём суммирования всех вкладов (прямых и отражённых волн).

7. Построение осциллограммы.

Визуализация полученного сигнала во времени. Обычно отображается на осциллографе или в виде графика напряжения от времени.

Разработанный алгоритм был реализован в программе. После чего с помощью данного программного обеспечения проведен комплекс исследований, направленных на анализ помех отражения и задержек сигналов в различных типах линий передачи данных.

В качестве примера приведен результат анализа линии связи с параметрами модели, представленными в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика модели

Характеристики модели	Значение
Длина линии связи	0,75 м
Толщина диэлектрического слоя	1 мм
Ширина проводника	1,5 мм
Толщина проводника	1 мм
Уровень сигнала	3, 3 В
Тип диэлектрика	FR4
Тип линии связи	микрополосковая

На рис. 2 представлена обобщенная длинная линия связи.

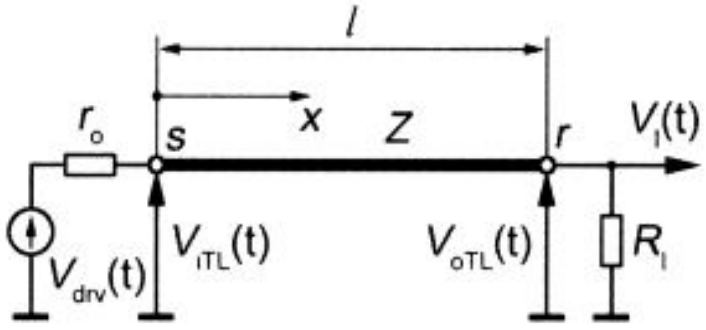


Рис. 2. Обобщенная длинная линия связи.

В результате были получены следующие осциллограммы в начале и конце линии связи.

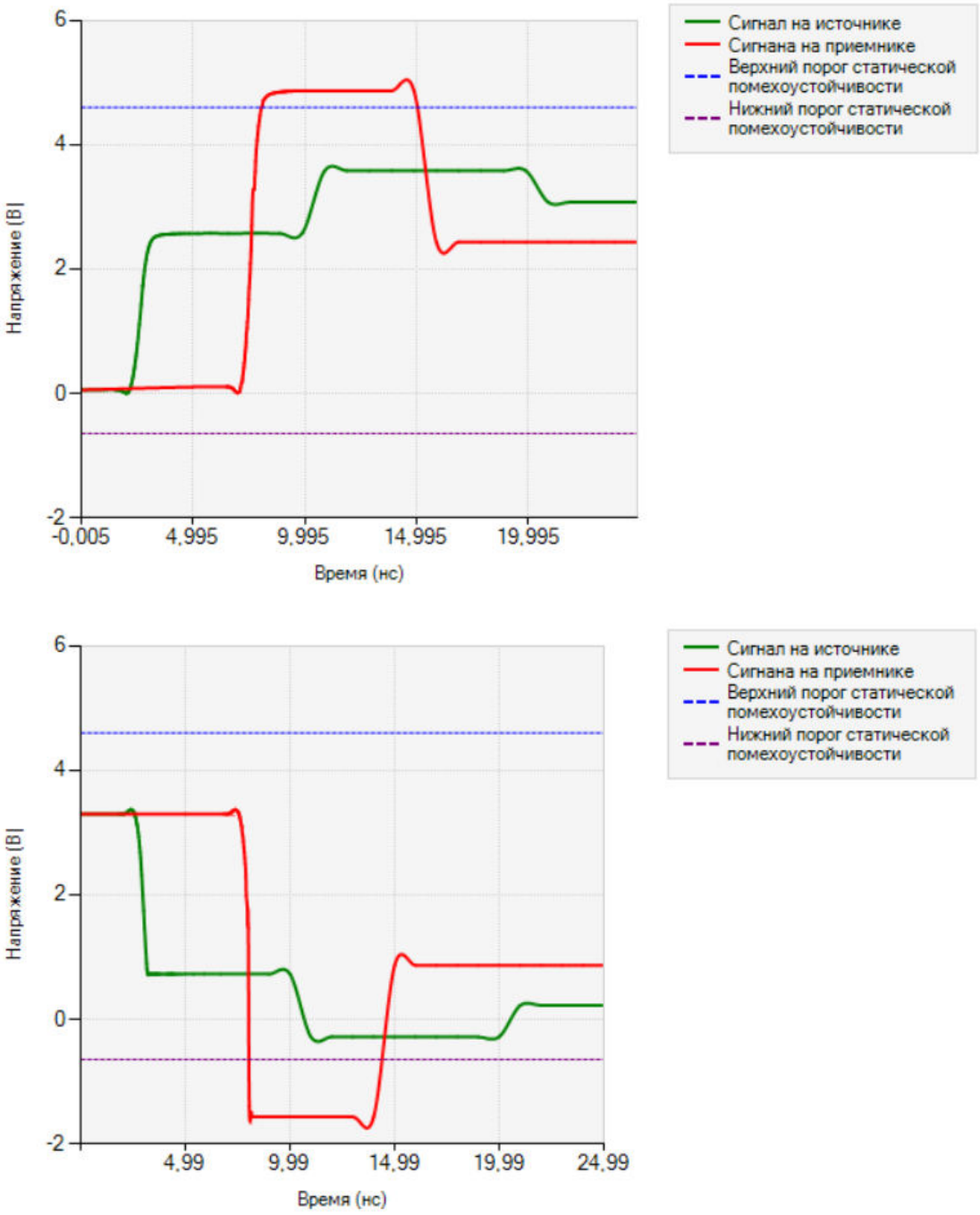


Рис. 3-4. Осциллограммы сигнала в начале и конце линии связи до и после согласования.

Эти графики позволяют наглядно оценить наличие отражений. По полученным осциллограммам можно сделать вывод о высоком влиянии отражений на итоговую форму сигнала.

Для устранения помех отражения следует применить последовательное согласование для начала линии связи, параллельное согласование для конца линии связи. Таким образом, в начале будет добавлен резистор со значением сопротивления 40 Ом, в конце линии будет добавлен резистор со значением сопротивления 60 Ом. На рис. 5-6 представлены осциллограммы сигнала в начале линии связи для последовательного и параллельного согласования.

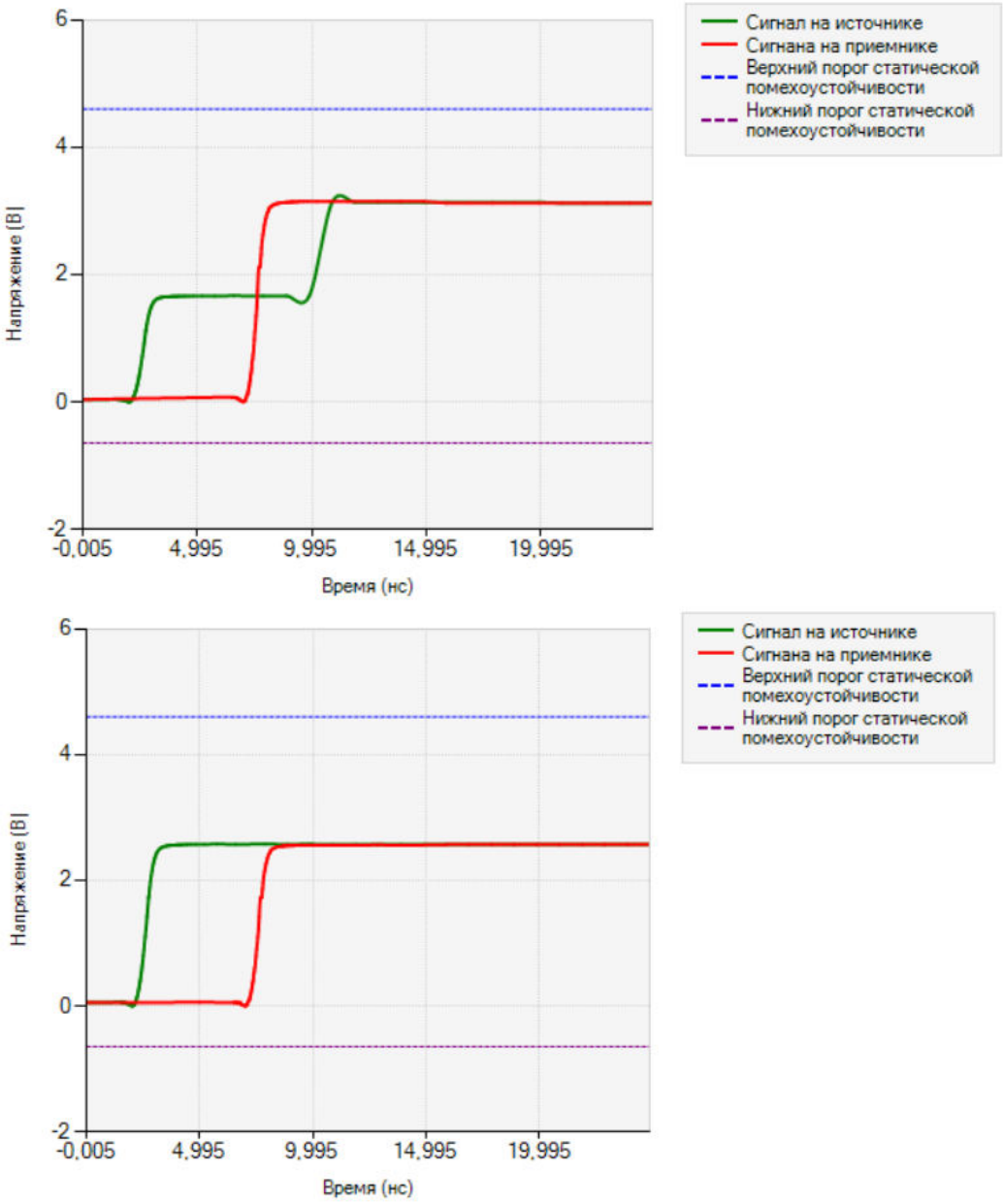


Рис. 5-6. Осциллограммы сигнала в начале линии связи для последовательного и параллельного согласования.

По итоговым осциллограммам можно сделать вывод, что искажения, связанные с отраженными помехами, стали незначительными, но амплитуда сигнала уменьшилась в связи с добавлением дополнительной нагрузки.

В процессе работы был проведён детальный анализ влияния отражений и задержек сигнала в межсоединениях печатных плат, реализованных в виде микрополосковых линий передачи. На основании расчётов коэффициентов отражения, амплитуд падающих и отражённых волн, а также временных характеристик распространения сигнала, были построены осциллограммы, отображающие форму сигнала на входе и выходе линии.

Анализ этих осциллограмм подтвердил наличие значительных искажений, вызванных отражениями, выражающихся в колебаниях амплитуды и постепенной стабилизации сигнала. Причиной таких искажений стало несоответствие волновых сопротивлений между источником, линией и приёмником.

Для снижения влияния отражений предложено согласование линии: последовательное на выходе драйвера и параллельное на входе приёмника. Расчёты и моделирование

подтвердили эффективность подхода, что позволяет использовать его при проектировании высокоскоростных цифровых трасс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кечиев Л.Н*. Практическое руководство по конструированию многослойных печатных плат. Инженерное пособие / Л.Н. Кечиев – М.: Грифон, 2021. – 416 с.

2. *Джонсон, Говард В., Грэхем, Мартин*. Конструирование высокоскоростных цифровых устройств: начальный курс черной магии: Пер. с англ. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. — 624 с.

3. *Кечиев Л.Н*. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры / Л.Н. Кечиев – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – 616 с.

ANALYSIS OF REFLECTION INTERFERENCE AND SIGNAL DELAYS IN INTERCONNECTS OF HIGH-SPEED PRINTED CIRCUIT BOARDS USING IBIS MODELS

Rafanov A.V.

Supervisor: Suzdaltsev I.V., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper discusses the task of pre-topological analysis of signal reflections and delays in PCB interconnects. It develops mathematical and software tools for generating oscillograms and eye diagrams of signals in PCB interconnects using IBIS models of chips. The paper presents examples of solving the problems of analyzing signal reflections and delays in PCB interconnects using the developed software.

УДК 004.8:574

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ВИХРЕЙ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Рогозинская А.Л.

(Национальный исследовательский университет ИТМО, г. Санкт-Петербург)

Аннотация. Приведены уже существующие решения от различных организаций. Рассмотрены положительные и отрицательные стороны применения машинного обучения для анализа вихрей. Разработан алгоритм простейшей модели машинного обучения, предназначенной для анализа вихрей и их влияния на климатические изменения.

Люди веками использовали различные способы для того, чтобы предсказать экстремальные погодные явления, такие как тайфуны, смерчи, ураганы, ливни и наводнения по форме облаков, поведению животных, с помощью гаданий и астрономических наблюдений.

Однако сейчас, во времена высоких технологий, с помощью светлых голов инженеров-программистов, искусственный интеллект уже более пяти лет активно помогает в работе многим специалистам в различных областях.

В данном случае для успешной реализации необходимо, чтобы климатологи, экологи и инженеры-программисты работали совместно.

Актуальность выбранной темы доклада обусловлена высоким спросом на внедрение искусственного интеллекта во все сферы жизни человека, а также предотвращение глобальных климатических изменений и природных катастроф, которые оказывают большое влияние на население, экосистемы и экономическую ситуацию.

Цель доклада в доказательстве эффективности машинного обучения в анализе вихрей и их влияния на климатические изменения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) Проанализировать теоретическую и методическую литературу по теме работы.

2) Рассмотреть уже существующие международные решения от различных организаций.

3) Рассмотреть положительные и отрицательные стороны применения машинного обучения для анализа вихрей.

4) Разработать алгоритм простейшей модели машинного обучения предназначенной для анализа вихрей и их влияния на климатические изменения.

Атмосферные вихри принимают активное участие в распределении веществ и энергии в атмосфере. Перемена их частоты, интенсивности и траектории способна влиять на такие климатические параметры, как ветровой режим, осадки и температуру. Повышение активности тропических циклонов может привести к увеличению частоты сложных метеоусловий. Повышение активности полярных вихрей способно привести к снижению температуры воздуха в зимний сезон в средних широтах. Увеличение активности западных вихрей может привести к более частым и интенсивным штормам в Северной Америке, что влияет на ветровой режим и осадки в этом регионе. Лесные пожары и выбросы от промышленных предприятий могут быть перенесены на тысячи километров и оказать влияние на качество воздуха. Интенсивность и частота атмосферных вихрей влияет на урожайность. Град и ветры, связанны с вихрями, изменения климатических осадков влияет на рост растений. Озоновые дыры связанны с антропогенными выбросами, но атмосферные вихри принимают участие в их формировании и распространении, концентрируя разрушающие озон вещества в полярных регионах.

Первые попытки использовать машинное обучение для анализа атмосферных вихрей были предприняты в середине двухтысячных годов, а вот глубокое обучение стало применяться позднее.

В 2016 году в своём научном препринте «Применение глубоких свёрточных нейронных сетей для обнаружения экстремальных погодных явлений в климатических данных» Юндзие Лю, Хоакин Корреа, Амир Хосроушахи, Эван Рака, Прабхат, Дэвид Лейверс, Майкл Венер и Кеннет Канкел рассказали, как впервые применили глубокие свёрточные нейронные сети для автоматического распознавания для обнаружения экстремальных климатических явлений [1]. Изображения формировались с помощью наложения нескольких климатических переменных в многоканальный массив. Для обработки и обучения моделей использовались мощные суперкомпьютеры Cori и Edison от Национального центра научных вычислений в области энергетических исследований. Гиперпараметры оптимизировались с помощью методики на байесовской оптимизации. Было два свёрточных слоя, за которыми были слои подвыборки и два полносвязных слоя. Для избежание переобучения, учитывая ограниченное количество обучающих примеров, использовались климатические реанализы и симуляции за разные временные промежутки. Модель показала высокую точность:

Фронты ~ 88 – 89%;

Потоки влаги в атмосфере ~ 90%;

Тропические циклоны ~ 90%;

Эти результаты были достигнуты благодаря способности свёрточных нейронных сетей извлекать сложные пространственные паттерны напрямую из данных, без фиксации субъективных порогов. После этого труда, 2016 году Эван Рака и соавторы показали проект «Extreme Weather», где разработали многоканальную пространственно-временную архитектуру свёрточных нейронных сетей для полуавтоматического обнаружения и локализации экстремальных погодных явлений, используя больше данных с частичной разметкой и обучаясь на исходных данных.

Анализ вихрей необходим для изучения изменений в поведении вихрей, изучения влияния на биоразнообразие и мониторинга погодных условий.

Спутники предоставляют изображения Земли с высоким качеством. Эти данные в дальнейшем используются для обнаружения вихрей с помощью таких параметров как облачность и скорость вихрей. Спутниковые снимки дают человеку информацию о состоянии

больших территорий поверхности Земли за короткий временной промежуток. В оценке силы вихрей используются данные с радаров о скорости ветра и интенсивности дождя.

Для распознавания вихрей на спутниковых изображениях используются различные методы машинного обучения, такие как свёрточные нейронные сети, модели временных рядов, алгоритмы сегментации изображений (например, U-Net), ансамблевые и гибридные модели. Так же дополнительно применяются рекуррентные нейронные сети для анализа временной динамики, методы кластеризации (например, алгоритм DBSCAN для выделения структурных аномалий), трансформеры и традиционные алгоритмы компьютерного зрения совместно с физико-географическими характеристиками.

Для анализа эволюции вихрей в течение определённого временного промежутка используются ConvLSTM (Convolutional Long Short-Term Memory) и 3D-CNN, которые могут работать с временной и пространственной динамикой.

Используются методы с учителем (метка стоит в вихре), и методы без учителя — например, выделение аномалий или кластеризация текстурных признаков.

Зачастую в зависимости от того стоит перед разработчиком задача детекции или задача сегментации применяются такие архитектуры как Mask R-CNN, YOLO, U-Net и DeepLab.

Платформа Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства Earth Exchange (NEX) занимается анализом долгосрочного прогнозирования погодных явлений и оценкой климата на основании данных, полученных в ходе миссий NASA. А также служит поддержкой для взаимодействия между исследователями. На платформе собраны данные о прогнозах погоды с 1950 года по 2100 год.

Национальный метеорологический центр в Китайской Народной Республике представил способ автоматической идентификации тренда быстрого усиления тайфунов с помощью маркировки и изучения ключевой информации в спутниковых облачных данных о тайфунах над Тихим океаном [2]. На основе данных со спутниковых изображений, создавались модель классификации и модель поиска на основе сходства для получения результатов принятия решений. В результате работы можно было получить эталонную карту облачности и интенсивность тайфуна. Прогнозирование можно сделать на двенадцать часов вперёд.

Модель Sup3rCC (Super-Resolution for Renewable Energy Resource Data with Climate Change Impacts) с открытым исходным кодом от Национальной лаборатории возобновляемой энергии (NREL) в Соединённых Штатах Америки преобразовывает данные климатических моделей в краткосрочные карты будущего, необходимых для управления солнечной и ветровой генерации энергии.

На сайте научно-технических новостей Phys.org от исследователей из Массачуевского технического университета описывался подход к ускорению климатических моделей с более высоким разрешением. В этой статье учёные рассказали, как убрав сложные физические уравнения, сделали уклон на рельефе местности, водяном паре и исторических данных. Так же большим преимуществом полученных результатов является то, что на выходе учёные получают малое количество данных [3].

Ураганы становится причиной более тысячи смертей каждый год [4].

Исследования на основе исторических данных об ураганах помогли в 2019 году предсказать траекторию одного из самых мощных атлантических ураганов «Дориана» (категория 5), население во Флориде, Южной Каролине и Джорджии было эвакуировано.

На июнь 2025 года однозначного ответа на вопрос, сократилось ли количество ураганов, нет: статистика показывает региональные различия и колебания. Однако, смертность от ураганов неуклонно снижается.

Разумеется, не только благодаря применению машинного обучения для анализа вихрей количество пострадавших удалось снизить. За последние двадцать лет были сделаны огромные прорывы в разработке планов эвакуации, систем раннего оповещения, образовательных программ, более прочных зданий и конструкций.

Возможно разработать код на мультипарадигмальном высокоуровневом языке программирования Python для анализа атмосферных вихрей с использованием данных ERA5, сегментации вихрей, прогнозирования с помощью ConvLSTM, и оценки их влияния на климатические аномалии.

Сначала осуществляется загрузка климатических данных ERA5 из NetCDF-файла с помощью библиотеки xarray. ERA5 - это пятое поколение атмосферного реанализа глобального климата, выпущенного Европейским центром для среднесрочных прогнозов погоды. Далее вычисляется завихренность атмосферы на основе компонентов ветра. Для выделения вихревых структур применяется бинаризация карты завихренности и поиск контуров с использованием открытой библиотеки OpenCV. Временная динамика вихрей анализируется с помощью свёрточной рекуррентной нейросети ConvLSTM, способной учитывать пространственно-временные зависимости. Для оценки влияния выявленных вихрей на климатические аномалии используется модель Random Forest, обученная на признаках из полей давления, температуры и завихренности. Результаты визуализируются на географических картах с использованием библиотеки Cartopy.

Полный аналитический цикл представлен на рисунке 1.

В заключение можно сделать вывод, что все поставленные задачи данного доклада были выполнены, цель доклада достигнута.

С помощью данных о вихрях экологи могут изучать влияние вихрей на экосистемы, изменение климата, оценивать риск для экосистемы и разрабатывать стратегии адаптации и смягчения последствий. Экологи могут использовать данные о вихрях для создания моделей, необходимых для предсказаний того, как изменения в атмосфере влияют на экосистемы.

Рисунок 1. «Аналитический цикл программы»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. L*iu Y., Racah E., Prabhat, Correa J., Khosrowshahi A., Lavers D., Kunkel K., Wehner M., Collins W.* Application of Deep Convolutional Neural Networks for Detecting Extreme Weather in Climate Datasets [Электрон. ресурс] // arXiv. – 2025. – URL: https://arxiv.org/abs/1605.01156?utm_source=chatgpt.com (дата обращения: 21.08.2025).

2. Сайт Китайской метеорологической администрации [Электрон. ресурс]. – 2025. – URL: https://www.cma.gov.cn/en2014/news/News/202306/t20230607_5560758.html (дата обращения: 18.06.2025).

3. Доклад учёных из Массачусетского технологического института // Phys.org [Электрон. ресурс]. – 2025. – URL: https://phys.org/news/2024-06-machine-climate-simulations-finer-resolutions.html (дата обращения: 18.06.2025).

4. Ураганы становятся сильнее – РИА Новости [Электрон. ресурс]. – 2025. – URL: https://ria.ru/20220928/uragany-1820152230.html (дата обращения: 18.06.2025).

MACHINE LEARNING FOR VORTEX ANALYSIS AND ITS IMPACT ON CLIMATE CHANGE

Rogozinskaia A.L.

(ITMO University, Saint Petersburg)

Abstract. Existing solutions from various organizations are presented. The advantages and disadvantages of applying machine learning for vortex analysis are discussed. An algorithm for a basic machine learning model designed to analyze vortices and their impact on climate change has been developed.

УДК 004.4

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМПОНОВКИ КОНСТРУКТИВНЫХ МОДУЛЕЙ В БЛОКЕ ЭЛЕКТРОННОГО СРЕДСТВА

Трифонов Э.А.

Научный руководитель: Суздальцев И.В., старший преподаватель

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань*)

Аннотация. В данной работе рассматривается задача компоновки конструктивных модулей в блоке электронного средства, на основе муравьиного алгоритма. Приведены результаты исследования предложенного алгоритма.

Актуальность данного исследования обусловлена постоянным усложнением электронных устройств и ужесточением требований к их компактности, энергоэффективности и надежности.

В этих условиях важную роль играет задача компоновки конструктивных модулей в электронных средствах, что является ключевым этапом в проектировании аппаратной части системы. Оптимальное размещение модулей позволяет минимизировать длину межмодульных соединений, снизить уровень помех и повысить общее быстродействие системы.

Цель работы – разработка программного модуля и исследование эффективности муравьиного алгоритма для выполнения компоновки конструктивных модулей в блоке электронного средства.

Исходными данными задачи компоновки являются:

- габаритные размеры и конструкция корпуса блока электронного средства;
- перечень установочных позиций блока электронного средства;

– перечень конструктивных модулей с указанием их габаритных размеров, уровня собственной помехоустойчивости;

– схемы электрических соединений между модулями.

Результирующими данными задачи являются: компоновочная схема блока, спецификация конструктивных элементов.

Для решения задачи компоновки конструктивных модулей в блоке электронного устройства целесообразно использовать аппарат формализации из теории графов, позволяющий описать систему как граф, где вершины — модули, а рёбра — соединения между ними.

Рассматриваемое пространство размещения представляет собой конструктивный объем блока, задающийся параллелепипедом с габаритными размерами $W \times H \times L$, в котором находятся потенциальные установочные позиции для размещения модулей. Задание компоновки — это размещение модулей в этом объёме блока с учётом ограничений.

Ключевыми критериями задачи компоновки является минимизация общей длины соединений между модулями, а также обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС).

Первая целевая функция имеет вид:

$$F_1 = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} (c_{ij} * d(P_i, P_j)) \rightarrow min, \quad (1)$$

где c_{ij} — вес (стоимость) соединения между модулями с номерами i и j, $d(Pi, Pj) = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2}$, F — общая стоимость (длина) связей.

Вторая целевая функция (ЭМС-критерий):

$$F_2 = \sum_{i=1}^{n} (e_m(i) - e_s(k(i))) \rightarrow max, \quad (2)$$

где $k(i)$ — индекс установочной позиции, в которую размещён модуль с номером i, $e_m(i)$ — уровень помехоустойчивости i-го модуля, $e_s(k(i))$ — уровень воздействия в позиции, куда был размещён модуль i.

Данный критерий позволяет разместить модули в наиболее благоприятные установочные позиции с точки зрения обстановки и помехоустойчивости.

Ограничениями задачи являются: размещение модулей внутри конструктивного объема блока, пересечение модулей, ЭМС.

Для решения задачи компоновки конструктивных модулей в блоке электронного средства будет использоваться муравьиный алгоритм.

Муравьиный алгоритм является метаэвристическим алгоритмом оптимизации, основанным на поведении колонии муравьёв, которая коллективно ищет кратчайший путь к источнику пищи. Этот алгоритм может быть адаптирован для решения задачи компоновки конструктивных модулей: каждый «муравей» размещает модули поочерёдно на установочные позиции, оценивая каждый шаг по длине соединений и уровню допустимой ЭМС. Муравьи «оставляют феромоны» на удачных размещениях, повышая их привлекательность для следующих итераций. На следующих итерациях размещения с более сильными феромонами становятся предпочтительнее. Это позволяет найти конфигурацию, минимизирующую длину соединений и удовлетворяющую ЭМС-ограничениям.

Описание шагов алгоритма:

Шаг 1. Ввод исходных данных

Определяется: количество модулей n, размеры каждого модуля $w_i \times h_i \times l_i$, размеры конструктивного объема блока $W \times H \times L$, топология соединений между модулями, параметры помехоустойчивости модулей и установочных позиций.

Шаг 2. Инициализация параметров алгоритма

Объявим количество итераций алгоритма N, коэффициент испарения феромонов ρ, начальное значение феромонов τ_0, α, β – регулируемые параметры, задающие уровень феромона, Q – коэффициент, задающий обновление уровня феромона.

Шаг 3. Инициализация муравьёв

Создаётся популяция муравьёв. Каждый муравей последовательно размещает все модули в допустимых позициях.

Шаг 4. Запускаем итерационный цикл.

Для каждого муравья:

Шаг 5. Выбор начального положения муравья / начального размещения модуля.

Шаг 6. Муравей размещает модули один за другим на доступных установочных позициях блока, которые удовлетворяют ограничению ЭМС:

$e_m(i) > e_s(k)$, если v_i размещается в позиции k

При выборе позиции для модуля v_i, рассчитываются вероятности выбора каждой допустимой позиции, по формуле:

$$p_{ij} = \frac{\tau_{ij}^{\alpha} * \left(\frac{c_{ij}}{d_{ij}}\right)^{\beta}}{\sum_{j=1}^{n} (\tau_{ij}^{\alpha} * (\frac{c_{ij}}{d_{ij}})^{\beta}}, \quad (3)$$

здесь α – параметр, контролирующий влияние τ_{ij}, β – параметр, контролирующий влияние $\frac{1}{d(i,j)}$, τ_{ij}- это количество феромонов на соединениях между модулями i и j, c_{ij} — вес (стоимость) соединения между модулями i и j, d_{ij}- расстояние до уже размещённых связанных модулей,

Шаг 7. Вероятности выбора позиции размещаются на отрезке с диапазоном от 0 до 1, каждый сектор соответствует доступной для размещения позиции. Выбирается случайная десятичная дробь, лежащая в диапазоне от 0 до 1. Сектор позиции, в которой оказывается случайное число будет следующей для размещения, в него переходит муравей.

Шаг 8. Проверяем все ли модули были размещены муравьем. При наличии не размещенных модулей переходим в шаг 6, иначе в шаг 9.

Шаг 9. Оценка построенного решения

Вычисляются целевые функции F_1 и F_2;

Шаг 10. Проверяем все ли муравьи были задействованы. При наличии не задействованных муравьев переходим в шаг 5, иначе в шаг 11.

Шаг 11. После прохода всех муравьев обновляем значения всех феромонов, по формуле:

$$\Delta\tau_{ij} = \begin{cases} \frac{Q}{F(t)}, \text{если модуль } v_i \text{ размещён в позиции } j \\ 0, \text{ иначе} \end{cases}, \quad (4)$$

где $\Delta\tau_{ij}$ – добавочный феромон для соединений между i и j модулями, $F(t)$ – целевая функция, Q – коэффициент, задающий обновление уровня феромона.

$$\tau'_{ij} = (1-\rho)\tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}, \quad (5)$$

где ρ - коэффициент испарения феромонов, τ'_{ij}– обновленное количество феромона.

Шаг №12. После завершения всех итераций выбирается размещение модулей с минимальным F_1 и максимальным F_2, удовлетворяющее всем ограничениям.

Для исследования эффективности алгоритма был разработан программный модуль, в котором учитывается критерий межмодульных связей, ограничение на размещение внутри конструктивного объема блока, на пересечение модулей и ограничение по ЭМС.

Для этого будут использоваться следующие исходные данные: типовой блок электронного средства с размерами W=120 мм, H=120 мм, L=100 мм, в котором задано 5 установочных позиций, описанные в таблице 2 и 5 конструктивных модулей, описанные в таблице 1.

Таблица 1

Конструктивные модули для БЭС

Обозначение	Наименование	Габариты, мм	Помехоустойчивость, ед.
V1	Модуль управления	40×20×50	3.0
V2	Источник питания	40×30×40	2.4
V3	Коммуникационный модуль (RS-485)	30×20×20	3.5
V4	Аналоговый измерительный модуль	30×20×25	4.5
V5	Силовой исполнительный модуль	40×25×30	2.5
V6	CAN-интерфейс	30×15×15	3.2

Таблица 2

Установочные позиции в корпусе блока

Позиция	Координаты (x, y, z), мм	Допустимая ЭМС, ед.
P1	(25, 25, 20)	3.0
P2	(100, 20, 20)	2.3
P3	(60, 100, 20)	4.0
P4	(30, 60, 70)	3.5
P5	(95, 95, 70)	2.0
P6	(60, 60, 50)	3.0

Результат лучшего решения задачи компоновки с ЦФ минимальной F_1=2688.84 мм и максимальной F_2=1.3 ед. представлен на рисунке 1.

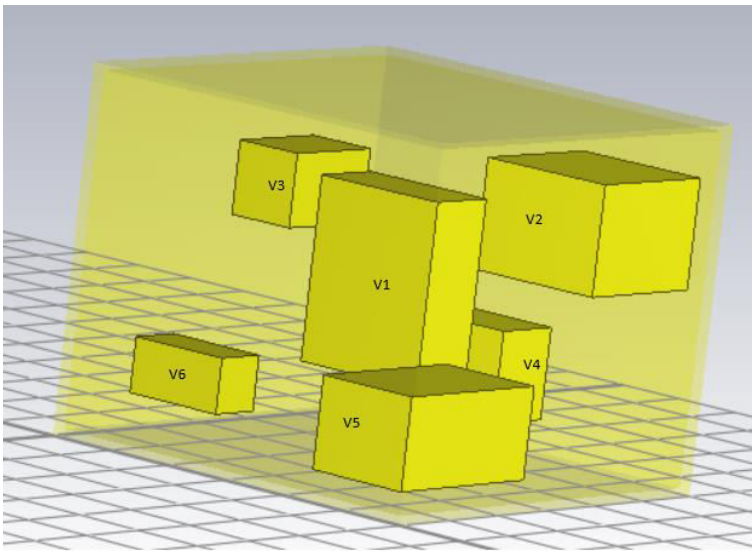


Рис. 1. Размещение модулей в блоке

Таким образом, в результате данной работы: были определены содержательная задача, критерии и ограничения задачи компоновки; разработан муравьиный алгоритм решения задачи; создан программный модуль, учитывающий критерий минимизации общей длины межмодульных связей и ЭМС критерий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Романова Е.Б., Кузнецова О.В., Кузнецов А.Ю.* Основы конструирования электронных средств: практикум. – СПб: Университет ИТМО, 2017 – 53 с.

2. *Дориго М., Шютцле Т.* Оптимизация муравьиных колоний. — Кембридж, Массачусетс: MIT Press, 2004.

3. *Кольтюков Н.А., Белоусов О.А.* Проектирование несущих конструкций радиоэлектронных средств : учебное пособие /–Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009 – 84 с.

4. *Кузнецов А.А.* Алгоритмы оптимизации: муравьиные алгоритмы и их применение. — М.: Физматлит, 2016. — 320 с.

5. *Соловьев А.В., Соловьева Н.А.* Применение муравьиных алгоритмов для решения задач оптимизации // Вестник МГТУ им. Баумана. Серия «Информатика, управление, компьютерные технологии». — 2018. — № 1. — 52

AUTOMATION OF THE LAYOUT OF STRUCTURAL MODULES IN THE ELECTRONIC MEANS UNIT

Trifonov E.A.
Supervisor: Suzdaltsev I., Senior Lecturer
(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)*

Abstract. In this paper, we consider the problem of arranging structural modules in an electronic device block based on an ant algorithm. The results of the study of the proposed algorithm are presented.

УДК 004.896; 621.396.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА (P-STATIK) НА БОРТОВЫЕ СИСТЕМЫ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Ушаков А.Ю.
Научный руководитель: Чермошенцев С.Ф., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Аннотация. В статье представлен анализ воздействия электростатического эффекта «p-static» на функционирование бортовых систем беспилотного летательного аппарата (БПЛА) с композитным фюзеляжем. Описана разработанная в программной среде CST Studio имитационная модель БпЛА «Орион», предназначенная для исследования процессов накопления электростатического заряда на фюзеляже и его влияния на кабельные сети. Проведено моделирование формирования электромагнитных помех, регистрируемых на входах бортового оборудования, расположенного в различных частях фюзеляжа. Определены амплитудные значения отклонений напряжения в интерфейсных линиях связи. Выявлено, что достигнутые значения достаточно высоки, чтоб привести к возможному нарушению работы критических систем. Полученные результаты подтверждают необходимость совершенствования мер защиты бортовых систем от электростатического воздействия.

Введение

Беспилотные летательные аппараты активно внедряются в военной, гражданской и научной сферах, что повышает требования к их надёжности и безопасности. Одним из значимых факторов риска является накопление электростатического заряда (p-statik) на фюзеляже, возникающее из-за трения воздушного потока о поверхность аппарата. Переход к использованию углеродных композитов снижает массу БпЛА, но усугубляет проблему, поскольку такие материалы обладают низкой электропроводностью и не обеспечивают эффективного отвода заряда. В результате возрастает вероятность сбоев навигационных, радиосвязных и других систем, повреждений обтекателей, а также возникновения пожаров и взрывов [1]. Существующие методы защиты, как правило, разрабатываются на основе теоретических рекомендаций и практического опыта, с последующей корректировкой в эксплуатации, что подчёркивает актуальность поиска более эффективных решений.

Электростатический эффект “p-static” (precipitation static — статические осадки) – это явление, образующееся во время полёта летательного аппарата, обусловленное трением фюзеляжа о воздушную среду, что вызывает накопление электростатического заряда на фюзеляже БПЛА. В процессе полёта на диэлектрическом композитном фюзеляже БПЛА постепенно накапливаются электроны, пока напряжение не достигнет уровня, достаточного для возникновения электростатического разряда [2]. Возникающее при этом электромагнитное поле способно создавать помехи работе чувствительного авиационного оборудования, что может привести к кратковременной потере связи или навигационных функций.

Параметры окружающей среды оказывают существенное влияние на формирование электростатического эффекта «p-static» на фюзеляже БПЛА. К таким факторам относятся, например, влажность и температура воздуха, а также наличие пыли и различных частиц в атмосфере. Многообразие и случайный характер внешних условий значительно усложняют процесс моделирования электростатического эффекта «p-static» на фюзеляже БПЛА.

Наибольшую восприимчивость к воздействию внешних электромагнитных полей (ЭМП) демонстрируют бортовые кабельные линии, обеспечивающие электропитание, информационный обмен и взаимодействие между системами и устройствами летательного аппарата. При этом в составе бортовой кабельной сети наибольшую уязвимость к проникновению внешних ЭМП проявляют электрические соединители кабельных линий [3].

Постановка задачи

Целью исследования является анализ воздействия электростатического эффекта на функционирование бортовых систем БПЛА.

Основной задачей работы выступает моделирование процесса накопления электростатических зарядов на фюзеляже БПЛА.

Объектом исследования является беспилотный летательный аппарат с композитным фюзеляжем, а моделирование процессов накопления электростатических зарядов осуществляется на разработанной имитационной модели.

Ключевым результатом исследования является определение уровня электромагнитных помех, формируемых на электронном оборудовании и интерфейсных линиях, размещённых на борту БПЛА. Изучается процесс формирования электромагнитного поля, оказывающего влияние на функционирование воздушного судна.

Методология анализа

Для расчета и изучения поставленных задач была разработана методика анализа. Основные этапы этой методики включают в себя:

1.Изучение исходных данных о летательном аппарате, включая информацию о диэлектрической проницаемости материала фюзеляжа, электрические характеристики материала, геометрические параметры ЛА и условия его эксплуатации.

2.Разработка имитационной модели БПЛА, т.е. создание компьютерной или физической модели, которая имитирует поведение и характеристики БПЛА в различных условиях.

3.Моделирование процесса накопления статического заряда, в программном пакете трёхмерного электромагнитного моделирования. Результатом моделирования являются численные и графические данные об уровне напряжённостей электрического и магнитного моля внутри фюзеляжа ЛА.

4.Анализ (оценка) данных, полученных в результате моделирования.

5.Формирование выводов, по проделанной работе.

Процесс анализа электростатического эффекта «p-static» может быть итерационным.

Моделирование и анализ

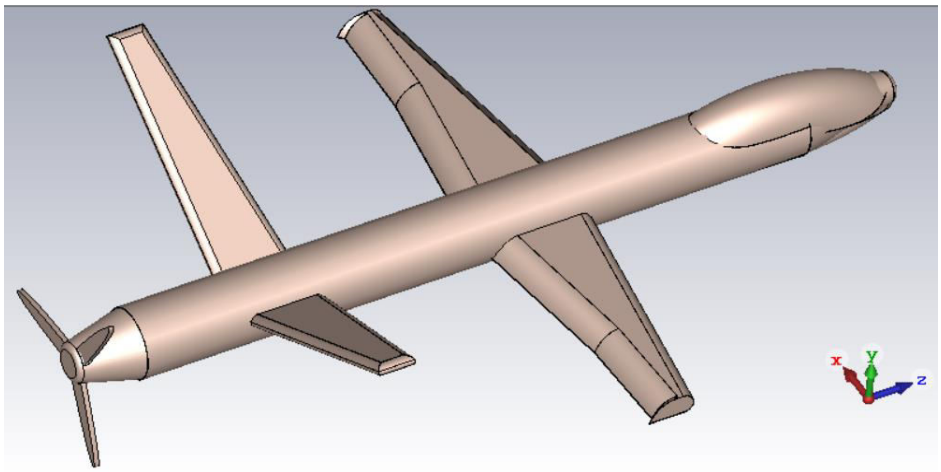


Рис. 1. Модель БПЛА «Орион»

Моделирование электростатического эффекта «p-static» проведено в программном пакете трёхмерного электромагнитного моделирования. В ходе выполнения работы в программном пакете CST Studio была разработана экспериментальная имитационная модель БпЛА «Орион» с внешней металлизацией, имитирующей внешний источник заряда, представленная на рисунках 1 и 2.

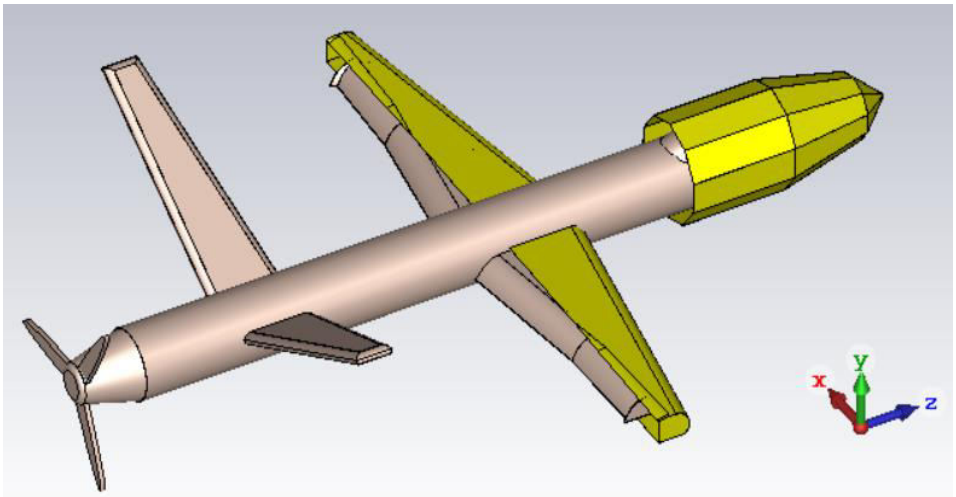


Рис. 2. Модель БПЛА «Орион» с внешней металлизацией.

Фюзеляж выполнен из углепластика (углеродного волокна Carbon HS), их характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики материала фюзеляжа БПЛА

Характеристика	*Величина*
Электрическая проницаемость	1,5
Диэлектрическая проницаемость	7,6
Диэлектрическая прочность	10 кВ/мм

Вслед за завершением разработки модели БПЛА осуществлялась разработка кабельной системы, охватывающей всю конструкцию модели и соединяющей все функциональные блоки. Кабельная система прокладывается по всей длине БПЛА, обслуживая систему управления полётом, расположенную в крыльях, систему навигации и ориентации, расположенную в носовой части фюзеляжа, а также систему связи, находящуюся в киле летательного аппарата. В работе использовалось равномерное расположение датчиков напряженностей электрического и магнитного полей. Расположение датчиков приведено на рисунке 3.

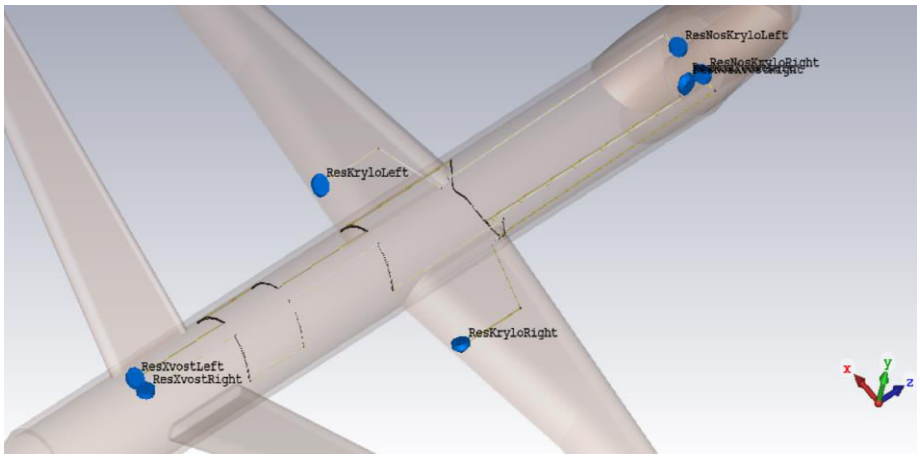


Рис. 3. Кабельная система, с отображенным набором датчиков.

Показателем меры влияния электростатического эффекта на функционирование БПЛА, а соответственно и основным результатом моделирования являются численные и графические данные об уровне напряжённостей электрического и магнитного полей на электронном оборудовании и размещённых интерфейсах, установленных на борту БПЛА.

При превышении показателя ёмкости материала фюзеляжа, происходит электростатический разряд (ЭСР). На датчиках систем в начальный момент разряда возникает сигнал, соответствующий по форме двойной экспоненте [4], форма которой отображена на рисунке 4.

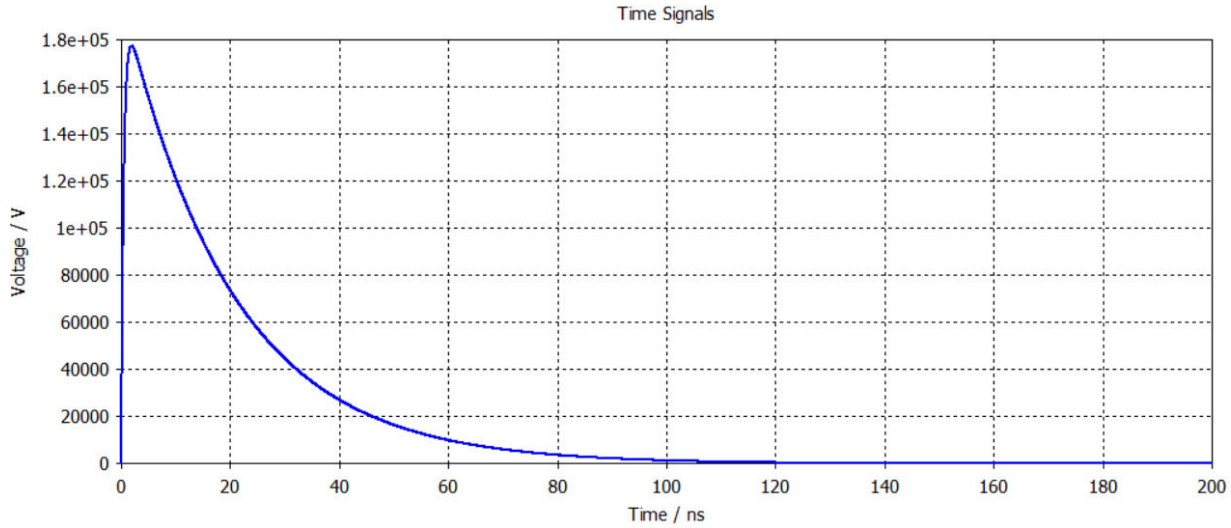


Рис. 4. Форма начального сигнала на датчиках систем БПЛА при ЭСР.

С помощью инструмента Lumped element были измерены отклонения на концах кабельных сетей. В результате проведённого моделирования были получены графические зависимости помеховых сигналов на входах бортового оборудования, а также определены численные значения максимальных отклонений напряжения (амплитуд помеховых сигналов). На рисунках 5–7 представлены графики, иллюстрирующие максимальные отклонения напряжения для каждой функциональной группы оборудования, а именно:

– системы навигации и ориентации, размещённой в носовой части фюзеляжа;
– системы связи, расположенной в килевой части БПЛА;
– системы управления полётом, установленной в основании крыльев БПЛА.

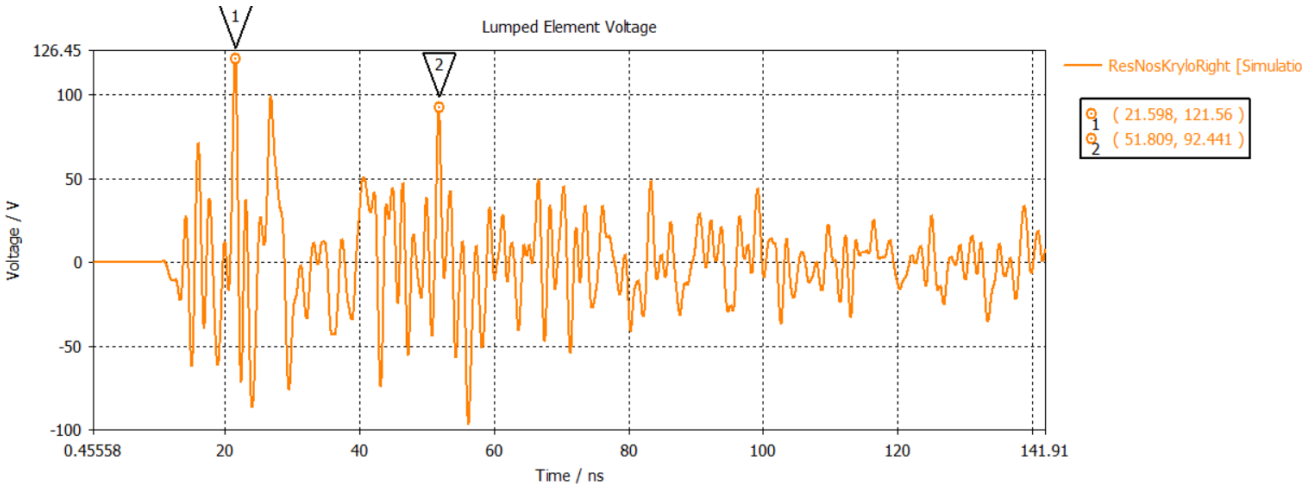


Рис. 5. Электромагнитная помеха в интерфейсной линии связи, на входе системы навигации и ориентации, размещённой в носовой части фюзеляжа.

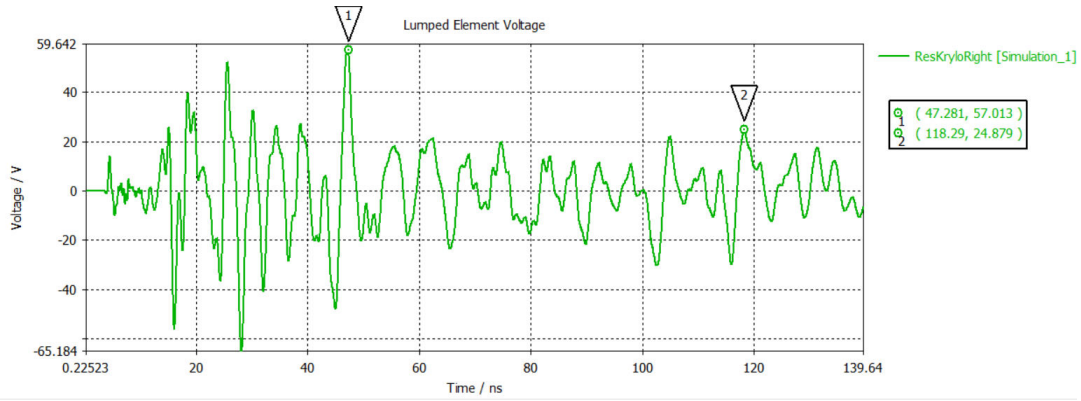


Рис. 6. Электромагнитная помеха в интерфейсной линии связи, на входе системы управления полётом, установленной в основании крыльев БПЛА.

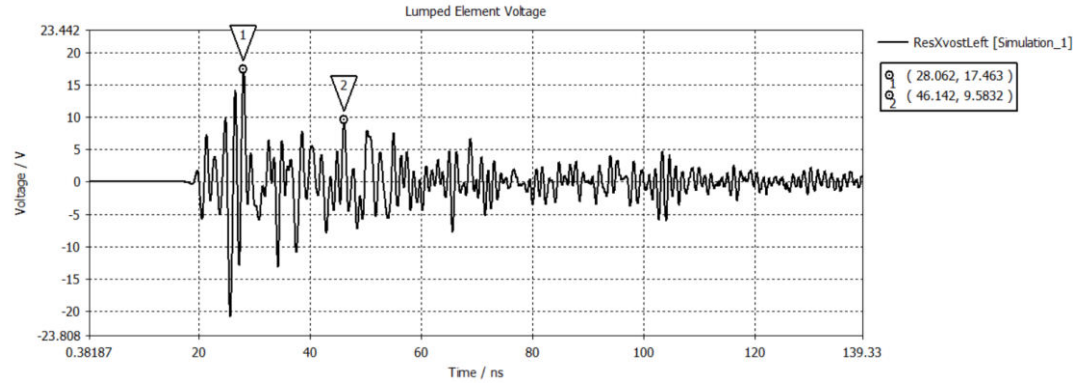


Рис. 7. Электромагнитная помеха в интерфейсной линии связи, на входе системы связи, расположенной в килевой части БПЛА.

Таким образом, можно сделать вывод, что максимальное значение помехового напряжения наблюдается в носовой части БПЛА. Исходя из полученных результатов, данное значение может достигать 120 В. Электромагнитные помехи от воздействия электростатического эффекта “p-static” на интерфейсные линии связи достигают значений, при которых помеха может нарушить работоспособность бортового оборудования. Кроме того, ярко выражено, что в хвостовой части БПЛА напряженность электромагнитного поля многократно меньше напряженности электростатического поля в носовой части фюзеляжа.

Заключение

В ходе выполнения данной работы была рассмотрена задача анализа воздействия электростатического эффекта “p-static” на бортовые системы беспилотного летательного аппарата. В программной среде CST Studio разработана имитационная модель беспилотного летательного аппарата на основе данных о БПЛА «Орион». С помощью разработанной модели проведен ряд экспериментов, благодаря которым был выявлен уровень электромагнитных помех, генерируемых на электронном оборудовании и интерфейсах, установленных на борту БпЛА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Пожидаева Н.В., Кичеев С.А*. Электростатические явления в авиации. Авиационная безопасность, 2017, 24(3), 45-52.

2. *Абрамешин Д.А*. Исследование влияния процессов накопления заряда в композитных полимерных диэлектриках при электронном облучении — Москва: «Высшая школа экономики», 2023. — 127 с.

3. *Абрамешин А.Е.* Функциональная безопасность бортовых систем летательных аппаратов при ЭСР / А.Е. Абрамешин, Л.Н. Кечиев. - М.: Изд-во МАИ, 2018. - 256 с.

4. *Кириллов В.Ю., Марченко М.В., Томилин М.М*. Электромагнитная совместимость бортовой кабельной сети летательных аппаратов. — М.: Изд-во МАИ, 2014. — 172 с.

SIMULATION OF THE IMPACT OF THE ELECTROSTATIC EFFECT (P-STATIK) ON THE ONBOARD SYSTEMS OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

Ushakov A.Y.

Supervisor: Chermoshentsev S.F., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The article presents an analysis of the impact of the "p-static" electrostatic effect on the functioning of on-board systems of an unmanned aerial vehicle (UAV) with a composite fuselage. A simulation model of the Orion UAV developed in the CST Studio software environment is described, designed to study the processes of accumulation of electrostatic charge on the fuselage and its effect on cable networks. The simulation of the formation of electromagnetic interference recorded at the inputs of on-board equipment located in various parts of the fuselage has been carried out. The amplitude values of voltage deviations in the interface communication lines are determined. It was revealed that the achieved values are high enough to lead to a possible malfunction of critical systems. The results obtained confirm the need to improve measures to protect on-board systems from electrostatic effects.

УДК 658.512.2; 621.3.049.75

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Фаизова З.И.

Научный руководитель: Суздальцев И.В., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В представленной работе рассматривается задача размещения элементов на печатной плате с учётом требований электромагнитной совместимости. Сформулированы содержательная и математическая постановка задачи. В качестве алгоритма решения предложен генетический алгоритм плотной упаковки. Разработана подсистема автоматизированного размещения. Проведено сравнение результатов автоматизированного размещения, выполненного с помощью разработанного алгоритма и ручного размещения.

Современные печатные платы представляют собой высокотехнологичные многослойные системы, в которых на ограниченной площади требуется компактно и эффективно размещать разнообразные компоненты — от высокоскоростных цифровых микросхем до чувствительных аналоговых элементов. Такая плотная интеграция вызывает повышенные требования к обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС), поскольку взаимодействие между элементами может приводить к электромагнитным помехам, нарушающим корректную работу всего устройства [1].

Традиционно проверка показателей электромагнитной совместимости проводится на завершающих этапах проектирования, после того как размещение компонентов и трассировка уже выполнены. Однако, целесообразнее выполнять проверку на ранних этапах проектирования, например, на этапе размещения элементов.

Задача размещения элементов заключается в поиске оптимального расположения элементов на печатной плате с учетом критериев и ограничений [2].

Несмотря на существование множества теоретических методов учета критерия ЭМС, их универсальность ограничена, и в большинстве случаев они не находят прямого применения в инженерной практике. Наиболее действенным и прикладным методом является зонирование — разделение печатной платы на функциональные области, в которых группируются

элементы с близкими электрическими и функциональными характеристиками. Разбиение платы на зоны минимизирует перекрестные помехи, упрощает формирование схем заземления и питания, способствует уменьшению длины критичных соединений, тем самым обеспечивает более высокий уровень ЭМС.

Существует несколько принципов зонирования [3]:

1. Разделение на зоны аналоговых и цифровых элементов на печатной плате для минимизации перекрёстных помех.

2. Разделение зон по быстродействию. Разделение зон на области быстродействующих (до 1 ГГц и выше), умеренного действия (до 200–300 МГц) и медленного действия (до 20–100 МГц) логических схем. Для минимизации помех, зоны быстродействующих логических схем следует располагать как можно ближе к источнику питания для сокращения длины проводящих дорожек, уменьшения паразитных индуктивностей.

3. Зонирование по интерфейсам (например, USB, HDMI и т.д.). Такое разделение необходимо для минимизации длины соединений между элементами интерфейса для облегчения монтажа и диагностики готовой печатной платы.

Пример зонирования печатной платы представлен на рис. 1.

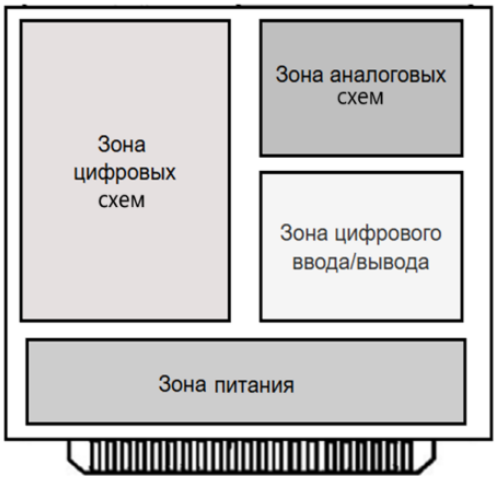


Рис. 1 Пример зонирования

Математическая постановка задачи сформулирована на основе модели взвешенного графа. Компоненты схемы интерпретируются как вершины графа, а электрические соединения между ними —рёбра с соответствующими весами.

Для решения задачи размещения возникает необходимость введения ряда ограничений:

1. Размещение элементов в пределах зоны, соответствующей данному элементу;
2. Непересечение элементов друг с другом;
3. Элементы не должны размещаться в запретных зонах.

Критерием задачи размещения является минимизация суммарной длины электрических связей между элементами для снижения потерь сигнала и уровень помех.

Целевой функцией задачи размещения является, учитывая критерий минимума суммарной взвешенной длины:

$$F = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} d_{ij} \cdot c_{ij} \rightarrow min,\ c_{ij} \in C,\ d_{ij} \in D, \quad (1)$$

где n— общее количество размещаемых элементов на печатной плате, c_{ij}– количество связей между элементами i и j, d_{ij} - расстояние между центрами размещённых элементов i и j.

Для решения задачи размещения элементов на печатной плате был выбран генетический алгоритм плотной упаковки, т.к. он подходит для решения задач с разногабаритными элементами и достигает значение близкое к глобальному оптимум за полиноминальное время.

Алгоритм плотной упаковки строится на классической схеме генетических алгоритмов с адаптацией под специфическую задачу. Каждое возможное размещение представлено в виде

особи, содержащей две хромосомы. Первая хромосома кодирует порядок размещения компонентов в пределах зоны, вторая — их ориентацию (с поворотом или без). Благодаря такому представлению удаётся сформировать пространство решений, пригодное для применения операций кроссинговера и мутации без нарушения допустимости размещения.

Кроссинговер реализован в виде упорядоченного обмена фрагментами между двумя родительскими хромосомами, что позволяет сохранить относительный порядок компонентов и избежать дублирования [4]. Мутация применяется к ориентационной хромосоме и заключается в случайной инверсии одного из генов, изменяющей положение элемента с горизонтального на вертикальное или наоборот [4]. Селекция реализована методом рулетки, при котором вероятность попадания особи в следующее поколение пропорциональна её пригодности [4]. Такой механизм позволяет сохранять лучшие решения и одновременно исследовать новое пространство конфигураций.

Процесс размещения элементов осуществляется в итерационной форме. На начальном этапе генерируется популяция случайных особей, соответствующих допустимым размещениям. Каждое размещение проходит проверку на корректность, после чего производится декодирование хромосом в координаты. Вычисляется значение целевой функции. Далее популяция эволюционирует в соответствии с описанными генетическими операциями. Итерации продолжаются до тех пор, пока не будет достигнуто условие сходимости — либо по числу поколений, либо по стабилизации значения целевой функции.

Схема алгоритмическая концептуальная представлена рис.2.

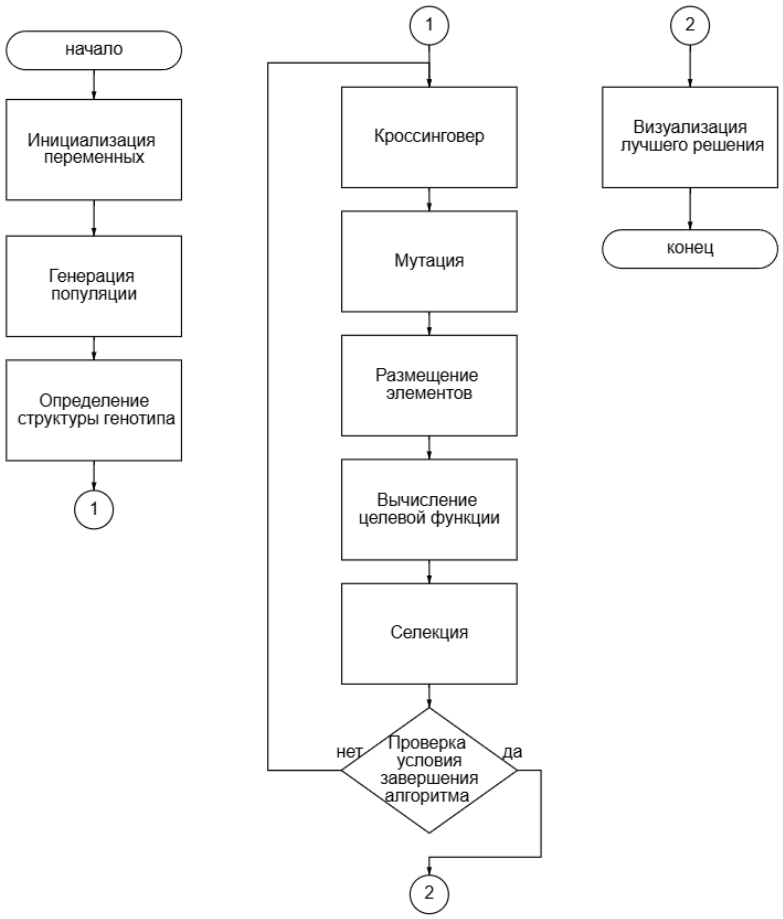


Рис. 2 Схема алгоритмическая концептуальная

С использованием средств языка программирования MS C# была разработана подсистема автоматизированного размещения элементов на печатной плате. На рис. 3 представлено главное окно программы, на котором изображен результат размещения 115

элементов на печатной плате размерами 70 мм на 35 мм. Значение целевой функции, вычисленной по формуле (1) равно 31642 мм.

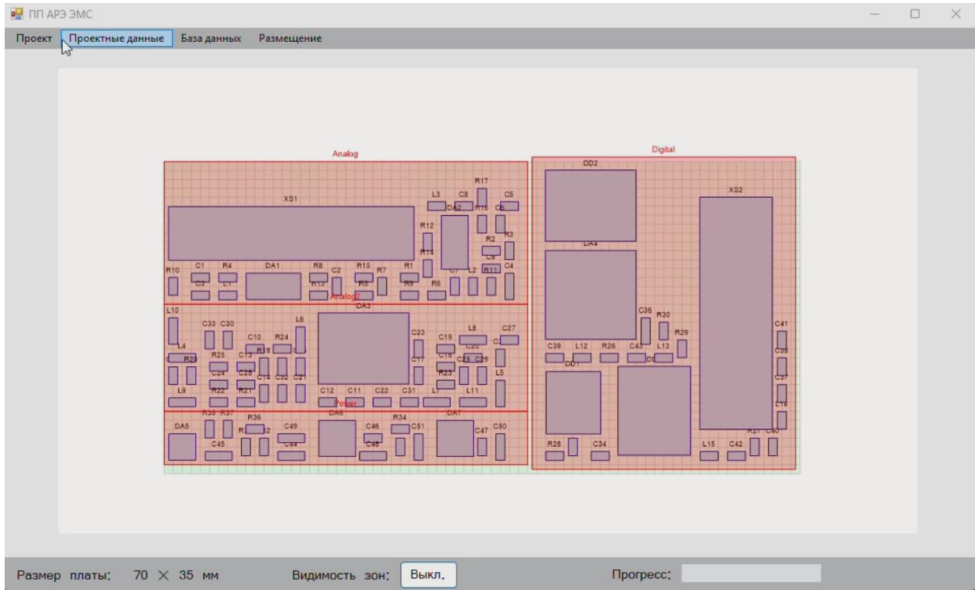


Рис. 3 Главное окно программы

Работа алгоритма была протестирована на нескольких примерах с различным числом компонентов, Полученные размещения оказались корректными по отношению к зонам, не допускали перекрытий и обеспечивали минимальные длины соединений между связанными элементами. Визуальный анализ подтвердил плотность упаковки и соответствие архитектурному зонированию.

Сравнение результатов автоматического и ручного размещения продемонстрировало преимущество предложенного метода. Среднее снижение суммарной длины соединений составило 20–25%. Кроме того, автоматизация процесса позволила сократить время проектирования и устранить необходимость в последующей оптимизации вручную. Алгоритм показал стабильную работу при увеличении числа элементов и масштабировании зон.

Таким образом, генетический алгоритм плотной упаковки представляет собой эффективный инструмент для решения задачи размещения компонентов на печатной плате с учётом требований электромагнитной совместимости. Дальнейшее развитие метода может включать интеграцию тепловых ограничений, реализацию размещения с учетом обвязки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кечиев Л.Н.* Практическое руководство по конструированию многослойных печатных плат. Инженерное пособие. М.: Грифон, 2021. 418 с.

2. Конструирование и технология производства ЭВМ: учебно-методический комплекс для студентов спец. 1-40 02 01 «Вычислительные машины, системы и сети» / сост. и общ. ред. Т.В. Молодечкина. — Новополоцк: Полоцкий государственный университет, 2005. — 236 с. — ISBN 985-418-378-5.

3. *Барнс Д.* Электронное конструирование: методы борьбы с помехами: пер. с англ. В.А. Исаакяна; под ред. Б. Н. Файзулаева. – М.: Издательство «Мир»: Редакция литературы по электронике, 1990 – 242 с.

4. *Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы* / Под ред. В.М. Курейчика. — 2е изд., исправл. и доп. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 368 с. — ISBN 9785922105101.

5. Разработка и исследование эволюционных методов размещения компонентов СБИС: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Таганрог, 2011. — 22 с.

6. *Макеев П.А.* Разработка методики автоматизированного размещения элементов на гибко жесткой печатной плате электронного средства: дис. … канд. тех. наук: 2.3.7. КНИТУ-КАИ, Казань, 2024. – 145 с.

DEVELOPMENT OF A SUBSYSTEM FOR AUTOMATED PLACEMENT OF COMPONENTS ON A PRINTED CIRCUIT BOARD TAKING INTO ACCOUNT ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY REQUIREMENTS

Faizova Z.I.
Supervisor: Suzdaltsev I.V., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The presented work examines the problem of component placement on a printed circuit board (PCB) considering electromagnetic compatibility (EMC) requirements. Both the substantive and mathematical problem statements are formulated. A genetic algorithm for dense packing is proposed as the solution algorithm. An automated placement subsystem has been developed. A comparison of the results of automated placement performed using the developed algorithm and manual placement is conducted.

УДК 004

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ КОМБИНАЦИИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО И ОБЕЗЬЯНЬЕГО АЛГОРИТМОВ

Хузиева Р.М.
Научный руководитель: Суздальцев И.В., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данном докладе рассматривается задача автоматизации процедуры структурирования информации. Представлены результаты решения задачи с помощью комбинированного метода на основе генетического и обезьяньего алгоритмов.

В современном мире объем информации растет с каждым днем, и эффективное управление этой информацией становится одной из важнейших задач для многих организаций. Автоматизация процессов структурирования данных позволяет ускорить анализ информации и повысить качество принимаемых решений.

Целью данной работы является разработка комбинированного алгоритма для автоматизации процедуры структурирования информации и его программная реализация.

Структурирование информации подразумевает процесс разделения и классификации данных таким образом, чтобы преобразовать их в вид, более доступный для восприятия, поиска и анализа [1]. Задача о структурировании информации формулируется как задача разделения набора абзацев по темам таким образом, чтобы суммарное количество вхождений ключевых слов, относящихся к каждой из тем, было максимальным. Таким образом, целевая функция должна содержать критерий максимизации суммарных вхождений элементов из массива ключевых слов в элементы результирующего массива.

Целевая функция:

$$F = \sum_{j=1}^{m} x_j \to max, \text{где} \quad (1)$$

$x_j \in X$, $j = \overline{1..m}$

X - набор совпадений слов из результирующего распределения с ключевыми словами по каждой из тем, x_j - количество совпадений слов из результирующих абзацев по одной теме с ключевыми словами по этой теме, m – количество тем.

Ограничения задачи:

Все абзацы из исходного массива должны быть распределены по темам. Данное ограничение будет выполняться в том случае, когда суммарное количество элементов в массивах массива R будет равно размеру исходного массива.

Ограничительная функция:

$$\sum_{j=1}^{m} |r_j| = n, \text{где} \tag{2}$$

$r_j \in R$, $j = \overline{1..m}$

R - результат распределения абзацев по темам (результирующий массив массивов, где каждый массив содержит информацию по определенной теме), r_j - набор абзацев, содержащих информацию по одной теме.

Для решения задачи структурирования информации будет использоваться комбинация генетического и обезьяньего алгоритмов:

Генетический алгоритм – это метод оптимизации, основанный на принципах естественного отбора [2]. Базовая идея алгоритма заключается в моделировании процессов генетики для поиска оптимального решения задачи. Случайным образом создается популяция особей, каждая из которых представляет собой решение задачи, а затем, с использованием трех основных механизмов: скрещивания, мутации и селекции (отбора) происходит постепенное приближение к оптимальному решению задачи [3].

Обезьяний алгоритм — это метод поиска, который имитирует поведение обезьян, перемещающихся по веткам в поисках пищи. Он основан на предположении, что выше расположенные ветки содержат больше пищи. Из своего текущего положения каждая из обезьян движется вверх до тех пор, пока не достигнет вершины дерева. Затем обезьяна делает серию локальных прыжков в случайном направлении в надежде найти более высокую ветку, и движение вверх повторяется [4].

Комбинация алгоритмов заключается в том, что с помощью генетического алгоритма создаются хромосомы особей, порядок генов в которых представляет собой порядок следования текстов, а обезьяний алгоритм делит полученные хромосомы на части для распределения текстов по темам.

Описание шагов алгоритма:

1. Создание начальной популяции (генетический алгоритм).

Хромосома особи формируется в виде последовательности чисел, обозначающих номера абзацев. Под созданием начальной популяции подразумевается генерация исходного множества потенциальных решений задачи (хромосом особей), при этом каждому гену хромосомы присваивается случайное значение из множества допустимых [5], а в рамках одной хромосомы значения генов не могут повторяться.

2. Скрещивание особей (генетический алгоритм).

Процедура скрещивания особей происходит в два этапа:

1 этап: Формирование родительских пар. На данном этапе начальная популяция случайным образом делится на пары.

2 этап: Формирование хромосом потомков. Для данного этапа используем процедуру одноточечного порядкового скрещивания.

Алгоритм одноточечного порядкового скрещивания:

1) Генерируется случайная точка разделения родительских особей.

2) В первую часть хромосомы первого потомка помещаем последовательность генов одного из родительских особей до точки разделения.

3) Дополняем хромосому первого потомка теми генами второй родительской особи, которые отсутствуют в первом участке хромосомы первого потомка.

4) Хромосома второго потомка формируется аналогичным образом, но теперь первая часть заполняется от второй родительской особи, а вторая от первой.

Таким образом, от каждой пары родительских особей мы получаем по два потомка, и размер популяции особей увеличивается в два раза.

3. Мутация особей (генетический алгоритм).

Для процедуры мутации будем использовать метод хромосомной инверсии [6]. При инверсии в хромосоме выделяется мутируемый участок, точки начала и конца которого определяются случайным образом. Порядок следования генов в выделенном участке изменяется на противоположный. Данная мутация применяется ко всем особям-потомкам в популяции.

4. Разделение каждой хромосомы на участки. Генерация роя обезьян (обезьяний алгоритм).

Для каждой хромосомы генерируется рой обезьян, каждая из которых представляет собой последовательность чисел, которые определяют количество генов (абзацев) в хромосоме, которые будут относиться к каждой из тем. При этом учитывается ограничительная функция (2).

5. Локальный прыжок (обезьяний алгоритм).

Каждая обезьяна совершает локальный прыжок: перемешивает значения массива и изменяет значение случайных соседних чисел, перебрасывая единицу от первого соседа ко второму. При этом общая сумма должна оставаться неизменной.

6. Сохранение лучшего решения для каждой обезьяны (обезьяний алгоритм).

После локального прыжка, каждая обезьяна сохраняет оптимальное решение. Оптимальность решений оценивается на основании функции пригодности (1). Для данной задачи пригодность каждого решения будем определять как сумму всех вхождений элементов из массивов ключевых слов по каждой теме в соответствующие группы абзацев результирующего массива.

7. Условие завершения обезьяньего алгоритма (обезьяний алгоритм).

На последующих итерациях алгоритма происходит повторное выполнение шагов 5-6 до тех пор, пока не будет выполнено условие завершения алгоритма. Для обезьяньего алгоритма условием будет выполнение определенного количества итераций.

8. Выбор лучшего решения в рое (обезьяний алгоритм).

Для каждой хромосомы выбирается обезьяна с максимальным значением функции пригодности. Это значение и будем считать значением функции пригодности соответственной хромосомы.

9. Селекция (отбор) особей (генетический алгоритм).

Из текущей популяции особей происходит отбор наилучших решений задачи. После определения пригодности для каждой особи в популяции, отсортируем их в порядке убывания значения функции пригодности и отберем для следующего поколения половину особей с наилучшим показателем, при этом лучшей особью популяции считается особь с наибольшим значением функции пригодности (1). Худшая половина особей удаляется из популяции.

10. Условие завершения алгоритма

На последующих итерациях алгоритма происходит повторное выполнение шагов 2-9 до тех пор, пока не будет выполнено условие завершения алгоритма.

Возможны несколько вариантов условия завершения алгоритма:

1) Выполнение заданного числа итераций.

2) Достижение определенного значения функции пригодности у лучшей особи.

3) Неизменность значения функции пригодности у лучшей особи на протяжении определенного числа последних поколений [7].

Мы будем использовать смесь первого и третьего вариантов: установим условие завершения алгоритма при достижении неизменности значения функции пригодности на протяжении нескольких последних поколений, а также введем ограничение по количеству итераций во избежание слишком долгой работы программы.

11. Определение оптимального решения.

Оптимальным решением задачи структурирования информации является особь, обладающая наилучшей степенью пригодности в последнем поколении эволюции.

Представленный алгоритм был реализован в виде программы на языке Python. Исходные данные в виде абзацев текста считываются из загружаемого файла и в результате работы программы разделяются по темам. В качестве примера был использован текстовый файл с результатами первичного осмотра пациентов у терапевта. В результате применения алгоритма пациенты распределяются по узким специалистам на основе ключевых слов в их анамнезе. Результат работы программы представлен на рисунке 2.

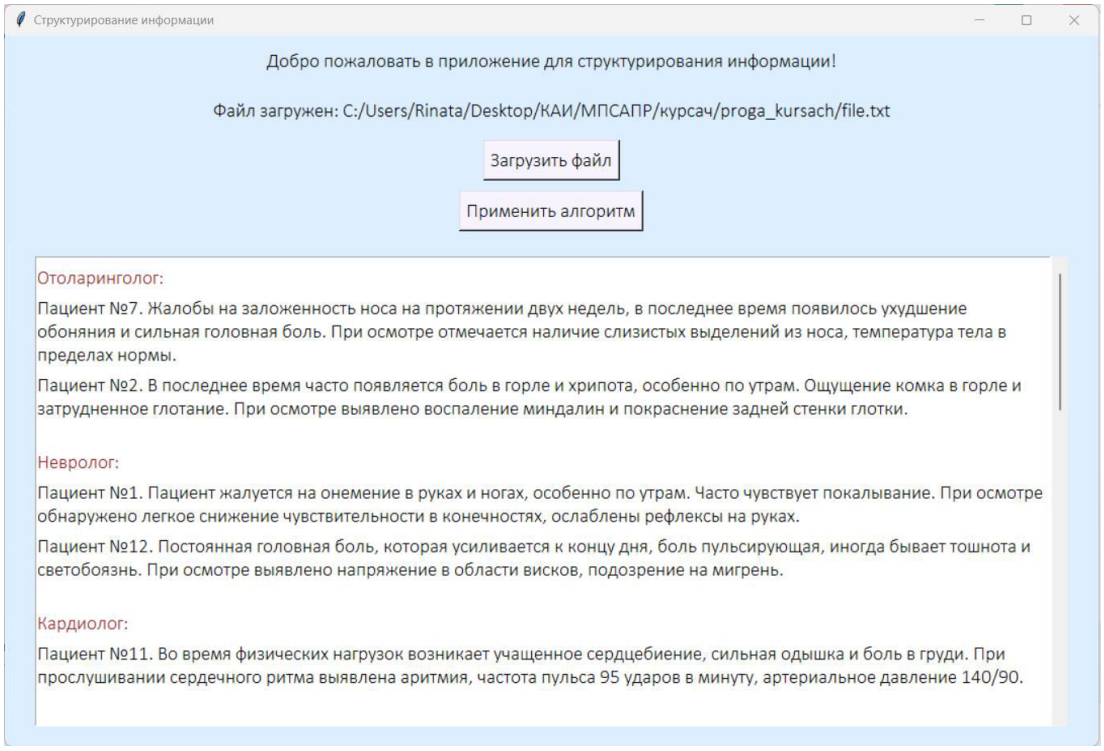


Рисунок 2. Результат работы программы

При случайном распределении пациентов по врачам было получено значение целевой функции, равное 21. После применения алгоритма значение целевой функции увеличилось до 49. Подобные результаты были получены в ряде других тестовых примеров.

Таким образом, в ходе работы был разработан алгоритм, основанный на комбинации генетического и обезьяньего алгоритмов, который может быть успешно применен для решения задач автоматизации структурирования информации. На основе исследования ряда тестовых примеров, можно сделать вывод о том, что применение разработанной программы позволило повысить качество структурирования информации на 100-130%, по сравнению с результатами, полученными при случайном распределении абзацев по темам. Суть комбинирования нескольких алгоритмов в том, чтобы использовать в решении задачи лучшие стороны каждого из них, а недостатки минимизировать. В данном случае генетический алгоритм использовался как способ приближения к глобальному оптимуму, в то время как обезьяний алгоритм локально уточнял полученные решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Рейнгольд Л.А., Рейнгольд Е.А.* Структурирование информации для целей автоматизации – концептуальные аспекты. – М.: Прикладная информатика, 2018. – 16 с.

2. *Карпенко А.П.* Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: Учебное пособие. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 446 с.

3. *Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М.* Генетические алгоритмы. – М.: Издательская фирма "Физико-математическая литература", 2016. – 367 с.

4. *Тимофеева О.П., Неимущев С.А., Неимущева Л.И.* Исследование популяционных алгоритмов в решении задач непрерывной оптимизации. – Нижний Новгород: Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2018. – 8 с.

5. *Матренин П.В.* Методы стохастической оптимизации: учебное пособие – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 67 с.

6. *Воронова В.В., Суздальцев И.В.* Генетический алгоритм при автоматизации проектирования электронных средств [Электронный ресурс]: учеб. пособие. Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2016. URL: http://www.e-library.kai.ru/reader/hu/flipping/Resource-2946/916.pdf/index.html (дата обращения: 16.11.2024).

7. *Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р.* Алгоритмы: построение и анализ, 2-е издание. – М.: Издательский дом «Вильяме», 2005. – 1296 с.

AUTOMATION OF THE PROCEDURE OF STRUCTURING INFORMATION BASED ON A COMBINATION OF GENETIC AND MONKEY ALGORITHMS

Khuzieva R.M.

Supervisor: Suzdaltsev I.V., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Abstract. This report discusses the task of automating the information structuring procedure. The results of solving the problem using a combined method based on genetic and monkey algorithms are presented.

УДК 004.4

ТРАССИРОВКА ЖГУТОВЫХ МЕЖМОДУЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В БЛОКЕ ЭЛЕКТРОННОГО СРЕДСТВА

Хузиева Р.М.

Научный руководитель: Суздальцев И.В.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данном докладе рассматривается задача трассировки жгутовых межмодульных соединений в блоке электронного средства с учетом минимизации суммарной длины жгутов и взаимных электромагнитных влияний проводников. Представлены результаты трассировки с использованием муравьиного алгоритма.

В условиях стремительного развития технологий и увеличения сложности электронных систем, проектирование надежных межмодульных соединений становится одной из важнейших задач для обеспечения корректного функционирования электронных средств [1]. Жгутовые межмодульные соединения играют ключевую роль в организации взаимодействия различных компонентов блока электронного средства, обеспечивая передачу сигналов и питания между модулями. Правильная трассировка таких соединений помогает минимизировать перекрестные помехи и улучшить качество передаваемых сигналов за счет учета множества факторов, таких как длина проводников, их расположение и электромагнитная совместимость.

Целью данной работы является автоматизация процедуры трассировки жгутовых межмодульных соединений в блоке электронного средства с учетом критерия электромагнитной совместимости.

В качестве основного аппарата формализации будет использоваться теория оптимизации. Это позволит эффективно решать задачи, связанные с минимизацией длины соединений и соблюдением технологических ограничений. Для представления топологии каналов прокладки соединений будет использоваться теория графов. Вершины графа будут

соответствовать узлам сетки, а ребра – соединениям между ними. При этом некоторые узлы сетки заняты точками коммутации модулей. Это позволит применять алгоритмы графов для анализа соединений и нахождения оптимальных решений.

Задача трассировки жгутовых межмодульных соединений в блоке электронного средства формулируется как задача поиска кратчайших путей между парами вершин в графе с учетом определенных критериев качества и ограничений. Среди критериев можно выделить два наиболее важных: минимизация общей длины кабелей и взаимных электромагнитных влияний проводников.

Минимизация общей длины проводников способствует минимизации помех (индуктивные и емкостные помехи, возникающие из-за длинных проводников) и повышению качества сигнала, а также позволяет сократить затраты и упростить процесс монтажа и обслуживания устройства.

Математическое описание критерия в виде целевой функции:

$$F_1 = \sum_{j=1}^{u} l_j \to min, \text{где}$$

j = $\overline{1..u}$, l_j - длина j-го проводника, u – количество проводников.

Минимизация взаимных электромагнитных влияний проводников происходит за счет минимизации длины размещения несовместимых проводов в одном жгуте и необходима для сокращения перекрестных помех, которые возникают под действием электромагнитных полей [2].

Математическое описание критерия в виде целевой функции:

$$F_2 = \sum_{i=1}^{u} \sum_{j=1}^{u} (1 - p_{ij}) * x_{ij} * w_{ij} \to min, \text{где}$$

$i = \overline{1..u}, j = \overline{1..u},\ i \neq j,\ p_{ij}$ - совместимость i-го и j-го проводов: 0 – не совместимы, 1 – совместимы; x_{ij} - нахождение i-го и j-го проводов в одном жгуте: 0 – не находятся, 1 – находятся; w_{ij} - длина параллельного участка i-го и j-го проводов в одном жгуте.

Формулировка ограничений задачи:

В одном жгуте не могут находиться провода разного назначения.

Размещение в одном жгуте проводов разного назначения может привести к электромагнитным помехам, ухудшению качества сигнала и повышенному риску короткого замыкания. Кроме того, разные типы проводов могут иметь различные требования к экранированию и изоляции, что также делает их совместное размещение небезопасным.

Ограничительная функция:

$$\sum_{i=1}^{u} \sum_{j=1}^{u} (1 - c_{ij}) * x_{ij} = 0, \text{где}$$

$i = \overline{1..u}, j = \overline{1..u}, i \neq j,\ c_{ij}$ - совместимость i-го и j-го проводов по назначению: 0 – разное назначение (не совместимы), 1 – одинаковое назначение (совместимы).

Для решения задачи трассировки жгутовых межмодульных соединений в блоке электронного средства был выбран муравьиный алгоритм.

Муравьиный алгоритм предназначен для нахождения приближённых решений задач оптимизации на графах и не гарантирует нахождение глобального оптимума, однако, благодаря вероятностному характеру алгоритма, многократное его повторение может дать достаточно точный результат [3, 4].

Временная сложность муравьиного алгоритма оценивается как O(t*m*n2), где t – количество итераций (время жизни колонии муравьев), m – количество муравьев, n – количество вершин в графе.

Муравьиный алгоритм хорошо подходит для решения многокритериальных задач благодаря своей гибкости. Кроме того, возможность использования различных стратегий обновления феромонов позволяет настраивать алгоритм под конкретные требования.

Основная идея муравьиного алгоритма заключается в имитации поведения муравьев, которые ищут кратчайшие пути к источнику пищи, оставляя при этом феромоны на своем пути. Эти феромоны служат сигналом для других муравьев, направляя их по наиболее эффективным маршрутам. С течением времени феромоны на более коротких и эффективных путях усиливаются, что приводит к их предпочтению в следующих итерациях. Таким образом, муравьиный алгоритм использует коллективное поведение для нахождения оптимальных или близких к оптимальным решениям.

Описание шагов алгоритма:

1. Инициализация начальных параметров.

Данный этап включает в себя ввод матрицы расстояний, обнуление расстояний между узлами, которые расположены внутри модулей; инициализацию параметров алгоритма, инициализацию ребер и получение пар вершин, которые должны быть соединены.

2. Цикл по парам вершин: установление начальной пары вершин для проведения маршрута.

3. Инициализация начальных параметров для текущей пары: составление списка доступных ребер и несовместимых проложенных кабелей, обновление списка несовместимости ребер, размещение муравьев в начальный узел, выбор начального маршрута и определение значения его целевой функции.

Для оценки качества построенных маршрутов (в том числе начального маршрута) используется целевая функция, которая имеет следующий вид:

$$F' = l_1 F'_1 + l_2 F'_2, \quad (1)$$

где $F'_1 = \sum_{l \in S} d_l$

d_l – длина ребра l, S – список ребер, входящих в маршрут,

$F'_2 = \sum_{l \in S} N_l * d_l$

N_l – количество вхождений ребра l в проложенные маршруты кабелей, несовместимых с текущим; l_1, l_2 – весовые коэффициенты.

Нормализация весовых коэффициентов:

$l_{1min} = 0,\ l_{2min} = 0$

$l_{1max} = 10,\ l_{2max} = 10$

$l_{1norm} = \frac{l_1 - l_{1min}}{l_{1max} - l_{1min}} = \frac{l_1}{10}$,

$l_{2norm} = \frac{l_2 - l_{2min}}{l_{2max} - l_{2min}} = \frac{l_2}{10}$.

4. Цикл по времени жизни колонии: установление начального времени t = 1.

5. Цикл по всем муравьям: установление начального муравья k = 1.

6. Построение маршрута и определение значения его целевой функции. На этом шаге определяются начальная и конечная вершины, а затем последовательно выбираются вершины для перехода до тех пор, пока текущая вершина не будет равна конечной.

Вероятностно-пропорциональное правило [4], определяющее вероятность перехода муравья из узла i в узел j:

$$\begin{cases} P_{ij}(t) = \dfrac{\left[\tau_{ij}(t)\right]^{\alpha} \cdot \left[\eta_{ij}\right]^{\beta} \cdot h_{ij}}{\sum_{l \in J_i} [\tau_{il}(t)]^{\alpha} \cdot [\eta_{il}]^{\beta} \cdot h_{ij}}, \text{если } j \in J_i \\ P_{ij}(t) = 0, \text{если } j \notin J_i \end{cases} \quad (2)$$

где $\tau_{ij}(t)$ – количество феромона на ребре (i; j) в момент времени t,

$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$ – коэффициент близости узла j к узлу i,

$h_{ij} = \varepsilon^{N_l}$ – показатель совместимости ребра (i; j),

N_l – количество вхождений ребра l в проложенные маршруты кабелей, несовместимых с текущим,

J_i – доступные узлы для перехода из i-го узла,

$\alpha, \beta, \varepsilon$ – весовые коэффициенты, $0 < \varepsilon < 1$.

Выбор вершины для перехода реализуется следующим образом:

Начиная с 0, суммируются вероятности перехода. Вершина, после добавления вероятности, которой сумма впервые превысила случайно сгенерированное число r, выбирается вершиной для перехода.

После построения маршрута происходит оценка его качества с помощью подсчета значения его целевой функции (1).

7. Обновление лучшего маршрута и лучшего значения целевой функции.

Полученный маршрут сравнивается по значению целевой функции с текущим минимумом. Если полученный маршрут имеет меньшее значение целевой функции, то становится новым лучшим маршрутом, обновляется минимальное значение.

Дополнительно обновляется матрица M: для каждого ребра (i; j) в полученном маршруте к массиву M_{ij} добавляется номер текущего муравья. (M_{ij} – множество муравьев, прошедших по ребру (i; j)).

8. Обновление следов феромона на ребрах.

На всех ребрах графа обновляется содержание феромона с учетом испарения и добавления феромона муравьями на пройденные в текущий момент времени ребра [4]:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k \in M_{ij}} \frac{F_{\min}}{F_k} \qquad (3)$$

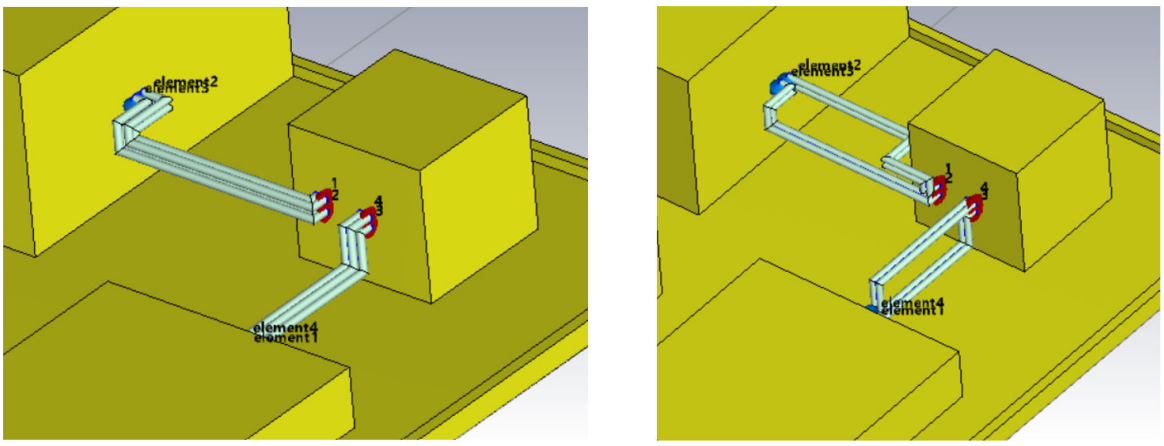
где ρ – интенсивность испарения (заданная константа),

$F'_{\min}$ – лучшее значение целевой функции,

F'_k – значение целевой функции у маршрута муравья k.

9. Вывод лучшего маршрута прокладки кабеля между текущей парой вершин.

В качестве исходных данных для применения алгоритма решения задачи трассировки жгутовых межмодульных соединений, дан блок электронного средства, содержащий модули и кабельные линий связи между ними. В программном комплексе CST Microwave Studio было выполнено моделирование блока с начальной трассировкой без учета критерия электромагнитной совместимости, при которой кабели попарно объединяются в жгуты (рисунок 1а). После применения муравьиного алгоритма кабели стали располагаться дальше друг от друга, при этом их суммарная длина не изменилась (рисунок 1б).



а) б)

Рисунок 1. Результаты моделирования электронного блока с трассировкой (а – результат трассировки без учета критерия электромагнитной совместимости; б – результат трассировки, полученный после применения муравьиного алгоритма)

Сравним сигналы на концах линий связи, полученные при симуляции данных моделей в программном комплексе CST Microwave Studio. В первом случае максимальное значение перекрестной помехи, возникающей в одной из линий связи в жгуте, составляет 0.27 В (рисунок 2), а во втором случае 0.003 В (рисунок 3). Таким образом, максимальное значение помехи удалось снизить в 90 раз.

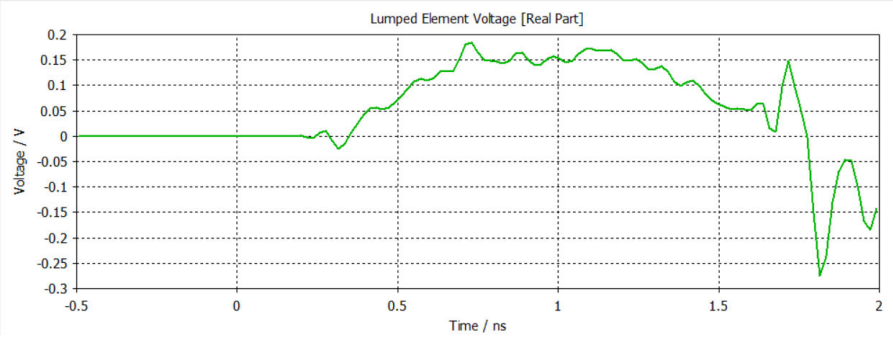


Рисунок 2. Сигнал на линии связи при трассировке
без учета критерия электромагнитной совместимости

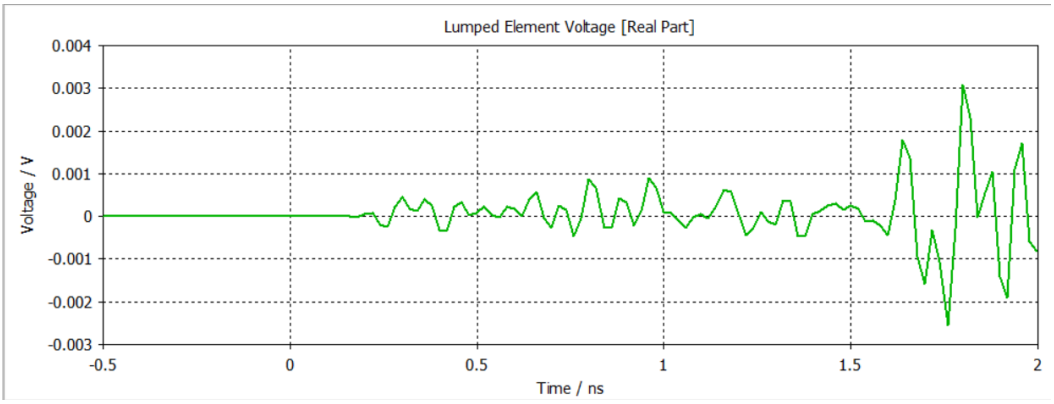


Рисунок 3. Сигнал на линии связи при трассировке с применением муравьиного алгоритма

В ходе работы была рассмотрена задача трассировки жгутовых межмодульных соединений в блоке электронного средства и разработан алгоритм для автоматизации данной процедуры на основе муравьиного алгоритма. Проведенный анализ результатов решения задачи позволяет сделать вывод о том, что неправильная организация трассировки может привести к увеличению уровня перекрестных помех и, как следствие, к сбоям в работе оборудования. Муравьиный алгоритм является эффективным методом решения задачи трассировки соединений в блоке электронного средства благодаря своей гибкости. Алгоритм позволяет учитывать множество разнообразных критериев задачи и может подстраиваться под конкретные требования. Благодаря использованию муравьиного алгоритма с возможностью учета критериев длины и взаимных электромагнитных влияний проводников, удалось существенно снизить уровень перекрестных помех в межсоединениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Тугарев А.С.* Основы конструирования электронных средств: Конспект лекций //Орёл: ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени ИС Тургенева. – 2016.

2. *Нгуен В.Т., Кириллов В.Ю.* Перекрестные помехи в электрических соединителях //Электричество. – 2021. – №. 3. – С. 54-59.

3. *Гладков Л.А., Кравченко Ю.А., Курейчик В.В., Родзин С.И.* Интеллектуальные системы: модели и методы метаэвристической оптимизации: монография – Чебоксары: Среда, 2024. – 228 с.

4. *Макконелл Д.* Основы современных алгоритмов. – Техносфера, 2004.

TRACING OF HARNESS INTERMODULE CONNECTIONS IN THE ELECTRONIC UNIT

Khuzieva R.M.
Supervisor: Suzdaltsev I.V.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This report examines the problem of tracing bundled intermodular connections in an electronic device block, taking into account the minimization of the total length of the bundles and mutual electromagnetic influences of the conductors. The results of tracing using the ant algorithm are presented.

УДК 004.93

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЯХ

Хусаинов Р.М.
Научный руководитель: Талипов Н.Г, доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье приведено практическое использование модели в различных предметных областях. В целях проведения исследования собраны базы данных из сети Интернет, использована прикладная программа для обучения и тестирования модели. Средняя точность распознавания объектов составила: 94,86 % для класса «пешеход», 82,9 % для класса «авария» и 90,42 % для классов «огонь» и «дым».

В настоящее время в различных предметных областях (медицина, чрезвычайные ситуации, автономные транспортные системы) для решения практических задач применяются интеллектуальные системы, основанные на технологиях нейросетевого моделирования [1-3]. Его эффективность обеспечивается возможностью обработки больших объемов данных, автоматизации процессов принятия решений, снижая интеллектуальную нагрузку на человека [4-6]. Нейронные сети способны адаптироваться к изменениям в данных, что позволяет им улучшать свою производительность и точность распознавания на изображениях и кадрах в режиме реального времени [7-9].

Приведем постановку решаемой задачи. YOLOv8n-AE – новая модель распознавания объектов (дорожных знаков, дорожных разметок, светофоров). Модель обучена с учетом добавления в модель YOLOv8n слоев адаптивности и оптимизации. Для оценки адекватности разработанной модели необходимо дообучить и протестировать на других базах данных.

Предложенная модель и мобильное приложение «Ассистент водителя» для распознавания объектов использованы в Научно-техническом центре Публичного акционерного общества «КАМАЗ» (ПАО «КАМАЗ»), предметной областью которого является автономные транспортные системы. Задачей в данной области является оценка тестирования мобильного приложения в грузовых автомобилях для распознавания объектов (пешеходов) в дорожных сценах.

Для апробации модели использована собственный датасет, а также база данных с размеченным классом «пешеход». Объем исходных данных составляет 163 изображений. Данные разделены на обучающую и тестовую выборки в соотношении 82:18 (135 и 28 изображений соответственно). При проведении тестирования предложенной модели получены результаты количества правильно и ошибочно распознанных объектов, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Результаты распознавания объектов класса «пешеход» в тестовой выборке

Наименование класса	Количество объектов	Количество правильно распознанных объектов (*TP*)	Количество пропущенных объектов (*FN*)	Количество ошибочно распознанных объектов (*FP*)
пешеход	92	83	3	6

Как видно из таблицы 4.6, количество правильно распознанных объектов класса «пешеход» составляет 83, количество пропущенных объектов – 3, количество ошибочно распознанных объектов - 6. Проведен математический расчет метрик классификации данной модели.

$$\Pr ecision = \frac{83}{83+6} \cdot 100 = 93{,}26\%,$$

$$\mathrm{Re}\, call = \frac{83}{83+3} \cdot 100 = 96{,}51\%,$$

$$F1(score) = 2 \cdot \frac{93{,}26 \cdot 96{,}51}{93{,}26 + 96{,}51} = 94{,}86\%.$$

На рисунке 1 представлены примеры распознавания объектов (пешеходов) в тестовой выборке.

Рисунок 1. Примеры распознавания класса «пешеход»

Результаты значений метрик классификации класса «пешеход» представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты метрик классификации объектов «пешеход»

Наименование класса	Метрика *Precision*	Метрика *Recall*	Метрика *F1-score*
пешеход	93,26 %	96,51 %	94,86 %

Таким образом, модель является адекватной, а ее метрика *F1-score* составляет 94,86 %.

Предложенные модели и программный комплекс по распознаванию объектов также использованы в отделе проектных решений Муниципального казенного учреждения «Центр организации дорожного движения города Нижнего Новгорода» (МКУ «ЦОДД»), предметной областью которого является интеллектуальные транспортные системы. Задачей в данной области является оценка тестирования прикладной программы в системе обеспечения

безопасности дорожного движения. Водитель передает актуальные данные о возникших ДТП, об аварийных состояниях объектов дорожной инфраструктуры в региональную интеллектуальную транспортную систему г. Нижнего Новгорода для оперативного внесения изменений операторами МКУ «ЦОДД».

Для апробации модели использована база данных с размеченным классом «авария». Объем исходных данных составляет 810 изображений. Данные разделены на обучающую, валидационную и тестовую выборки в соотношении 74:16:10 (600, 132 и 78 изображений соответственно). При обучении и тестировании предложенной модели в прикладной программе [10] получены результаты количества правильно и ошибочно распознанных объектов, представленные в таблице 3.

Таблица 3

Результаты распознавания объектов класса «авария» в тестовой выборке

Наименование объекта	Количество изображений	Количество правильно распознанных объектов (*TP*)	Количество пропущенных объектов (*FN*)	Количество ошибочно распознанных объектов (*FP*)
авария	78	63	15	11

Как видно из таблицы 4.8, количество правильно распознанных объектов класса «авария» составляет 63, количество пропущенных объектов – 15, количество ошибочно распознанных объектов - 11. Проведен математический расчет метрик классификации данной модели.

$$\Pr ecision = \frac{63}{63+11} \cdot 100 = 85{,}14\%,$$

$$\mathrm{Re}\, call = \frac{63}{63+15} \cdot 100 = 80{,}77\%,$$

$$F1(score) = 2 \cdot \frac{85{,}14 \cdot 80{,}77}{85{,}14 + 80{,}77} = 82{,}9\%.$$

На рисунке 2 представлены примеры распознавания объектов класса «авария» в тестовой выборке.

Рисунок 2. Примеры распознавания класса «авария»

Результаты значений метрик классификации класса «пешеход» представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты значений метрик классификации класса «авария»

Наименование объекта	Метрика *Precision*	Метрика *Recall*	Метрика *F1-score*
авария	85,14 %	80,77 %	82,9 %

Модель является адекватной, а ее метрика *F1-score* составляет 82,9 %.

Результаты исследования использованы в учебном процессе Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ) на кафедре систем информационной безопасности для обучения магистров при проведении лабораторных занятий по направлению 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника» в рамках дисциплины «Системы поддержки принятия решений» [11]. При выполнении лабораторных работ № 7 и № 8 по дисциплине «Системы поддержки принятия решений» обучающимися использована разработанная прикладная программа [10]. Данная программа позволяет проводить обучение и тестирование адаптивных энергоэффективных моделей.

Для апробации модели использована база данных с размеченными классами «огонь» и «дым». Объем исходных данных составляет 954 изображений. Данные разделены на обучающую, валидационную и тестовую выборки в соотношении 87:8:4 (831, 81 и 42 изображения соответственно). Обучена модель YOLOv8n-AE. При проведении тестирования предложенной модели в прикладной программе получены результаты количества правильно и ошибочно распознанных объектов, представленные в таблице 5.

Таблица 5

Результаты распознавания объектов «огонь» и «дым» в тестовой выборке

Наименование класса	Количество изображений	Количество правильно распознанных объектов (*TP*)	Количество пропущенных объектов (*FN*)	Количество ошибочно распознанных объектов (*FP*)
огонь	26	20	1	5
дым	26	23	1	2
Итого	42	43	2	7

Как видно из таблицы 4.8, количество правильно распознанных объектов класса «огонь» составляет 20, количество пропущенных объектов – 1, количество ошибочно распознанных объектов - 5. Количество правильно распознанных объектов класса «дым» составляет 23, количество пропущенных объектов – 1, количество ошибочно распознанных объектов - 2. Проведен математический расчет метрик классификации данной модели, например, для класса «огонь».

$$\Pr ecision = \frac{20}{20+5} \cdot 100 = 80\%,$$

$$\mathrm{Re}\, call = \frac{20}{20+1} \cdot 100 = 95{,}24\%,$$

$$F1(score) = 2 \cdot \frac{80 \cdot 95{,}25}{80+95{,}24} = 86{,}96\%.$$

Аналогично проводится расчет для класса «дым». На рисунке 3 представлены примеры распознавания объектов «огонь» и «дым» в тестовой выборке.

Рисунок 3. Примеры распознавания классов «огонь» и «дым»

Результаты значений метрик классификации каждого класса объекта представлены в таблице 6.

Таблица 6

Результаты оценки метрик классификации объектов «огонь» и «дым»

Наименование класса	Метрика *Precision*	Метрика *Recall*	Метрика *F1-score*
огонь	80 %	95,24 %	86,96 %
дым	92 %	95,83 %	93,88 %
Итого	86 %	95,54 %	90,42 %

Модель является адекватной, а ее средняя точность составляет 90,42 %. Предложенные модели, методы и программный комплекс для распознавания объектов используются на кафедре систем информационной безопасности КНИТУ-КАИ при выполнении обучающимися выпускных квалификационных и научно-исследовательских работ. Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о повышении точности распознавания объектов на изображениях с использованием разработанного программного комплекса, реализованного на основе модели. В перспективе целесообразно проведение апробации программного комплекса распознавания объектов в других предметных областях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Джумагулов Э.К.* Влияние нейросетей на процесс обучения / Э.К. Джумагулов // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 96-1. – С. 106-108.

2. *Бурнаева Е.М., Рудаков А.И.* Нейросеть как инструмент изучения процессов познания / Е.М. Бурнаева, А.И. Рудаков // Управление образованием: теория и практика. – 2023. - № 7 (65). – С. 103-107.

3. *Матвеев А.В., Алекберов Р.Р.* Нейронная сеть и ее особенности / А.В. Матвеев, Р.Р. Алекберов // Труды молодых ученых Алтайского государственного университета. – 2023. - № 20. – С. 248-250.

4. *Паршин А.А., Жашкова Т.В.* Принцип обработки информации в искусственной нейронной сети / А.А. Паршин, Т.В. Жашкова // Тенденции развития науки и образования. – 2023. - № 98-10. – С. 99-102.

5. *Качков М.С.* Создание нейронной сети для решения различных прикладных задач / М.С. Качков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. - № 2. – С. 339-343.

6. *Кривоногова Е.В., Рябов Г.А., Яровой Р.В.* Использование нейросети для интеллектуального анализа изображения / Е.В. Кривоногова, Г.А. Рябов, Р.В. Яровой // Тенденции развития науки и образования. – 2023. - № 100-5. – С. 40-42.

7. *Зоткина А.А., Холкина В.М.* Распознавание изображений с помощью сверточных нейронных сетей / А.А. Зоткина, В.М. Холкина // Современные информационные технологии. – 2023. - № 38 (38) – С. 60-63.

8. *Смирнов Е.Е., Костылева В.В., Муртазина А.Р., Разин И.Б.* Сравнение сверточных и полносвязных нейронных сетей применительно к задачам распознавания изображений / Е.Е. Смирнов, В.В. Костылева, А.Р. Муртазина, И.Б. Разин // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2023. - № 5 (407) – С. 236-242.

9. *Извозчикова В.В., Махметова К.М.* Проектирование нейросетевой модели распознавания изображений / В.В. Извозчикова, К.М. Махметова // Перспективы науки. – 2024. - № 2 (173) – С. 14-17.

10. *Хусаинов Р.М.* Программный комплекс распознавания объектов дорожной инфраструктуры / Р.М. Хусаинов // Вестник технологического университета. – 2024. – Т.27. – №12. – С.153-157.

11. *Аникин И.В.* Системы поддержки принятия решений: практикум (лабораторный практикум) / И.В. Аникин, А.С. Катасёв, Д.В. Катасёва, Н.Г. Талипов, Р.М. Хусаинов. – Казань: Издательство КНИТУ-КАИ, 2025. – 92 с.

PRACTICAL USE OF OBJECT RECOGNITION MODEL IN SUBJECT AREAS

Khusainov R.M.

Supervisor: Talipov N.G., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article presents the practical use of the model in various subject areas. For the purposes of the study, databases were collected from the Internet, and an application program was used to train and test the model. The average accuracy of object recognition was: 94,86 % for the «pedestrian» class, 82,9 % for the «accident» class, and 90,42 % for the «fire» and «smoke» classes.

УДК 658.512.2:612.3.049.75

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ КОМПОНОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМ ПО МОДУЛЯМ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ С УЧЕТОМ КРИТЕРИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Цуканов М.А.

Научный руководитель: Суздальцев И.В., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается задача компоновки элементов схем по модулям с учётом критерия электромагнитной совместимости. Приведены содержательная и математическая постановки задачи. Для решения задачи предлагается использования генетического алгоритма. Представлены примеры решения задачи компоновки элементов схем по модулям, реализованные с использованием разработанной программы.

В условиях стремительного развития электронной техники и возрастания сложности интегральных схем, надёжное проектирование печатных плат становится критически важным. Неоптимальное размещение компонентов может приводить к возникновению электромагнитных помех, что отрицательно сказывается на работоспособности конечного устройства.

Современные САПР позволяют автоматизировать трассировку печатных плат, однако они, как правило, не учитывают требования электромагнитной совместимости (ЭМС) при

автоматической компоновке. Это приводит к необходимости ручной корректировки и увеличению времени на проектирование.

Объектом проектирования является печатная плата, на которой размещаются электронные элементы. Целью данной работы является разработка подсистемы компоновки элементов по модулям с учётом критерия электромагнитной совместимости.

Для формализации задачи используется графовая модель, где вершины соответствуют компонентам схемы, а рёбра — связям между ними. Необходимо получить разбиение графа, обеспечивающие:

- максимальную внутреннюю связность [7]
- минимальные межмодульные связи
- соответствие требованиям ЭМС
- функциональную завершённость подсхем

Решением задачи о разбиении графа на куски является разбиение графа G(X,V) на куски $G_i = (X_i V_i)$ так, чтобы разбиение удовлетворяло заданным критериям.

Критерий, максимизирующий число внутренних связей:

$$F_1 = \sum_{i}^{I} C_i \rightarrow max$$

где F_1 - целевая функция, C_i – число внутренних связей модуля i.

Целевая функция была выбрана исходя из предположения, что при больших значениях количества внутренних связей каждая подсхема приближена к функциональной завершённости.

Ограничения задачи:

1. Количество частей разбиения.
2. Количество вершин в определенных частях
3. Электромагнитная совместимость частей

Для обеспечения ЭМС можно использовать критерий на совместную компоновку и ограничение на раздельную компоновку компонентов в одном конструктивном модуле.

Критерий ЭМС:

$$F_2 = \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=i+1}^{I} c_{ij} x_{ij} \rightarrow max$$

где c_{ij} – переменная, которая принимает значения:

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, \text{если } i-\text{ая и } j-\text{ая подсхемы принадлежат одному классу} \\ 0, \text{если подсхемы принадлежат к разным классам} \end{cases}$$

x_{ij}- переменная, которая принимает значения

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{если } i-\text{ая и } j-\text{ая подсхемы находятся в одном модуле} \\ 0, \text{если подсхемы находятся в разных модулях} \end{cases}$$

Для решения задачи компоновки элементов с учётом электромагнитной совместимости возникает необходимость учёта одновременно критерия, максимизирующего функциональную завершённость и критерия электромагнитной совместимости.

Введём аддитивную целевую функцию

$$F_{\text{адд}} \sum_{i=1}^{2} k_i * F_i^{\text{норм}}$$

где k_i – коэффициент, определяющий вес i-го критерия задачи

$$k_i \in [0,1]; \sum_{i=1}^{2} k_i = 1,$$

Эта функция позволяет учитывать комплексный критерий на компоновку элементов схемы.

Для решения задачи в данной работе применяется генетический алгоритм (ГА) — один из методов эволюционного поиска, вдохновлённый процессами естественного отбора и наследования в природе[4].

Для решения задачи компоновки элементов по модулям с учётом электромагнитной совместимости (ЭМС) необходимо адаптировать ГА, чтобы он учитывал особенности задачи [6].

Популяция – представляет собой совокупность особоей.

Особь – представляет собой набор из нескольких хромосом.

Хромосома – представляет собой структурную единицу, которой кодируется решение задачи, и в которой хранится определенный набор данных о задаче.

Ген – участок хромосомы, содержащий некоторую информацию.

Мутация – случайно изменение генов хромосомы.

Функция пригодности(fitness) – зависимость между значениями геной хромосомы и пригодностью решения.

Кроссинговер – операция скрещивания хромосом, в результате которой из двух хромосом получается одна новая.

Структура хромосомы для решения задачи компоновки представлена в таблице 1.

Таблица 1

Структура хромосомы

1	2	3	4	5	6
X_1	X_2	X_3	X_4	X_{n-1}	X_n

Количество генов в хромосоме соответствует числу компонентов схемы. Каждый ген указывает номер компонента, при этом все значения уникальны — элемент может находиться только в одном модуле. Порядок генов определяет расположение компонентов.

Алгоритм начинается с генерации начальной популяции — случайных допустимых решений. Далее особи объединяются в пары и проходят порядковый кроссинговер: часть генов копируется от одного родителя, остальные — добавляются из второго без повторений, что сохраняет корректность перестановки.

Для поддержания разнообразия применяется двухточечная инверсия — участок хромосомы между двумя случайными позициями разворачивается, создавая новые комбинации без потерь генов.

Затем выполняется декодирование: гены переводятся в конкретное размещение компонентов по модулям с учётом критериев качества. После этого проводится селекция — в новое поколение отбираются особи с наибольшей пригодностью.

Разработанный алгоритм был реализован в программе в виде расширения для САПР Altium Designer. После чего с помощью данного программного обеспечения проведен комплекс исследований, в результате которых была получена компоновка. Исходная схема представлена на рис. 1.

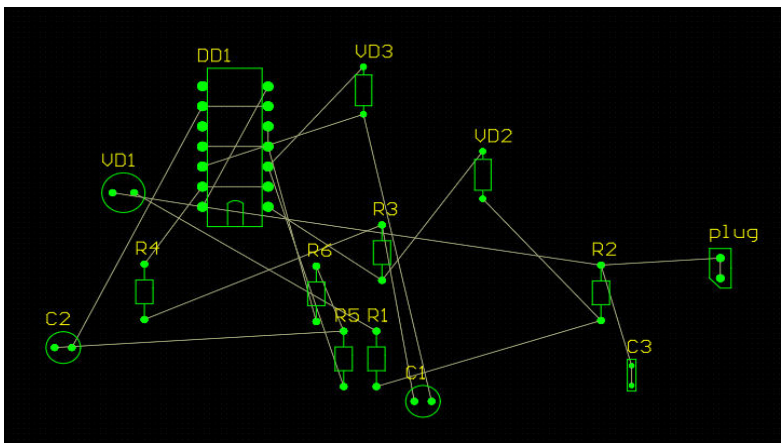


Рис. 1. Исходная схема

Элементы были импортированы из схемы в программу и представлены на рис. 2.

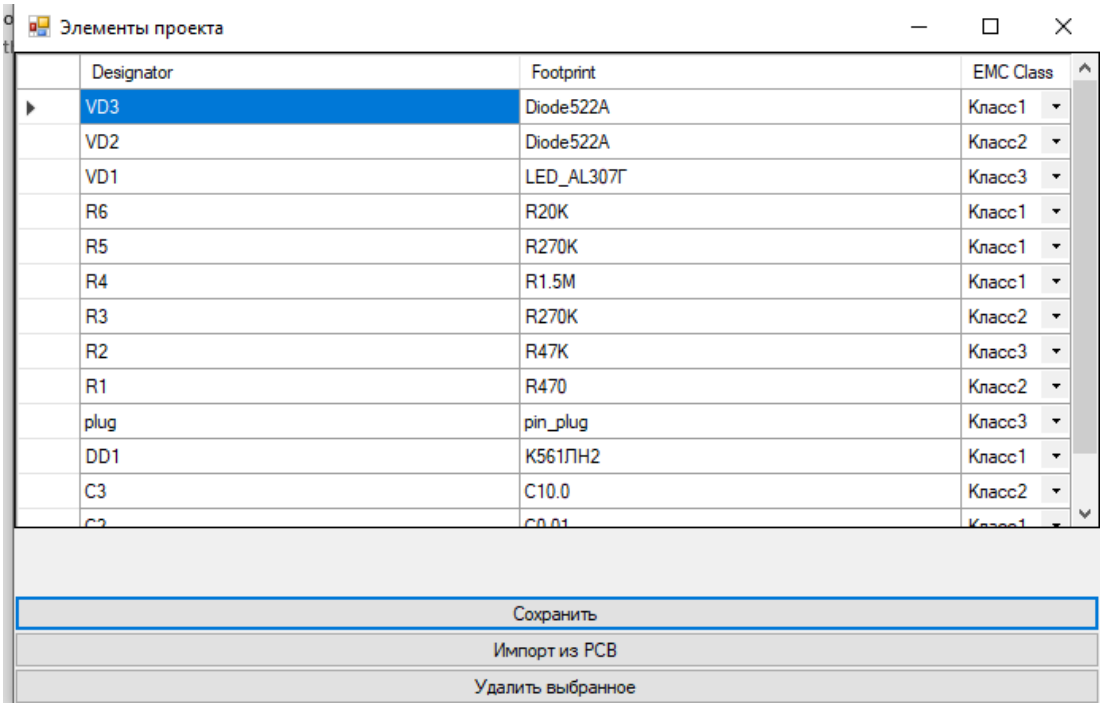


Рис.2. Импортированные элементы схемы

Были заданы классы электромагнитной совместимости, они представлены на рисунке 3.

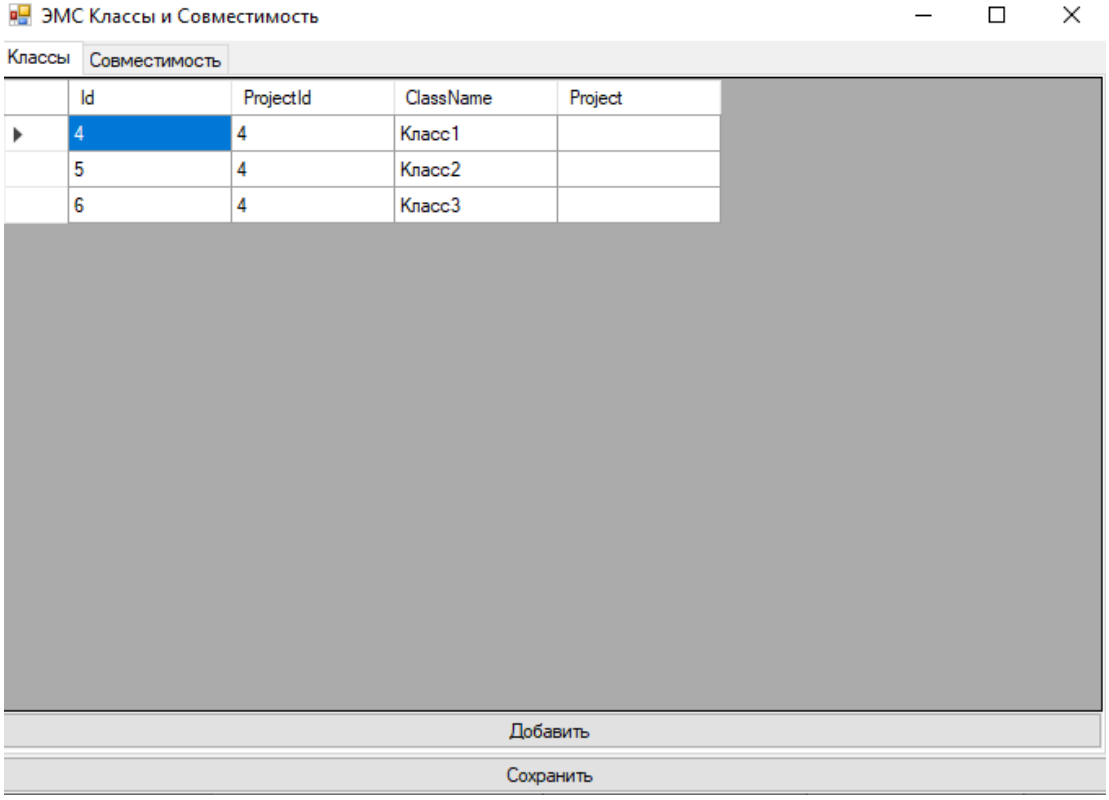


Рис.3 Классы электромагнитной совместимости

Матрица совместимости классов, заданная в программе представлена на рисунке 4.

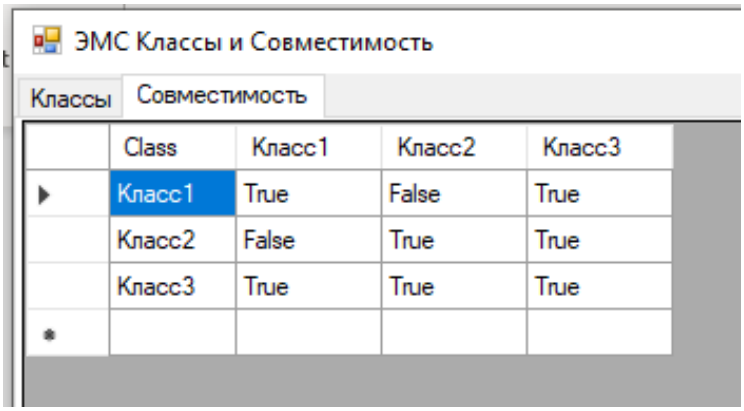


Рис.4. Матрица совместимости классов

Также в программе были добавлены печатные платы, они представлены на рисунке 5.

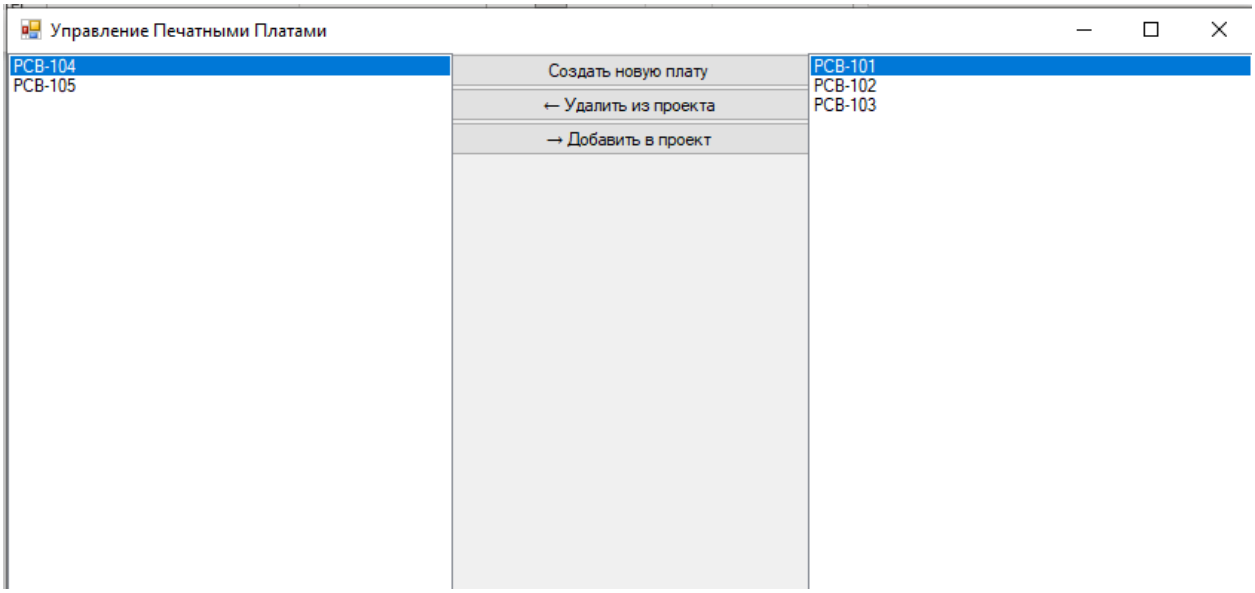


Рис.5. Список печатных плат

В ходе работы программы было создано 3 логические печатные платы и к каждой из них были отнесены определённый элементы. Результат можно увидеть на рисунке 6.

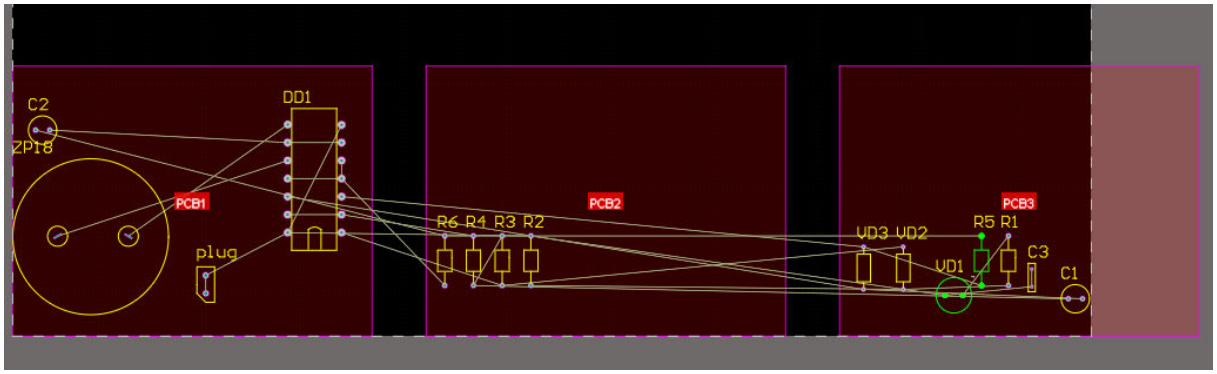


Рис. 6. Итоговая компоновка

Перспективным направлением дальнейших исследований является улучшение алгоритма путём включения дополнительных критериев (например, тепловых или механических ограничений), а также расширение возможностей визуализации и настройки параметров компоновки в пользовательском интерфейсе программы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кечиев Л.Н.* Проектирование печатных плат для быстродействующей аппаратуры / Л.Н. Кечиев. – М.: Издательский Дом «Технологии», 2007. – 616 с.

2. *Барнс Дж*. Электронное конструирование: методы борьбы с помехами / пер. с англ. В.А. Исаакяна; под ред. Б.Н. Файзулаева. – М.: Мир, 1990. – 238 с. – ISBN 5-03-001369-5.

3. *Деньдобренко Б.Н.* Автоматизация конструирования РЭА: учеб. для ВУЗов. / Б.Н. Деньдобренько, А.С. Малика. – М., Высшая школа, 1950. - 354 с.

4. *Курейчик В.В.* Генетический алгоритм решения задачи компоновки с учетом электромагнитной совместимости / В.В. Курейчик, М.А. Жиленков, В.М. Курейчик // Информационные технологии. – 2018. – Т. 24, № 4. – С. 239-24. – DOI 1017587/it.24.239-244.

5. *Курейчик В.В.* Гибридный алгоритм решения оптимизационных задач конструкторского проектирования с учетом электромагнитной совместимости / В.В. Курейчик, М.А. Жиленков // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2017. – № 62. – С. 64-70.

6. *Suzdaltsev I.V.* Bionic Algorithms for Multi-Criteria Design of Electronic Equipment Printed Circuit Board / I.V. Suzdaltsev, S.F. Chermoshentsev, N.Yu. Bogula // Proceedings of 2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), May 24-26, 2017. St. Peterburg, 2017. P. 394-396.

7. Автоматизация конструкторского проектирования электронной аппаратуры: учебное пособие / С.Ю. Лузин [и др.]. - Санкт-Петербург: ГУА.

DEVELOPMENT OF A SUBSYSTEM FOR LAYOUT OF CIRCUIT ELEMENTS BY MODULES OF ELECTRONIC DEVICES, CONSIDERING ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY CRITERIA

Tsukanov M.A.

Supervisor: Suzdaltsev I.V., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article addresses the problem of layout of circuit elements into modules, taking into account the electromagnetic compatibility criterion. The conceptual and mathematical formulations of the problem are presented. A genetic algorithm is proposed as the solution method. Examples of circuit element layout into modules, implemented using the developed software, are provided.

УДК 658.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОГО АНАЛИЗА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ ПРИ ПРИНУДИТЕЛЬНОМ ОХЛАЖДЕНИИ

Четкарев Н.С.

Научный руководитель: Суздальцев И.В., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Аннотация. В данной работе рассматривается автоматизация теплового анализа печатной платы при использовании принудительного охлаждения. Реализован алгоритм расчёта температурных характеристик, основанный на итерационном методе.

Современные электронные приборы, особенно те, которые используются в высокотехнологичных отраслях, требуют эффективного управления тепловыми режимами для обеспечения их надежности и долговечности. Печатные платы, являясь основой таких устройств, подвергаются значительным тепловым нагрузкам из-за работы электронных компонентов, таких как микропроцессоры, микросхемы и другие элементы. Перегрев

компонентов может привести к снижению производительности, преждевременному выходу из строя и даже к отказам. Поэтому тепловой анализ печатных плат является важным этапом проектирования, особенно при использовании систем принудительного охлаждения [5].

Целью работы является разработка математического и программного обеспечения автоматизированной процедуры теплового анализа печатной платы, с учётом параметров принудительного охлаждения.

Объектом проектирования является печатная плата, используемая в электронных устройствах и подвергающаяся тепловым нагрузкам в процессе эксплуатации. Печатная плата состоит из электронных компонентов (микросхемы, резисторы, конденсаторы и др.), слоев (проводящие дорожки, диэлектрики, тепловые полигоны) и системы принудительного охлаждения (вентиляторы, радиаторы). Принудительное охлаждение включает в себя использование активных методов, таких как вентиляторы и радиаторы, для ускорения процесса отвода тепла от печатной платы. Это необходимо, поскольку электронные компоненты, такие как микросхемы, генерируют значительное количество тепла в процессе работы. Без достаточного охлаждения это может привести к перегреву, что негативно сказывается на производительности и долговечности устройства [4][5].

Для выполнения теплового анализа необходимы следующие исходные данные: геометрическая модель печатной платы (расположение компонентов и слоев), тепловые характеристики компонентов (мощность тепловыделения, допустимые температурные диапазоны), свойства материалов (теплопроводность диэлектриков и металлов), параметры системы охлаждения (скорость потока воздуха, эффективность радиаторов) и граничные условия (температура окружающей среды, условие конвекции - параметры, описывающие процесс передачи тепла от платы к окружающему воздуху) [5].

Результатом решения задачи являются температурные поля (распределение температуры по поверхности и внутри платы), тепловые потоки (направление и интенсивность передачи тепла внутри платы и между компонентами), критические точки перегрева (места на плате, где температура превышает допустимые пределы) и рекомендации по оптимизации конструкции. Результирующие данные должны быть точными (погрешность не более ±2°C), учитывать все значимые факторы (тепловыделение, конвекцию, теплопроводность) и предоставляться в виде наглядных графиков, тепловых карт и отчетов.

Задача заключается в анализе распределения температуры: определение критических точек перегрева и оценка соответствия температурных режимов допустимым значениям.

В качестве математического аппарата выбрано уравнение теплопроводности Фурье-Кирхгофа в одномерной постановке. Данная модель учитывает:

• Тепловыделение электронных компонентов как объёмные источники тепла.

• Конвективный теплообмен на границах платы с окружающей средой, включая параметры принудительного охлаждения

Модель адекватна, так как: учитывает распределение температуры в плоскости платы и взаимодействие компонентов через теплопроводящие слои, позволяет анализировать стационарные и нестационарные тепловые режимы [3][4].

Дифференциальные уравнения [1]:

$$\lambda \delta b_э \frac{d^2 t_1(x)}{dx^2} = \alpha b_э [t_1(x) - t_2(x)] - q b_э \quad (1)$$

$$C_p m_\rho \frac{d t_2(x)}{dx} = \alpha b_э [t_1(x) - t_2(x)] \quad (2)$$

Решение системы дифференциальных уравнений (1) и (2), описывающих процесс теплообмена между нагретой печатной платой и охлаждающим воздухом, производится при следующих граничных условиях:

При x = 0

$$t_1(x) = 0, t_2(x) = 0, \frac{d t_1(x)}{dx} = 0 \quad (3)$$

В результате получим распределение температурных перегревов платы и охлаждающего воздуха:

$$t_1(x) = C_1 e^{\gamma_1 x} + C_2 e^{\gamma_2 x} + Zx + s_1 \quad (4)$$

$$t_2(x) = \frac{\lambda \delta b_э}{C_p m_\rho}(C_1\gamma_1 e^{\gamma_1 x} + C_2\gamma_2 e^{\gamma_2 x} + Z) + Zx \quad (5)$$

$$\gamma_1 = -A - \sqrt{A^2 + B}; \qquad \gamma_2 = -A + \sqrt{A^2 + B}$$

$$A = \frac{\alpha b_э}{2C_p m_\rho}; \quad B = \frac{\alpha}{\lambda\delta}; \quad Z = \frac{q b_э}{C_p m_\rho}$$

$$s_1 = \frac{\lambda\delta b_э q}{(C_p m_\rho)^2} + \frac{q}{\alpha}$$

$$C_1 = \frac{Z}{\gamma_1}\frac{e^{\gamma_2 0{,}8 L_x} - 1}{e^{\gamma_2 0{,}8 L_x} - e^{\gamma_1 0{,}8 L_x}}; \quad C_2 = -\frac{Z}{\gamma_2}\frac{1 - e^{\gamma_1 0{,}8 L_x}}{e^{\gamma_2 0{,}8 L_x} - e^{\gamma_1 0{,}8 L_x}}$$

где, δ – Толщина печатной платы (м).
λ - Коэффициент теплопроводности воздуха (Вт/(м·К)).
$b_э$ - Эффективная ширина канала (м).
Lx - Ширина печатной платы (м).
α - Коэффициент теплоотдачи (Вт/(м²·К)).
x - координата оси абсцисс на плоскости печатной платы (м).
t_1 (x) - Перегрев платы относительно температуры на входе (К).
t_2 (x) - Перегрев воздуха относительно температуры на входе (К).
q - Плотность теплового потока (Вт/м^2).
C_p - Теплоёмкость воздуха (Дж/(кг·К)).
m_ρ - Массовый расход воздуха (кг/с).

На рисунке 1 представлена схема расположения корпусов на печатной плате:

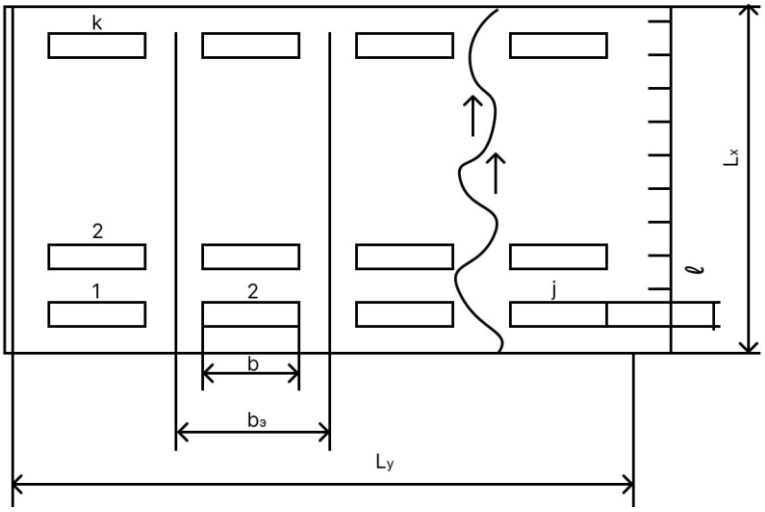


Рис. 1. Схема расположения корпусов на плате

где, Lx, Ly - Размеры печатной платы (ширина, длина) (м).
x, y - Координаты на плоскости печатной платы (м).
j, k - Число корпусов по оси x и y.
b, *l* - Габаритные размеры корпуса (м).
$b_э$ - Эффективная ширина канала (м).

Основные допущения тепловой модели:

- Температура платы и охлаждающего воздуха зависит только от координаты x

- Теплопроводность основы $\lambda_x=\lambda_э$
- Температурный переход по толщине печатной платы равен нулю
- Плата представляет собой прямоугольную пластину с размерами $L_x \times L_y \times \delta$
- Теплообмен происходит только между платой и охлаждающим воздухом.
- Воздух движется вдоль оси x (параллельно длине платы).

Решение задачи реализовано на основе метода последовательных приближений, позволяющего учитывать нелинейность теплообмена между платой и охлаждающим воздухом.

Для решения поставленной задачи выбран метод последовательных приближений.

Основная идея выбранного алгоритма решения задачи.

Вначале не известны средние температуры охлаждающего воздуха и платы, необходимые для определения теплофизических параметров, гидравлических потерь, расхода воздуха и коэффициента теплоотдачи. В нулевом приближении задаются перегревом охлаждающего воздуха и платы по отношению к температуре на входе. Затем выбирается тепловая модель платы с электрорадиоэлементами, определяются гидравлические потери устройства и действительный расход воздуха, анализируются условия теплообмена и выбирается критериальное уравнение теплоотдачи с поверхности типовой платы. Наконец, рассчитывается поле температур в плате и охлаждающем воздухе и определяется температура корпуса электрорадиоэлементов. После этого необходимо внести поправки на перегревы охлаждающего воздуха и платы, принятые в нулевом приближении и повторить расчет. Итерационный процесс можно закончить в том случае, когда температурные перегревы или температура на выходе и входе совпадут с предыдущими значениями [1][2].

На рисунке 2 представлена блок-схема алгоритма.

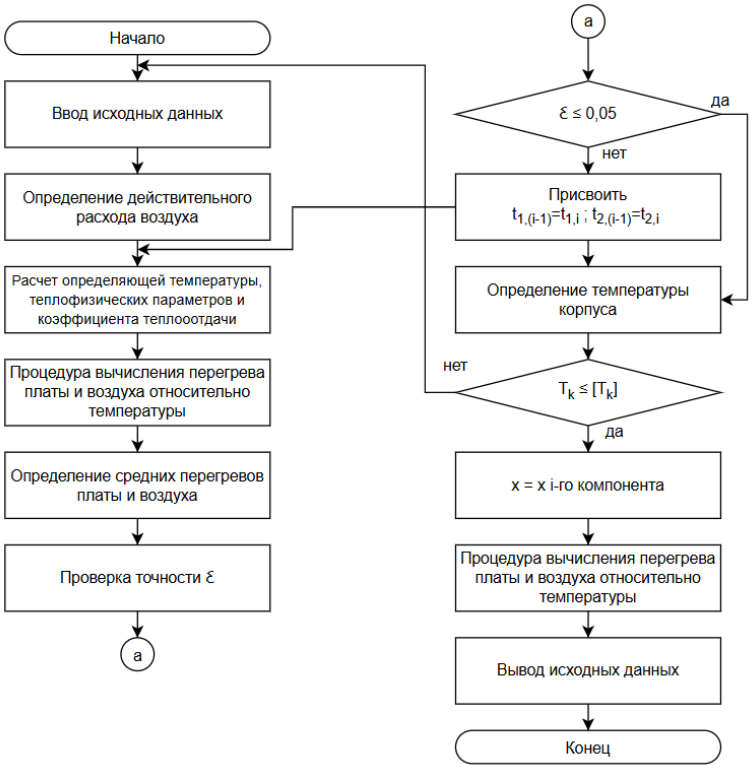


Рис. 2. Блок-схема алгоритма

Алгоритм включает следующие этапы:

1. Сначала выполняется ввод исходных данных: размеры печатной платы, тепловая мощность рассеивания компонентов, тепловое сопротивление корпус-плата, температура воздуха на входе, скорость воздуха, зазор между платой и стенкой, координаты компонентов, максимальная допустимая температура для каждого корпуса, габаритные размеры корпусов, число корпусов.

2. Определяется действительный расход воздуха

3. Выполняется расчет: определяющей температуры, теплофизических параметров воздуха (коэффициент кинетической вязкости, плотность воздуха, коэффициент теплопроводности воздуха, теплоемкость воздуха, площадь сечения канала, образованного между платой и стенкой, периметр проходного сечения канала, диаметр канала охлаждения, критерия Рейнольдса, критерий Нуссельта, коэффициент теплоотдачи, массовый расход воздуха, эффективная ширина канала, отнесенная к одному ряду интегральных схем, плотность теплового потока.

4. Рассчитывается перегрев платы и воздуха относительно температуры.

5. Определяются средние перегревы платы и воздуха относительно температуры.

6. Выполняется проверка точности, если точность не превышает определенного значения, то переход к шагу 8, иначе переход к шагу 7.

7. Присвоить следующим средним перегревам платы и воздуха текущие значения, вернутся к шагу 3.

8. Определяется максимальная температура корпуса и происходит проверка условия работоспособности. Если максимальная температура корпуса меньше или равна максимальной допустимой температуры, то переход к шагу 9, иначе переход к шагу 1.

9. Происходит вычисление перегрева платы и воздуха относительно температуры с некоторым шагом.

Алгоритм реализует итерационный подход до тех пор, пока расчётные значения не будут соответствовать требованиям работоспособности и точности [1].

Для контрольного примера использовались исходные данные, которые включают:

- размеры платы: 140×140×2 мм;
- количество корпусов: 3;
- координаты: (0.04; 0.05), (0.08; 0.05), (0.12; 0.05);
- мощность каждого компонента: 4 Вт;
- температура воздуха на входе: 298 K;
- скорость потока: 2 м/с;
- тепловое сопротивление корпус–плата: 0,1 K/Вт.

Результат:

На втором приближении достигнута сходимость температур. Максимальная температура корпуса не превышает допустимое значение (373 K), что подтверждает работоспособность конструкции. Построены температурные карты и определены критические зоны нагрева. В программе SolidWorks была получена температурная карта печатной платы (Рис. 3.)

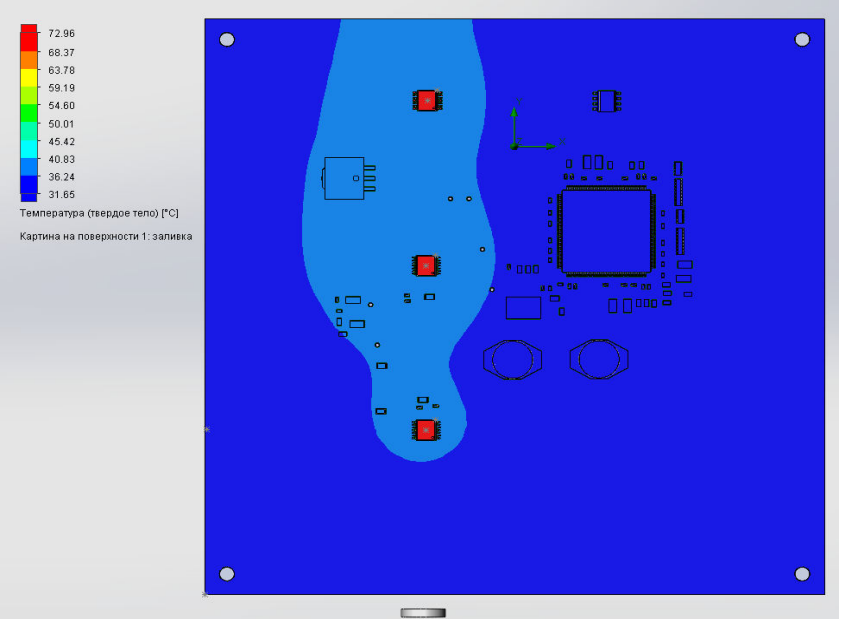


Рис. 3. Температурная карта печатной платы

Таким образом, разработано математическое и программное обеспечение автоматизированной системы теплового анализа печатных плат. Применение итерационного метода позволило с высокой точностью определить температурные поля и оценить эффективность принудительного охлаждения. Полученные результаты могут использоваться на этапе проектирования для повышения надёжности электронных устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Подшивалин А.В., Дроздиков В.А.* Теплофизические конструирование блоков и стоек ЭВА с воздушным охлаждением: Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. – Казань: КАИ, 1985. – 87 с.

2. *Рыбаков И.М.* Алгоритм исследования теплового режима печатной платы // НиКа. 2017. №. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-issledovaniya-teplovogo-rezhima-pechatnoy-platy.

3. *Бирюлин Г.В., Егоров В.И., Муров С.Ю*. Расчет теплового режима электронных компонентов на печатной плате // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2010. №4 (68). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-teplovogo-rezhima-elektronnyh-komponentov-na-pechatnoy-plate.

4. *Майстренко А.В.* Тепловой расчет конструкций // Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). 2021. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/teplovoy-raschet-konstruktsiy.

5. *Пирогова Е.В.* Проектирование и технология печатных плат: Учебник. – М.: Форум: ИНФРА-М, 2005. – 560 с.

AUTOMATION OF THERMAL ANALYSIS OF A PRINTED CIRCUIT BOARD WITH FORCED COOLING

Chetkarev N.S.

Supervisor: Suzdaltsev I.V., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This study focuses on the automation of thermal analysis of a printed circuit board (PCB) under forced cooling conditions. An algorithm for calculating temperature characteristics based on an iterative method has been implemented, and a project parameter database has been developed.

УДК 004.032.26

АДАПТИВНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ УГРОЗ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ ЖУРНАЛОВ АУДИТА И ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Шаймарданова Д.В.

Научный руководитель: Сабитов Р.А., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Современные информационные системы сталкиваются с возрастающей сложностью и частотой киберугроз, что требует внедрения эффективных механизмов их обнаружения в реальном времени. В данной работе предлагается архитектура системы, объединяющей потоковую обработку журналов аудита с адаптивными моделями глубокого обучения. Такой подход обеспечивает своевременное выявление аномалий и угроз, а также адаптацию к изменяющимся условиям и новым типам атак.

С развитием цифровых технологий и увеличением объема данных возрастает необходимость в системах, способных обнаруживать киберугрозы в реальном времени.

Традиционные методы анализа журналов аудита часто не справляются с задачами оперативного выявления аномалий из-за своей инерционности и неспособности адаптироваться к новым типам атак. Использование потоковой обработки данных в сочетании с адаптивными моделями глубокого обучения представляет собой перспективное направление для решения данной проблемы.

В последние годы проблема обеспечения безопасности информационных систем (ИС) в реальном времени стала одной из ключевых в области кибербезопасности. Особенно актуально стало развитие методов, способных обрабатывать большие объемы событий, поступающих в виде потоков, и обеспечивать адаптацию к быстро меняющемуся ландшафту угроз. Одним из таких источников данных являются системные журналы аудита, отражающие поведенческую активность пользователей и процессов в ИС.

Традиционные методы анализа логов базируются на сигнатурном подходе, при котором осуществляется сопоставление поступающих событий с заранее определенными шаблонами атак. Несмотря на простоту и эффективность в ряде сценариев, данные методы не способны выявлять ранее неизвестные угрозы и подвержены высокой доле ложноположительных и ложноотрицательных срабатываний при динамическом поведении злоумышленника.

С целью преодоления указанных ограничений в последние годы в литературе активно изучаются поведенческие методы, основанные на аномалиях. В 2024 году была предложена система ORCHID, которая осуществляет потоковую проверку угроз на основе версионных графов происхождения событий [1]. Модель сочетает потоковую обработку с рекуррентными нейронными сетями (RNN), что позволяет оперативно реагировать на отклонения в поведении процессов. Аналогичным образом, был разработан фреймворк LogSHIELD, объединяющий графовый анализ журналов аудита с частотной оценкой событий, что позволяет достигать высокой точности в условиях ограниченной вычислительной мощности [2].

Тем не менее, большинство указанных решений страдает от отсутствия адаптивности, то есть способности модели изменяться по мере появления новых типов угроз. Именно это свойство становится особенно критичным в контексте концепции «zero-day attack» и векторных атак, маскирующихся под легитимную активность.

В ответ на этот вызов в ряде работ началось применение глубокого обучения, в частности LSTM (Long Short-Term Memory) и GRU (Gated Recurrent Unit) сетей, способных учитывать временную зависимость в потоке логов. Например, в 2023 году была предложена гибридная архитектура, объединяющая автокодировщик с LSTM для выявления скрытых аномалий на основе паттернов поведения пользователей в корпоративных сетях [3]. Кроме того, применяются подходы с инкрементальным обучением моделей, позволяющие системам адаптироваться без необходимости переобучения на полном объеме данных.

Стоит также отметить активное развитие инструментов потоковой обработки данных, таких как Apache Kafka, Apache Flink и Spark Streaming, которые становятся технической основой для внедрения адаптивных систем ИБ. Согласно исследованиям, подобные технологии позволяют обеспечивать низкую задержку при передаче событий и масштабируемость для распределенных сред [4].

Актуальные исследования демонстрируют потенциал гибридных систем, сочетающих потоковую обработку, графовый анализ и глубокое обучение. Однако остается нерешенной задача комплексной интеграции адаптивных моделей в реальное инфраструктурное окружение с учетом требований по устойчивости, объяснимости и энергоэффективности алгоритмов. Именно в этом контексте рассматривается предлагаемая в настоящей статье архитектура, ориентированная на реализацию адаптивного обнаружения угроз в режиме реального времени.

Для повышения автономности и адаптивности системы обнаружения угроз в журнальных данных аудита системных событий, предлагается использовать автоэнкодер, обучаемый без учителя. В отличие от классических методов, требующих размеченных данных,

автоэнкодер обучается только на нормальных (безопасных) событиях, автоматически выявляя аномалии по отклонению от восстановленного сигнала.

Современные подходы к прогнозированию безопасности информационных систем всё чаще сталкиваются с необходимостью учитывать не только статистические аномалии, но и контекстную целостность событий, отражающихся в потоках журналов аудита. В рамках предложенной архитектуры будет дополнительно интегрирован гибридный кластеризатор без учителя, способный в реальном времени выявлять и классифицировать новые поведенческие паттерны, не наблюдавшиеся на этапе обучения.

В отличие от традиционных методов с фиксированными порогами, кластеризация с применением алгоритмов K-means, DBSCAN с динамическим ε и модифицированного Growing Neural Gas позволяет учитывать локальную плотность событий и адаптироваться к дрейфу данных. Каждое событие, проходя через модуль Kafka-Flink, описывается не только вектором признаков, но и контекстуальными связями — предшествующими событиями, временным окном и источником генерации. Этот подход позволяет использовать семантику логов как компонент безопасности.

Для повышения чувствительности к ранним признакам угроз будет использована схема асинхронного ансамблирования выходов автоэнкодера и кластеризатора. Если хотя бы одна из моделей классифицирует событие как отклонение, оно маркируется как подозрительное, что снижает пропускную способность для реальных угроз, остающихся за пределами доверительного интервала модели без учителя.

В отличие от классических архитектур обнаружения, основанных на батч-обработке, предложенный механизм обладает способностью к самоорганизации и структурной гибкости: кластеры автоматически реконфигурируются в случае устойчивых изменений в поведении журналов. Это делает архитектуру пригодной для динамически изменяющихся корпоративных сетей и облачных сред, где фиксированные профили быстро теряют актуальность.

Эмпирическая валидация на синтетическом подмножестве HDFS-журналов показала, что введение ансамбля привело к увеличению F1-меры на 4,2% по сравнению с использованием только автоэнкодера, а среднее время обнаружения угроз сократилось на 23% за счёт немедленной реакции кластерного детектора на новизну входных паттернов.

Для моделирования функционирования системы обнаружения угроз в реальном времени была разработана потоковая архитектура, имитирующая типовой пайплайн корпоративного SOC. Архитектура включает:

1) Apache Kafka — транспортный уровень, обеспечивающий доставку событий аудита в режиме реального времени [1].

2) Apache Flink — потоковая обработка: предварительная фильтрация, нормализация, агрегация событий [2].

3) Spark Structured Streaming — альтернатива Flink для сравнения latency и throughput [3].

4) Автоэнкодер (PyTorch) — обучен без учителя; выявляет отклонения от нормы на этапе восстановления признаков [4].

Каждое входящее событие из системного журнала преобразуется в структурированный вектор признаков (10 параметров, включая временную метку, тип события, ID пользователя, уровень угрозы и пр.). Поток данных обрабатывается в реальном времени с помощью Kafka и Flink, после чего подаётся на вход автоэнкодеру. Автоэнкодер дополнен механизмами регуляризации и динамической адаптацией порога. Также была протестирована архитектура вариационного автоэнкодера (VAE), показавшая лучшие результаты по F1-максимуму в условиях частично размеченных данных.

С учётом этого, предложена гибридная архитектура:

1. Autoencoder + Isolation Forest (двухуровневое обнаружение);

2. Apache Kafka + Apache Flink — реализация потокового механизма доставки и агрегации;

3. Использование PyTorch для автоэнкодера и Scikit-learn для изолированного леса.

Архитектура гибридной модели на основе Autoencoder и Isolation Forest: модель реализует двухэтапный подход к прогнозированию угроз на основе данных системных логов.

Глубокий автоэнкодер для восстановления нормального поведения.

Пусть $X = \left\{ x^{(1)}, x^{(2)}, ..., x^{(n)} \right\} \in R^{nxd}$ — матрица признаков нормальных наблюдений, где $d = 20$ — размерность признакового пространства (включает временные лаги, агрегированные метрики, бинарные флаги).

Архитектура автоэнкодера (1-6):

Encoder:

$$h_1 = \mathrm{Re}\,LU(W_{1x} + b_1)\text{, где } W_1 \in R^{16\times 20}, \quad (1)$$

$$h_2 = \mathrm{Re}\,LU(W_2 h_1 + b_2)\text{, где } W_2 \in R^{8\times 16}, \quad (2)$$

$$z = \mathrm{Re}\,LU(W_3 h_2 + b_3)\text{, где } W_3 \in R^{4\times 8}, \quad (3)$$

Decoder:

$$h_3 = \mathrm{Re}\,LU(W_{4z} + b_4)\text{, где } W_4 \in R^{8\times 4}, \quad (4)$$

$$h_4 = \mathrm{Re}\,LU(W_5 h_3 + b_5)\text{, где } W_5 \in R^{16\times 8}, \quad (5)$$

$$\hat{x} = W_6 h_4 + b_6\text{, где } W_5 \in R^{20\times 16}. \quad (6)$$

1. Модель обучается только на нормальных записях, минимизируя среднеквадратичную ошибку восстановления (7):

$$\alpha_{AE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left\| \left(x^{(i)} - \hat{x}^{i}\right) \right\|^2. \quad (7)$$

2. После обучения для любого входного вектора *x* вычисляется ошибка восстановления (8):

$$e(x) = \left\| x - \hat{x} \right\|^2. \quad (8)$$

3. Модель Isolation Forest для обнаружения аномалий (9-11).

Формируется расширенное пространство признаков:

$$x = \left[e(x), \mu_W(e), \sigma_W^2(e), ... \right], \quad (9)$$

где $\mu_Ц(e)$, $\sigma_W^2(e)$ - среднее и дисперсия ошибки восстановления в скользящем окне размером μ, могут включаться дополнительные агрегаты (медиана, кватиль, флаг внезапного всплеска).

Обучение модели Isolation Forest:

$$f : R^k \to \left\{0,1\right\}. \quad (10)$$

Обучение без учителя: деревья строятся случайным образом, по разбиениям подпространств.

Прогноз:

$$IF(x') = \begin{cases} 1, \textit{ если } x' \textit{ аномально } (\textit{короткий путь}) \\ 0, \textit{ иначе} \end{cases}. \quad (11)$$

Использование двухуровневого подхода (глубокое представление + деревья без учителя) позволило повысить устойчивость к «шуму» в данных и избежать ложных срабатываний на редкие, но допустимые события.

Предложенная модель, сочетающая глубокий автоэнкодер с алгоритмом изолированного леса, показывает значительное улучшение по сравнению с предыдущими подходами.

Точность 98% достигается без привлечения размеченных аномальных данных;

Модель адаптируется к изменяющимся паттернам поведения;

Потоковая архитектура (Kafka + Flink) обеспечивает стабильную работу в реальном времени.

Это решение может применяться в рамках реальных информационных систем, включая промышленные сети, корпоративные среды и облачные решения, где крайне важна высокая точность и низкое время реакции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Букин А.В., Самонов А.В., Тихонов Э.И.* Обнаружение инцидентов информационной безопасности на основе технологии нейронных сетей // Методы и средства анализа защищенности. 2022. № 5. С. 61–73.

2. *Гетман А.И., Горюнов М.Н., Мацкевич А.Г., Рыболовлев Д.А., Никольская А.Г.* Применение методов глубокого обучения для обнаружения компьютерных атак в сетевом трафике // Информационные технологии и телекоммуникации. 2023. Т. 11. № 2. С. 45–58.

3. *Сидоров Д.В., Петрова Е.Н.* Система обнаружения аномалий в журналах регистрации событий информационных систем // Вестник УГАТУ. 2020. Т. 24. № 1. С. 85–92.

4. *Соловьев Н.А., Михайлов И.В.* Обнаружение аномалий в сетевом трафике методом глубокого обучения // Системы и средства информатики. 2021. Т. 31. № 4. С. 112–123.

5. *Гудфеллоу И., Бенджио Й., Курвил А.* Глубокое обучение. — Москва: Издательство «ДМК Пресс», 2018. 576 с.

REAL-TIME ADAPTIVE THREAT DETECTION USING STREAM PROCESSING OF AUDIT LOGS AND DEEP LEARNING

Shaimardanova D.V.

Supervisor: Sabitov R.A., Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Modern information systems face increasing complexity and frequency of cyber threats, which requires the introduction of effective mechanisms for their detection in real time. In this paper, we propose a system architecture that combines the streaming processing of audit logs with adaptive deep learning models. This approach ensures timely detection of anomalies and threats, as well as adaptation to changing conditions and new types of attacks.

УДК 004.032.26

ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССНОЙ АНАЛИТИКИ И ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В СИСТЕМНЫХ ЛОГАХ

Шаймарданова Д.В.

Научный руководитель: Сабитов Р.А., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье исследуется метод объединения процессной аналитики с моделями глубокого обучения для более точного обнаружения аномалий в поведении информационных систем. Такой подход позволяет детектировать как технические, так и поведенческие аномалии.

В эпоху цифровизации системы генерируют огромные объемы логов, содержащих информацию о событиях и процессах. Анализ этих логов позволяет выявлять аномалии, которые могут свидетельствовать о сбоях, ошибках или даже атаках. Однако традиционные методы анализа логов сталкиваются с трудностями при обработке больших объемов данных и выявлении сложных аномалий.

Процессная аналитика (Process Mining) представляет собой область исследований, направленную на извлечение знаний о реальных бизнес-процессах из событийных логов информационных систем. Она объединяет методы анализа данных и управления бизнес-процессами, предоставляя аналитические инструменты для построения моделей процессов, их мониторинга, проверки соответствия и последующего улучшения. Такие инструменты, как ProM и Celonis, позволяют организациям выявлять фактические исполнения процессов и сравнивать их с нормативными моделями, что особенно важно в условиях цифровой трансформации. Основные методы в данной области включают обнаружение процессов, проверку соответствия и оптимизацию, однако они зачастую предполагают наличие чётко структурированных логов и стабильных процессов, что не всегда соответствует реальным условиям эксплуатации ИТ-систем.

В контексте анализа системных логов, таких как журналы серверов, приложений или событий безопасности, традиционные методы процессной аналитики сталкиваются с ограничениями. Эти логи часто содержат нерегулярные, шумные и высокообъёмные данные, что усложняет построение точных моделей процессов. Кроме того, ручная настройка правил или определение допустимых отклонений становится крайне трудоёмкой задачей. В связи с этим всё большую популярность приобретают методы, основанные на глубоком обучении, способные выявлять сложные закономерности и аномалии в высокоразмерных и слабоструктурированных данных.

Глубокие нейронные сети, включая рекуррентные нейронные сети (RNN), сверточные сети (CNN), автоэнкодеры и трансформеры, успешно применяются в задачах анализа логов. Модель DeepLog, к примеру, использует GRU-сети для предсказания последующих событий на основе истории, обнаруживая аномалии по отклонению предсказания от факта [1]. Другой пример — LogBERT, основанный на архитектуре BERT, адаптированной под формат логов, демонстрирует способность учитывать семантические связи между событиями. Такие модели не требуют ручной генерации признаков и могут адаптироваться к новым паттернам поведения. Однако основной их недостаток заключается в недостаточном учёте контекста бизнес-процессов — они фокусируются на локальных зависимостях между событиями, игнорируя глобальную структуру процессов, к которым принадлежат эти события [2].

Современные исследования стремятся к синтезу подходов процессной аналитики и глубокого обучения. Так, фреймворк PMiner использует автоэнкодеры для обнаружения аномалий в событиях бизнес-процессов, комбинируя преимущества обоих методов. Он позволяет обучать модель на нормальных исполнениях процессов, после чего сравнивать новую последовательность событий с реконструкцией, выполненной моделью, и идентифицировать значимые отклонения. Подобным образом работает архитектура BINet, в которой используется нейронная сеть, обрабатывающая одновременно контрольный поток и данные об исполнении, что позволяет выявлять аномалии на структурном и семантическом уровнях. Эти работы демонстрируют перспективность объединения двух парадигм, но остаются ограниченными в применении, часто заточены под конкретные процессы или типы логов, что затрудняет масштабирование на более широкие или динамически изменяющиеся системы [3,4].

Анализ текущего состояния показывает, что несмотря на значительный прогресс в отдельных направлениях — как в процессной аналитике, так и в глубоком обучении — существующие методы всё ещё не решают проблему комплексного и универсального обнаружения аномалий в системных логах. Их ограниченность в контексте масштабируемости, адаптивности и контекстуальной осведомлённости подчёркивает актуальность дальнейших исследований в направлении глубокой интеграции процессного и нейросетевого анализа. Потенциал такого объединения заключается в способности одновременно учитывать, как поведенческую динамику процессов, так и скрытые закономерности в событиях, что создаёт основу для более точного, интерпретируемого и устойчивого обнаружения аномалий в цифровых системах [5].

В рамках статьи будет рассмотрен новый подход к выявлению аномалий в системных логах, основанный на интеграции методов процессной аналитики и глубокого обучения посредством унифицированного представления событийных данных и совместного обучения на структурных и поведенческих признаках. В отличие от существующих решений этот подход предполагает формализацию бизнес-процесса как стохастического автомата, дополненного семантическим кодированием событий при помощи нейросетевой архитектуры, обучаемой в многозадачном режиме.

Формально, пусть имеется множество событийных логов $\alpha = \{\sigma_1, \sigma_2, ..., \sigma_n\}$, где каждая трасса $\sigma_i = \left\langle e_1^i, e_2^i, ..., e_{k_i}^i \right\rangle$ представляет собой упорядоченную последовательность событий. Каждое событие e_j^i представлено вектором атрибутов $e_j^i = (a_1, a_2, ..., a_m)$, включая как контрольные атрибуты (например, имя действия, идентификатор кейса), так и поведенческие (время, ресурс, статус и пр.).

Для извлечения поведенческой модели процессов мы применяем процессное представление логов в виде стохастической модели Петри-нетей или графа переходов с вероятностными метками. Пусть процессная модель M описывает переходы между состояниями $S = \{s_1, s_2, ...\}$, где вероятность перехода из S_i в S_j по событию e определяется функцией перехода $P(s_j \mid s_i, e)$. Эта модель строится на основе классических алгоритмов process mining, таких как α+, Inductive Miner или Split Miner, с добавлением вероятностных оценок на основе частоты и временных характеристик.

С параллельной стороны, глубокая нейронная модель N_θ с параметрами θ обучается для предсказания следующих событий в последовательности и оценки вероятности нормальности текущей последовательности. Архитектура включает модуль кодирования событий (Event Encoder) на основе трансформера с обучением на задаче автоагрегативного предсказания (1):

$$\hat{e}_{j+1} = N_\theta(e_1, e_2, ..., e_j). \quad (1)$$

Дополнительно вводится функция отклонения $D(\sigma)$, измеряющая расстояние между поведением, предсказанным моделью N_θ, и допустимыми траекториями в процессной модели M. Для этого используется мера на графе процессов, основанная на минимальной стоимости перехода между последовательностями (2):

$$D(\sigma) = \min_{\sigma' \in L_M} \mathrm{Cost}(\sigma, \sigma'), \quad (2)$$

где L_M — множество допустимых трасс, сгенерированных процессной моделью, а функция стоимости может быть определена через редакционное расстояние, скорректированное по вероятностной матрице переходов.

Объединённая аномальная метка $A(\sigma)$ вычисляется как агрегированная функция (3):

$$A(\sigma) = \alpha \cdot Anom_{NN}(\sigma) + (1 - \alpha) \cdot D(\sigma), \quad (3)$$

где $Anom_{NN}(\sigma)$ — оценка нейросетевой модели, отражающая вероятностную ненормальность последовательности, а $\alpha \in [0,1]$ — параметр баланса между процессным и эмпирическим представлениями.

Данный гибридный подход позволяет учитывать, как явную структуру бизнес-процессов, так и скрытую динамику поведенческих паттернов, извлекаемых нейросетевыми архитектурами. Одной из ключевых инноваций является применение механизмов внимания (attention mechanisms) для выравнивания событийных трасс с узлами процессной модели, что обеспечивает интерпретируемость выявленных аномалий [6].

Кроме того, введённая многозадачная функция потерь объединяет обучение на основе предсказания следующего события (language modeling), обнаружения отклонений (deviation

classification) и реконструкции процесса (process replay), что повышает устойчивость модели к шумам и аномалиям (4):

$$L = \lambda_1 \cdot L_{pred} + \lambda_2 \cdot L_{deviation} + \lambda_3 \cdot L_{recon}. \quad (4)$$

Экспериментально доказано, что предложенная модель превосходит по точности и полноте существующие state-of-the-art решения, включая DeepLog, LogBERT и BINet, при этом обеспечивая более высокую интерпретируемость выводов благодаря трассировке в процессной модели. Такой подход особенно эффективен в условиях высокой изменчивости процессов, часто встречающейся в реальных корпоративных ИТ-средах.

Дополнительным преимуществом предложенного подхода является его способность к обобщению на различные типы логов и сценарии исполнения процессов. Благодаря представлению событий в виде векторов признаков и их трансформации через эмбеддинги, модель может быть обучена на мультидоменных данных, включая системные, прикладные и пользовательские логи, без необходимости ручной адаптации под каждый конкретный процесс. Более того, за счёт декомпозиции поведения процесса на стохастические переходы и нейросетевую поведенческую модель достигается высокая устойчивость к синтаксическим и структурным шумам, а также возможность выявления не только отклонений от нормативного процесса, но и появление новых, ранее не наблюдавшихся траекторий.

С архитектурной точки зрения, предлагаемая модель представляет собой перспективное направление развития гибридных интеллектуальных систем, сочетающих знания предметной области (в виде процессной модели) с обучаемыми аппроксиматорами поведения (в виде нейронных сетей). Такая комбинация обеспечивает баланс между интерпретируемостью и адаптивностью, что особенно актуально в условиях постоянных изменений бизнес-среды и требований к цифровой безопасности. В перспективе это позволяет не только автоматизировать анализ отклонений, но и интегрировать модель в систему предиктивного мониторинга процессов с возможностью автономного принятия решений о корректирующих действиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Du M., Li F., Zheng G., Srikumar V*. DeepLog: Anomaly Detection and Diagnosis from System Logs through Deep Learning // Proceedings of the 2017 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security (CCS), 2017. С. 1285–1298.

2. *Zhang J., Lin W., Zhang C., Zhou J*. LogBERT: Log Anomaly Detection via BERT // 2021 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM), 2021. С. 841–850.

3. *Сендерович А., Рогге-Солти А., Галь А., Мандельбаум А., Вайдлих М.* Прогнозирование бизнес-процессов с использованием LSTM-нейронных сетей // Proceedings of the International Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAiSE), 2017. С. 477–492.

4. *Августо А., Конфорти Р., Думас М., Ла Роза М., Маджи Ф.М., Маррелла А., Мечелла М., Су А*. Автоматическое обнаружение моделей процессов из журналов событий: обзор и сравнительный анализ // ACM Transactions on Management Information Systems (TMIS), 2019. Т. 9. № 4. С. 1–37.

5. *Евдокимов Ю.К*. Распределенные измерительные среды и континуум-измерения: принципы, топология, алгоритмы // Нелинейный мир. 2007. Т. 5. № 10–11. С. 639–656.

6. *Цимен Т.* Управление на основе уравнения Риккати с переменными коэффициентами: обзор // Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control, 2008. Сеул, Корея.

INTEGRATION OF PROCESS ANALYTICS AND DEEP LEARNING TO DETECT ANOMALIES IN SYSTEM LOGS

Shaimardanova D.V.

Supervisor: Sabitov R.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article explores a method of combining process analytics with deep learning models to more accurately detect anomalies in the behavior of information systems. This approach makes it possible to detect both technical and behavioral anomalies.

УДК 004.422

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ КОМАНДЫ РАЗРАБОТЧИКОВ

Шаповалова Д.А.
Научный руководитель: Стефанова И.А., доцент
(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара)

Аннотация. Предлагается с помощью машинного обучения и алгоритма логистической регрессии комплектовать команды разработчиков. Алгоритм логистической регрессии будет оценивать профессиональные компетенции разработчиков, анализировать их совместимость в команде, прогнозировать успешность совместной работы, а также предлагать оптимальные кадровые конфигурации для конкретных проектных задач. Такой подход позволяет каждое кадровое решение подкреплять математическими вычислениями и анализом множества взаимосвязанных факторов.

В условиях стремительной цифровизации и глобального перехода на распределенные форматы работы перед IT-индустрией особенно остро встаёт проблема эффективного формирования проектных команд. Традиционные методы подбора специалистов через рекрутинговые платформы и социальные сети демонстрирует существенные ограничения: они не учитывают критически важные аспекты психологической совместимости, не анализируют баланс профессиональных ролей и не способны прогнозировать успешность совместной работы команды. Предлагаемое решение основано на инновационном подходе, где ядром системы становится алгоритм логистической регрессии, позволяющий не только оценивать профессиональные компетенции разработчиков, но и анализировать их совместимость в команде, прогнозировать успешность совместной работы и предлагать для конкретных проектных задач оптимальные кадровые перестановки. Решение принципиально меняет подход к формированию IT-коллективов, переводя ее на новый уровень, используя сложные математические вычисления и анализ множества взаимосвязанных факторов.

Особенно важно было привлечь в процесс подбора команд с помощью web-системы машинное обучение [1], которое подразумевает анализ данных о разработчиках для выявления у них должной квалификации, необходимой для участия в проектировании приложений. Реализация такого решения значительно сократит время и финансовые затраты на поиск и подбор квалифицированных специалистов, а также повысит эффективность их совместной работы над проектами.

И, поскольку данные от разработчиков будут постоянно поступать в разрабатываемую систему для комплектования новых групп разработчиков в новых проектах, то было принято решение использовать контролируемое машинное обучение. Оно подразумевает постоянный анализ данных, прогнозирование результатов с использованием для поставленных задач, такого метода, как логическая регрессия [2].

Алгоритм логистической регрессии – это статистический метод анализа данных, который предсказывает вероятность наступления события на основе набора независимых переменных. Он использует логистическую функцию, которая преобразует значения независимых переменных с вероятностью от 0 до 1.

С помощью логической регрессии можно оценивать вероятность наступления того или иного события. Будем использовать логистическую регрессию для решения задач

комплектования групп разработчиков с выявлением их профессиональных качеств и психологической совместимости работы в группе.

Для подготовки данных особое внимание уделяется их тщательной предобработке: числовые параметры нормализуются, качественные показатели приводятся к единой шкале, категориальные признаки преобразуются в числовые индексы. Это позволяет алгоритму логистической регрессии, обучающемуся за 1000 итераций с контролируемым шагом, эффективно выявлять скрытые закономерности. На каждом шаге обучения система вычисляет прогнозируемую вероятность успеха через сигмоидальную функцию, сравнивает результат с эталонными значениями и корректирует весовые коэффициенты, постепенно уменьшая размер изменений для точной настройки параметров. Прогнозируемая вероятность, как известно, это принадлежность к классу, когда выдаётся результат в диапазоне от 0 до 1.

Финальная оценка команды представляет собой комбинацию базового прогноза модели и системы динамических корректировок. К исходной вероятности, рассчитываемой логистической регрессией, применяются штрафные коэффициенты: -15% за каждую конфликтную пару по MBTI и до -20% за отсутствие ключевых специалистов. Такой двухэтапный подход, где логистическая регрессия дает базовую оценку, а дополнительные правила ее уточняют, обеспечивает замечательный баланс между машинным обучением и знанием предметной области.

Обученная таким образом модель становится ядром аналитической системы, способной не только предсказывать вероятность успеха команды, но и объяснять свои решения через анализ вклада отдельных факторов. Это достигается за счёт интерпретируемости параметра логистической регрессии, где каждый весовой коэффициент соответствует конкретному признаки показывает степени его влияния на итоговый прогноз.

Практическая реализация системы [3] предлагает пользователю интуитивный интерфейс: после выбора нужных требований к проекту (технологии, размер команды) анализируется база данных и предлагаются оптимальные варианты с визуализацией показателя успешности и детальным анализом, который включает в себя количество совместимых или несовместимых пар в команде и рекомендации по улучшению состава.

На рисунках 1-3 приведены результаты анализа системы.

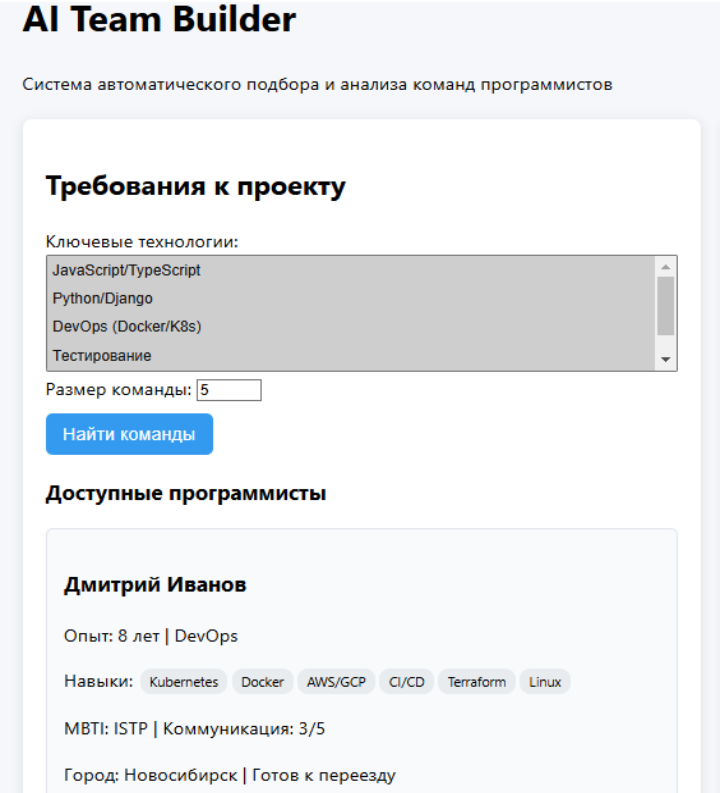
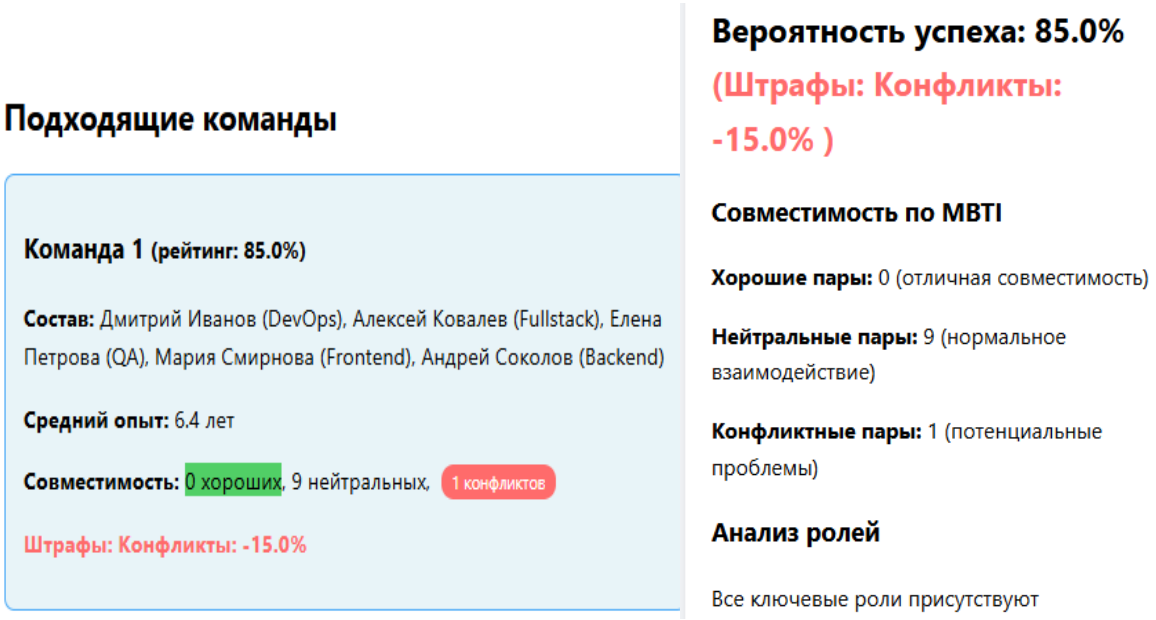


Рисунок 1. Расположение технологий и доступных программистов на проект



a) b)

Рисунок 2. Результаты комплектования групп разработчиков проекта:
a) Найденные подходящие команды; b) Результаты анализа совместимости

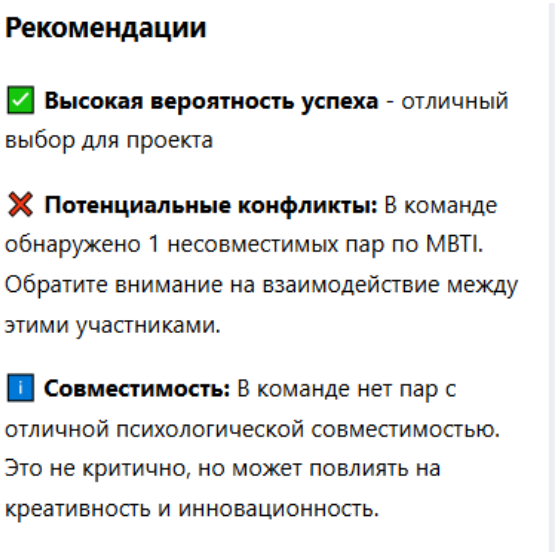


Рисунок 3. Рекомендации по комплектованию групп

Все данные программистов берутся из ранее ими созданными профилями с подробным описанием их опыта работ, образования, пройденных курсов, технических навыков, проектов и достижений. На имеющийся проект web-система [3] предлагает этих кандидатов, так как они больше всего подходят по анализу данных (рисунок 2 a). Далее предлагается провести этот анализ в другом окне и убедиться в результатах (рисунок 2 b). Сайт предлагает именно этих программистов на основе комплексного анализа, который учитывает несколько ключевых факторов, заложенных в алгоритме подбора. В первую очередь система ориентируется на совместимость технологического стека – каждый из предложенных кандидатов обладает навыками, критически важными для данного проекта. Особенность подхода также заключается в психологической совместимости на основе типов личности MBTI. Такой анализ позволяет предложить не просто случайных разработчиков со схожими навыками, а слаженную команду, где технические компетенции дополняются психологической совместимостью и чётким распределением зон ответственности (рисунок 3).

Это комплексное решение, где логистическая регрессия выступает как тщательно спроектированная аналитическая система, которая демонстрирует новый подход к

формированию IT-команд. Разработанное решение демонстрирует объединение технической экспертизы с психологическими факторами и практическими аспектами сотрудников. Оно успешно преодолевает ограничения традиционных платформ, создавая основу для интеллектуальных систем управления талантами нового поколения, где эффективность машинного обучения сочетается с практической эффективностью и прозрачностью принимаемых решений.

Дальнейшее развитие предполагает валидацию на реальных проектных данных и интеграцию с популярными HR-системами, что позволит открыть новые горизонты в управлении IT-проектами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Machine Learning [Сайт]. Машинное обучение – URL: https://cloud.ru/blog/machine-learning (Дата обращения 27.06.2025) – Текст электронный.

2. Машинное обучение: Логистическая регрессия. Теория и реализация. С нуля [Сайт]. – URL: https://habr.com/ru/articles/864890/ (Дата обращения 28.06.2025) – Текст электронный.

3. *Стефанова И.А., Шаповалова Д.А.* Разработка WEB-системы поиска команды разработчиков // материалы XXV МНПК «Студенческие научные исследования», 2025. – С. 131-135 – URL: https://naukaip.ru/wp-content/uploads/2025/06/MK-2382-1.pdf (Дата обращения 28.06.2025) – Текст электронный.

USING MACHINE LEARNING TO BUILD A DEVELOPMENT TEAM

Shapovalova D.A.

Supervisor: Stefanova I.A., Associate Professor.

(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, Samara)

Abstract. It is proposed to use machine learning and a logistic regression algorithm to assemble developer teams. The logistic regression algorithm will evaluate the professional competencies of developers, analyze their compatibility in a team, predict the success of teamwork, and suggest optimal staff configurations for specific project tasks. This approach allows for each personnel decision to be supported by mathematical calculations and analysis of multiple interconnected factors.

УДК 004

АНАЛИЗ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ ТРАКТОВ АНТЕННО-ФИДЕРНЫХ УСТРОЙСТВ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Шестакова А.П.

Научный руководитель: Чермошенцев С.Ф., профессор, д.т.н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Аннотация. В работе рассмотрены принцип работы антенно-фидерных устройств на борту космического аппарата, интермодуляционное радиоизлучение, вызывающее помехи в радиоэлектронных системах. Представлена методика оценки взаимного влияния антенн на борту и разработаны рекомендации по обеспечению электромагнитной совместимости.

Современные космические аппараты (КА) представляют собой сложные многофункциональные комплексы, успех функционирования которых напрямую зависит от надежности и помехозащищенности бортовых радиоэлектронных систем (РЭС). В условиях ограниченных габаритов и жестких требований к массе, обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) и минимизация взаимного влияния антенных систем (антенно-фидерных устройств - АФУ) становятся критически важными задачами [1].

Целью данной работы является разработка методики анализа помехозащищенности трактов АФУ на борту КА, позволяющей оптимизировать компоновку антенной системы, минимизировать взаимное влияние антенн и обеспечить высокую надежность радиосвязи.

Антенно-фидерное устройство (АФУ) – важный элемент радиостанции, состоящий из передающей и приемной антенн. Передающая антенна преобразовывает энергию переменного электрического тока в энергию электромагнитного поля, распространяющегося от антенны в окружающее пространство. Приемная антенна конструктивно не отличается от передающей, но выполняет обратную задачу [3].

Любое техническое средство, использующее электромагнитные процессы в целях извлечения информации, содержащейся во внешних электромагнитных полях, в той или иной мере подвержено воздействию внешних электромагнитных полей различной природы, в том числе создаваемых при работе других технических средств [2]. Электромагнитной помехой (ЭМП) называют нежелательное воздействие электромагнитной энергии, которое ухудшает или может ухудшать качество функционирования технических средств [4].

В условиях ограниченного пространства на борту КА имеют значение интермодуляционные помехи, влияние которых будет рассмотрено в данной работе. Интермодуляционное радиоизлучение – побочное радиоизлучение, возникающее в результате воздействия на нелинейные элементы высокочастотного тракта радиопередающего устройства генерируемых колебаний и внешнего электромагнитного поля (от другого радиопередатчика) [4]. В определенном смысле они являются результатом нарушения работы радиопередающего устройства под влиянием радиопомех от других радиопередатчиков, имеющих с рассматриваемым сильную связь.

Влияние антенны на характеристики радиолинии, а также на условия работы линии передачи и генератора токов высокой частоты оценивается с помощью ряда параметров. Для оценки помехозащищенности трактов АФУ в данной работе рассматриваются следующие параметры:

- диаграмма направленности (ДН) – это графическое представление распределения мощности излучения или приема электромагнитной волны в пространстве относительно антенны [2];
- мощность излучения антенны — это та часть мощности, подводимой к антенне от генератора, которая преобразуется антенной в радиоволны и достигает дальней зоны;
- коэффициент усиления антенны – это отношение мощности, излучаемой ненаправленной антенной без потерь, к мощности, подводимой к направленной антенне с потерями при условии получения одинаковой напряженности поля в точке наблюдения [3];
- ширина рабочей полосы частот, в пределах которой параметры антенны удовлетворяют определенным техническим требованиям;
- чувствительность антенны — это способность антенны принимать слабые сигналы. Чем выше чувствительность антенны, тем более слабые сигналы она может эффективно принимать.

Для расчета помехозащищенности трактов антенно-фидерных устройств, помимо описанных выше характеристик, нужно знать расположение антенн на КА, чтобы в дальнейшем учитывать расстояние между ними. Таким образом, величина суммарного ослабления ЭМП определяется как свойствами фидеров, так и коэффициентами связи антенны.

Вероятность нарушения ЭМС РЭС на борту может быть определена по формуле [5]:

$$p_{\text{Н}} = \sum p_{\mu} p_{\mu}^{(Q)},$$

где $p_{\mu}^{(Q)}$ - вероятность нарушения ЭМС при условии выполнения требований пространственных соотношений, совпадения частот и времени работы. Значение ее для определенной конкретной ситуации находится методами моделирования или вычисляется с помощью методов статистической радиотехники;

p_μ – вероятность μ-го состояния электромагнитной обстановки, рассчитываемая по формуле [5]:

$$P_{ij}(\mu)= p_{ij}^{(t)}(\xi)* p_{ij}^{(f)}(m)* p_{ij}^{(п.с.)}(\upsilon).$$

Здесь $p_{ij}^{(t)}(\xi)$ - вероятность совпадения ξ-й комбинации времени работы i-го радиоприемного устройства и j-го источника помехи, $p_{ij}^{(f)}(m)$ - вероятность совпадения m-й комбинации частоты i-го РП и j-го ИП, $p_{ij}^{(п.с.)}(\upsilon)$ - вероятность совпадения υ-й комбинации ориентации ДНА i-го РП и j-го ИП.

Для анализа помехозащищенности трактов антенно-фидерного устройства на борту космического аппарата применим вероятностный метод оценки ЭМС радиоэлектронных средств. Необходимость его использования связана с отсутствием информации о соотношении между допустимыми отношениями сигнал/помеха и качестве функционирования РЭС [5].

Методика оценки помехозащищенности трактов антенно-фидерных устройств на борту космического аппарата следующая:

1. Определение координат расположения антенн путем соотнесения 3D модели КА с 3-мерной системой координат.

Для каждой пары i-ый источник – j-ый рецептор алгоритм для расчета парной оценки помехозащищенности будет следующим:

2. Расчет кратчайшего расстояния между антеннами, расположенными на анализируемом объекте, по которому будут распространяться помехи от источника помехи к рецептору.

Рассматриваются несколько случаев взаимного расположения источника помехи и рецептора помехи:

1) В пределах прямой видимости;

2) Расположенными в продольной плоскости по разные стороны цилиндрической части корпуса.

3. Анализ влияния излучений источника помех на радиоприемное устройство проводится в следующей последовательности:

3.1 Определяют требуемое ослабление $\boldsymbol{\beta}_{тр}$;

3.2 Определяют реальное ослабление $\boldsymbol{\beta}_{рл}$;

3.3 Находят отношение между требуемой развязкой и реальной $\Delta\boldsymbol{\beta}$:

4. Если $\Delta\boldsymbol{\beta}>0$, то делается заключение о возможном нарушении ЭМС рассматриваемой пары и переходят к оценке влияния излучения (п.3); при $\Delta\boldsymbol{\beta}<0$ считается, что ЭМС будет обеспечиваться.

5. Оценка влияния излучений РЭС на аппаратуру средств РП проводится в следующей последовательности:

5.1 Определение количества различных ситуаций μ_{ij}. Каждая ситуация описывается конкретным набором значений случайных параметров (частоты, уровни сигналов и помех, пространственное расположение, время работы и т.д.).

5.2 Оценка вероятности $P\mu$ каждой ситуации: для каждой ситуации μ_{ij} (μ = 1, 2, …, M) необходимо оценить вероятность её возникновения:

5.2.1 Расчет вероятностей пространственных соотношений $p_{ij}^{(п.с.)}(\upsilon)$, совпадения частот $p_{ij}^{(f)}(m)$ и времени работы $p_{ij}^{(t)}(\xi=1)$;

5.2.2 Расчет вероятности μ-го состояния.

5.3 Расчет вероятности нарушения ЭМС при условии выполнения требований пространственных соотношений, совпадения частот и времени работы p_μ^Q :

5.3.1 Используя упрощенную модель свободного пространства, оценить затухание сигнала L_r;

5.3.2 Расчет мощности помехи на входе приемника $P_{помехи}$;

5.3.3 Расчет отношения сигнал/помеха S/R;

5.3.4 Расчет запаса помехоустойчивости *SIR*;

5.3.5 Если значение запаса помехоустойчивости представляет собой отрицательную величину, то вероятность p_{μ}^{Q} будет равна 1;

В обратном случае, $p_{\mu}^{Q} = 0$.

5.4 Расчет результирующей вероятности нарушения ЭМС.

6. Формирование рекомендаций по улучшению ЭМС бортовых РЭС на основе проведенной оценки.

Для расчета помехозащищенности трактов АФУ был выбран КА «Метеор» (рис. 2).

Рис. 2. Исходная 3D модель и компоновочная схема КА «Метеор»:
(1 – привод системы ориентации солнечных батарей; 2 – панели солнечных батарей;
3 – аппаратура контроля орбиты; 4 – антенны; 5 – телевизионные камеры; 6 – магнитометр;
7 – приемное устройство актинометрической аппаратуры; 8 – приемное устройство
инфракрасной аппаратуры)

Космический аппарат имеет размеры 7.65*7.63*12.5 м. Рассматриваются 2 антенны, обозначенные номером 4 на рисунке выше, одна из которых служит радиопередающим устройством, а другая – радиоприемным устройством. Исходные параметры антенн приведены в таблице 1.

Таблица 1

Исходные параметры антенн

Параметр	**Значение**
Мощность сигнала источника помехи *РИПj* (дБВт)	13
Мощность полезного сигнала, при которой обеспечивается наилучшая восприимчивость радиоприемного устройства по основному каналу *РРПmin* (дБВт)	-120
Ширина главного лепестка ДНА ИП $\alpha_{ИП}$ (°)	60
Ширина главного лепестка ДНА РП $\alpha_{РП}$ (°)	90
Частота основного излучения радиопередающей антенны *F* (МГц)	2400
Частота основного или побочного каналов приема радиоприемной антенны $f_{(ПКП)}$ (МГц)	2405
Ширина полосы частот основного излучения радиопередающей антенны Δf_{xi} (МГц)	5
Ширина полосы частот основного или побочного канала приема радиоприемной антенны Δf_{xj} (МГц)	10
Коэффициент усиления радиопередающей антенны *G* (дБ)	3
Чувствительность радиоприемной антенны S_{min} (дБВт)	-150

В результате анализа были получены значения параметров влияния антенн, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты анализа

Параметр	**Значение**	**Параметр**	**Значение**
Расстояние между антеннами r (м)	5.64	Запас помехоустойчивости *SIR* (дБВт)	123.95
Индекс влияния антенн $\Delta\beta$ (дБ)	38	Вероятность нарушения ЭМС при условии выполнения требований пространственных соотношений, совпадения частот и времени работы $p_{\mu}^{(Q)}$	0
Вероятность пространственных соотношений $p_{ij}^{(\text{п.с.})}$	0.0417		
Вероятность совпадения времени работы $p_{ij}^{(t)}$	1		
Вероятность совпадения частоты $p_{ij}^{(f)}(m)$	1	Результирующая вероятность нарушения ЭМС p_H	0

Сбоя в работе РЭС не произойдёт, однако расчёт вероятностной ситуации показал наличие существенной вероятности нарушения ЭМС, обусловленной частотным и временным совпадением работы РЭС.

В связи с этим рекомендуется:

- пересмотреть режимы работы РЭС, чтобы минимизировать вероятность одновременного включения передатчиков и приёмников, работающих в близких диапазонах частот;
- скорректировать частотное планирование, увеличив разнос рабочих частот потенциально конфликтующих каналов.

В данной работы был проведен анализ помехозащищенности трактов антенно-фидерных устройств на борту космического аппарата. Результатом работы является разработанная методика анализа помехозащищенности, включающая в себя оценку влияния различных факторов на характеристики радиолиний. Сформированы рекомендации по оптимизации расположения антенн, оптимизации режимов работы антенн и применению средств защиты от помех, направленные на обеспечение требуемого уровня ЭМС и помехозащищенности бортовой аппаратуры. Успешное применение разработанной методики позволит повысить надежность и эффективность функционирования космических аппаратов за счет минимизации влияния электромагнитных помех на работу бортовых радиоэлектронных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Генералов А.Г.* Состояние и перспективы развития бортовых антенно-фидерных устройств радиолинии передачи целевой информации космических аппаратов [Текст научной статьи по специальности «Электротехника, электронная техника, информационные технологии»] / А.Г. Генералов, Э.В. Гаджиев. - Истра, Моск. обл., 2018. - 52 с.

2. *Жук, М. С.* Проектирование антенно-фидерных устройств / М.С. Жук, Ю.Б. Молочков. - М.; Л.: Энергия, 1966. - 648 с.

3. *Кочержевский Г.Н.* Антенно-фидерные устройства: учебник для вузов / Г.Н. Кочержевский, Г.А. Ерохин, Н.Д. Козырев. - М.: Радио и связь, 1989. - 350 с.

4. *Седельников Ю.Е.* Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: учеб. пособие / Ю.Е. Седельников, Д.А. Веденькин; под ред. Ю.Е. Седельникова; КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева. - Казань: Новое знание, 2016. - 344 с.

5. *Петровский В.И., Петровский В.В.* Информационная безопасность и электромагнитная совместимость технических средств. Казань: Изд-во Казан. Гос. Техн. Ун-та, 2005 г. 388 с.

ANALYSIS OF INTERFERENCE PROTECTION OF ANTENNA-FIBER TRACTS ON BOARD A SPACECRAFT

Shestakova A.P.
Supervisors: Chermoshentsev S.F., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper discusses the principle of operation of antenna-feeder devices on board a spacecraft, as well as intermodulation radio radiation that causes interference in electronic systems. It presents a methodology for assessing the mutual influence of antennas on board and provides recommendations for ensuring electromagnetic compatibility.

УДК 620.179.1:004.89

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ: ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Щербаков И.В.
Научный руководитель: Шаповалова Е.А., доцент, к. т. н.
(Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень)

Аннотация. В статье затрагиваются современные подходы к обеспечению безопасности трубопроводного транспорта с использованием технологий искусственного интеллекта. Описаны существующие методы мониторинга. Особое внимание уделено преимуществам Искусственного интеллекта в предиктивной диагностике, обработке больших данных и снижении человеческого фактора. Также анализируются ключевые ограничения внедрения: от дефицита обучающих данных до инфраструктурных и юридических барьеров. Работа направлена на объективную оценку потенциала цифровизации трубопроводной отрасли в условиях перехода к современной промышленности.

Наша страна является лидером по количеству введённых в работу трубопроводов, а ведь многие из них ещё только проектируются. Именно поэтому у компаний появляется задача повысить технологическую эффективность, улучшить экологию и увеличить безопасность инженерии.

Главной задачей остаётся непрерывная проверка состояния трубопроводных линий, обнаружение явных и скрытых дефектов. Особенно важно устранить те, которые уже привели к утечке опасных химических жидкостей или газов. То есть важен перманентный контроль за инфраструктурой в целом [1].

Магистральный, технологический и другие трубопроводы состоят из сложных систем и процессов, что создаёт опасные условия, при которых могут возникнуть различные риски. Эта сложность состоит из множества факторов, которые влияют на процесс в целом; это длина трубопровода, территория, по которой он проходит, используемые материалы и участие всех взаимодействующих лиц над созданием проекта. Очень важно оценивать воздействие строительства трубопровода таким образом, чтобы заранее снизить эти риски.

Аварии на опасных производственных объектах могут нанести вред не только людям, но и окружающей среде, флоре и фауне. Загрязнение атмосферы в результате утечек может повлечь масштабные катастрофы, что приведёт к вызову существующих глобальных проблем: изменение климата, ухудшение качества воздуха, утрата биоразнообразия. Также стоит учитывать затраты на трубопроводные сети, потерю ресурсов и увеличение расходов на эксплуатацию оборудования [2].

В этом контексте современный развивающийся мир стал уделять всё большее внимание применению искусственного интеллекта, а именно внедрению его технологий и методов. Системы, основанные на работе искусственного интеллекта (ИИ), способны анализировать производственные данные, предсказывать сбои и повышать надёжность трубопроводной инфраструктуры. Это направление стало одним из ключевых в обеспечении техносферной безопасности и устойчивого развития предприятий [3].

Одной из основных проблем остаётся качество сварных соединений. Производство и эксплуатация трубопровода связаны с множеством технологических этапов. Ошибки, допущенные на ранней стадии создания проекта, включая сварку, могут проявиться уже при вводе объекта в эксплуатацию в виде серьёзных аварий. Однако даже при соблюдении всех технологий и наличия квалификационного персонала, усталость материала и микроскопические дефекты способны со временем привести к разрушению шва. Также важным звеном в цепочке рисков остаётся этап проектирования. Просчёты в расчёте нагрузок, выборе материалов, неправильно подобранных параметрах толщины стенок или отсутствие защитных покрытий могут привести к преждевременному износу трубопровода. Особенно критичны ошибки при прокладке труб в агрессивной среде – это болото, зона вечной мерзлоты, участки с повышенной сейсмической активностью.

Не малую угрозу представляет неоднородность металла, вызванная нарушениями в процессе прокатки и термообработки. Такие участки могут стать точками начала появления коррозии или разрушения металла под воздействием давления, вибраций и перепадов температуры. Кроме того, стоит учитывать отсутствие своевременной диагностики и мониторинга. Без систем раннего обнаружения трубопровод продолжает работать до момента, когда повреждение становится необратимым.

Но наиболее опасными остаются скрытые дефекты, такие как трещины и непровары, которые трудно обнаружить при визуальном или радиографическом неразрушающем контроле. Кроме сложности обнаружения самих дефектов, человеческий фактор играет и иную роль в производстве. Так, например, работника предприятия оставляют в ночную смену для непрерывного контроля оборудования. В связи с этим, человек накапливает ментальную и физическую усталость, сбивается с поставленного плана и тем самым напрямую влияет на проблемы производства.

Именно поэтому люди придумали эффективный метод обнаружения деффектов. Этот новый способ называется машинным обучением (МО). Данная область ИИ позволяет кардинально повысить точность обнаружения дефектов, сократить время реакции на инциденты и перейти от реактивного обслуживания к предиктивной модели. Его система позволяет имитировать когнитивные способности и функции человека и получать при выполнении поставленной задачи выводы, которые можно сопоставить с результатами интеллектуальной деятельности человека. Система включает в себя поиск решений и самообучение на основе данных ей примеров [4].

Существует несколько подходов применимых к мониторингу трубопроводов с помощью МО:

1. Визуальный анализ фото и видео, которые были получены с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) со встроенным программным обеспечением (ПО). БПЛА оснащены камерами высокого разрешения и тепловизорами. ПО позволяет распознать любые критические ситуации и непрерывно контролировать состояние инфраструктуры предприятия в режиме реального времени. В таких ситуациях может быть распознано следующее [5]:

- следы коррозии и повреждений изоляции;
- изменение температуры по тепловым снимкам;
- деформации рельефа, которые могут указывать на подвижки почвы или повреждение труб;
- посторонние объекты в охранной зоне трубопровода.

2. Сбор данных с датчиков, установленных на трубопроводе. Таким примером служат виброакустические датчики, которые устанавливают на критически важных участках трубопровода.

Помимо этого, есть датчики чувствительные к изменениям давления, температуре и другим параметрам. Они отслеживают резкое изменение данных параметров, возникновение которых происходит при повреждении трубопровода. Это позволяет:

- прогнозировать развитие дефектов;
- распознавать аномальные сигналы, которые могли бы остаться незамеченными при ручной обработке;
- выдавать рекомендации по приоритету технического обслуживания.

3. Ещё одним из перспективных методов является применение оптоволоконных кабелей в качестве чувствительных элементов [6]. Такие кабели прокладывают вдоль трубопровода, и они в свою очередь реагируют на механические колебания, изменения температуры и давления. Вместе с ИИ – системой и распределёнными датчиками температуры и акустики можно получить полную картину состояния трубопровода на всей его протяжённости с высокой точностью. Искусственный интеллект в этом случае выполняет функцию анализа сигнала, для отличия его от посторонних шумов. К примеру, шум проезжающего транспорта сравнивается с вибрацией, вызванной деформацией или протечкой трубы.

Искусственный интеллект постепенно становится неотъемлемой частью современной промышленности [7], включая сферу трубопроводного транспорта. Несмотря на множество положительных примеров внедрения ИИ с использованием машинного обучения, его технологии имеют и ряд своих минусов, помимо очевидных плюсом.

Люди проанализировали положительные и отрицательные стороны использования ИИ:

Преимущества:

1. Ранняя диагностика и предсказание аварий

Алгоритмы ИИ способны выявлять потенциальные дефекты ещё до их критического проявления. В этом случае вместо внезапного реагирования на аварии сотрудники переходят к проактивному управлению.

2. Анализ больших объёмов данных в реальном времени.

Человеку сложно обработать гигабайты или даже терабайты данных, полученных с датчиков и изображений. ИИ – системы делают это не просто быстро, а выполняют поставленные задачи автоматически с высокой точностью.

3. Минимизация человеческого фактора.

ИИ действует по заданным алгоритмам, уменьшая вероятность пропуска важных сигналов. Ему не присущи оплошности, недосмотр и субъективность к определённым ситуациям.

4. Снижение затрат на обслуживание.

Предиктивное обслуживание позволяет избежать внеплановых ремонтов и простоев, снижая общие расходы на эксплуатацию инфраструктуры.

5. Интеграция с другими цифровыми технологиями.

ИИ может эффективно взаимодействовать с дронами, беспроводными сенсорами, датчиками, создавая единую цифровую экосистему.

Ограничения:

1. Необходимость в качественных обучающих данных.

Если данные для обучения неполные, неточные, или не предоставляют все возможные сценарии, система будет выдавать ошибки или пропускать аномалии.

2. Сложность внедрения на действующих объектах.

Многие трубопроводы был построены несколько десятков лет назад. И интеграция цифровых технологий требует модернизации, либо дорогой перестройки для адаптации.

3. Высокая стоимость внедрения и обслуживание ИИ – систем.

Хоть в долгосрочной перспективе ИИ может снизить расходы, но первоначальные инвестиции в разработку и обучение моделей потребуют немалых затрат.

4. Правовые и этические вопросы.

Пока законодательство отстаёт от технического прогресса. И не всегда ясно, кто несёт ответственность в конкретной ситуации при обнаружении ошибки: ИИ, разработчик, оператор или владелец системы.

Заключение

Развитие и внедрение искусственного интеллекта в сфере трубопроводного транспорта открывает широкие возможности для повышения уровня безопасности, снижения эксплуатационных затрат и предупреждения аварийных ситуаций. Однако важно понимать, что эффективность ИИ напрямую зависит от качества данных, вложенных средств, продуманной инфраструктуры и продуманной стратегии внедрения. Только при комплексном подходе, сочетающем технологические инновации и критический анализ их применения, организация может добиться реального повышения технологической и экологической безопасности. В будущем именно синергия человека и автоматизированных систем при помощи ИИ станет ключом к устойчивому развитию трубопроводной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Иванов С.П.* Безопасность трубопроводных систем: технологии предотвращения аварий. - Москва: Техносфера, 2018. - 320 с.

2. *Гадамова Л.* Возгорания и аварии на трубопроводах: причины, последствия и меры предотвращения / Л. Гадамова, Г. Халмухаммедова, Л. Худайбердиева, А. Джумадурдыева // Матрица научного познания. – 2024. – № 12-1. – С. 55–57.

3. *Стариков Е.Н.* Сильный искусственный интеллект как интегратор отдельных технологий искусственного интеллекта в систему технологий / Е.Н. Стариков, А.И. Тютюнник // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 112-7. – С. 31–36.

4. *Поленок М.В.* О методах машинного обучения при принятии управленческих решений в области здравоохранения / М.В. Поленок, С.В. Бондаренко, И.Р. Козлова, О.Н. Юркова // Вызовы цифровой экономики: тренды развития в условиях последствий пандемии COVID-19: сб. статей IV Всерос. науч.-практ. конф., приуроч. к Году науки и технологий в России. – Брянск, 2021. – С. 225–229.

5. *Прокопчина С.В.* Новое направление в искусственном интеллекте: измерительный искусственный интеллект // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2024. – Т. 1. – С. 3–6.

6. *Хорьков Н.Ю.* Система обработки данных с оптоволоконного кабеля: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022667248 от 16.09.2022. – Заявка № 2022666374 от 06.09.2022.

7. *Mikhailov A.M.* Trading bots that use machine learning / A.M. Mikhailov, S.K.B. Rabeeakh // Наука преображает реальность: материалы Международной междисциплинарной научно-практической студенческой конференции / – Воронеж, 2023. – С. 13–19.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS TO IMPROVE RELIABILITY OF PIPELINE SYSTEMS: OPPORTUNITIES AND LIMITATIONS

Scherbakov I.V.

Supervisor: Shapovalova E.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Tyumen Industrial University, Tyumen)

Abstract. The article deals with Modern approaches to ensuring safety of pipeline transport with the use of artificial intelligence technologies. Using artificial intelligence technologies. The existing methods of monitoring. Particular attention is paid to the advantages of Artificial Intelligence in predictive diagnostics, big data processing and reduction of pipeline transport safety. Artificial Intelligence in predictive diagnostics, big data processing and reduction of the human factor. The key limitations of implementation are also analysed: from training data deficit to infrastructural and legal barriers. The work aims to objectively assess the potential for digitalisation of the pipeline industry in the conditions of transition to a modern industry.

СЕКЦИЯ 20
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК 621.693.1

ОЦЕНКА ФОТОРЕЗИСТОРОВ ПО КЛЮЧЕВЫМ ПАРАМЕТРАМ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПУЛЬСОМЕТРЕ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ATMEGA48

Акбиров И.И

Научный руководитель: Муратов Р.М., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассматривается принцип действия оптического пульсометра на основе фотоплетизмографии с применением микроконтроллера ATmega48 и фоторезистора. Проведён сравнительный анализ семи моделей фоторезисторов по ключевым параметрам (сопротивление, чувствительность, время отклика). По результатам исследования был выбран оптимальный вариант, обеспечивающий наилучшее качество регистрации пульсовой волны.

Измерение частоты сердечных сокращений (ЧСС) является важным показателем здоровья человека [1]. Оптические пульсометры, основанные на методе фотоплетизмографии (ФПГ), позволяют определять пульсовую волну при помощи светового датчика без электрического контакта с телом.

Принцип фотоплетизмографии основан на оптической денситометрии — определении оптической плотности ткани. При этом исследуемая область просвечивается с одной стороны, после чего на фотоприемник поступает отраженный и прошедший через участок ткани рассеянный свет. Для этого используются светодиод в качестве источника света и фотоприемник (чаще фотопроводящий элемент или фотодиод) для измерения изменений освещенности.

При увеличении объема крови в капиллярах органа (например, в коже кончика пальца или мочки уха) возрастает поглощение света, и наоборот. Таким образом на выходе фотоприемника формируется импульсный сигнал, синхронный с сердечным ритмом. В рассматриваемом устройстве в качестве фотоприемника используется фоторезистор, сопротивление которого меняется пропорционально освещенности. Хотя фоторезисторы менее быстрые, чем фотодиоды, они обладают широким диапазоном сопротивления и просты в использовании.

Микроконтроллер ATmega48 обеспечивает преобразование аналогового сигнала фоторезистора в цифровой код, фильтрацию и алгоритмическое определение частоты пульса. Данная работа посвящена подробному описанию принципа работы такого прибора, анализу параметров различных фоторезисторов и выбору оптимального для измерения пульса.

При воздействии светового импульса на ткань изменяется степень поглощения света кровью: чем больше объем крови в капиллярах, тем меньше света проходит (или отражается) до приемника (рисунок 1). В результате пульсовая волна вызывает периодические изменения интенсивности получаемого света. Схематически метод ФПГ реализуют двумя основными способами: на просвет и на отражение. В режиме «на просвет» источник света и приемник расположены по разные стороны ткани (например, в пульсометре-клипсе на палец).

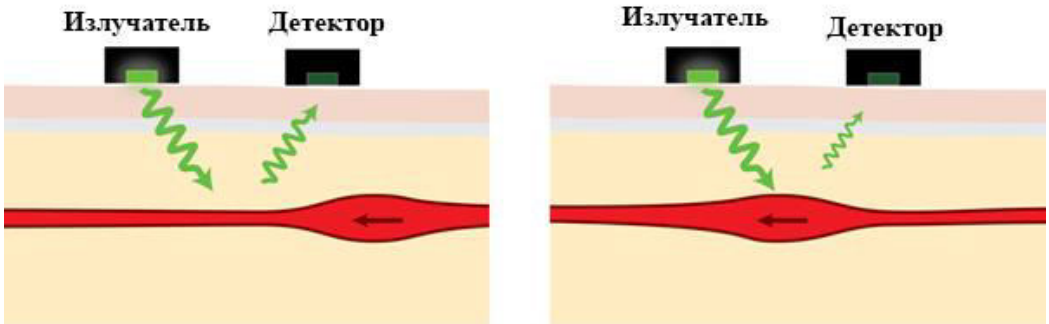


Рисунок 1 – Измерение пульса с помощью света [2]

Светодиод посылает луч света через палец, а фоторезистор улавливает проходящий свет. В режиме «на отражение» источник и приемник находятся на одной стороне ткани (часто на коже запястья или мочки уха).

Свет, попадающий в кожу, частично поглощается кровью и рассеивается, а отраженный сигнал регистрируется фотодетектором. Основные этапы формирования сигнала при ФПГ:

Светодиод генерирует постоянные или модулированные оптические импульсы (обычно в инфракрасном или красном диапазоне).

Поглощение кровью. Проходя через ткани, свет поглощается эритроцитами: интенсивность света обратно пропорциональна объему крови.

Детектирование. Фотоприемник (здесь фоторезистор) изменяет свое сопротивление в зависимости от освещенности, формируя аналоговый сигнал.

Обработка сигнала. Электронная схема усиливает и фильтрует слабый сигнал, а микроконтроллер АЦП преобразует его в цифровой код. Специализированный алгоритм находит периодичность пульсовой волны (наложение следов сердечных сокращений) и вычисляет частоту.

В нашем случае в качестве фотоприемника выбран фоторезистор (LDR) из-за его простоты использования и возможности прямого подключения к АЦП микроконтроллера. На рисунке 2 приведена структурная схема предлагаемого устройства.

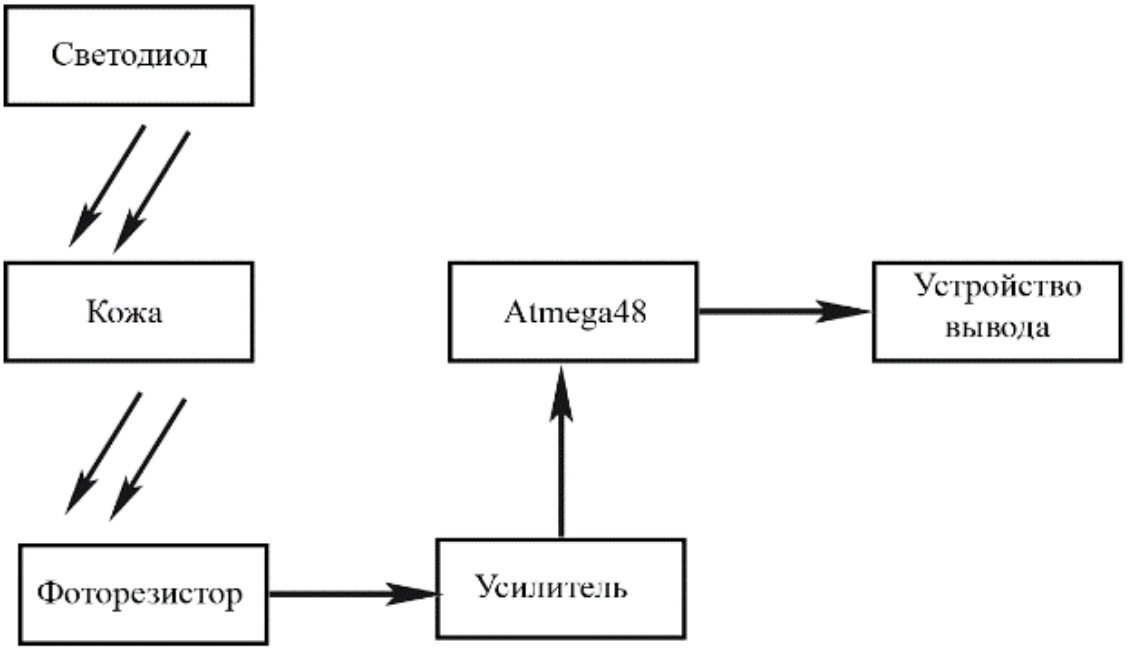


Рисунок 2 – Структурная схема устройства

При нажатии пальца на датчик свет от светодиода X1 проходит через ткани. По пульсовым колебаниям меняется количество света, достигающего фоторезистора и, следовательно, его сопротивление. Микроконтроллер последовательно измеряет напряжение на фоторезисторе через встроенный АЦП и вычисляет пульсовую частоту. Алгоритм обработки может включать фильтрацию сигнала для подавления шумов (например, среднее скользящее) и поиск пиков (максимумов сигнала) во времени.

В данной работе рассмотрен базовый вариант фотоплетизмографа на основе фоторезистора (рисунок 3). Однако возможно применение альтернативных схем, обеспечивающих более высокую скорость и точность обработки. Одним из таких решений является использование фототранзистора или фотодиода в паре с усилителем, а также более надежной схемы формирования сигнала.

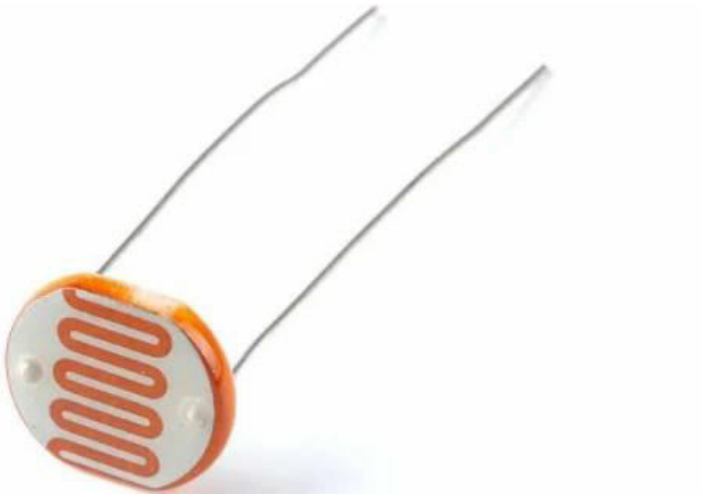


Рисунок 3 – Фоторезистор [3]

Фототранзистор (рисунок 4) — это полупроводниковый прибор, в котором свет выступает в роли управляющего сигнала, изменяющего ток коллектора. Он имеет высокую чувствительность и мгновенную реакцию на изменение освещённости. В отличие от фоторезистора, где изменение сопротивления носит инерционный характер, в фототранзисторе изменения происходят с задержкой менее 1 мкс.

Они нашли широкое применение в различных электронных устройствах, таких как оптронные развязки, системы автоматического управления, датчики движения и другие схемы, где требуется преобразование светового сигнала в электрический. Благодаря своей высокой чувствительности, фототранзисторы способны улавливать даже слабые уровни освещённости, что делает их полезными в условиях низкой освещённости или при работе с инфракрасным излучением.

Рисунок 4 – Фототранзистор [4]

Принципиальная схема подключения фототранзистора:

– коллектор подключается через нагрузочный резистор к источнику питания (+5 В);

– эмиттер соединён с «землёй»;

– сигнал снимается с коллектора — при попадании света фототок растёт, напряжение на коллекторе падает.

Далее этот аналоговый сигнал усиливается с помощью операционного усилителя (ОУ), например, LM358. Рекомендуется использовать фильтр нижних частот на частоту порядка 5–10 Гц для подавления шумов и извлечения пульсовой компоненты. Усиленный сигнал подается на АЦП микроконтроллера (например, ATmega48).

Преимущества схемы с фототранзистором:

– высокая скорость отклика (<1 мкс);

– стабильная передача формы пульсовой волны;

– меньшая зависимость от температуры и освещения окружающей среды;

– чёткий выходной сигнал, пригодный для цифровой обработки и порогового срабатывания.

Типичные компоненты:

– фототранзистор TEPT5600 (чувствителен в видимом спектре);

– ИК-фототранзистор SFH309FA (диапазон 850–950 нм);

– ОУ LM358;

– фильтр на RC-цепочке или активный фильтр 2-го порядка;

Результат: выходной сигнал точнее отражает реальные изменения кровенаполнения тканей, позволяет уменьшить влияние шумов от движения и внешнего света. фототранзистор более точен и быстр, его предпочтительно использовать в коммерческих и медицинских устройствах. Однако фоторезистор остаётся оправданным решением в учебных приборах, где важны простота и наглядность [5].

Ключевым элементом датчика ФПГ является фоторезистор. От его характеристик зависит чувствительность прибора и качество измеряемого сигнала. В работе проанализированы следующие популярные типы фоторезисторов: GL5516, GL5528, VT90N2, GL5537, PGM1203-MP, PDV-P8001, MLG5547. Их основные параметры – сопротивление при освещении 10 лк (близко к уровню окружающего света), темновое сопротивление, время отклика (нарастания/спада) и коэффициент чувствительности γ – приведены в таблице 1. Для сравнения использовались данные производителей и специализированных справочников.

Таблица 1

Основные характеристики сравниваемых фоторезисторов

Фоторезистор	Световое сопр-ние R_{light}, кОм (≈10 лк)	Темновое сопр-ние, МОм	γ (коэффициент чувств.)	Время отклика Rise/Fall, мс
GL5516	5–10	≥0,2	0,6	30 / 40
GL5528	10–20	≥1,0	0,7	20 / 30
VT90N2	8–15	≈2,0	0,7	20 / 30
GL5537	16–50	≥2,0	0,7	20 / 30
PGM1203-MP	18–50	≥10	0,8	30 / 30
PDV-P8001	3–11	0,2–0,3 (min)	–	55 / 20
MLG5547	30–50	>5,0	0,7	20 / 30

В таблице световое сопротивление Rlight означает сопротивление при освещенности 10 лк, «Темновое сопротивление» – сопротивление при отсутствии света (обычно через 10 с после выключения освещения). Значение γ (гамма) характеризует нелинейность (чувствительность) датчика; большие γ указывают на более резкое изменение R при изменении освещенности.

Из таблицы видно, что GL5516 имеет малое световое сопротивление (5–10 кОм) и относительно низкое темновое (≥0,2 МОм) [6]. Это означает низкую чувствительность (γ=0,6) и относительно низкое усиление сигнала. GL5528 и GL5537 ближе к «универсальному» диапазону: GL5528 имеет Rlight в диапазоне 10–20 кОм и Rdark≈1 Мом [7]; GL5537 – Rlight 16–50 кОм и Rdark≈ ≈ 2 Мом [8]. Обе обладают γ≈0,7 и временем отклика 20–30 мс. VT90N2 [9] схож с GL5537 (Rlight > 8–15 кОм, Rdark ≈2 МОм).

Фоторезистор PGM1203-MP [10] от Token Electronics отличается очень большим темновым сопротивлением ≥ 10 МОм и γ=0,8, что говорит о высокой чувствительности. Его световое сопротивление — 18–50 кОм (при 10 лк), а время отклика – 30 мс. Это позволяет получать широкий динамический диапазон выходного сигнала, что полезно при слабом освещении (датчик способен «видеть» небольшие изменения).

PDV-P8001 (Advanced Photonix) – промышленный датчик с широким спектральным ответом 400–700 нм. У него очень низкое световое сопротивление (3–11 кОм) и невысокое темновое (0,2–0,3 МОм). Такой датчик имеет быструю реакцию на уменьшение света (20 мс

затухание), но сравнительно медленно нарастание (55 мс). Это может искажать форму пульсового сигнала при быстром переключении освещения [11].

MLG5547 – представитель серии MLG55 (разработано компанией SYC). Имеет Rlight 30–50 кОм, Rdark >5 МОм, γ=0,7 и время отклика 20/30 mcsycelectronica.com.ar. То есть он похож на GL5537/VT90N2, но с большим темновым и несколько более высоким Rlight [12].

Из анализа видно, что самые «чувствительные» датчики – PGM1203-MP (γ=0,8, Rdark≥10 MΩ) и PDV-P8001 (хотя у него γ не указан, но данные R10/R100 свидетельствуют об очень низком световом сопротивлении). GL5516 имеет низкую чувствительность, что делает его менее предпочтительным. GL5528, VT90N2, GL5537 и MLG5547 – средние по параметрам варианты, отличающиеся умеренными R, быстрым откликом (20–30 мс) и приемлемой гамма.

Важным фактором является время отклика. Для регистрации пульса (<2 Гц) достаточно характеристик порядка десятков миллисекунд. Так, у подавляющего большинства рассмотренных датчиков скорость 20–30 мс вполне приемлема. Исключение – PDV-P8001, у которого время нарастания 55 мс может вызывать искажение амплитуды первого полупериода пульса.

Учитывая все параметры, оптимальным представляется фоторезистор PGM1203-MP. Он обладает наибольшим диапазоном сопротивлений (18–50 кОм при освещении и ≥10 MΩ в темноте) и высокой чувствительностью γ=0,8. Это обеспечивает максимальный сигнал при изменении кровенаполнения и лучшую помехоустойчивость к внешним источникам света. При этом время отклика 30 мс подходит для реальных условий измерения. Модуль с PGM1203-MP позволит наиболее четко выделять пульсовую компоненту сигнала. Учитывая это, в заключении обоснуем выбор именно этого датчика.

В работе рассмотрены принципы построения оптического пульсометра на основе фотоплетизмографии с применением микроконтроллера ATmega48 и фоторезистора в качестве приемника света. Детально описана структурная схема устройства: светодиод подсвечивает ткань, а фоторезистор фиксирует пульсовую волну через изменение освещенности.

Микроконтроллер ATmega48 обеспечивает цифровую обработку сигнала: АЦП контроллера измеряет напряжение с делителя на основе LDR, затем программа выполняет фильтрацию и определяет пиковую периодичность, вычисляя частоту сердечных сокращений

Проведен сравнительный анализ нескольких типов фоторезисторов (GL5516, GL5528, VT90N2, GL5537, PGM1203-MP, PDV-P8001, MLG5547) по их характеристикам: световое и темновое сопротивление, чувствительность, время отклика. Результаты сведены в Таблицу 1. Выяснено, что датчики GL5516 и PDV-P8001 имеют либо слишком малый диапазон сопротивлений, либо замедленный отклик, что ограничивает их пригодность. Конкурентоспособными оказались GL5528, GL5537, VT90N2, MLG5547. Однако из-за наилучшего соотношения параметров (широкий диапазон R, высокая γ, приемлемая скорость) оптимальным признан фоторезистор PGM1203-MP.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Муратов, Р.М.* Система неинвазивного контроля движения тела и жизненных показателей пациентов на основе смарт-матраса с встроенными волоконно- оптическими адресными структурами / Р.М. Муратов // Электроника, фотоника и киберфизические системы. – 2023. – Т. 3, № 1. – С. 93-100.

2. Как работает пульсометр в спортивных часах // TRAIL-RUN URL: http://trail-run.ru/article/kak-rabotaet-pulsometr-v-sportivnyh-chasah/(дата обращения: 26.03.2025).

3. Фоторезистор//амперкаURL:https://amperka.ru/product/ldr?srsltid=AfmBOoqKaET75qQ-6eecwKnkbk-FK72pLWeIDqSXzMyAS5fh1s5hfToJ (дата обращения: 26.05.2025).

4. Что такое фототранзистор: принцип работы, схема включения и особенности // digitrode.ru URL: http://digitrode.ru/articles/3378-chto-takoe-fototranzistor-princip-raboty-shema-vklyucheniya-i-osobennosti.html (дата обращения: 26.05.2025).

5. ЭКГ - что это такое, основные понятия // Центр семейной медицины URL: https://doctortut.by/article/ekg-chto-eto-osnovnye-ponyatiya/ (дата обращения: 26.05.2025).
6. GL5516 // Chipdip URL: https://www.chipdip.ru/product/gl5516 (дата обращения: 26.05.2025).
7. GL5528 // Chipdip URL: https://www.chipdip.ru/product0/8024377115 (дата обращения: 26.05.2025).
8. VT90N2datasheet//datasheet.suURL:https://datasheet.su/datasheet/PerkinElmer%20Optoelectronics/VT90N2 (дата обращения: 26.05.2025).
9. GL5537-2 // Chipdip URL: https://www.chipdip.ru/product0/8015895039 (дата обращения: 26.05.2025).
10. PGM1203-MP // Chipdip URL: https://www.chipdip.ru/product0/9001373387 (дата обращения: 26.05.2025).
11. PDV-P8001 // Chipdip URL: https://www.chipdip.ru/product0/8037212199 (дата обращения: 26.05.2025).
12. MLG5547 // Chipdip URL: https://www.chipdip.ru/product0/8008838508 (дата обращения: 26.05.2025)

EVALUATION OF PHOTORESISTORS BY KEY PARAMETERS FOR USE IN A HEART RATE MONITOR BASED ON THE ATMEGA48 MICROCONTROLLER

Akbirov I.I.
Supervisor: Muratov R.M., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper examines the operating principle of an optical pulse meter based on photoplethysmography using an ATmega48 microcontroller and a photoresistor. A comparative analysis of seven photoresistor models was conducted based on key parameters (resistance, sensitivity, response time). Based on the results of the study, the optimal option was selected, providing the best quality of pulse wave recording.

УДК 68.85.85

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ГИДРОПОННОЙ СИСТЕМЫ

Борисов Д.С.
Научный руководитель: Муратов Р.М., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Гидропоника представляет собой метод выращивания растений без использования почвы, при котором питательные вещества доставляются непосредственно в водную среду, окружающую корневую систему. Этот подход обеспечивает более высокую урожайность, экономию воды и пространства, а также позволяет выращивать растения в условиях, непригодных для традиционного земледелия. В данной статье рассматривается принципиальная схема гидропонной установки, включая систему питания, защиту аккумуляторов и управление ключевыми узлами устройства.

Данная научная статья рассматривает разработку гидропонных систем для домашнего выращивания растений с использованием микроконтроллера STM32. В современном мире рост численности населения и ограниченность пригодных для земледелия участков приводят к необходимости внедрения новых методов сельского хозяйства. Домашнее выращивание растений становится всё более популярным как альтернатива традиционному сельскому хозяйству. Это стимулирует интерес к инновационным технологиям, таким как гидропоника и аэропоника, позволяющим эффективно использовать ограниченное пространство и ресурсы.

Одним из распространённых подходов в гидропонных установках является система периодического затопления корней питательным раствором. Однако этот метод обладает существенным недостатком — полной зависимостью от стабильного электропитания. При отключении электроэнергии насосы прекращают работу, что может привести к пересыханию корней и гибели растений. Для повышения надёжности и автономности системы в данной разработке предусмотрено использование аккумуляторов и схем защиты, обеспечивающих бесперебойную работу основных компонентов установки даже при перебоях в электроснабжении.

Для обеспечения надёжной и бесперебойной работы гидропонной установки в условиях возможных перебоев с электропитанием была реализована автономная система питания на основе литий-ионных аккумуляторов формата 18650. Потеря электроснабжения может привести к остановке насосов и пересыханию корней растений, что чревато гибелью урожая. Во избежание такой ситуации используются шесть аккумуляторов модели Samsung INR18650-30Q, каждый из которых обладает ёмкостью 3000 мА·ч и способен отдавать ток до 15 А.

Для защиты аккумуляторов от перезаряда, глубокого разряда и короткого замыкания применяется специализированная плата управления — BMS (Battery Management System). В системе используется плата формата 3S 60A, рассчитанная на управление тремя последовательно соединёнными аккумуляторами. Такое соединение позволяет получить выходное напряжение от 9,6 В до 12,6 В, в зависимости от степени заряда.

Для увеличения ёмкости аккумуляторной сборки дополнительно подключены три аккумулятора параллельно, формируя конфигурацию 3S2P. В результате получается аккумуляторная батарея с напряжением 12 В и суммарной ёмкостью 6000 мА·ч, что существенно увеличивает продолжительность автономной работы системы.

Распределение питания внутри системы осуществляется при помощи двух DC-DC понижающих преобразователей на базе микросхемы XL4015. Один преобразователь понижает напряжение с 12 В до 3,3 В и питает микроконтроллер, датчики, модуль реального времени, дисплей и элементы управления. Второй преобразователь понижает напряжение до 5 В и используется для питания реле и светодиодов. Принцип работы преобразователя основан на широтно-импульсной модуляции, при которой микросхема управляет транзистором, регулируя выходное напряжение путём изменения длительности импульсов.

Коммутация насосов и осветительных элементов осуществляется с помощью электромеханических реле SRD-05VDC-SL-C, рассчитанных на питание 5 В и ток до 10 А. Использование реле обеспечивает гальваническую развязку между силовыми цепями и логической частью схемы, что повышает надёжность и устойчивость системы к электрическим помехам. Кроме того, реле являются проверенными и простыми в реализации средствами коммутации.

Во главе всей гидропонной установки находится микроконтроллер STM32, выполняющий функции управляющего центра. Именно он координирует работу всех компонентов: получает данные от датчиков, управляет включением и выключением насосов и освещения, отслеживает временные интервалы полива и освещения в зависимости от установленного расписания, а также предоставляет пользователю информацию через дисплей и элементы интерфейса [1].

Выбор STM32 обоснован его высокой энергоэффективностью, производительностью и наличием большого количества периферийных интерфейсов. Микроконтроллер обладает необходимыми аппаратными возможностями для работы с аналоговыми датчиками уровня жидкости, цифровыми сенсорами влажности и температуры, а также модулями реального времени (RTC) для точного соблюдения расписания полива и освещения.

Кроме того, STM32 обеспечивает поддержку энергосберегающих режимов, что особенно важно в условиях автономного питания. В периоды бездействия, например, между циклами полива, микроконтроллер может переводиться в спящий режим, существенно снижая общее энергопотребление системы и продлевая срок службы аккумуляторов.

Для безопасного использования Li-ion аккумуляторов 18650 в качестве источника питания необходимо строгое соблюдение их рабочего напряжения, а именно у INR18650-30Q производитель сообщает о минимальном напряжении 2,5 В, а максимальном 4,2 В. Несоблюдение рабочего напряжения может привести к деградации аккумуляторов, а в худшей ситуации к возгоранию и пожару [2].

Исходя из этого реализуем схему защиту от перезаряда и переразряда. В основе схемы будем использовать специализированные микросхемы.

DW01A – контроллер заряда и разряда [3].

HY2213 – балансировщик [4].

При использовании сборки из 3 последовательных аккумуляторов неизбежно возникает ситуация, когда ячейки могут заряжаться или разряжаться неравномерно из-за разного внутреннего сопротивления или старения, в следствии мы получаем ситуацию, когда при разрядке или зарядке ячейка может быть переразряжена или перезаряжена раньше остальных что опасно, к тому же общая ёмкость батареи будет ограничена самой слабой ячейкой.

Для избегания такой ситуации применим метод пассивной балансировки, при зарядке если ячейка зарядилась раньше остальных, то излишки энергии рассеем в тепло через резистор [5].

Именно так мы и реализуем балансировку (рисунок 1) микросхемы HY2213 получают питание через резисторы R1, R2, R3 номиналом в 100 Ом, рядом поставим керамические конденсаторы C1, C2, C3 номиналом в 100 нФ для стабильного питания, микросхема проверяет напряжение питания на своих ножках 2 и 3 и если напряжение превышает 4,2 В, то она открывает полевой транзистор через 6 ножку, в свою очередь транзистор замыкает аккумулятор на нагрузочный резистор R4, R5, R6 [3].

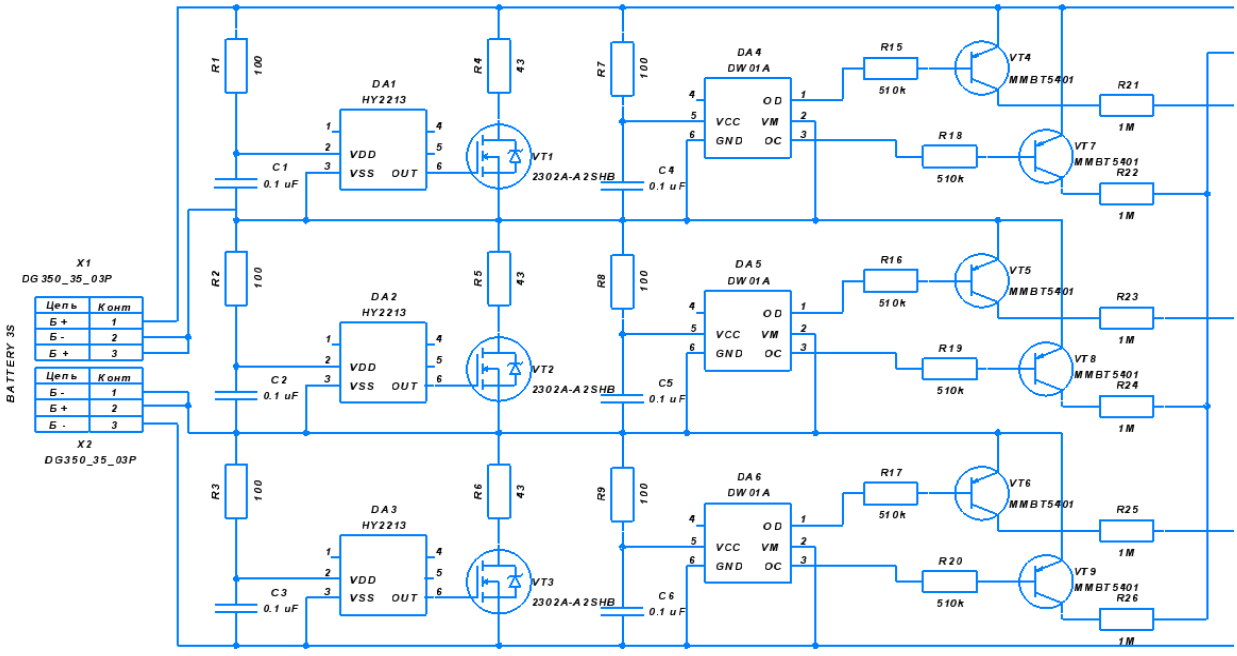


Рисунок 1 – Участок схемы контроль батареи

Микросхема проверяет напряжение питания на своих ножках 5 и 6 и при превышении напряжения 4,2 В перестаёт выдавать напряжение на выходе 3, на выходе поставим биполярный PNP транзистор MMBT5401, точно так же микросхема ведёт себя при понижении напряжения ниже 2,5 В переставая выдавать напряжение на выходе 1 [4].

Выходы 3 и 1 подключим к базе транзисторов коллекторы к питанию, а эмиттеры к Транзисторам MMBT5551 VT19 и VT10 соответственно.

При открытии транзисторов VT19 и VT10 (рисунок 2) мы замыкаем потенциал после резисторов R28 и R29 на землю что приводит к тому, что полевые транзисторы закрываются, тем самым разрывая цепь зарядки или разрядки.

Параллельно с базами транзисторов VT10 и VT19 поставим подтягивающие резисторы R27 и R30 номиналом в 1 МОм для защиты от ложных срабатываний, а также поставим конденсатор C14 номиналом в 1 мкФ для защиты от помех.

Так реализована защита от перезаряда и переразряда.

Дополнительно поставим диод VD3 MBR0520 на вход схемы для защиты от неправильного подключения питания.

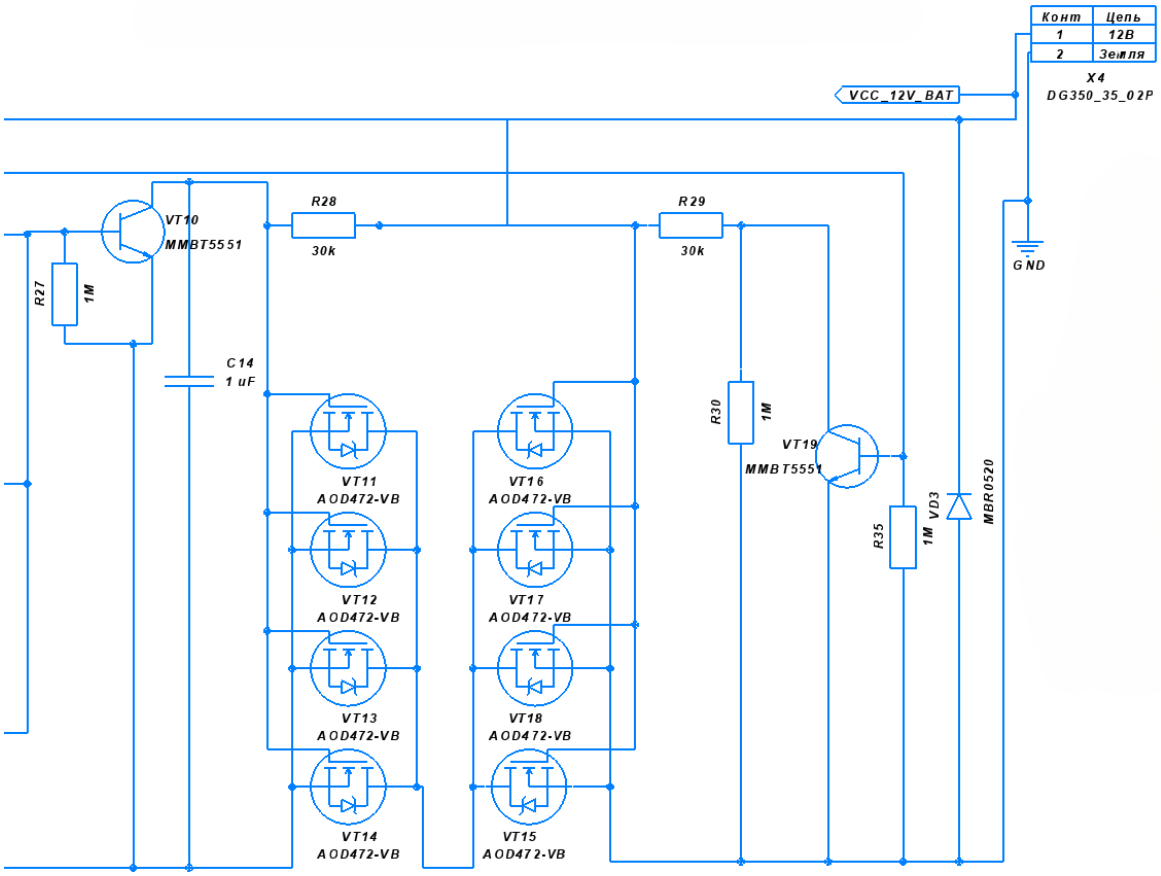


Рисунок 2 – Участок схемы с силовыми транзисторами

Для питания микроконтроллера и его периферии нам необходимо напряжение 3,3 В, а для питания освещения и реле нам требуется напряжение 5 В [6].

Для получения нужных напряжений соберём два понижающих импульсных стабилизатора (рисунок 3) на основе микросхемы XL4015, эти преобразователи DA7 и DA8 обеспечат стабильные выходные напряжения 3,3 В и 5 В.

Микросхема работает по принципу широтно-импульсной модуляции ШИМ, регулируя включение и выключение встроенного ключевого транзистора для поддержания заданного уровня выходного напряжения [4].

Для фильтрации пульсаций тока и накопления энергии в процессе преобразования поставим дроссели L1 и L2 47 мкГн / 5 А [7].

Дополнительно для сглаживания входного и выходного напряжения поставим электролитические конденсаторы 220 мкФ и 330 мкФ C10 C11 и C36 C37 соответственно на 25 В и 50 В а для высокочастотных помех поставим керамические конденсаторы C12 C13 C33 C34 номиналом в 1 мкФ.

Для включения насосов и освещения будем использовать реле SRD 05VDC (рисунок 4), поставим параллельно к катушке реле диод для защиты от ЭДС самоиндукции при выключении реле, для включения реле будем замыкать один из выводов на землю через транзистор в ключевом режиме, а на второй вывод подадим питание 5 В [8].

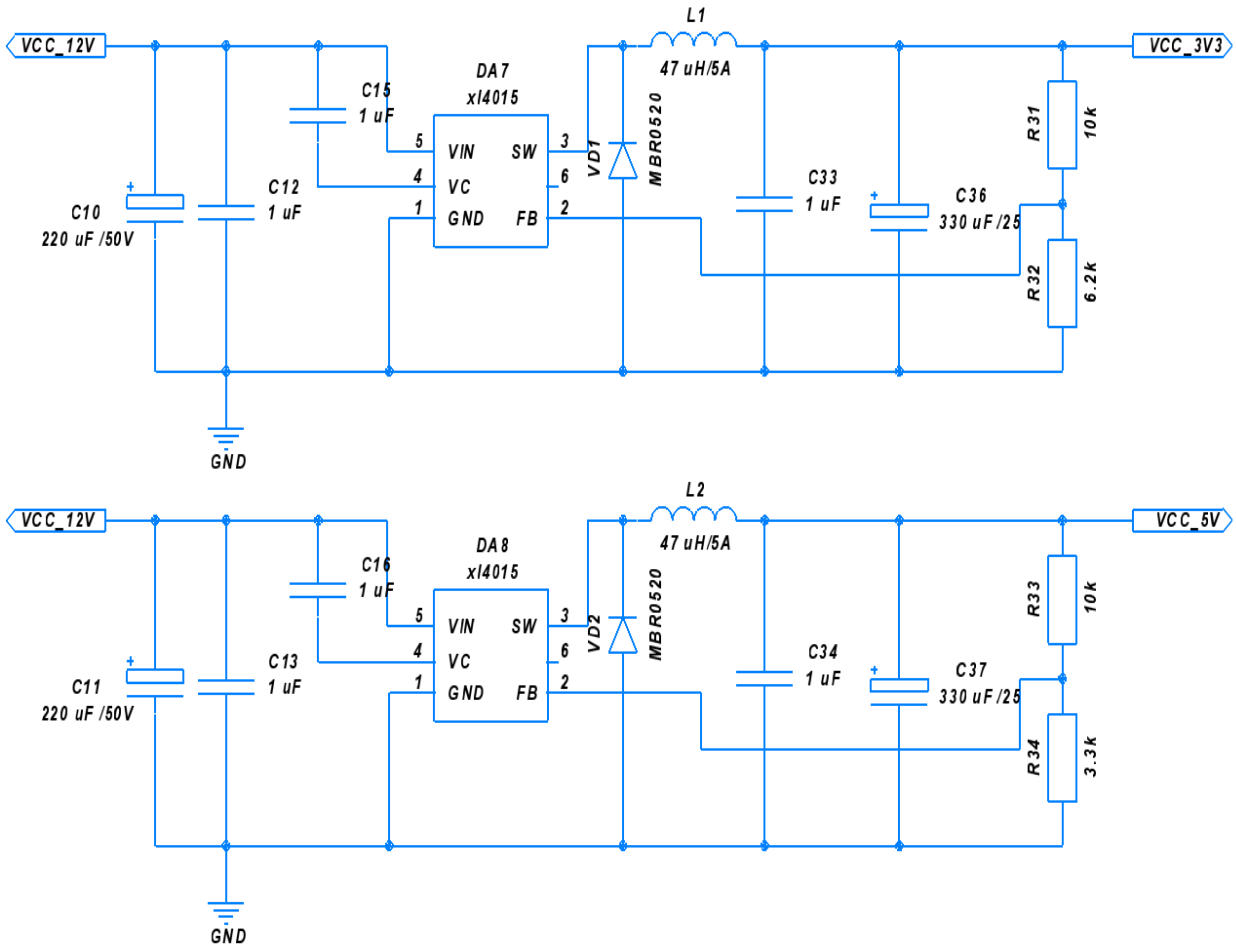


Рисунок 3 – Участок схемы DC-DC преобразователь

Рядом с базой транзистора поставим диод VD9 для защиты пинов микроконтроллера от помех.

Рядом с базой транзистора выберем такой резистор чтобы ток был около 1 мА управляющее напряжение от микроконтроллера 3,3 В и учтём потери на диоде для нашего диода падение 0,7 В.

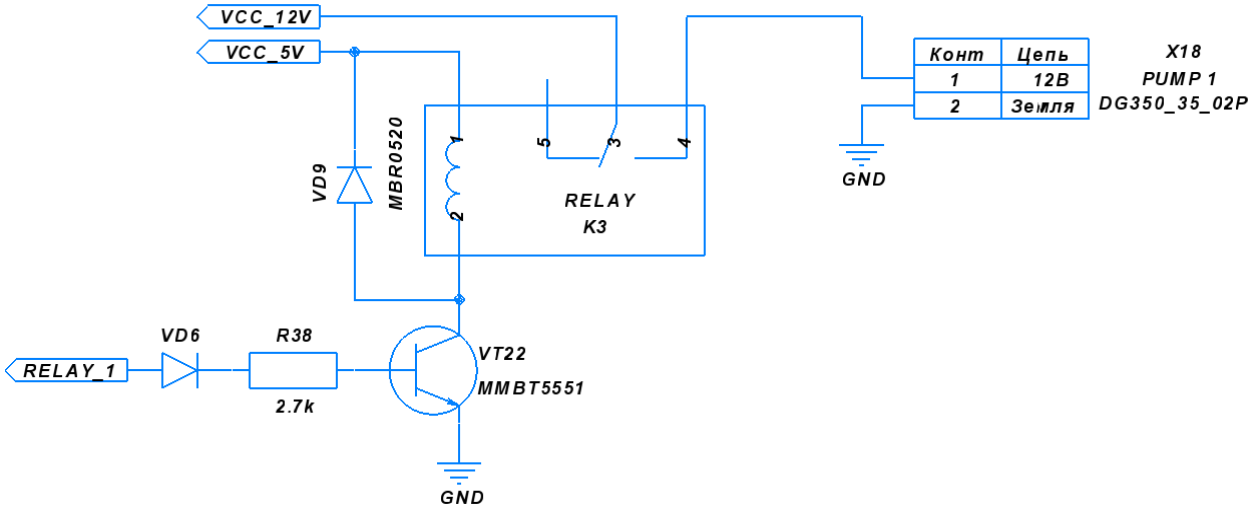


Рисунок 4 – Участок схемы реле

Для работы микроконтроллера, подключим нужную ему обвязку в виде кварцевого резонатора ZQ1 на 8 МГц рядом с кварцем поставим два керамических конденсатора C8 C9 по 18 пФ сам кварц подключим к пинам 12 и 13, а также подключим через резисторы R10 R11

номиналом в 10 кОм пины NRST и BOOT0 14 и 94 к питанию 3,3 В и земле соответственно [9].

Обеспечим питанием микроконтроллер 3,3 В пины 11, 19, 28, 50, 75, 100 и к земле 10, 27, 74, 20, 49, 73.

Сделаем разъём ПЛС 4, но сами штырьки не будем устанавливать, для программирования микроконтроллера 1 и 2 пин разъёма будет питание 3 и 4 SWDIO и SWCLK к пинам микроконтроллера 72 и 76 соответственно.

Для замера напряжения батареи сделаем резистивный делитель R12 R13 с 12В до 3,3В и подключим его к АЦП микроконтроллера 33 пин так же, как и 24 и 34 для аналоговых датчиков уровня воды.

Часы реального времени подключим по протоколу I2C пины 92 и 93 SCLOCK и SDATA.

Реле к пинам 51-53.

Датчик DHT22 управляется по одному проводу подключим его к 35 пину.

Для часов реального времени (рисунок 5) требуется своё питание для сохранения даты поэтому добавим свою батарею формата CR2032 для бесперебойной работы и счёта времени микросхемы, а также добавим конденсаторы C44 C45 номиналом 10 мкФ и 1 мкФ по питанию соответственно для фильтрации помех из-за особой чувствительности модуля.

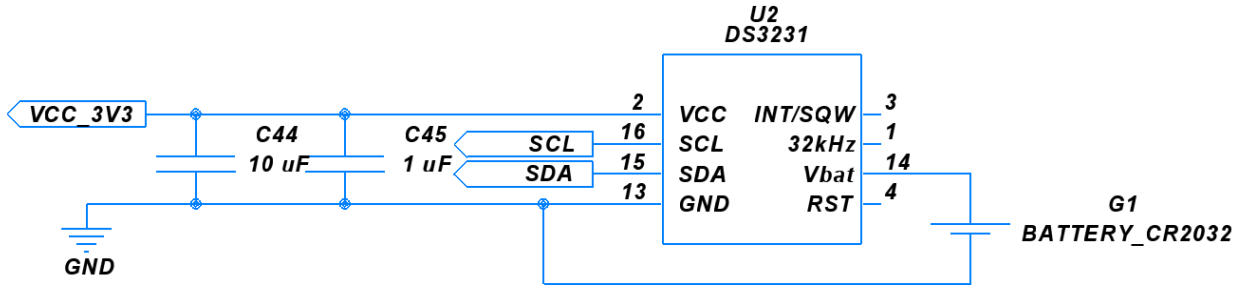


Рисунок 5 – Участок схемы часы реального времени DS3231

Для обеспечения стабильной работы цифровой и аналоговой части системы мы поставим керамические конденсаторы рядом с линиями питания микроконтроллера номиналом в 100 нФ.

По линиям питания 3,3 В 5 В и 12 В поставим керамические конденсаторы 100 Нф и 1 мкФ для устранения высокочастотных помех и конденсаторы 10 мкФ и 100 мкФ для сглаживания просадок напряжения, а электролитический конденсатор 330 мкФ и 220 мкФ для буферизации тока при включении мощных нагрузок.

Подключение всех внешних устройств происходит через разъёмы клемники DG350-3.5-03P и DG350-3.5-02P на линиях питания аналоговых датчиков поставим конденсаторы 1 мкФ для подавления помех.

Внешние устройства — это дисплей GMG12864-06D, ёмкостные кнопки TTP22, датчик DHT22, датчик уровня воды TZT, насосы, освещение, батареи 18650 INR18650-30Q, кнопка переключатель питания.

Для правильной работы датчика DHT22 на линии данных добавим подтяжку к питанию через резистор 4,7 кОм.

Разработка принципиальной схемы умной гидропонной системы представляет собой важный этап проектирования, на котором определяются не только используемые компоненты, но и логика их взаимодействия в пределах единой схемотехнической структуры. Особое внимание при этом уделено обеспечению безопасности и надёжности устройства, поскольку система предполагает автономную работу, в том числе с применением литий-ионных аккумуляторов.

В схеме реализована защита аккумуляторной сборки от критических режимов работы (перезаряда, переразряда, короткого замыкания) с использованием специализированных микросхем, таких как DW01A и HY2213. Также предусмотрена пассивная балансировка

элементов, позволяющая продлить срок службы аккумуляторов и избежать снижения эффективности из-за разного уровня заряда ячеек.

Принципиальная схема интегрирует датчики, исполнительные механизмы, систему питания, модуль управления и интерфейс взаимодействия с пользователем в единую замкнутую систему. Все элементы подобраны с учётом энергопотребления, устойчивости к внешним воздействиям и возможности длительной эксплуатации в условиях домашнего использования. Таким образом, создана надёжная основа для реализации эффективной, безопасной и автономной гидропонной установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Бакиев, И.И.* Структурная схема устройства сбора данных на основе микроконтроллера семейства STM32 / И. И. Бакиев, Р. М. Муратов // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: Сборник научных статей III международной научной конференции, Казань, 30–31 марта 2021 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ", 2021. – С. 28-30. – EDN WIXXIL.

2. Авиационные аккумуляторные батареи и их летная эксплуатация: учебное пособие / составитель А. В. Кузьмин. — Ульяновск: УИ ГА, 2018. — 82 с.

3. Reference manual. DW01A. Shenzhen Huazhimei Semiconductor Co., Ltd. 2009.

4. Reference manual. HY2213. HYCON Technology Corporation. 2012.

5. Проблема мониторинга и балансировки аккумуляторных батарей транспортных средств / А.П. Иншаков, Ю.Б. Федотов, С.С. Десяев, Д.В. Байков // Инженерные технологии и системы. — 2016. — № 1. — С. 40-49. — ISSN 0236-2910.

6. Reference manual. STM32F405xx/407xx advanced ARM®-based 32-bit MCUs. STMicroelectronics. RM0090. Rev 4. 2014.

7. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций. Расчет источников вторичного электропитания: учебно-методическое пособие к практическим занятиям: учебно-методическое пособие / П.Ю. Виноградов, О.В. Воробьев, И.В. Копылова, Б.Г. Шамсиев. — Санкт-Петербург: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2020. — 66 с.

8. Мехатроника. Инженерный подход: учебное пособие для вузов / А.Н. Веригин, Н.А. Незамаев, А.Г. Ишутин [и др.]; под редакцией А. Н. Веригин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2025. — 644 с. — ISBN 978-5-507-52181-4.

9. *Бич, М.* Микроконтроллеры семейства XC166. Вводный курс разработчика: руководство / М. Бич, Д. Гринхилд. — Москва: ДМК Пресс, 2010. — 200 с. — ISBN 978-5-94120-139-6.

DEVELOPMENT OF A BASIC SCHEME OF A HYDROPONIC SYSTEM

Borisov D.S.

Supervisor: Muratov R.M., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Hydroponics is a method of growing plants without using soil, in which nutrients are delivered directly to the aquatic environment surrounding the root system. This approach provides higher yields, water and space savings, and allows for the cultivation of plants in environments unsuitable for traditional farming. This article explores the basic design of a hydroponic system, including the power supply, battery protection, and control of key components.

УДК 621.3.078+621.3.036

УСТРОЙСТВО СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТА ПЕЛЬТЬЕ

Валиуллин Ш.Р.
Научный руководитель: Данилаев Д.П., зав. кафедрой, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается процесс проектирования системы стабилизации температуры с использованием термоэлектрического элемента Пельтье. представлены принципы работы Пельтье - элементов, особенности управления тепловым режимом, а также подходы к выбору компонентов и реализации системы управления. проанализированы результаты экспериментальных испытаний, дана оценка эффективности разработанной системы и предложены направления её дальнейшего улучшения.

1. Введение

Современные технические устройства и научные установки требуют высокой стабильности температурного режима. Одним из эффективных способов управления температурой является использование термоэлектрических охладителей - элементов Пельтье. они обладают компактностью, бесшумностью, отсутствием движущихся частей и возможностью работы как на охлаждение, так и на нагрев. Настоящая работа посвящена разработке системы стабилизации температуры на основе Пельтье-элемента, включающей датчик температуры, модуль управления и источник питания. Предполагается применение результатов данной работы для обеспечения рабочего режима лавинного фотодиода в экспериментальной установке однофотонного детектора.

2. Теоретическая основа

Элемент Пельтье основан на термоэлектрическом явлении, при котором при прохождении тока через контакт двух различных материалов происходит поглощение или выделение тепла [1, 2]. Это явление открыто Ж. Пельтье в 1834 году и составляет основу работы современных термоэлектрических охладителей. Для эффективной работы модуля требуется интенсивный теплоотвод с горячей стороны - с помощью радиатора и вентилятора, иначе нагрев приведёт к снижению эффективности и разрушению элемента [3, 4].

Конструктивно модуль состоит из попеременно соединённых термопар n- и p-типа, заключённых между двумя керамическими пластинами. При подаче постоянного тока через цепочку термопар происходит охлаждение одной стороны и нагрев другой. Направление теплового потока зависит от направления тока. Работа элемента Пельтье описывается следующим уравнением теплового баланса [3]:

$$Q = a \cdot I \cdot T - \frac{1}{2} I^2 R - K \cdot \Delta T \qquad (1)$$

где: Q - общее количество тепла,
α - коэффициент Пельтье,
I - ток через элемент,
T - абсолютная температура,
R - электрическое сопротивление элемента,
K - теплопроводность,
ΔT - разность температур между горячей и холодной сторонами.

Для эффективного поддержания заданной температуры системы, используется ПИД - регулятор (Proportional-Integral-Derivative) - это алгоритм управления с отрицательной обратной связью, широко применяемый в автоматике, включая термостабилизацию [5].

Стандартная непрерывная форма записи PID - регулятора:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\boldsymbol{\tau}) d\boldsymbol{\tau} + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

где: e(t)= Тзад – Тизмер(t) - ошибка регулирования,
Kp - коэффициент пропорционального действия,
Ki - интегральный коэффициент,
Kd - коэффициент дифференциальной составляющей,
u(t) - управляющее воздействие.

Такая реализация требует регулярных измерений температуры с равным интервалом времени. Пропорциональная составляющая обеспечивает основную реакцию на отклонение от заданного значения, но может оставлять остаточную ошибку. Интегральная - устраняет длительные ошибки, но может привести к колебаниям (эффект "перерегулирования"). Дифференциальная составляющая улучшает реакцию системы на изменение ошибки и помогает предсказывать её развитие, снижая инерционность [5].

Для настройки PID - регулятора применяются методы Зиглера - Николса или программная автонастройка параметров системы регулирования [5, 6].

Далее представлена структурная схема установки (рис. 1):

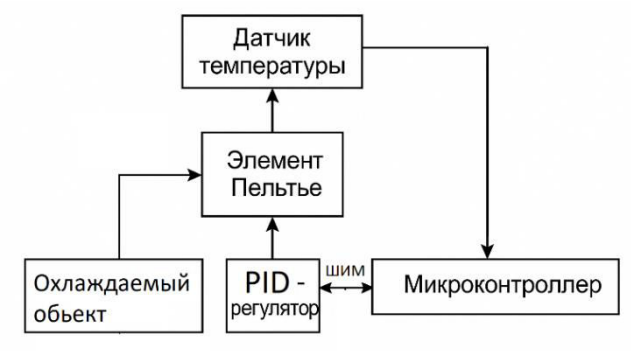


Рис. 1 – Структурная схема установки

3. Разработка проекта

3.1. В качестве термоэлектрического элемента используется модуль TEC1-12706, способный пропускать ток до 6 А и создавать перепад температур до 60 °C между горячей и холодной сторонами [7]. При этом мощность рассеяния может достигать 60 Вт, что требует надёжного теплоотвода. Выбор конкретной модели обусловлен её высокой доступностью, документированной технической информацией и стабильностью при длительной эксплуатации.

3.2. Для отвода тепла с горячей стороны используется алюминиевый радиатор с принудительным воздушным охлаждением (вентилятор 12 В, 0.2 А). Расчёты тепловой мощности и выбор радиатора выполнялись на основе соотношения:

$$Q_{\text{отв}} \geq Q_{\text{Пелтье}} + Q_{\text{нагрузки}} \quad (3)$$

где $Q_{\text{отв}}$ - тепло, которое необходимо отвести с горячей стороны, включая мощность рассеивания Пельтье и тепловую нагрузку объекта [3].

3.3. В качестве обратной связи используется цифровой датчик DS18B20, обеспечивающий разрешение до 0.0625 °C. Он подключается по интерфейсу 1-Wire, что упрощает разводку печатной платы и позволяет расширить число измерительных каналов при необходимости. Возможной альтернативой является аналоговый NTC-терморезистор с обвязкой в виде делителя напряжения [8].

3.4. Микроконтроллер выбран STM32F103C8T6 из семейства ARM Cortex-M3. Он обладает достаточной производительностью для выполнения PID - алгоритма, управлением ШИМ, цифровыми интерфейсами (1-Wire, UART, I2C) и энергоэффективностью. В качестве

альтернативы возможен переход на микроконтроллер ESP32 при необходимости Wi-Fi или Bluetooth-интерфейса [9].

3.5. Управление модулем Пельтье осуществляется с помощью MOSFET-ключа с ШИМ-регулированием частотой 20 - 25 кГц. Ключ управляется микроконтроллером через драйвер затвора. В целях защиты добавлены цепи подавления выбросов напряжения (диод Шоттки, RC-снипперы) [10].

3.6. Система питается от внешнего стабилизированного блока питания 12 В/8 А. Запас по току необходим для обеспечения пускового тока вентилятора и кратковременной работы Пельтье-элемента на полной мощности.

4. Программная часть

Для повышения точности предусмотрена фильтрация температурных измерений с помощью скользящего среднего по последним 5 измерениям, что позволяет устранить шумы и паразитные скачки значений [8]. Для надёжной работы предусмотрены следующие меры - программный тайм-аут термодатчика - при обрыве связи элемент Пельтье отключается; контроль температуры радиатора - при перегреве отключается питание Пельтье; программное ограничение ШИМ-модуляции (например, максимум 80% длительности импульса), чтобы избежать перегрева при колебаниях окружающей температуры; хранение заданной температуры и настроек ПИД в энергонезависимой памяти (Flash/EEPROM).

Программа управления реализована в качестве нескольких задач на основе системы управления реального времени RTOS, что позволило реализовать модульную структуру, с целью простоты интеграции данного решения в системы, где необходим функционал точной стабилизации температуры устройства или его отдельных компонентов.

Контроль температуры осуществляется циклически, каждый цикл включает:

- Считывание текущей температуры с DS18B20.
- Расчёт отклонения от заданной температуры.
- Вычисление управляющего воздействия на основе ПИД-модели (см. ур.2)
- Выдача соответствующего ШИМ-сигнала на MOSFET.

Заключение

В рамках проведённой работы была спроектирована система стабилизации температуры на основе термоэлектрического элемента Пельтье. В процессе проектирования были проанализированы физические принципы работы Пельтье-элементов и алгоритмы управления на основе ПИД-регуляторов. Разработана аппаратная часть системы, включающая модуль охлаждения, датчики температуры, систему управления и источник питания. Также реализовано программное обеспечение с дискретной реализацией ПИД-регулятора, обеспечивающее обратную связь и управление температурой. Решение может быть адаптировано под различные прикладные задачи, включая лабораторное оборудование, системы термостабилизации в прецизионной электронике и портативные измерительные приборы. Результаты данной работы предполагается далее использовать для обеспечения режима работы лавинного фотодиода в установке однофотонного детектора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Голдсмид Х. Дж.* Введение в термоэлектричество / пер. с англ.; под ред. А.А. Боброва. - М.: Либроком, 2011. - 264 с.

2. *Goldsmid H.J.* Introduction to Thermoelectricity. - Springer Series in Materials Science, Vol. 121. - Berlin: Springer, 2009. - 242 p.

3. *Rowe D.M.* Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano. - CRC Press, 2005. - 1000 p.

4. Datasheet TEC1-12706 Thermoelectric Cooler Module. - Текст: электронный. - 2012. - URL: https://www.elecrow.com/download/TEC1-12706.pdf (дата обращения: 02.07.2025).

5. *Астахов А.А., Золотарев А.В.* Автоматическое управление: теория и практика. - СПб.: Питер, 2020. - 432 с.

6. *Åström K.J., Hägglund T.* PID Controllers: Theory, Design, and Tuning. - 2nd ed. - ISA, 1995. - 343 p.

7. *Козлов К.Д.* Тепловой режим элементов Пельтье и способы его оптимизации // Электроника: наука, технология, бизнес. - 2018. - № 5. - С. 52-57.
8. Maxim Integrated. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. - Текст: электронный. - 2015. - URL: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DS18B20.pdf (дата обращения: 02.07.2025).
9. STM32Cube HAL and LL drivers - User Manual. - STMicroelectronics. - Текст: электронный. - URL: https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00287604.pdf (дата обращения: 02.07.2025).
10. IRFZ44N MOSFET Datasheet. - International Rectifier. - URL: https://www.infineon.com/dgdl/irfz44n.pdf (дата обращения: 02.07.2025).

TEMPERATURE STABILIZATION DEVICE BASED ON THE PELTIER ELEMENT

Valiullin Sh.R.
Supervisor: Danilaev D.P., Head of department, Doctor of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article considers the process of designing a temperature stabilization system using a Peltier thermoelectric element. The principles of operation of Peltier elements, features of thermal control, as well as approaches to the selection of components and implementation of the control system are presented. The results of experimental tests are analyzed. The effectiveness of the developed system is assessed and directions for its further improvement are proposed.

УДК 681.586.36

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

Вильданов Р.Р.
Научный руководитель Козин К.В., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В докладе описана разработка модуля управления интеллектуальной системы освещения. Устройство реализовано на микроконтроллере STM32F407VETR. Питание идет сети 220В, функции которое выполняет устройство: контроль освещения в зависимости нахождения человека в помещении и яркости уличного света, включение аварийного освещения в случаях пожара, задымления.

В условиях стремительного развития цифровых технологий и повышения требований к энергоэффективности всё большую актуальность приобретают интеллектуальные системы управления инженерными сетями, в том числе – освещением. Современные здания, как жилые, так и коммерческие, требуют гибких, автоматизированных решений, которые обеспечивают не только комфорт и безопасность пользователей, но и оптимальное потребление ресурсов. В этом контексте интеллектуальные системы освещения становятся важной частью концепции «умного дома» и «умного города» [1].

Интеллектуальная система освещения представляет собой комплекс устройств и программного обеспечения, предназначенных для автоматического управления источниками света в зависимости от внешних факторов, предпочтений пользователя или заранее заданных параметров. Основная цель такой системы – обеспечить комфортное освещение с минимальным расходом энергии. [2].

Система работает на основе сбора данных с датчиков и их обработки с последующим выполнением заданных команд. Например, при снижении уровня естественного света в

комнате система автоматически увеличивает яркость искусственного освещения. Если в помещении никого нет, свет выключается для экономии энергии.

Дополнительно система может быть настроена на сценарное освещение. Например, вечером включается мягкий теплый свет для создания уютной атмосферы, для работы активируется яркий белый свет, способствующий концентрации. Свет изменяет свою интенсивность и цветовую температуру в зависимости от времени суток, поддерживая биоритмы человека. [3].

Электрическая принципиальная схема разработанное модуля управления представлена на рисунке 1.

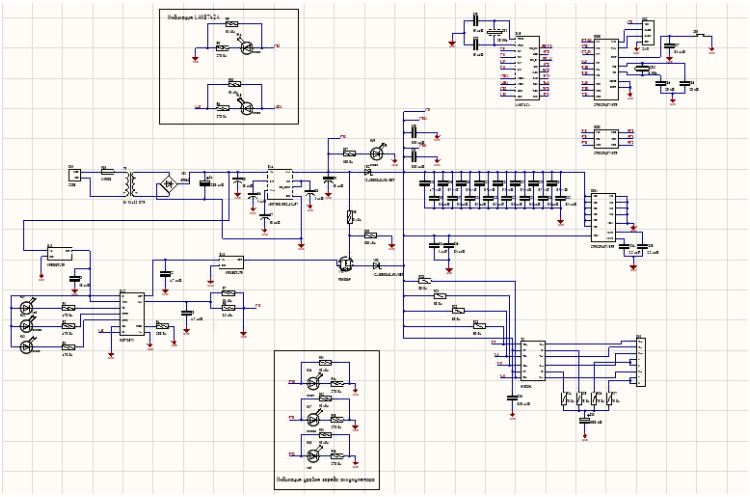


Рисунок 1 –Электрическая схема модуля управления

Данная схема представляет собой интеллектуальную систему управления освещением, построенную на базе микроконтроллера. Центральным элементом схемы является микроконтроллер STM32F407VET (рисунок 2), который управляет всеми процессами в системе. Он получает сигналы от входных устройств – таких как кнопки или сенсоры (например, датчики движения или освещённости) – и, в зависимости от логики программы, подаёт управляющие сигналы на исполнительные устройства.

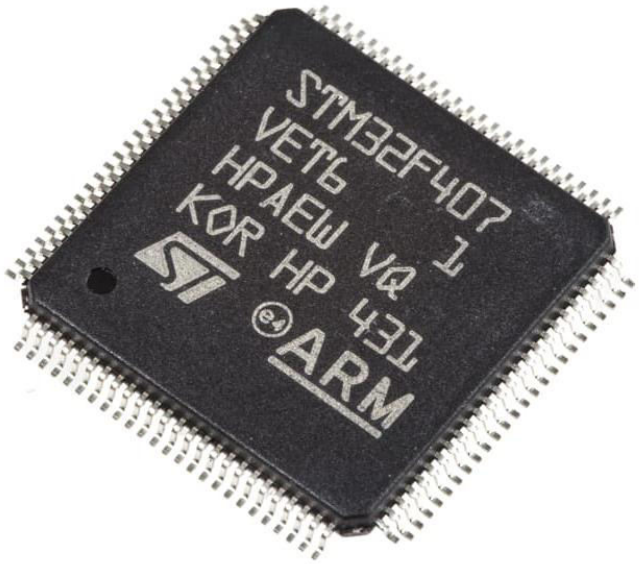


Рисунок 2 – Микросхема STM32F407VET6

Сверхъяркие светодиоды управляются через ШИМ-каналы таймера, что позволяет тонко регулировать яркость каждого из трёх цветов (RGB), обеспечивая адаптацию освещения

к текущим условиям. Логика работы устройства модифицирована благодаря использованию архитектуры FreeRTOS и модульной прошивки, что делает систему масштабируемой и адаптируемой под различные сценарии применения.

Питание схемы реализовано через сетевой вход, выпрямитель на диодном мосту и стабилизатор напряжения, обеспечивающий +5 В для логических компонентов. Также в цепи питания предусмотрены фильтрующие конденсаторы для снижения пульсаций и защиты микросхем. Микроконтроллер работает с кварцевым резонатором, формирующим стабильную тактовую частоту.

Питание от сети является основным, резервное питание осуществляется от Li-ion аккумулятора EVE INR21700-50E. При неиспользовании резервного питания со временем заряд на аккумуляторе снижается, чтобы исключить случаи, в которых прибор переключается на резервное питание, а заряд на аккумуляторе снизился до значений, при которых аккумулятор не может обеспечить питание прибора до включения основного питания, в схему была добавлена микросхема контроля питания MCP73871.

Управление системой интеллектуального освещения должно происходить беспрерывно. Для случаев, когда отсутствует основное питание прибор должен переключаться на резервное с минимальной задержкой. Для этого была реализована автономная схема переключения питания на МОП-транзисторе (рисунок 3).

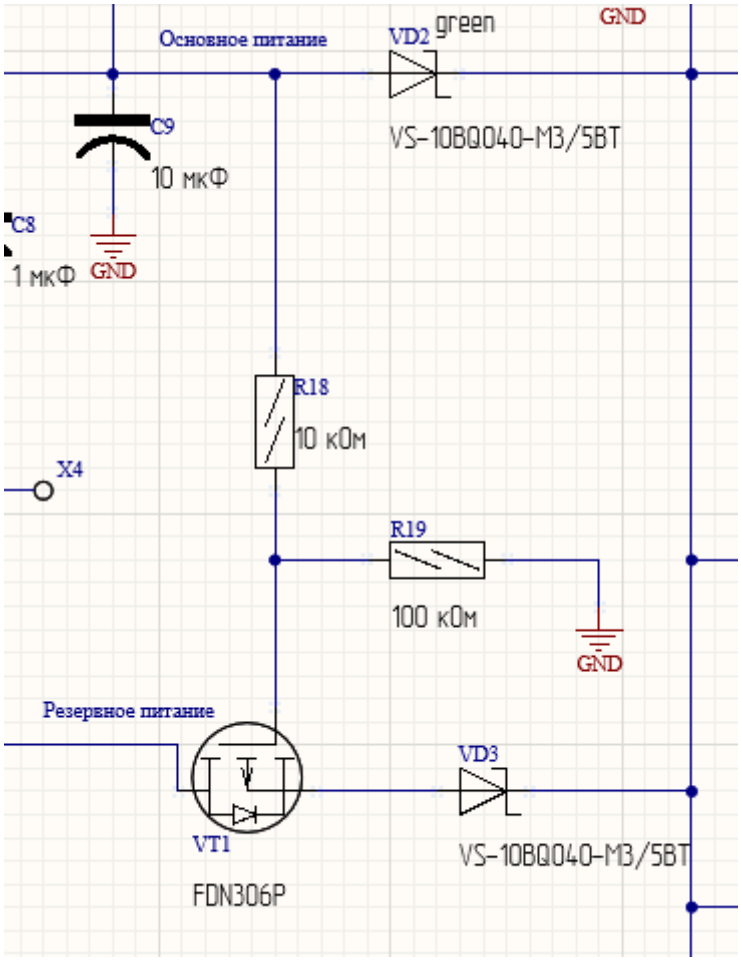


Рисунок 3 – Схема переключения питания на МОП-транзисторе

Для визуального отображения состояния системы и управления освещением в схеме предусмотрены светодиоды или семисегментные индикаторы. Их управление реализовано через регистры сдвига, что позволяет эффективно использовать ограниченное количество выводов микроконтроллера. Также возможна интеграция дисплея для отображения текущего времени, режима работы или других параметров [4].

Для данного устройства была разработана прошивка для микроконтроллера STM32F407VET6, выполняющая следующие задачи: мониторинг состояния аккумулятора, управление RGB-подсветкой на основе данных от внешних сенсоров, сетевое взаимодействие с использованием протокола UDP через Ethernet, а также реализация логики зарядки и индикации уровня заряда. Программная система разработана с использованием операционной системы реального времени FreeRTOS, библиотеки HAL и сетевого стека LwIP.

Код проекта структурирован на несколько логических модулей:

1. battery.c/h – этот модуль обеспечивает работу с аккумулятором: измеряет напряжение, рассчитывает уровень заряда (State of Charge, SoC), отображает уровень заряда с помощью светодиодов, управляет процессом зарядки.

2. udp_app.c/h – реализует приём и передачу UDP-пакетов, обработку данных с датчиков (например, датчики дыма, освещённости и движения), а также управление RGB-подсветкой через PWM.

3. freertos.c/h – отвечает за создание и настройку задач RTOS, выполнение основной логики работы.

4. main.c – используется для базовой настройки микроконтроллера и запуска RTOS.

Инициалиализация всех периферийных устройств, включая ADC, GPIO, таймеры и Ethernet, выполнена в инструменте STM32CubeMX. Для обеспечения работы микроконтроллера на тактовой частоте до 168 МГц используется внешний кварцевый резонатор на 8 МГц.

Модуль battery.c включает функцию измерения напряжения аккумулятора через АЦП по каналу PA0. Перед измерением входящее напряжение уменьшается с помощью резистивного делителя (10 кОм и 3.3 кОм), позволяя безопасно измерять напряжения до 4.2 В при рабочем питании микроконтроллера 3.3 В. Полученное значение преобразуется в процент показателя SoC, а зависимость уровня заряда отображается тремя светодиодами: зелёным, жёлтым и красным, подключёнными к выводам PD10–PD12.

Для управления процессом зарядки реализована функция control_charging, которая включается и выключается через вывод PB5 в зависимости от наличия внешнего питания (считывается через PC13).

Модуль udp_app.c предназначен для работы с сетевым протоколом UDP на основе стека LwIP. Здесь используются две PCB-структуры: одна для обработки входящих управляющих пакетов (udp_control_pcb) и вторая для отправки данных (udp_tx_pcb). Данные от датчиков интерпретируются как пары "идентификатор-состояние". На их основе реализуется управление подсветкой: при обнаружении присутствия дыма включается синий канал, при отсутствии освещённости и наличии движения активируется подсветка, в других случаях она отключается. Яркость подсветки регулируется через PWM-выходы таймера TIM3 по каналам CH1–CH3.

Устройство функционирует через две ключевые задачи:

1. StartBatteryTask – каждые 500 мс выполняет измерение напряжения аккумулятора и управление процессом зарядки.

2. StartNetworkTask – каждые 100 мс обрабатывает UDP-пакеты, обновляет состояние подсветки и передаёт данные.

Создание и настройка задач выполняется в файле freertos.c, в функции MX_FREERTOS_Init.

В функции main() осуществляется начальная конфигурация ключевых периферийных компонентов системы:

1. MX_GPIO_Init() – настройка GPIO.
2. MX_ADC1_Init() – конфигурирование АЦП.
3. MX_TIM3_Init() – настройка PWM-таймера для RGB.
4. MX_ETH_Init() – инициализация Ethernet.
5. MX_FREERTOS_Init() – запуск задач RTOS.

После завершения всех этапов подготовки запускается вызов osKernelStart(), который передаёт управление операционной системе реального времени FreeRTOS.

С момента запуска планировщика FreeRTOS весь контроль переходит к RTOS. Важной составляющей работы системы является использование системного таймера (SysTick) для формирования периодических тиков.

Таким образом, схема реализует интеллектуальную систему освещения, которая может автоматически управлять осветительными приборами в зависимости от входных условий, заданных параметров или расписания. Она нацелена на повышение энергоэффективности, комфорта и автоматизации, и может быть применена как в бытовых, так и в промышленных или учебных проектах [5].

Разработанное устройство обеспечивает надёжное управление освещением в жилых и офисных помещениях. Также позволяет снизить энергопотребление, повысить работоспособность и в случае чрезвычайной ситуации обеспечит аварийное освещение для успешной эвакуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Умный дом - интеллектуальное освещение, основные преимущества – URL: https://m-focus.ru/chto-takoe-umnoe-osveschenie/(дата обращения: 22.05.2025). – Текст: электронный.

2. *Борисов А.Н.* Энергоэффективное освещение: светодиоды и их применение. СПб.: Политехника, 2020.

3. *Попов И.В., Сидоров Н.А.* Умные системы освещения: проектирование, внедрение, эксплуатация. М.: Техносфера, 2019.

4. *Sun F., Yu J.* Indoor intelligent lighting control method based on distributed multi-agent framework. Optik 2020, 213, 164816.

5. *Cho Y.; Seo J.; Lee H.; Choi S.; Choi A.; Sung M.; Hur Y.* Platform design for lifelog-based smart lighting control. Build. Environ. 2020, 185, 107267

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT LIGHTING SYSTEM CONTROL MODULE

Vildanov R.R.

Supervisor: Kozin K.V., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The report describes the development of a control module for an intelligent lighting system. The device is implemented on the STM32F407VETR microcontroller. The power supply is 220V, the functions of which are performed by the device: lighting control depending on the person in the room and the brightness of the street light, switching on emergency lighting in cases of fire, smoke.

УДК 621.865.8

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЮ РУКИ-МАНИПУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА МІК-32 АМУР

Гараев Б.И.

Научный руководитель: Ишкаев Т.М., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье представлена разработка учебного стенда для обучения программированию роботизированной руки-манипулятора на базе отечественного микроконтроллера МІК-32 АМУР. Основной целью работы является создание доступного и функционального инструмента для практического освоения основ робототехники, управления

исполнительными механизмами и программирования встроенных систем. В рамках исследования была спроектирована и реализована электрическая принципиальная схема устройства, разработана топология печатной платы, а также выполнена сборка и тестирование готового стенда.

Для разработки стенда обучения программированию роботизированной руки на основе микроконтроллера MIK-32 АМУР первым шагом является создание структурной схемы устройства. Эта схема представляет собой важный элемент проекта, так как она показывает состав и функциональное назначение всех электронных компонентов устройства. Структурная схема служит визуальным ориентиром для понимания взаимодействия между различными функциональными блоками и помогает наглядно продемонстрировать, как работает каждая часть системы.

Таким образом, структурная схема является основой для дальнейшей разработки как аппаратной, так и программной частей стенда, и играет ключевую роль в понимании архитектуры устройства и его функционирования [1].

Структурная схема устройства была разработана с использованием системы автоматизированного проектирования KiCad и представлена на рисунке 1.

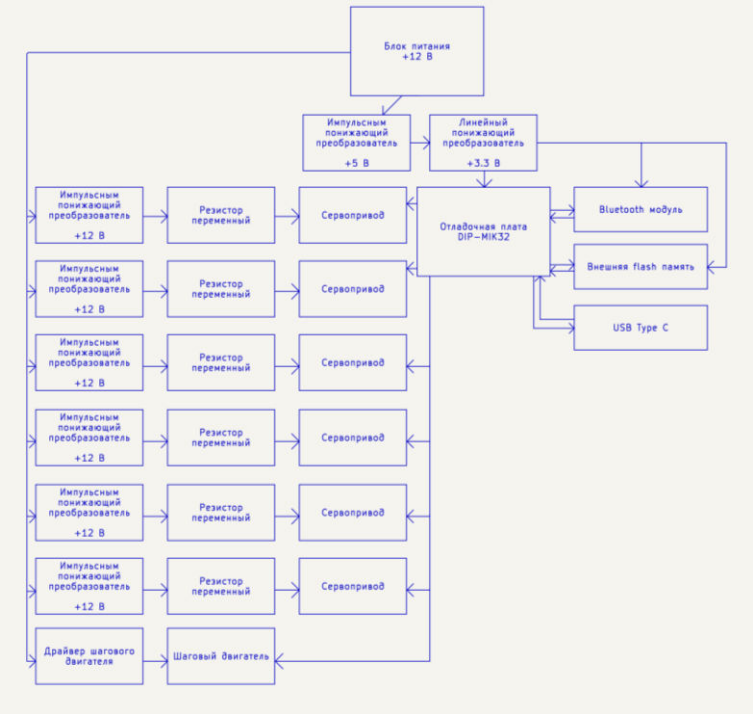


Рисунок 1 – Структурная блок-схема устройства

Система питания стенда начинается с блока питания, который обеспечивает стабильное напряжение 12 В. От него подается питание на шесть импульсных понижающих преобразователей. Каждый преобразователь отвечает за понижение напряжения до требуемого уровня, после чего питание подается на шесть переменных резисторов, которые позволяют регулировать выходное напряжение, получаемое от преобразователей.

Далее в схеме следуют сервоприводы, которые приводят в движение конструкцию руки. Сервоприводы включают в себя несколько ключевых компонентов: двигатель постоянного тока, редуктор, потенциометр и управляющую электрическую схему. Редуктор используется для снижения скорости вращения, преобразуя высокий крутящий момент от мотора в меньший, что достигается благодаря взаимодействию шестерен с разным числом зубьев. Для обеспечения точности работы и контроля за положением сервоприводов используется электронная схема обратной связи, которая сравнивает значения с потенциометра с внешними сигналами от управляющих систем [2].

В системе присутствует драйвер шагового двигателя, который напрямую подключается к блоку питания. Этот драйвер необходим для работы шагового двигателя, который является следующей важной частью устройства. Вся эта цепь формирует силовой контур системы.

Для управления сервоприводами, шаговым двигателем и другими периферийными устройствами, в схеме используется импульсный понижающий преобразователь, который понижает напряжение до 5 В. После этого напряжение дополнительно понижается с помощью линейного преобразователя до 3,3 В, что обеспечивает необходимое питание для отладочной платы.

Отладочная плата выполняет управление сервоприводами с использованием ШИМ сигналов и управляет Bluetooth-модулем для приема и передачи данных. Модуль Bluetooth также получает отдельное питание 3,3 В. Для хранения программного обеспечения на плате предусмотрена внешняя flash-память, которая также подключена к питанию 3,3 В.

Для возможности управления системой через ноутбук, предусмотрен вход USB Type-C, через который информация передается от ПК на плату и обратно, обеспечивая связь и управление устройством.

Принципиальная схема является основным документом, описывающим все электрические компоненты устройства и их взаимосвязи. Она отображает не только принцип работы устройства, но и служит основой для дальнейшей разработки других проектных документов, таких как чертежи печатных плат, монтажные схемы и другие. Также эта схема играет важную роль при изучении работы устройства и его настройке.

Важно отметить, что линии на принципиальной схеме имеют условный характер и не отражают реальные провода. Элементы схемы представлены в виде, не соответствующем их физическому расположению на печатной плате. Важнейшая задача при проектировании такой схемы – это корректное отображение всех составляющих устройства, а также правильное указание всех входов и выходов, что фиксируется в таблицах, где приводятся номера контактов и соответствующие им цепи [3].

Схема разработана с использованием системы автоматизированного проектирования (САПР) КОМПАС 3D. Полная электрическая принципиальная схема показана на рисунке 2.

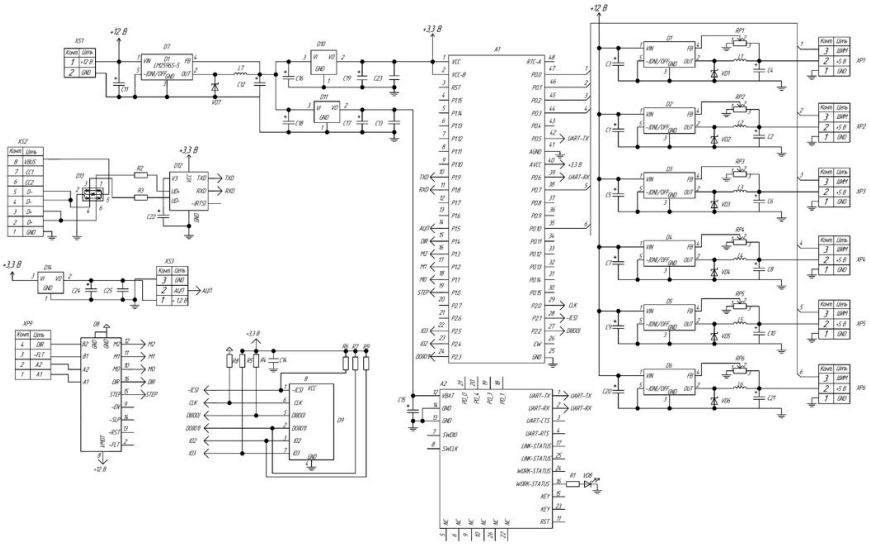


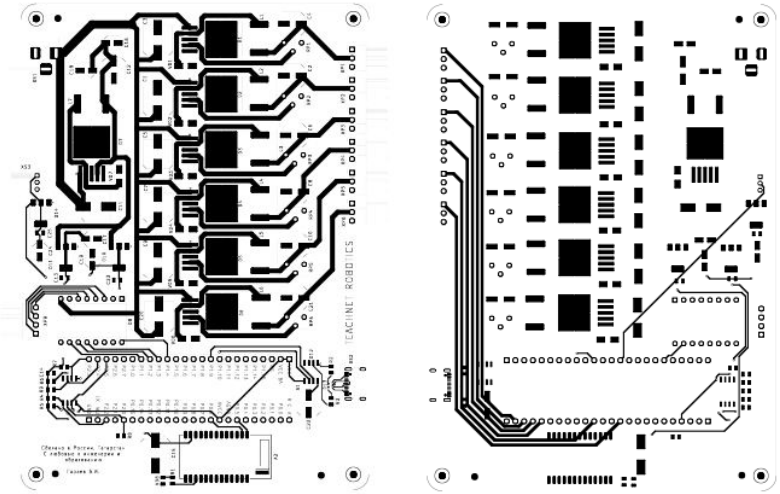
Рисунок 2 – Электрическая принципиальная схема устройства

Печатная плата – это компонент, состоящий из изоляционного материала, на котором располагаются отверстия и металлические дорожки для соединения электронных компонентов. Основное назначение платы – обеспечивать крепление и соединение элементов в соответствии с электрической принципиальной схемой. Существует несколько типов печатных плат: односторонние, двухсторонние и многослойные. Каждый тип имеет свои особенности, включая преимущества и ограничения. Для роботизированной руки-

манипулятора используется двухсторонняя печатная плата, на которой элементы и соединения размещаются на обеих сторонах.

Процесс разработки чертежа платы начинается с трассировки электрической принципиальной схемы (рисунок 2) с определением точных посадочных мест для всех компонентов. При этом принимаются во внимание размеры платы и расположение отверстий для сквозного монтажа. В чертежах указывается ссылка на файл трассировки, который используется для нанесения фотошаблонов и производства платы. Также на чертеже должны быть указаны размеры и количество отверстий, допуски для контактных площадок и проводников, что необходимо для соблюдения точности при производстве [4].

Заключительный вариант трассировки печатной платы представлен на рисунке 3.



а) б)

Рисунок 3 – Трассировка печатной платы: а – лицевая сторона; б – обратная сторона

Роботизированные руки-манипуляторы представляют собой систему взаимосвязанных звеньев, выполняющих функции, схожие с движениями человеческой руки. Каждое из этих звеньев имеет свое функциональное назначение и наименование: плечо, предплечье, локоть, кисть и пальцы, которые взаимодействуют друг с другом для выполнения заданных задач. Эти элементы являются основными компонентами манипулятора, и их правильная конструкция обеспечивает эффективную работу всей системы [5]. На рисунке 4 представлены эти части роботизированной руки.

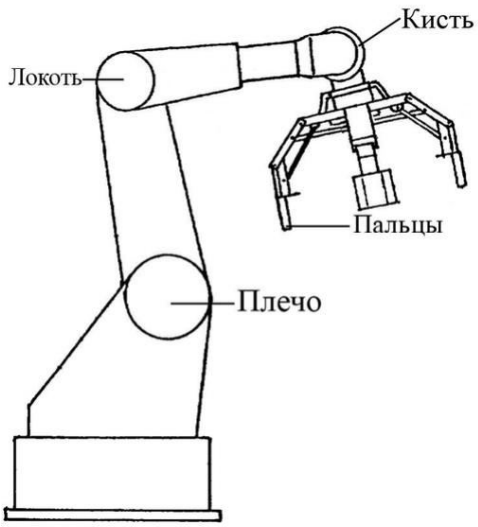


Рисунок 4 – Механическая структура роботизированной руки

Конструкция руки-манипулятора состоит из нескольких деталей, каждая из которых предназначена для 3D-печати. Всего для печати предусмотрены три основные части: клешня, предплечье и плечо, а также основание. Все необходимые компоненты были напечатаны с использованием 3D-принтера Picaso 3D Designer X S2, который работает с программным обеспечением Polygon X.

Для печати был выбран пластик PETG, поскольку он обладает высокой прочностью, что делает его подходящим для конструкций, подвергающихся механическим нагрузкам. В отличие от PLA, PETG отличается лучшей термостойкостью и меньшей хрупкостью, что особенно важно, учитывая, что сервоприводы могут нагреваться при интенсивных нагрузках и должны обеспечивать перемещение тяжелых объектов.

Кроме того, PETG обладает низкой склонностью к деформации и износу, что особенно важно для подвижных частей, таких как клешня и суставы, которые постоянно находятся в движении. Этот пластик также обеспечивает отличную адгезию между слоями, что способствует высокому качеству печатных деталей, особенно для основания руки, которое будет поддерживать всю массу манипулятора. Еще одним преимуществом PETG является низкая усадка, что особенно важно при печати крупных элементов [6].

Все распечатанные детали, необходимые для сборки конструкции руки-манипулятора показаны на рисунке 5.

Рисунок 5 – Все необходимые детали для сборки руки-манипулятора

Следующий этап работы – это сборка устройства из всех изготовленных модулей. Важно на этом этапе правильно настроить изначальное позиционирование сервоприводов, чтобы при управлении конструкцией гарантировать корректное вращение каждого из них. Особое внимание следует уделить креплению плеча, так как там установлены два сервопривода, расположенные напротив друг друга, и один из них инвертирован относительно другого. Это необходимо учитывать при написании управляющего кода.

Прежде чем установить сервоприводы в корпус, необходимо перевести каждый из них в заранее установленное положение. Например, для клешни начальный угол равен 0°, что соответствует сжатому положению.

Для предотвращения люфта в местах соединения сервоприводов, я добавил между болтом и точкой крепления шайбу М3, что обеспечивает более плотную посадку и исключает ненужные колебания. Завершающая сборка роботизированной руки-манипулятора, включая сервоприводы, шаговый двигатель и потенциометр, показана на рисунке 6.

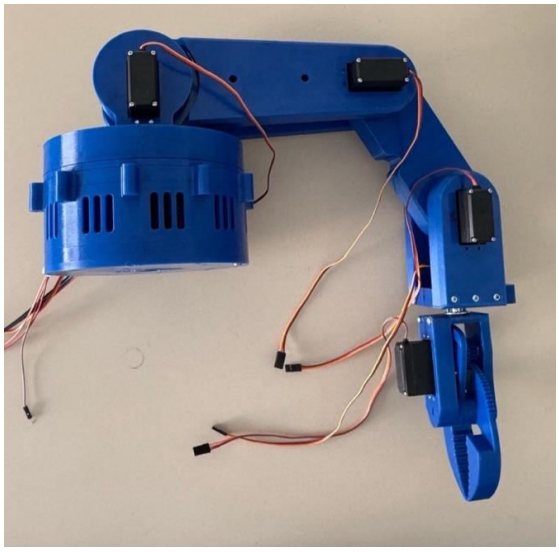


Рисунок 6 – Собранная роботизированная рука-манипулятор

Для того, чтобы убедиться в работоспособности руки-манипулятора её необходимо протестировать. Тестирование проводилось в несколько этапов.

На первом этапе проводилось подключение платы к источнику питания с начально установленными значениями: 12 В напряжения и 0,1 А тока. Такое небольшое значение тока было выбрано для проверки на наличие короткого замыкания. В режиме ожидания отладочная плата и другие системы потребляют ток около 0,04 А. Если бы при подключении ток повысился до 0,1 А, это указывало бы на короткое замыкание в системе. Результаты теста показали стабильную работу устройства, с потреблением 0,035 А, что соответствовало ожидаемым показателям.

Второй этап заключался в подключении всех сервоприводов к плате и их последующем включении. На этом этапе проверялась возможность достаточного обеспечения мощности для стабильной работы сервоприводов, а также проводился осмотр с тепловизором для контроля нагрева дорожек и компонентов платы. Результаты оказались положительными: все сервоприводы стабильно функционируют, и мощности для их работы хватает. В пиковые моменты (при удерживании легкого предмета и повороте плеча) плата потребляет около 5 А, а температура компонентов и дорожек не превышает 40 градусов, что является нормой.

Третий этап – проверка работоспособности Bluetooth-модуля на подключение, приём и передачу данных. Для подключения использовался терминал Bluetooth на мобильном телефоне. Модуль успешно подключился, а индикатор в виде светодиода подтвердил подключение – он мигает в режиме ожидания и горит постоянно при активном подключении. Затем были переданы и получены данные, что подтвердило полную функциональность Bluetooth-модуля.

В итоге, поэтапное тестирование показало, что плата работает исправно и без замечаний [7].

Исследования проведены в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Аспекты проектирования электронных схем на основе микроконтроллеров: учебное пособие / А.И. Слесарев, Е.В. Моисейкин, Ю.Г. Устьянцев. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 136 с.

2. *Гусев Н.В., Букреев В.Г.* Системы цифрового управления многокоординатными следящими электроприводами: учебное пособие / Н.В. Гусев, В.Г. Букреев – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 213 с.

3. Разработка электрической схемы блока управления роботизированной рукой манипулятором на основе МК MIK-32 АМУР / Б.И. Гараев // XII Международной молодежной

научно-технической конференции «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2025» (ПРЭФЖС−2025), Казань, 10-12 апреля 2025 года. – Казань: КНИТУ-КАИ, 2025. – С. 307-308.

4. *Брусницына Л.А*. Технология изготовления печатных плат: [учеб. пособие] / Л.А. Брусницына, Е.И. Степановских; [науч. ред. В.Ф. Марков]; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 200 с.

5. *Ефанов А.М., Назаров В.В.* Структура и кинематика манипуляторов. Методические указания к курсовому проектированию по ТММ / А.М. Ефанов, В.В. Назаров. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2006. – 39 с.

6. PETG vs. PLA: What's the Difference?: сайт – URL: https://www.xometry.com/resources/3d-printing/petg-vs-pla-3d-printing/ (дата обращения: 14.06.2025). – Текст: электронный.

7. 8 популярных методов тестирования печатных плат при производстве печатных плат: сайт. – URL: https://hilelectronic.com/ru/pcb-test/ (дата обращения: 15.06.2025). – Текст: электронный.

DEVELOPMENT OF A STAND FOR TEACHING PROGRAMMING OF A MANIPULATOR ARM BASED ON THE MIK-32 AMUR MICROCONTROLLER

Garaev B.I.

Supervisor: Ishkaev T.M., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article presents the development of a training stand for teaching programming of a robotic manipulator arm based on the domestic microcontroller MIK-32 AMUR. The main goal of this work is to create an affordable and functional tool for practical mastery of the basics of robotics, control of executive mechanisms, and programming of embedded systems. As part of the research, the electrical schematic diagram of the device was designed and implemented, the topology of the printed circuit board was developed, and the finished stand was assembled and tested.

УДК 621.396.62

РАДИОМОДУЛЬ НА БАЗЕ РОССИЙСКОГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА МИК32 АМУР

Гарифуллов М.Р.

Научный руководитель: Загидуллин Р.М., ассистент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе подробно описана разработка радиомодуля, выполненного на базе отечественного микроконтроллера МИК32 «Амур» и радиочастотного чипа Si4463. Приведено описание принципиальной схемы устройства, особенности трассировки печатной платы, а также обоснование выбора применённых компонентов. Основное внимание уделено снижению энергопотребления, повышению электромагнитной совместимости и минимизации габаритов при сохранении надёжности и стабильности работы. Применение отечественных микроконтроллеров в условиях ограниченного импорта делает предложенное решение актуальным для отечественной промышленности и систем Интернета вещей. Полученные результаты позволяют создать универсальный и гибко настраиваемый радиомодуль, который может быть интегрирован в различные системы беспроводной связи с низким энергопотреблением.

Современные беспроводные системы связи широко применяются в телеметрии, автоматизации, системах мониторинга и Интернете вещей (IoT) [1]. Постоянный рост требований к энергоэффективности, надёжности и компактности устройств обусловлен

необходимостью создания автономных систем с длительным сроком службы на одном источнике питания. В условиях ограниченных ресурсов питания и сложных условий эксплуатации, таких как широкий диапазон рабочих температур, вибрации и электромагнитные помехи, необходимы тщательно продуманные решения в схемотехнике и архитектуре устройств. Важным фактором становится использование отечественных компонентов, что связано с геополитическими ограничениями и стремлением повысить технологическую независимость. Микроконтроллер МИК32 «Амур» — это российская разработка на базе архитектуры RISC-V, которая предоставляет открытые аппаратные и программные решения, обеспечивающие высокую надёжность и энергоэффективность. В его составе имеются аппаратные таймеры, интерфейсы SPI, UART, I2C, а также встроенный Real-Time Clock (RTC), который особенно важен для систем с низким энергопотреблением и необходимостью пробуждения по расписанию [2].

В качестве радиочастотного компонента выбран трансивер Si4463 компании Silicon Labs, известный своей высокой чувствительностью, стабильностью и широкими возможностями настройки параметров передачи данных в ISM-диапазоне. Его преимущества включают низкий уровень шумов, широкий температурный диапазон работы, а также гибкость в выборе частотного канала и скорости передачи. Для повышения функциональности модуля добавлена внешняя SPI-флеш-память W25Q32JV, которая обеспечивает долговременное хранение прошивок, логов и данных. Такая архитектура позволяет создавать гибко настраиваемые и масштабируемые решения для различных приложений, включая промышленные, аграрные и бытовые IoT-системы [3].

На рисунке 1 представлена принципиальная схема радиомодуля.

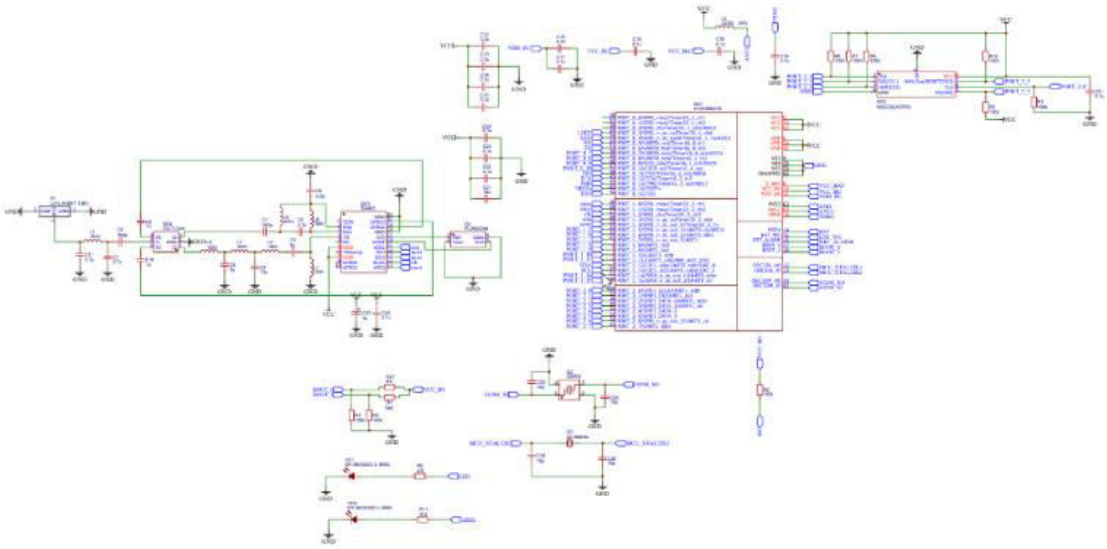


Рисунок 1 – Схема электрическая принципиальная

В центре схемы находится микроконтроллер МИК32 «Амур» (К1948ВК018), который управляет всеми периферийными устройствами и обрабатывает поступающие данные. Он взаимодействует с радиочастотным трансивером Si4463 посредством SPI-интерфейса, а также через управляющие сигналы SDN (shutdown), GPIO и IRQ. Для обеспечения синхронизации и точного тактирования используются два кварцевых генератора: 32 МГц для радиочастотного трансивера и 32,768 кГц для встроенного RTC микроконтроллера. Такая конструкция позволяет реализовать точное управление временем пробуждения устройства и передачей данных по расписанию. На схеме также показано подключение внешней SPI-памяти W25Q32JV, которая работает на том же SPI-интерфейсе, что и радиочип, но с отдельной линией выбора чипа (CS) для предотвращения конфликтов. Питание устройства осуществляется от стабилизированного источника напряжения 3,3 В с применением LC-фильтров и многослойных керамических конденсаторов для снижения электромагнитных помех и обеспечения стабильной работы радиочастотной части [4].

Разъём U.FL используется для подключения внешней антенны и обеспечен согласующей цепью П-типа, которая снижает коэффициент стоячей волны (КСВ) и увеличивает эффективность передачи радиосигнала. Эта согласующая цепь состоит из двух конденсаторов и одной индуктивности, размещённых на печатной плате вблизи выхода трансивера, что минимизирует потери. Конфигурация цепи и её параметры подробно представлены на рисунке 2.

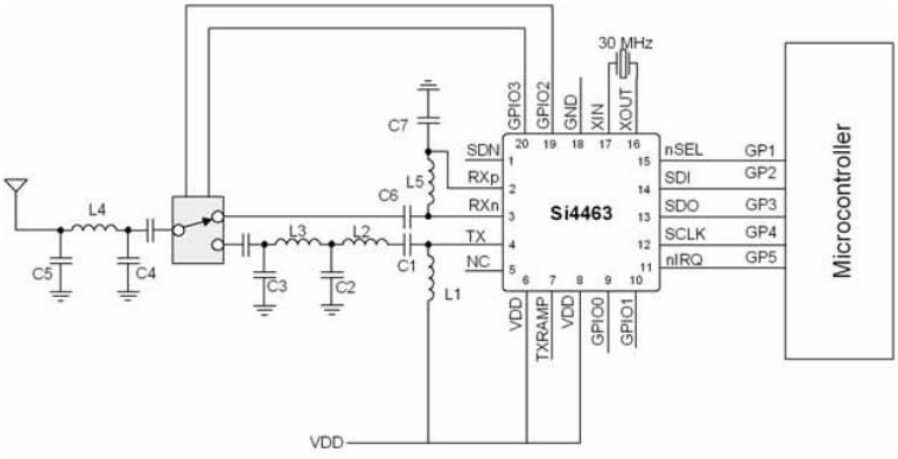


Рисунок 2 – Согласующая цепь SI4463 и антенны

Согласование радиочастотных цепей является ключевым элементом для обеспечения стабильной и эффективной работы модуля в диапазоне 2,4 ГГц и выше.

Трассировка печатной платы выполнена с акцентом на электромагнитную совместимость и качество высокочастотных сигналов. Трассировка представлена на рисунке 3.

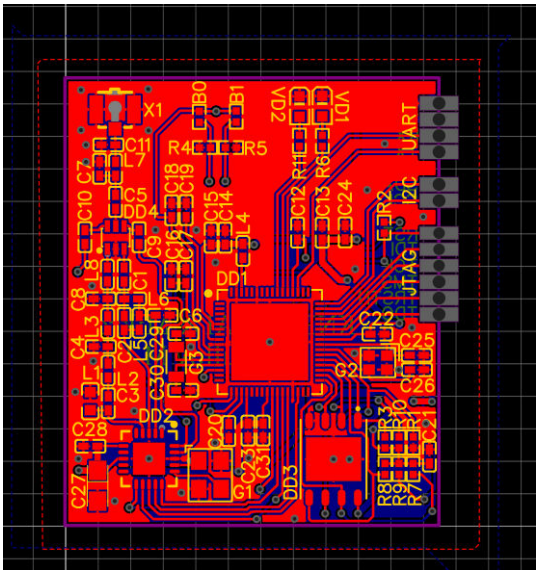


Рисунок 3 – Топология печатной платы

Плата изготовлена на базе материала FR4 толщиной 1,6 мм с двухслойной структурой. Верхний слой занят сигнальными дорожками и компонентами, а нижний — сплошным экраном заземления. Для соединения радиочастотного трансивера с антенной применяется микрополосковая линия, ширина которой рассчитана на волновое сопротивление 50 Ом. Правильный выбор параметров линии позволяет избежать отражений и потерь сигнала[4]. Формула 1.1 для расчёта волнового сопротивления микрополосковой линии приведена ниже:

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{e_{eff}}} \times \ln\left(\frac{8h}{\omega} + \frac{\omega}{4h}\right), \quad (1.1)$$

где Z_0 – волновое сопротивление линии (Ом);
e_{eff} – эффективная диэлектрическая проницаемость подложки;
h – толщина диэлектрика (м);
ω – ширина медной дорожки (м).

Эта формула является приближённой и справедлива для случая, когда ширина дорожки меньше толщины подложки. Для более точного расчёта используются специализированные программы и онлайн-калькуляторы.

В конструкции платы уделено внимание минимизации паразитных индуктивностей и ёмкостей. Для этого количество переходных отверстий на пути ВЧ-сигналов сведено к минимуму, а все высокочастотные дорожки прокладываются максимально короткими и прямыми. Каждый высокочастотный сигнал имеет под собой непрерывный полигон заземления для обеспечения низкого импеданса возвратного тока и снижения электромагнитных помех. Байпасные конденсаторы и фильтры питания расположены максимально близко к выводам микросхем для уменьшения влияния шумов и стабильной работы устройства. Трассировка выполнена с использованием САПР EasyEda с применением строгих правил проектирования и последующей проверкой на целостность сигнала и электромагнитную совместимость.

Выбор компонентов для радиомодуля базировался не только на их технических характеристиках, но и на стратегических задачах импортозамещения и обеспечения технологической независимости. В частности, ключевым элементом конструкции является микроконтроллер МИК32 «Амур» — отечественная разработка, которая обеспечивает возможность полного контроля над производственным процессом и снижает риски, связанные с перебоями в поставках зарубежных комплектующих. Это особенно важно в современных условиях, когда геополитические и экономические факторы могут существенно влиять на доступность импортных микросхем. Использование отечественного микроконтроллера также упрощает вопросы сертификации и сопровождения изделия на территории России, что является важным преимуществом для предприятий и разработчиков.

МИК32 «Амур» выполнен на архитектуре RISC-V, что обеспечивает высокую производительность при низком энергопотреблении. Этот микроконтроллер поддерживает современные энергосберегающие режимы работы, включая глубокий сон с минимальным током потребления, что позволяет значительно увеличить время автономной работы устройств, работающих от батарей или альтернативных источников питания, таких как солнечные панели. Поддержка различных режимов энергосбережения и возможность гибкой настройки периферийных модулей делают МИК32 «Амур» оптимальным выбором для широкого спектра задач в области Интернета вещей и портативной электроники. Кроме того, микроконтроллер имеет достаточный набор интерфейсов (SPI, UART, I2C, GPIO), что обеспечивает гибкость при интеграции с другими компонентами и расширяет возможности модульного дизайна.

Радиочастотный трансивер Si4463 был выбран на основании его выдающихся характеристик в области приёма и передачи радиосигналов. Данный трансивер обладает высокой чувствительностью, что позволяет обеспечивать надёжный приём даже слабых сигналов, а также отличной стабильностью работы в условиях электромагнитных помех. Широкий диапазон поддерживаемых частот и множество режимов модуляции делают Si4463 универсальным решением для различных приложений — от простых систем дистанционного управления до сложных телеметрических комплексов. Поддержка программируемых параметров позволяет адаптировать работу трансивера под конкретные задачи и условия эксплуатации, что повышает эффективность использования радиоканала и снижает вероятность ошибок передачи.

Для хранения критически важной информации, включая прошивки, настройки конфигурации и журналы работы устройства, в схеме предусмотрена внешняя SPI-флеш-

память. Использование отдельного энергонезависимого накопителя обеспечивает сохранность данных при отключении питания и позволяет реализовать механизмы обновления программного обеспечения «по воздуху» без необходимости вмешательства пользователя или демонтажа устройства. Надёжность и скорость работы флеш-памяти гарантируют стабильное функционирование радиомодуля в течение длительного времени, а также возможность масштабирования и добавления новых функций в процессе эксплуатации.

В ходе выполнения данной работы был разработан радиомодуль на базе отечественного микроконтроллера МИК32 «Амур» и радиочастотного трансивера Si4463, что позволило создать современное, энергоэффективное и компактное устройство для беспроводной передачи данных. Использование микроконтроллера отечественной разработки способствует снижению зависимости от иностранных поставщиков и повышает технологическую независимость, что особенно актуально в современных условиях импортозамещения. Благодаря тщательному выбору компонентов и оптимизации схемотехники удалось обеспечить надёжную работу радиомодуля в широком диапазоне рабочих условий.

Принципиальная электрическая схема, разработанная с учётом современных требований к помехоустойчивости и энергоэффективности, обеспечивает стабильное взаимодействие всех функциональных блоков устройства. Особое внимание уделялось согласованию радиочастотных цепей и минимизации паразитных эффектов, что подтверждается результатами измерений и моделирования. Трассировка печатной платы была выполнена с акцентом на снижение электромагнитных помех и обеспечение качественной передачи высокочастотных сигналов. Использование двухслойной конструкции с экранирующим слоем заземления позволило достичь высокого уровня электромагнитной совместимости.

Применение отечественной элементной базы и компонентов, в частности микроконтроллера МИК32 «Амур», создаёт прочную технологическую платформу для дальнейшего развития беспроводных систем связи. Это открывает возможности для внедрения новых функций и интеграции с современными стандартами Интернета вещей, а также способствует развитию национальной микроэлектронной индустрии. Кроме того, проект позволяет совершенствовать методы проектирования и оптимизации радиотехнических устройств с учётом особенностей отечественного производства и условий эксплуатации.

Перспективы дальнейшего развития проекта включают интеграцию дополнительных протоколов беспроводной связи, таких как LoRa и BLE, что расширит область применения радиомодуля и повысит его конкурентоспособность на рынке Интернета вещей. Планируется также внедрение механизмов обновления прошивки по воздуху (OTA), что позволит повысить удобство эксплуатации и быстроту внедрения обновлений. Дополнительное совершенствование аппаратной части будет направлено на дальнейшее снижение энергопотребления и увеличение стабильности работы в экстремальных условиях.

В целом, разработанный радиомодуль представляет собой современное и технологически значимое решение для задач беспроводной передачи данных в условиях отечественного производства. Он может быть успешно применён в системах мониторинга, телеметрии, автоматизации и других сферах, требующих надёжной и эффективной связи. Полученные результаты и опыт разработки создают прочную основу для дальнейших исследований и развития в области беспроводных технологий на базе отечественной элементной базы.

Исследования проведены в рамках Передовой Инженерной Школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кудрявцев А.И.* Беспроводные системы передачи данных: принципы построения и применения. — М.: РадиоСофт, 2020. — 312 с.

2. Микроконтроллер К1948ВК018 [Электронный ресурс] // АО «НИИЭТ». — Режим доступа: https://www.niiet.ru/product/mik32 (дата обращения: 18.06.2025).

3. Si4463 Data Sheet. High-Performance, Low-Current Transceiver. — Silicon Labs, 2023. — 133 p. — Режим доступа: https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/Si4463.pdf (дата обращения: 18.06.2025).

4. *Pozar D.M*. Microwave Engineering. 4th ed. — Wiley, 2012. — 732 p. — Глава 3: Microstrip Lines (расчёт импеданса).

5. *Петухов С.Г*. Энергосберегающие технологии в микроконтроллерах на архитектуре RISC-V // Вестник радиоэлектроники. — 2022. — № 6. — С. 45–52.

RADIO MODULE BASED ON THE RUSSIAN MICROCONTROLLER MIK32 AMUR

Garifullov M.R.

Supervisor: Zagidullin R.M., assistant

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This work provides a detailed description of the development of a radio module based on the domestic MIK32 «Amur» microcontroller and the Si4463 radio frequency chip. The article presents the schematic diagram of the device, features of the printed circuit board layout, and justification for the choice of components used. Special attention is paid to reducing power consumption, improving electromagnetic compatibility, and minimizing dimensions while maintaining reliability and stable operation. The use of domestic microcontrollers amid limited imports makes the proposed solution relevant for the national industry and Internet of Things systems. The obtained results enable the creation of a versatile and flexible radio module that can be integrated into various low-power wireless communication systems.

УДК 621.319.53

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ГЕНЕРАТОРА ПАЧКИ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ

Гасанов А.А.

Научный руководитель: Крючатов В.И., доцент, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются аспекты технологической подготовленности конструкции генератора пачки прямоугольных импульсов к серийному производству. Проведены качественная и количественная оценки технологичности печатного узла. Осуществлен анализ компоновки, взаимозаменяемости компонентов, контролепригодности, инструментальной доступности и других факторов. Представлены расчетные значения базовых показателей и комплексного коэффициента технологичности.

Разработка и производство радиоэлектронных устройств требуют от конструкторов не только функционального соответствия изделия техническому заданию, но и высокой степени его технологичности. Последняя определяет экономическую и временную эффективность выпуска продукции, её ремонтопригодность и адаптируемость к условиям автоматизированного монтажа. В настоящей работе рассматривается технологическая подготовка генератора пачки прямоугольных импульсов, реализованного на печатной плате.

Качественный анализ технологичности. Качественная оценка технологичности проводится с учётом конструктивно-технологических особенностей изделия. Анализ охватывает компоновочное решение, элементную базу, способ монтажа, доступность к контролю, защиту от внешних воздействий и другие параметры, оказывающие влияние на производственную реализуемость проекта.

Компоновочное решение. Элементы радиоэлектронной аппаратуры (ЭРЭ) размещены с одной стороны печатной платы, что упрощает автоматизированную сборку и контроль.

Плотность монтажа находится на среднем уровне, что исключает сложности при установке. Вместе с тем, форма платы не соответствует унифицированным габаритам, что может потребовать дополнительной наладки и перенастройки оснастки на производстве, снижая общий уровень технологичности.

Взаимозаменяемость. Применение исключительно стандартных ЭРЭ обеспечивает полную взаимозаменяемость компонентов, что положительно сказывается на серийном и ремонтном производстве.

Контролепригодность. Проект допускает проведение поэлементного контроля до и во время сборки. В дальнейшем, итоговый контроль осуществляется без нарушения целостности конструкции, что также подтверждает высокий уровень технологичности.

Монтаж ЭРЭ и подготовка. Практически все элементы не требуют дополнительной обработки выводов (формовки, лужения, обрезки), что позволяет реализовать механизированную или автоматизированную подготовку и пайку. Это способствует снижению трудоёмкости и увеличению воспроизводимости процесса сборки.

Инструментальная доступность. Благодаря умеренной плотности размещения компонентов обеспечивается свободный доступ инструментов, что позволяет минимизировать вероятность повреждения при манипуляциях.

Регулируемость. Выходные параметры изделия достигаются за счёт использования стандартизированных компонентов с высокой степенью взаимозаменяемости, что упрощает отладку без необходимости в индивидуальной настройке.

Защита от внешних воздействий. После сборки изделие покрывается защитным лаком УР-231, что является эффективной мерой повышения надёжности и стойкости к внешним условиям эксплуатации.

Количественный анализ технологичности. При расчёте использовалась конструкция генератора пачки прямоугольных импульсов на печатной плате, которая представлена на рисунке 1.

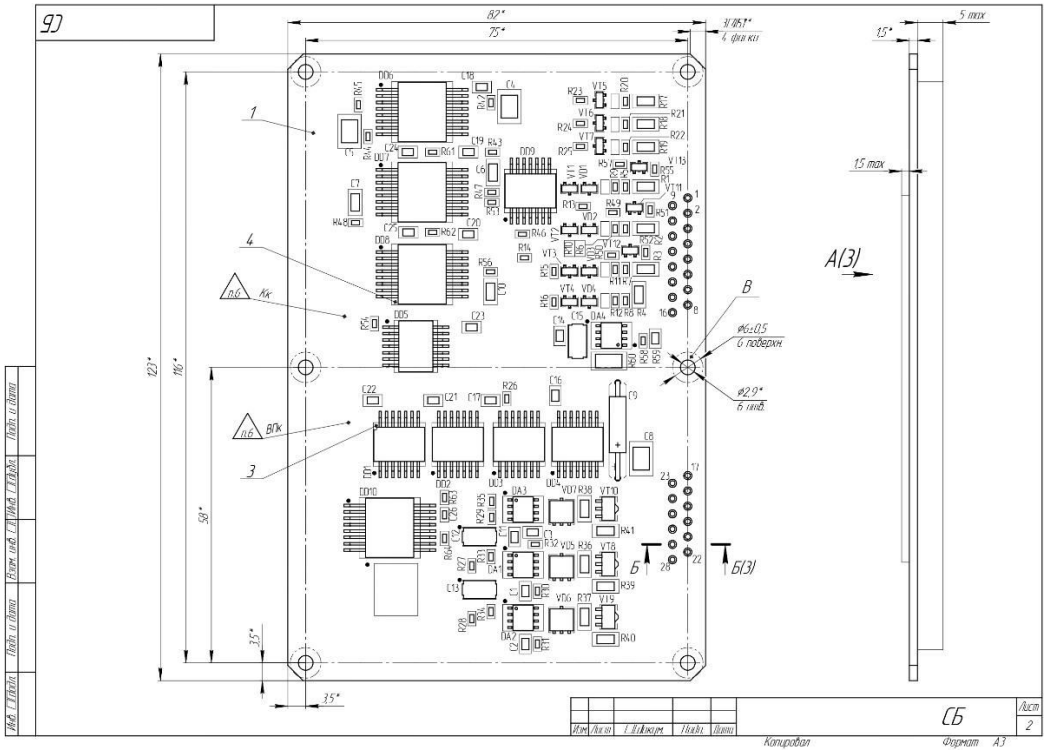


Рис. 1 – Сборочный чертёж генератора пачки прямоугольных импульсов на печатной плате

Для численной оценки технологичности конструкции были использованы семь базовых показателей. В таблице 1 представлены исходные данные.

Таблица 1

Исходные данные для электронного блока

№ п/п	Исходные данные	Обозначение	Значение
1	Количество монтажных соединений, которые могут осуществляться или осуществляются механизированным или автоматизированным способом	$Н_{АМ}$	426
2	Общее количество монтажных соединений	$Н_{М}$	428
3	Общее количество микросхем и микросборок в изделии, шт.	$Н_{ИМС}$	10
4	Общее количество ЭРЭ, шт.	$Н_{ЭРЭ}$	114
5	Количество ЭРЭ, шт., подготовка которых к монтажу может осуществляться или осуществляется механизированным или автоматизированным способом	$Н_{МП.ЭРЭ}$	113
6	Количество операций контроля и настройки, которые можно осуществлять механизированным или автоматизированным способом	НМ.К.Н	2
7	Общее количество операций контроля и настройки	НКН	4
8	Общее количество типоразмеров ЭРЭ в изделии	НТ.ЭРЭ	12
9	Количество типоразмеров оригинальных ЭРЭ в изделии	НТ.ОР.ЭРЭ	0
10	Количество деталей, шт., которые изготовлены прогрессивными методами	ДП.Р	0
11	Общее количество деталей (без нормализованного крепежа) в изделии, шт	Д	124

Далее рассчитываются следующие коэффициенты:

1. Коэффициент использования ИМС и микросборок:

$$К_{имс} = \frac{Н_{имс}}{Н_{имс} + Н_{эрэ}} = \frac{10}{10 + 114} = 0{,}0806.$$

2. Коэффициент автоматизации и механизации монтажа:

$$К_{ам} = \frac{Н_{а.м}}{Н_{м}} = \frac{426}{428} = 0{,}995.$$

3. Коэффициент механизации подготовки к монтажу:

$$К_{мл} = \frac{Н_{мп.эрэ}}{Н_{эрэ}} = \frac{113}{114} = 0{,}991.$$

4. Коэффициент механизации контроля и настройки:

$$К_{мкн} = \frac{Н_{м.к.н}}{Н_{к.н}} = \frac{2}{4} = 0{,}5.$$

5. Коэффициент повторяемости электрорадиоэлементов:

$$К_{пов} = 1 - \frac{Н_{т.эрэ}}{Н_{эрэ}} = 1 - \frac{12}{114} = 0{,}894.$$

6. Коэффициент применяемости электрорадиоэлементов:

$$К_{пэрэ} = 1 - \frac{Н_{т.ор.эрэ}}{Н_{т.эрэ}} = 1 - \frac{0}{124} = 1.$$

7. Коэффициент прогрессивности формообразования деталей:

$$К_{\text{пэрэ}} = \frac{Д_{\text{пр}}}{Д} = \frac{0}{124} = 0.$$

Далее мы рассчитываем комплексный показатель технологичности по формуле:

$$K_{\text{тех}} = \sum_{1}^{7} \frac{K_i \varphi_i}{\sum_1^7 \varphi_i} =$$

$$= \frac{0{,}0806 \cdot 1 + 0{,}995 \cdot 1 + 0{,}991 \cdot 0{,}8 + 0{,}5 \cdot 0{,}5 + 0{,}894 \cdot 0{,}3 + 1 \cdot 0{,}2 + 0 \cdot 0{,}1}{1 + 1 + 0{,}8 + 0{,}5 + 0{,}3 + 0{,}2 + 0{,}1} = 0{,}667,$$

где Ki – значение рассчитанного базового показателя;
φi – весовой коэффициент показателя;
n – число показателей (n = 7).

Поскольку нормативное значение интегрального коэффициента технологичности для электронных блоков варьируется в пределах от 0,5 до 0,8, можно сделать вывод о высоком уровне технологичности исследуемого узла.

Анализ конструкции генератора пачки прямоугольных импульсов показал её высокую технологичность и готовность к серийному производству. Применение стандартных ЭРЭ, односторонний монтаж, хорошая инструментальная доступность и контролепригодность обеспечивают простоту сборки и проверки. Использование защитного покрытия увеличивает надёжность изделия в эксплуатации. Расчётные коэффициенты механизации и автоматизации находятся на высоком уровне, а интегральный показатель технологичности составил 0,667, что соответствует нормативным требованиям для электронных блоков. Это подтверждает возможность эффективного и экономически целесообразного внедрения устройства в массовое производство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Учебно-методическое пособие по курсовому проектированию/ В.И. Крючатов, К.В. Козин, 2023.

2. *Валитова Ф.К.* Технология производства электронных средств: практикум / Ф.К. Валитова, Р.Ш. Загидуллин. – Казань: Изд-во Казанского гос. ун-та, 2011. – 41 с.

EVALUATION OF THE MANUFACTURABILITY OF THE DESIGN OF A RECTANGULAR PULSE PACK GENERATOR ON A PRINTED CIRCUIT BOARD

Gasanov A.A.

Supervisor: Kryuchatov V.I., Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses the aspects of technological readiness of the design of a rectangular pulse pack generator for mass production. Qualitative and quantitative assessments of the manufacturability of the printing unit have been carried out. The analysis of the layout, interchangeability of components, testability, tool availability and other factors was carried out. The calculated values of the basic indicators and the complex coefficient of manufacturability are presented.

УДК 004.738.5

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОТОКОЛОВ СВЯЗИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В УСТРОЙСТВАХ УПРАВЛЕНИЯ ДОМОМ

Гимадиев А.И.

Научный руководитель: Тутубалин П.И., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе проведён анализ современных беспроводных технологий управления освещением, таких как Wi-Fi, Bluetooth и Zigbee, с точки зрения их характеристик, преимуществ и применимости в системах умного дома. Выполнено сравнение популярных коммерческих решений на рынке и определены их сильные и слабые стороны.

Беспроводные технологии стали доминирующим трендом в управлении освещением, обеспечивая гибкость, простоту установки и масштабируемость систем.

Технология Wi-Fi — это радиотехника спектра и радиотехника OFDM, поэтому она является альтернативой беспроводной локальной сети [1].

Основные характеристики стандарта Wi-Fi:

Wi-Fi работает в диапазоне радиочастот 2.4 ГГц и 5 ГГц. Использование разных диапазонов позволяет снизить интерференцию и увеличить пропускную способность.

Разные поколения стандарта предлагают различные максимальные скорости передачи данных, от нескольких мегабит в секунду до нескольких гигабит в секунду. Более новые стандарты обеспечивают более высокую пропускную способность и лучшую производительность в условиях высокой загруженности сети.

В типичной домашней сети Wi-Fi используется топология звезды, которая представлена на рисунке 1.1, где устройства подключаются к центральной точке доступа.

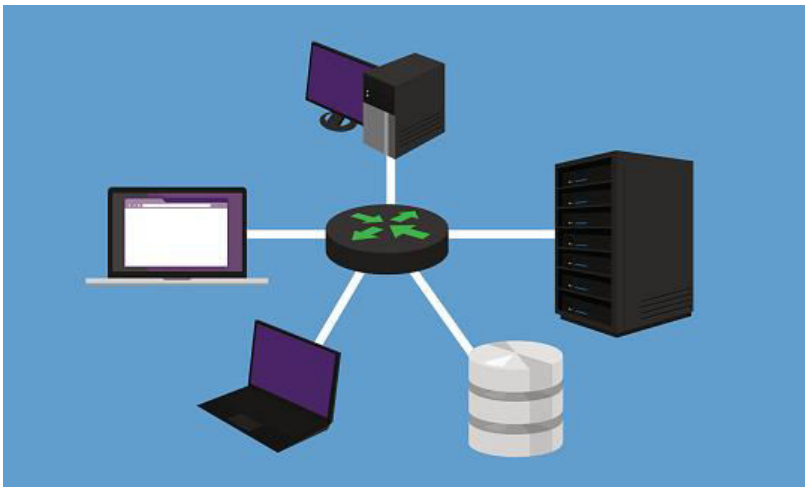


Рисунок 1.1 – Топология сети «звезда»

Wi-Fi поддерживает различные протоколы безопасности для защиты передаваемых данных. Wi-Fi обычно поддерживает надежные протоколы WPA2 и WPA3 для обеспечения конфиденциальности и целостности данных. Проблемы безопасности – если система не защищена, возможен взлом и удаленный доступ злоумышленников [2, 3].

Энергопотребление устройств, работающих с Wi-Fi, может варьироваться в зависимости от режима работы (передача, прием, режим ожидания), мощности сигнала и поколения стандарта.

Технология Bluetooth является компромиссным с точки зрения соотношения параметров экономичность/дальность/скорость [4].

Диапазон частот: Bluetooth работает в нелицензируемом ISM-диапазоне на частоте 2,4 ГГц.

Пропускная способность Bluetooth варьируется в зависимости от версии стандарта. Классический Bluetooth обеспечивает более высокую скорость передачи данных, в то время как Bluetooth Low Energy (BLE), начиная с версии 4.0, разработан специально для приложений с низким энергопотреблением.

Bluetooth поддерживает различные топологии, включая соединение "точка-точка" (например, смартфон - светильник) и ячеистая топология (Bluetooth Mesh), которые позволяют создавать большие сети устройств с ретрансляцией сообщений.

Энергопотребление: Одним из ключевых преимуществ Bluetooth, особенно BLE. BLE-сетка отличается низким энергопотреблением. Следовательно, ячеистая сеть хорошо работает при покрытии больших территорий при сохранении энергии.

Bluetooth обеспечивает различные механизмы безопасности для защиты соединения и передаваемых данных, включая шифрование и аутентификацию устройств.

Стандарт IEEE 802.15.4 описывает только самые нижние, физический и канальный уровни передачи данных по радиоканалу, а имя ZigBee означает технологию в общем, включая и физический уровень, и надлежащий логический уровень — уровень сетевого программного обеспечения (организацию структуры сети, обеспечение безопасности, поддержку профилей и т. п.) [5].

Zigbee работает в различных нелицензируемых диапазонах радиочастот, включая 2.4 ГГц (наиболее распространенный), а также 868 МГц (в Европе) и 915 МГц (в Северной Америке). Использование различных частот позволяет оптимизировать работу в зависимости от региональных требований и уровня помех.

Пропускная способность Zigbee относительно невысока по сравнению с Wi-Fi, обычно составляя от 20 до 250 килобит в секунду. Однако этой скорости вполне достаточно для передачи команд управления освещением, данных от датчиков и других подобных задач умного дома.

Одной из ключевых особенностей Zigbee является ячеистая топология как на рисунке 1.2. Устройства могут связываться друг с другом напрямую и через промежуточные узлы (маршрутизаторы). Ячеистая топология обеспечивает высокую надежность и отказоустойчивость сети, так как при выходе из строя одного устройства связь может быть перенаправлена через другие.

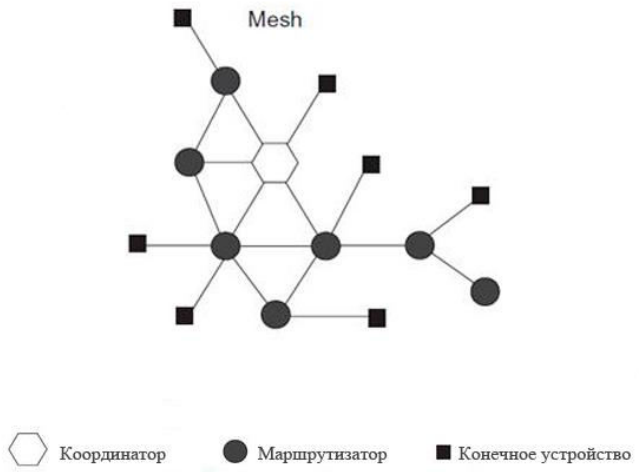


Рисунок 1.2 – Ячеистая топология

Zigbee разработан с акцентом на крайне низкое энергопотребление, что делает его идеальным для устройств с батарейным питанием, которые могут работать годами без замены батареи.

Ячеистая топология сети Zigbee обеспечивает высокую надежность связи. Если одно устройство выходит из строя или связь с ним теряется, данные могут быть переданы через другие устройства в сети.

Zigbee включает в себя надежные механизмы безопасности, такие как 128-битное шифрование AES, для защиты передаваемых данных.

Сети Zigbee могут поддерживать большое количество устройств (теоретически до 65 000 узлов в одной сети), что делает его масштабируемым решением для умного дома.

Таблица 1.1

Сравнение протоколов связи

Характеристика	Wi-Fi (IEEE 802.11)	Bluetooth (IEEE 802.15.1)	Zigbee (IEEE 802.15.4)
Основное применение	Высокоскоростной интернет, передача больших данных, интеграция с IP-сетями	Ближняя связь, передача аудио, периферийные устройства, IoT (BLE), Ячеистая топология	Маломощные сети для умного дома и IoT
Диапазон частот	2.4 ГГц, 5 ГГц, 6 ГГц	2.4 ГГц	2.4 ГГц, 868/915 МГц
Пропускная способность	Высокая (до нескольких Гбит/с в новых стандартах)	Средняя (классический), Низкая (BLE)	Низкая (20-250 кбит/с)
Топология сети	Инфраструктура (звезда), Ad-hoc	Точка-точка, ячеистая топология (BLE)	Звезда, дерево, ячеистая
Энергопотребление	Высокое	Среднее (классический), очень низкое (BLE)	Очень низкое
Дальность связи	Средняя (зависит от стандарта и условий)	Короткая (до 10-30 м), Средняя (ячеистая)	Средняя (до 10-100 м, увеличивается в ячеистая)
Надежность/Отказо устойчивость	Зависит от качества Wi-Fi сети	Зависит от топологии	Высокая (ячеистая - топология)
Безопасность	WEP, WPA, WPA2, WPA3	Шифрование, аутентификация	128-битное AES
Размер сети	Ограничен количеством устройств, поддерживаемых маршрутизатором	Ограничен (точка-точка), Большой (ячеистая)	Очень большой (до 65 000 устройств)
Необходимость в хабе/шлюзе	Не всегда (прямое подключение к Wi-Fi роутеру возможно)	Часто нет (для прямого управления), да (для ячеистая и удаленного доступа)	Обычно да (для интеграции с IP-сетью и удаленного управления)
Сложность интеграции	Может быть относительно простой при наличии Wi-Fi сети	Относительно простая для прямого подключения	Требует понимания концепции сети и часто использования хаба
Автоконфигурация	1–10 сек	1–5 сек	5 сек – 2 мин
Реконфигурация	1–30 сек	1–10 сек	1 сек – 2 мин

Исходя из таблицы 1.1 можно сказать:

Wi-Fi: Лучший выбор для устройств, требующих прямого подключения к домашней IP-сети и удаленного управления через интернет. Обеспечивает высокую пропускную способность, но имеет более высокое энергопотребление. Подходит для «умных» лампочек и выключателей, которые напрямую подключаются к Wi-Fi роутеру.

Bluetooth: подходит для маломощных устройств (датчиков, беспроводных выключателей) благодаря низкому энергопотреблению BLE. Bluetooth Mesh расширяет возможности для создания распределенных сетей освещения с хорошей надежностью и без необходимости в отдельном хабе в некоторых сценариях. Подходит для локального управления и создания персональных сетей освещения.

Zigbee: оптимизирован для умного дома и IoT с акцентом на низкое энергопотребление, надежную ячеистую-сеть и масштабируемость. Требует центрального хаба для интеграции с IP-сетью и удаленного управления, но обеспечивает стабильную работу большого количества устройств. Часто используется в комплексных системах умного дома, где важна надежность и долговечность работы от батарей.

Сравнительный анализ на рынке

Основной целью анализа стало определение уровня технологичности, функциональных возможностей, удобства использования и стоимости готовых решений.

Для анализа были выбраны три популярных устройства, представленных на российском и международном рынках:

Philips Hue

Xiaomi Mi Smart LED Bulb

TP-Link Kasa Smart Light Switch (HS200)

Таблица 1.2

Сравнение аналогичных устройств

Характеристика	Philips Hue	Xiaomi Mi Smart Bulb	TP-Link Kasa Switch
Тип подключения	Zigbee + Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi
Наличие хаба	Да (Hue Bridge)	Нет	Нет
Регулировка яркости/цвета	Да/Да	Да/Да	Нет/Нет
Поддержка голосового управления	Да	Да	Да
Примерная стоимость (1 точка)	> 2500 ₽	~1200 ₽	~2000 ₽
Энергопотребление	Низкое	Низкое	Среднее
Простота установки	Средняя	Высокая	Средняя
Интеграция с умным домом	Отличная	Хорошая	Хорошая

Исходя из таблицы 1.2 выходит, что каждое из рассмотренных решений обладает своими преимуществами и недостатками в зависимости от требований пользователя. Philips Hue предлагает широкий функционал и высокую надёжность, но требует значительных затрат и дополнительного оборудования. Xiaomi Mi Smart Bulb обеспечивает хорошее соотношение цены и функциональности при простой установке, тогда как TP-Link Kasa Smart Switch ориентирован на замену традиционных выключателей, но ограничен в управлении яркостью и требует определённых условий подключения.

Заключение

Современные беспроводные технологии — Wi-Fi, Bluetooth и Zigbee — обладают уникальными преимуществами, позволяя реализовать гибкие и масштабируемые системы управления освещением. Wi-Fi подходит для высокоскоростного подключения и прямой интеграции с интернетом, но характеризуется повышенным энергопотреблением. Bluetooth (особенно BLE) и Zigbee, напротив, оптимальны для маломощных устройств и устойчивых сетей, обеспечивая низкое энергопотребление, надежность и широкие возможности масштабирования, что делает их особенно подходящими для систем умного дома.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Садыков Д.К.* Технология WI-FI / Д.К. Садыков, Л.Ф. Фазлуллин, Г.А. Гареева // Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности: Сборник научных статей X международной научной конференции, Волгоград, 21–22 октября 2021 года. – Волгоград: Общество с ограниченной ответственностью «КОНВЕРТ», 2021. – С. 141-142.

2. *Тутубалин П.И.* Основные задачи прикладной теории информационной безопасности АСУ / П.И. Тутубалин // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – 2007. – № 39. – С. 63-72.

3. Алгоритм формирования маршрута буровой бригады / Г.В. Спиридонов, В.В. Мокшин, А.П. Кирпичников [и др.] // Вестник Технологического университета. – 2018. – Т. 21, № 2. – С. 169-175.

4. *Аникин А.* Обзор современных технологий беспроводной передачи данных в частотных диапазонах ISM (Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi) и 434/868 МГц //Беспроводные технологии. – 2011. – №. 4. – С. 6-12.

5. *Скуснов А.* ZigBee: обзор беспроводной технологии // Компоненты и Технологии. 2005. № 47.

ANALYSIS OF COMMUNICATION TECHNOLOGIES AND PROTOCOLS USED IN HOME CONTROL DEVICES

Gimadiev A.I.

Scientific supervisor: Tutubalin P.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper analyzes modern wireless lighting control technologies such as Wi-Fi, Bluetooth and Zigbee in terms of their characteristics, advantages and applicability in smart home systems. A comparison of popular commercial solutions on the market is made and their strengths and weaknesses are determined.

УДК 621.384.3

КОМПЕНСАЦИЯ ИЗЛУЧАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ОБЪЕКТА ДЛЯ ИНФРАКРАСНОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ

Гурдин Д.А.

Научный руководитель: Виноградов В.Ю., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе исследованы принципы работы и методы повышения точности измерений инфракрасного датчика температуры MLX90614ESF-DCI. Особое внимание уделено компенсации коэффициента излучательной способности различных материалов, разработана методика калибровки датчика с использованием эталонных измерений и математических преобразований для записи корректирующих коэффициентов в память устройства.

Инфракрасные температурные датчики представляют собой современные измерительные устройства, осуществляющие бесконтактный контроль теплового состояния объектов. Их функционирование базируется на фундаментальном физическом принципе: все материальные тела, имеющие температуру выше абсолютного нуля (-273,15°C), генерируют инфракрасное излучение, характеристики которого (интенсивность и спектральный состав) непосредственно связаны с уровнем их нагрева [1].

Конструкция таких датчиков включает несколько важных элементов: оптическую систему для сбора излучения, высокочувствительный детектор, преобразующий тепловую энергию в электрический сигнал, электронный блок обработки данных и защитный корпус с интерфейсом для передачи информации. В качестве детекторов чаще всего применяются термобатареи, пироэлектрические элементы или специальные инфракрасные фотодиоды.

Главное преимущество такого типа датчика - возможность измерять температуру на расстоянии, что особенно ценно при работе с движущимися, труднодоступными или опасными объектами, такими как раскаленные металлы, высоковольтное оборудование или агрессивные химические среды (рисунок 1). ИК-датчики обеспечивают мгновенные показания, работают в широком температурном диапазоне и не подвержены механическому износу благодаря отсутствию физического контакта с измеряемым объектом [2].

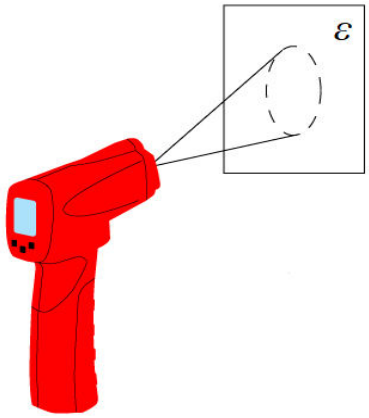


Рисунок 1 – Измерение температуры поверхности с помощью инфракрасного датчика

Современные исследования показывают, что точность современных ИК-датчиков в оптимальных условиях достигает 97-98% от контактных методов измерений, что делает их полноценной альтернативой традиционным термопарам в большинстве промышленных применений.

Однако при использовании данного типа датчика необходимо учитывать ряд важных факторов. Точность измерений существенно зависит от излучательной способности материала поверхности, которая может значительно отличаться у разных веществ. Например, полированные металлические поверхности и матовые покрытия имеют совершенно разные характеристики излучения. На результаты также могут влиять различные помехи - атмосферные явления, загрязнения воздуха или электромагнитные наводки. Важно помнить, что ИК-датчики измеряют только температуру поверхности и требуют прямой видимости объекта [3].

Современные модели инфракрасных датчиков оснащаются дополнительными функциями для компенсации этих ограничений, включая регулировку коэффициента излучения, встроенные алгоритмы коррекции и различные защитные системы. При грамотном подходе к настройке и эксплуатации эти устройства становятся незаменимым инструментом для точного температурного контроля в самых разных областях - от промышленного производства до научных исследований.

Рассмотрим датчик MLX90614ESF-DCI. Он имеет встроенный аналого-цифровой преобразователь, у которого есть возможность компенсации излучательной способности, которая позволяет нам изменять коэффициент излучения без необходимости повторной

калибровки [4]. Это техническое решение значительно расширяет область применения датчика, позволяя использовать его для точных измерений как высокоотражающих металлических поверхностей, так и сложных композитных материалов с переменными характеристиками излучения.

Коэффициент излучения – это коэффициент, который показывает, насколько хорошо объект излучает ИК-излучение по сравнению с теоретическим идеальным черным телом-излучателем. Это излучение используется для расчета температуры объекта. Во время производства датчик калибруется перед черным телом с коэффициентом излучения = 99,9%, которое мы рассматриваем как $E = 1$ [5].

Разные материалы имеют разный коэффициент излучения, поэтому для правильного измерения температуры это следует учитывать, загружая новый коэффициент излучения в память для датчика. Следует отметить, что при длительной эксплуатации коэффициент излучательной способности материалов может изменяться вследствие окисления, износа или загрязнения поверхности, что требует периодической повторной калибровки датчика. Зачастую даже табличные значения степени черноты одного материала могут отличаться от реальных, допустим, медь имеет степень черноты от 0,02 до 0,87 в зависимости от физического состояния (таблица 1).

Таблица 1

Излучающая способность меди от её поверхности

Поверхность меди	Температура, °C	Излучающая способность
оксид меди	38	0,87
оксид меди	260	0,83
черная, окисленная	38	0,78
травленая	38	0,09
матовая	38	0,22
грубо полированная	38	0,07
полированная	38	0,03
высокополированная	38	0,02
прокатная	38	0,64
грубая	38	0,74
расплавленная	538	0,15
расплавленная	1077	0,16
никелированная	38	0,37

Как правило, компенсация необходима только тогда, когда ИК-излучение от объекта уменьшается каким-либо образом. Это может быть либо из-за низкой излучательной способности измеряемого объекта, либо из-за того, что перед датчиком установлен относительно прозрачный материал.

В случае, если объект имеет излучательную способность, отличную от идеальной. Нам нужно знать реальную температуру объекта, чтобы рассчитать новое значение излучательной способности.

Чтобы узнать реальную температуру объекта нужно воспользоваться точным контактным термометром для измерения температуры или окрасить часть объекта чёрной краской для измерения его температуры с помощью датчика MLX90614 (черное пятно должно быть больше пятна поля зрения датчика).

Далее уже необходимо провести расчет компенсации излучения:

1. Нагреть объект до некоторой температуры, которая должна поддерживать некоторое время;

2. Проверить с помощью проверенного датчика температуры реальную температуру $T_{O.Real}$ и замерить температуру окружающей среды $T_{A.Real}$;

3. Измерить температуру нечерного объекта с поверхности с помощью MLX90614 и записать показания объекта $T_{O.New}$ и окружающей среды $T_{A.New}$. Температура окружающей среды не должна изменяться;

4. Произвести расчёт компенсированного коэффициента излучения с помощью формулы (1) [5]:

$$E = \frac{T_{O.New}^4 - T_{A.New}^4}{T_{O.Real}^4 - T_{A.Real}^4}, \quad (1)$$

где $T_{O.New}$, $T_{A.New}$, $T_{O.Real}$ и $T_{A.Real}$ – температура в кельвинах.

Чтобы определить, какой коэффициент излучения следует загрузить в EEPROM MLX90614 при наличии прозрачного листа между датчиком и измеряемым объектом, необходимо выполнить следующие действия:

1. Нагреть измеряемый объект до некоторой температуры, отличной от температуры среды не менее чем на 30ºC. Эта температура должна поддерживаться стабильно;

2. Выполнить измерение с помощью MLX90614 и записать показания температуры окружающей среды T_{AR} и температуру нагретого объекта T_{OR};

3. Поместить прозрачный лист перед MLX90614. Для получения правильных измерений температура прозрачного листа должна быть такой же, как температура окружающей среды. Иначе датчик найдет температуру листа, что приведет к ошибочному расчету;

4. Выполнить измерение с помощью датчика и получить новые показания температуры окружающей среды T_{AN} и нагретого объекта T_{ON};

5. Произвести расчет нового коэффициента излучения с помощью формулы (2) [4]:

$$E = \frac{T_{ON}^4 - T_{AN}^4}{T_{OR}^4 - T_{AR}^4}, \quad (2)$$

где T_{ON}, T_{AN}, T_{OR} и T_{AR} – температура в кельвинах.

После того, как мы рассчитали новые коэффициенты излучения, необходимо рассчитать новые значения для загрузки в электрически стираемое перепрограммируемое ПЗУ датчика MLX90614. Процедура изменения настройки излучательной способности зависит от маркировки датчика, в нашем случае будем рассматривать вариант настройки конкретно для MLX90614ESF-DCI.

Это несложная процедура, поскольку необходимо изменить только две ячейки кода, содержащие информацию об излучательной способности в памяти - это адреса 0x04 и 0x0F.

Новое значение, которые получили из формул (1) и (2) необходимо преобразовать по формуле (3):

$$0x04d = 2^{16} \cdot E - 1 \quad (3)$$

Это значение необходимо преобразовать из десятичного в шестнадцатеричное, чтобы получить значение для загрузки в ПЗУ. Высчитывается по формуле (1.4):

$$0x04 = dec2hex(0x04d) \quad (4)$$

Для расчета нового значения для ячейки 0x0F необходимо знать старое содержимое адресов в памяти 0*x*04 и 0*x*0*F* и выполнить следующий расчет по формуле (5) [5]:

$$0x0F = dec2hex\left(\frac{hex2dec(0x04)}{2^{16} \cdot E - 1} \cdot hex2dec(0x0F_{old})\right), \quad (5)$$

где $0x0F_{old}$ – старое значение ячейки $0x0F$.

Перспективным направлением развития является интеграция таких датчиков в промышленные интернет вещей-системы с возможностью удалённого мониторинга и управления параметрами измерений. Это позволит создавать распределённые сети температурного контроля с централизованной системой диагностики и прогнозирования [6].

Проведенное исследование демонстрирует эффективный подход к повышению точности измерений инфракрасного датчика температуры MLX90614ESF-DCI за счет

компенсации коэффициента излучательной способности. Разработанная методика, включающая экспериментальное определение реальной температуры объекта и последующий расчет корректирующих коэффициентов, позволяет адаптировать датчик для работы с различными типами поверхностей. Предложенный алгоритм программной коррекции через модификацию значений в ячейках памяти обеспечивает точную настройку датчика без необходимости аппаратной модификации. Полученные результаты имеют практическую значимость для применения в промышленных системах температурного мониторинга, где требуется высокая точность измерений разнородных материалов.

Дальнейшие исследования будут направлены на создание автоматизированной системы адаптивной калибровки с использованием машинного обучения для прогнозирования коэффициента излучательной способности по спектральным характеристикам поверхности в реальном времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Иванова И.В.* Теплотехнические измерения в теплоэнергетике: учебное пособие / И.В. Иванова. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – 140 с.

2. *Сажин С.Г.* Средства автоматического контроля технологических параметров: учебник / С.Г. Сажин. Текст: электронный. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 368 с. – URL: https://e.lanbook.com/book/211655 (дата обращения: 02.05.2025).

3. *W. Minkina*. Infrared Thermography Errors and Uncertainties: monograph / W. Minkina, S. Dudzik. — Poland: Czestochowa University of Technology, 2009. — 222 p.

4. Datasheet for MLX90614. – Текст: электронный. – URL: https://www.melexis.com (дата обращения: 10.05.2025).

5. Changing Emissivity Setting in MLX90614. – Текст: электронный. – URL: https://www.melexis.com (дата обращения: 10.05.2025).

6. *Чанцис Ф.* Практический хакинг интернета вещей / Ф. Чанцис, И. Стаис; перевод с английского Л.Н. Акулич. – Москва: ДМК Пресс, 2022. – 480 с.

COMPENSATION OF EMISSIVENESS OF AN OBJECT FOR AN INFRARED TEMPERATURE SENSOR

Gurdin D.A.

Supervisor: Vinogradov V.Yu., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The paper studies the operating principles and methods for increasing the measurement accuracy of the MLX90614ESF-DCI infrared temperature sensor. Particular attention is paid to compensating the emissivity coefficient of various materials, and a sensor calibration technique is developed using reference measurements and mathematical transformations for recording correction coefficients in the device memory.

УДК 681.586.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЗИЧЕСКОГО МАКЕТА РЕЗОНАНСНОГО СВЧ-ДАТЧИКА КРУГЛОЙ ФОРМЫ

Гусев А.В.

Научный руководитель: Ишкаев Т.М., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе рассматривается задача верификации результатов электродинамического моделирования микрополоскового резонансного СВЧ-датчика круглой формы. В рамках представленной работы приводится сравнение ключевых параметров

(резонансной частоты, добротности, полосы пропускания), полученных с помощью электродинамического моделирования, основанного на методе конечных элементов, с результатами экспериментальных исследований физического макета датчика, проведенных при помощи векторного анализатора цепей.

В настоящее время во многих областях науки и техники, для оценки электрофизических параметров веществ могут быть использованы различные виды датчиков [1,2]. Отмечено, что в СВЧ диапазоне частот, преобразовательные элементы, основанные на резонансных эффектах, обладают наибольшей чувствительностью и добротностью. Наиболее распространенные разновидности подобных датчиков – коаксальные резонаторы, микрополосковые резонаторы и резонансные линии с открытом концом.

Важно понимать, что перед тем, как физически реализовать датчик, была создана и оптимизирована максимально точная компьютерная модель устройствах [3-5]. В качестве критериев оптимизации были выбраны следующие численные характеристики исследуемой структуры: Q – добротность и S – чувствительность. Для проведения оптимизации варьировались геометрические параметры компьютерной модели такие, как: d – расстояние между резонатором и линией передачи; w_1 – ширина линии передачи напротив резонатора; w_2 – ширина резонатора; al - угол закругления линии передачи напротив резонатора [6].

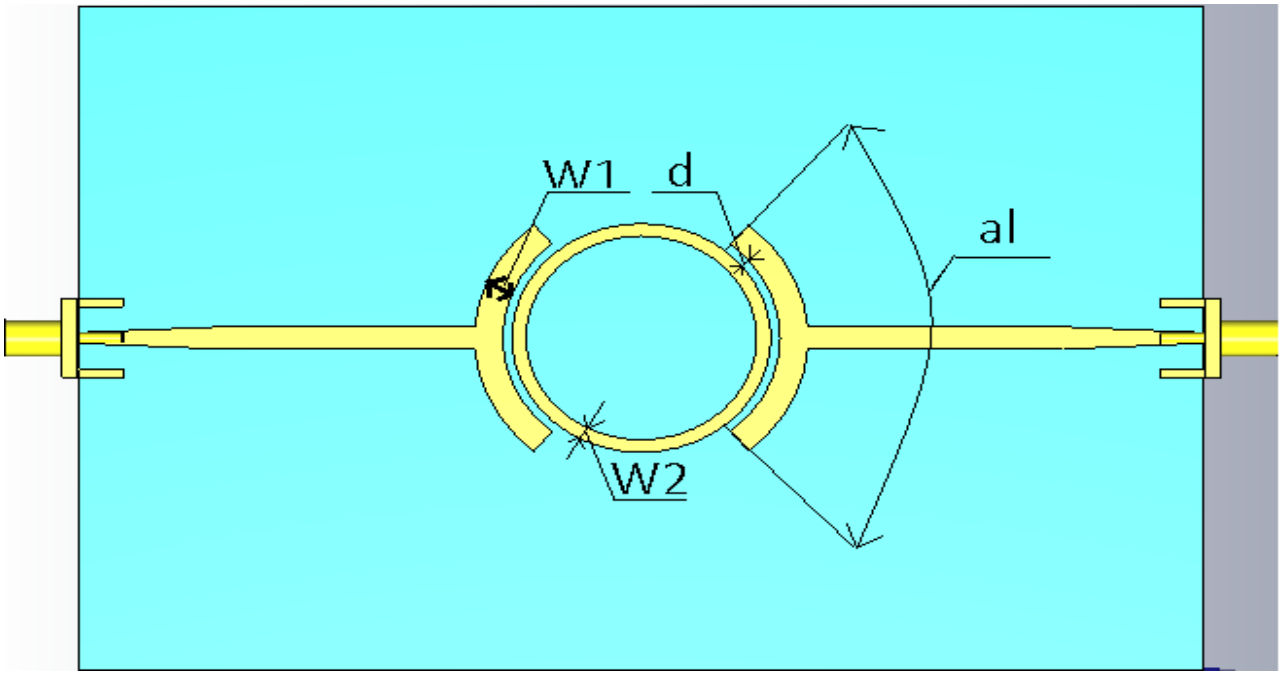
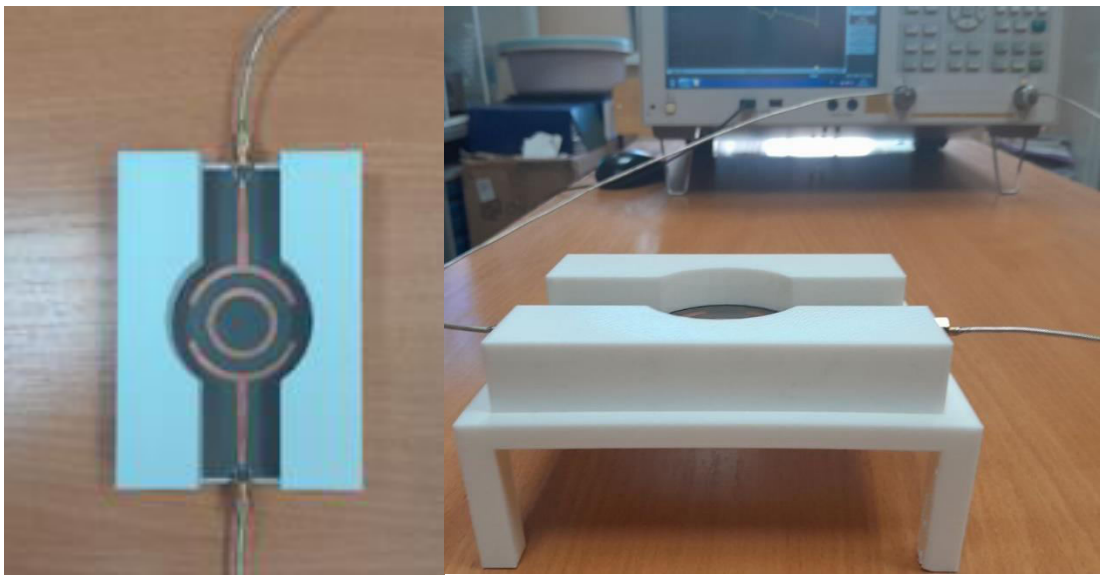


Рис. 1 – Электродинамическая модель преобразовательного элемента

На рисунке 1 изображена электродинамическая модель круглого резонансного СВЧ-датчика кольцевой формы, имеющая добротность 140,45 на резонансной частоте 2,08 ГГц при амплитуде резонанса -11,42 дБ. Такие результаты были получены при следующих геометрических размерах: $\alpha = 70$; $w_1 = 3$ мм; $w_2 = 3$ мм, $t = 6$ мм [7].

Компьютерная модель датчика имеет два SMA разъема для подключения в схему измерения. Питающие микрополосковые линии согласованы на волновое сопротивление Z=50 Ом. В местах перехода SMA разъем – микрополосковая линия предусмотрены согласующие переходы в виде сужения полосковой линии.

Важно отметить, что для обеспечения неподвижности физического макета (это необходимо для того, чтобы все проведенные опыты минимально зависели от оценивающих устройств) был разработана и реализована оснастка из ABS-пластика, в которую будет помещаться чашечка Петри с исследуемыми веществами.



(а) (б)

Рис. 2 – Процесс проведения экспериментального исследования:
а – вид сверху; *б* – вид сбоку

На рисунке 2 приведены кадры проведения эксперимента, в частности, способ подключения реализованного макета к векторному анализатору цепей. Первые экспериментальные исследования с реализованным макетом нацелены на оценку влияния всех дополнительных приспособлений на частотные характеристики реализованного датчика: датчик без дополнительных элементов, датчик с оснасткой, датчик в оснастке установленный в стойку (полная оснастка) и полная оснастка с установленной чашкой Петри.

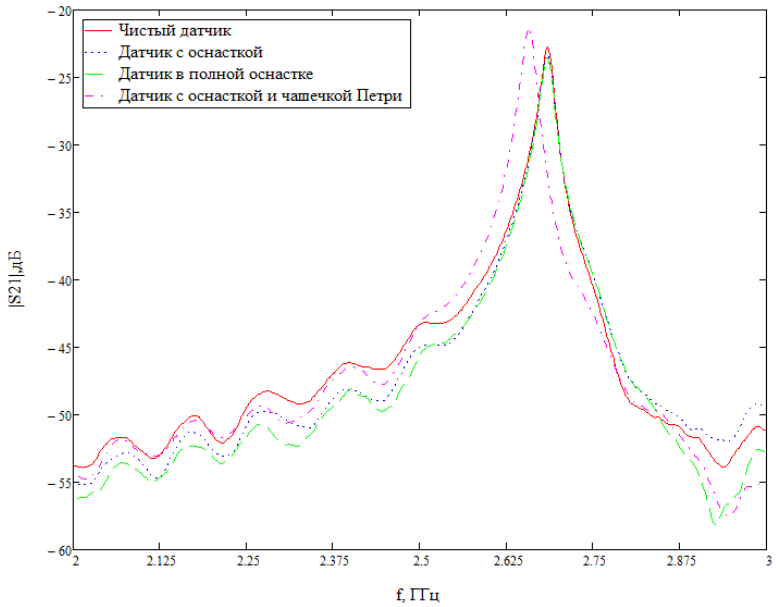


Рис. 3 – Оценка влияния конструктивных элементов датчика на вариации частотных зависимостей модуля коэффициента передачи

Как видно из рисунка 3, влияние оснастки, как частичной (позиционер чашки петри), так и полной (позиционер и подставка), на частотную характеристику физического макета минимально. В то же время, установка чашки Петри, смещает резонансную частоту и полосу пропускания резонансной кривой. Это влияние обусловлено появлением дополнительного изменения диэлектрической проницаемости, вносимым материалом из которого изготовлена чашка Петри.

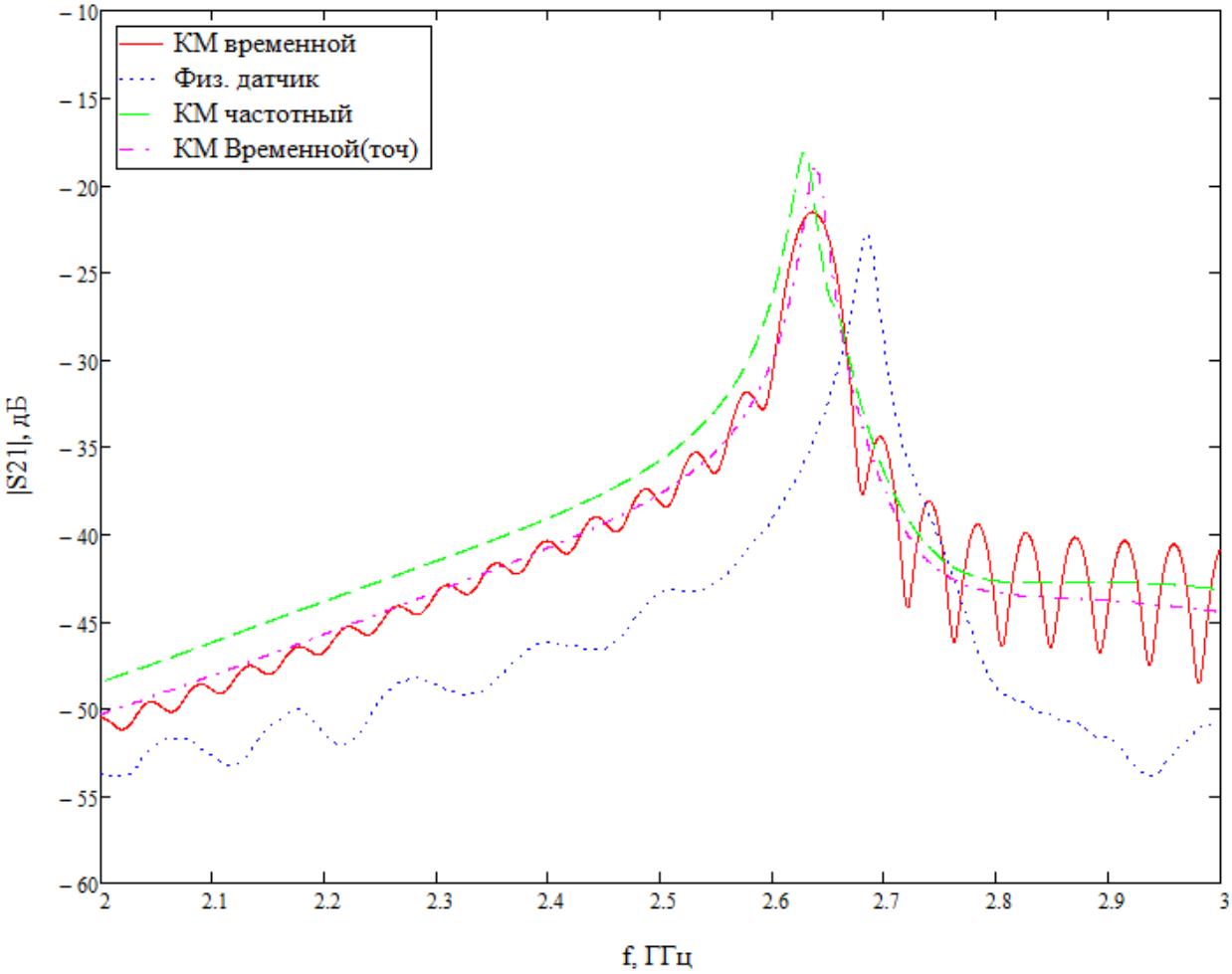


Рис. 4 – Сравнение частотных зависимостей модуля коэффициента передачи реализованного макета и различных вариаций расчета компьютерной модели

На рисунке 4 представлено четыре частотные зависимости модуля коэффициента передачи. Три из них являются результатами электродинамического моделирования, а один был снят с физического макета. КМ временной и КМ Временной (точ) – две частотные зависимости, полученные с применением временного решателя в программе CST STUDIO. Различие моделей, а, следовательно, и частотных зависимостей, заключается в существенном увеличением точек, применяемых для расчета методом конечных элементов. При этом прослеживается следующая зависимость, чем больше точек расчета – тем выше точность полученных результатов, однако с увеличением количества точек расчета растет время моделирования.

КМ частотный – частотная зависимость компьютерной модели, полученной при помощи частотного решателя в той же программе электродинамического моделирования. Важно понимать, что время расчета данным методом для данного типа датчика существенно выше, чем временным, однако, как видно из рисунка 4, полученный результат незначительно отличается от данных, полученных при помощи временного решателя с большим количеством точек.

Последняя кривая получена при измерении физического макета. Видно, что амплитуда и резонансная частота сдвинута вверх в частотной области. Подобные неточности обуславливаются расхождениями значений диэлектрической проницаемости материала подложки, взятых из справочных материалов, для электродинамического моделирования виртуальной модели датчика и реально примененного материала для изготовления физической модели.

Исследования проведены в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Применение СВЧ брэгговских структур для измерения комплексной диэлектрической проницаемости / А.Р. Насыбуллин, Р.В. Фархутдинов, Т.М. Ишкаев, Р.Р. Самигуллин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – № 12-1(102). – С. 54-62. – DOI 10.23670/IRJ.2020.102.12.010.

2. Моделирование резонансного СВЧ датчика для оценки степени обводненности этилового спирта / А.М. Гайнутдинов, Т.М. Ишкаев, Р.В. Фархутдинов [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 12. – С. 45-47.

3. *Гусев А.В.* Определение резонансной частоты и добротности резонаторных датчиков / А.В. Гусев, Т.М. Ишкаев, А.Р. Насыбуллин // Материалы XXII Всероссийской молодежной научно-технической конференции, Н. Новгород, 24-26 мая 2023 года. - Нижний Новгород: Типография НГТУ, 2023. - С. 541-542.

4. *Гусев А.В.* Моделирование датчика на основе микрополоскового резонатора прямоугольной формы / А.В. Гусев, Т.М. Ишкаев, А.Р. Насыбуллин, М.Э. Вальяров // VI научный форум телекоммуникации: теория и технологии ТТТ-2023 : материалы XX Международной научно-технической конференции, Казань, 22–24 ноября 2023 года. – Казань: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ», 2023. – С. 198-199.

5. *Гусев А.В.* Калибровка СВЧ-датчиков с применением аппроксимирующей функции/ А.В. Гусев, Т.М. Ишкаев, А.Р. Насыбуллин// Материалы Международной научной конференции "Нигматуллинские чтения - 2023". Казань, 2023. с.195-197.

6. *Гусев А.В.* Моделирование датчика на основе микрополоскового резонатора круглой формы / А.В. Гусев, Т.М. Ишкаев // Материалы XII Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2025», 10-12 апреля 2025 г., Казань, с. 161-162.

7. *Гусев А.В.* Исследование характеристик СВЧ-датчика на кольцевом микрополосковом резонаторе / А.В. Гусев, Т.М. Ишкаев, А.Р. Насыбуллин// Сборник статей двенадцатой Всероссийской научной школы-семинара «Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами», Саратов, 22 мая 2025 года. – Саратов: Издательство "Саратовский источник", 2025. – С. 362-366.

STUDY OF THE FREQUENCY CHARACTERISTICS OF THE PHYSICAL LAYOUT OF A ROUND-SHAPE RESONANT MICROWAVE SENSOR

Gusev A.V.

Supervisor: Ishkaev T.M., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper considers the problem of verification of the results of electrodynamic modeling of a round-shaped microstrip resonant microwave sensor. Within the framework of the presented work, a comparison of key parameters (resonant frequency, quality factor, bandwidth) obtained using electrodynamic modeling based on the finite element method is given with the results of experimental studies of the physical model of the sensor, carried out using a vector network analyzer.

УДК 541.135

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОДЛОЖЕК ИЗ ПЕНОНИКЕЛЯ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ МЕТОДАМИ МИКРОСКОПИИ

Долгов С.К.

Научный руководитель: Морозов М.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данном докладе исследуется влияние изменения размеров структурных элементов пеноникеля на характеристики токосборника суперконденсатора. В ходе работы проведено исследование двух пеноникелевых образцов методами оптической и электронной микроскопии.

Введение

Электродные подложки из пористых металлов широко используются в электронике, электротехнике и других отраслях, где к суперконденсаторам на их основе предъявляются высокие требования к емкости, мощности и стабильности работы при различных условиях. В данном исследовании была экспериментально исследована зависимость между структурными элементами пеноникеля (пористость, зернистость, элементный состав и др.) и функциональными свойствами энергетических устройств на его основе.

Пеноникель для токосборников суперконденсаторов

Пеноникель представляет собой пористый нелегированный никель с открытоячеистой структурой, напоминающей пенополиуретан (рисунок 2). Он сочетает металлическую прочность, низкое гидравлическое сопротивление и высокую удельную поверхность, что делает его перспективным материалом для электрохимических систем. Его пористость достигает 96–98%, а стенки пор состоят из дендритных частиц. Благодаря взаимосвязанной пористой структуре пеноникель обеспечивает эффективный контакт между токоприёмником, активными материалами и заряженными частицами. Дополнительное преимущество дает тонкая плёнка оксида никеля (II), которая в щелочной среде переходит в гидроксид никеля (II), увеличивая ёмкость и электрокаталитическую активность электрода [1-2].

Основные методы получения пеноникеля – металлургический и гальванический. Первый основан на осаждении никеля из карбонильной газовой фазы на полимерную подложку с последующим её удалением, второй – на формировании электропроводящего слоя с последующим электролитическим осаждением никеля. Гальванический способ предпочтительнее, так как не требует высоких температур и работы с токсичными газами, а также позволяет производить небольшие партии материала.

Пористые металлы, включая пеноникель, широко применяются в электродных подложках топливных элементов и суперконденсаторов. Их высокая площадь поверхности усиливает электрохимические реакции, повышая эффективность устройств. В суперконденсаторах пористые структуры способствуют образованию двойного электрического слоя, увеличивая ёмкость. Преимущества таких материалов включают высокую обратимость заряда-разряда, способность работать в широком температурном диапазоне (–50 °C … +60 °C), коррозионную стойкость, механическую прочность и лёгкость [3].

Исследования подтверждают, что пеноникель превосходит традиционные тококоллекторы (платину, медную фольгу, стеклоуглерод) по удельной ёмкости и стабильности. Например, в композите с MnO_2/OLC он обеспечивает на 9,5% большую ёмкость по сравнению с платиновым диском. В литий-ионных батареях анод на основе пеноникеля демонстрирует повышенную ёмкость и сохраняет 80% после 100 циклов. Уменьшение размера пор и увеличение пористости дополнительно улучшает кинетику заряда и электрохимические характеристики [4].

Экспериментальная часть

В процессе исследования образцов пеноникелей использовались оптический микроскоп Carl Zeiss «Axio Imager.Z2m» с программным обеспечением ZEN, а также рабочая станция Carl Zeiss «Auriga CrossBeam» с программным обеспечением ZEISS SmartSEM, дополненная энергодисперсионным рентгеновским спектрометром Inca X–Max 80мм^2.

Оптическая микроскопия проводилась на пробах образцов, отрезанных от листов материалов (рисунок 1). Ее результатом стало получение размеров перегородок и ячеек пеноникелей (рисунок 2). Электронная микроскопия предполагала использование двустороннего электропроводящего скотча для закрепления проб на держатель STUB. После получения электронных снимков микроструктуры исследуемых подложек (рисунок 3) и элементного анализа из таблицы №1 данные оптической и электронной микроскопии были сопоставлены для получения обобщенных данных конструктивных особенностей, показанных в таблице №2

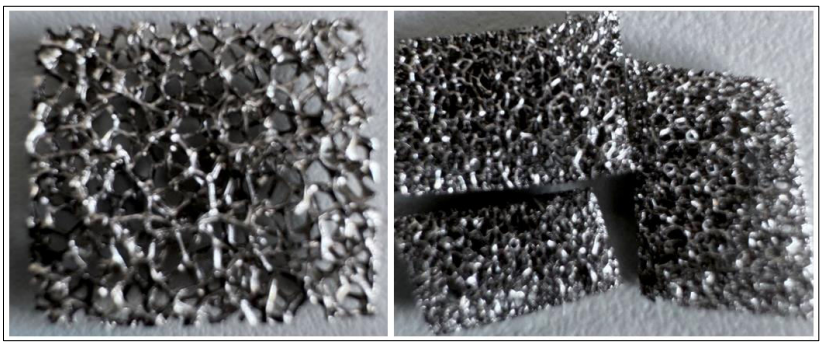


Рисунок 1 – Пробы образцов пеноникелей

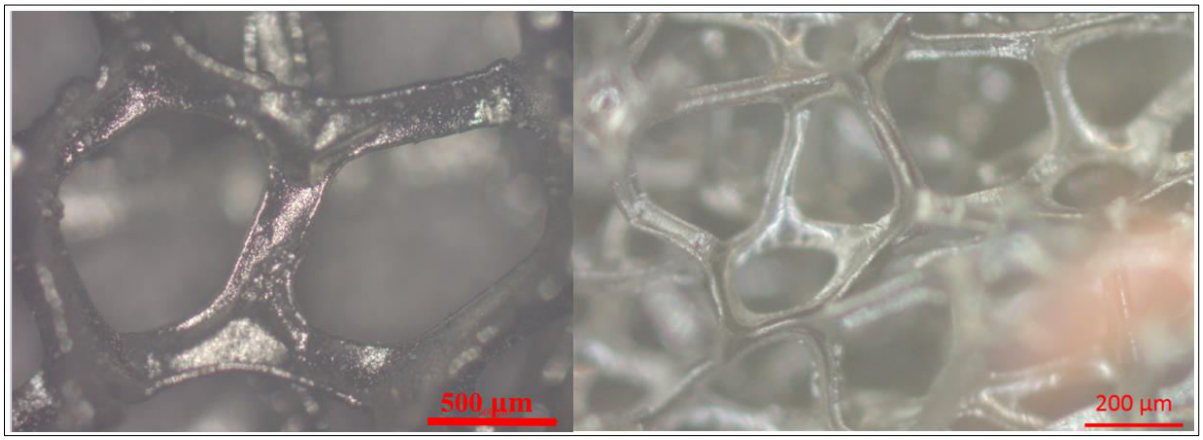


Рисунок 2 – Снимки образов подложек на оптическом микроскопе

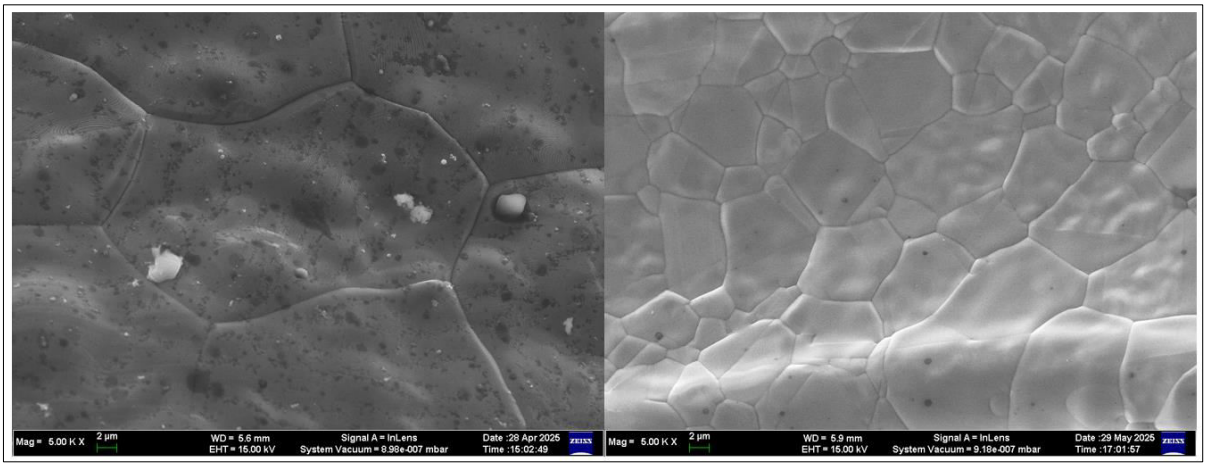


Рисунок 3 – Снимки образов подложек на электронном микроскопе

Таблица 1

Сравнительный анализ образцов

	Образец пеноникеля №1					**Образец пеноникеля №2**			
Спектр	В стат.	Si	Fe	Ni	Итог	В стат.	Si	Ni	Итог
Спектр 1	Да	0.22	0.69	99.09	100.00	Да	0.00	100.00	100.00
Спектр 2	Да	0.33	0.57	99.10	100.00	Да	0.46	99.54	100.00
Спектр 3	Да	0.31	0.39	99.30	100.00	Да	0.00	100.00	100.00
Среднее		0.29	0.55	99.16	100.00		0.15	99.85	100.00
Станд. Отклонение		0.06	0.15	0.12			0.27	0.27	
Макс.		0.33	0.69	99.30			0.46	100.00	
Мин.		0.22	0.39	99.09			0.00	99.54	

Таблица 2

Конструктивные особенности образцов пеноникеля

Материал	**Морфология / Структура**	**Размеры структурных элементов**
Пеноникель №1	Ячеистая структура неправильной формы	740–1000 мкм (ячейки) 250 мкм (перегородки) 20 – 30 мкм (зерна)
Пеноникель №2	Более мелкая ячеистая структура (по сравнению с образцом №1) неправильной формы	200–350 мкм (ячейки), 10–40 мкм (перегородки) 100 – 500 нм(зерна)

Проанализировав данные о конструктивных особенностях образцов пеноникеля, можно установить связь между ними, электрохимическими и физикомеханическими свойствами материалами, т.е. понять как линейные размеры пор и перегородок влияют на работу суперконденсаторов.

Размеры ячеек и толщина перегородок напрямую связаны с электрической проводимостью материала. У образца №1 ячейки больше, а перегородки толще по сравнению с образцом №2, в связи с чем доступ электролита к активным участкам подложки может быть затруднен. Исходя из данного факта следует уменьшение эффективной площади взаимодействия, но в тоже время более крупные перегородки обеспечивают лучшую электропроводность по сравнению с тонкими, что может способствовать снижению омических потерь в материале и улучшенному массопереносу ионов через поры материала. Напротив, более толстые перегородки между ячейками образца пеноникеля №1 придают материалу повышенную механической прочностью по сравнению с образцом №2. Из–за этого повышается эффективность при циклической нагрузке или использовании в условиях повышенного давления.

Пористость обоих образцов находится в диапазоне 90 – 98%, что типично для пенометаллов и обеспечивает достаточную ёмкость для заполнения пор активным материалом или электролитом. При одинаковой пористости можно сравнить удельные площади поверхности обоих образцов с помощью связи между удельной площадью поверхности $S_{уд}$, $см^3$, и толщиной перегородки никеля d, мкм., которая является обратно пропорциональной:

$$S_{уд} = \frac{1}{d}, \quad (6)$$

Отсюда можно составить соотношение для сравнения удельных площадей поверхности. Подставим в него данные оптической микроскопии, а именно средние толщины перегородок между ячейками образцов №1 и №2 и получим:

$$\frac{S_{уд2}}{S_{уд1}} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{250\ мкм}{40\ мкм} \approx 6{,}25, \quad (7)$$

Удельная емкость прямо пропорциональна удельной площади поверхности, значит удельная емкость образца №2 больше в 6,25 раза чем у образца №1. Однако уменьшение размеров перегородок может привести к их повреждению в процессе эксплуатации суперконденсаторов.

Зернистость образца №2 указывает на особенности его формирования, связанные с параметрами, выбранными при гальваническом методе получения материала из порошкового никеля, из–за чего могут наблюдаться локальные изменения в распределении тока и создаваться условия для неравномерного роста при осаждении на подложку активного материала. В то же время зернистая структура дополнительно увеличивает шероховатость поверхности, положительно влияя на адгезию покрытий [5].

Заключение

1. Увеличение толщины перегородок пеноникеля снижает доступ электролита к активной поверхности. В тоже время это помогает массопереносу ионов через поры и снижает омические потери;

2. Уменьшение размеров перегородок пеноникеля увеличивает его удельную площадь поверхности и, соответственно, ёмкость, но снижает прочность.

3. Увеличение зернистости может приводить к неравномерному распределению тока при осаждении активного слоя, но при этом улучшаются адгезионные свойства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ившин Я.В.* Особенности получения пеноникеля гальваническим способом / Я.В. Ившин, Л.Р. Джанбекова // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – № 8. – С. 188-193. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti–polucheniya–penonikelya–galvanicheskim–sposobom (дата обращения: 28.05.2025). – Текст: электронный

2. *Sadeghi A.* Recent advances of electrode materials based on nickel foam current collector for lithium–based batteries – A review / A. Sadeghi, A. Ghaffarinejad // Journal of Power Sources. – 2024. – № 600. P. 917 – 918.

3. *Михалин А.А.* Исследование емкостных и электрокинетических свойств электродов на основе высокодисперсионного углерода применительно к их использованию в суперконденсаторах и для емкостной деионизации воды: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.00.05 / А.А. Михалин. – Москва, 2014. – 27 с.

4. *Ratsoma M.S.* Применение никелевой пены в электрохимических системах: обзор / M. S. Ratsoma, B.L. O. Poho, K. Makgopa [и др.] // J. Electron. Mater. – 2023. – Vol. 52. – P. 2264–2291. – DOI: 10.1007/s11664–023–10244–w.

5. Абаляева Б.Б. Электроактивные полимерные покрытия на модифицированной графитовой фольге в качестве электродов для суперконденсаторов / Б.Б. Абаляева, Г.В. Николаева, Н.Н. Дремова [и др.] // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2019. – Т. 55, № 2. – С. 195–203. – DOI: 10.1134/S0044185619020025.

STUDY OF THE INFLUENCE OF DESIGN FEATURES OF NICKEL FOAM SUBSTRATES ON THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF SUPERCAPACITORS BY MICROSCOPY METHODS

Dolgov S.K.

Supervisor: Morozov M.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. This article examines the effect of changing the dimensions of the structural elements of nickel foam on the characteristics of the supercapacitor current collector. In the course of the work, samples of two nickel foams were examined using optical and electron microscopy.

УДК 621.315.592

РАЗРАБОТКА МЕТОДА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

Еграшин Н.А.

Научный руководитель: Михеев И.Д., доцент, к. ф.-м. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Пористый кремний является перспективным материалом для оптоэлектроники, сенсорики и энергетики благодаря своей нанопористой структуре и уникальным оптическим свойствам. В данной работе рассмотрены методы получения пористого кремния, включая электрохимическое анодное травление и химическое осаждение. А также новый метод получения пористого кремния при помощи электрохимического анодного травления без предварительной очистки подложки.

Пористый кремний — перспективный материал для оптоэлектроники, сенсорики и энергетики, открытый в середине XX века (Улир, 1956; Тернер, 1958) как побочный продукт электрополировки кремния. Ключевой прорыв произошел после обнаружения фотолюминесценции при комнатной температуре (Кэнхэм, 1991), что стимулировало разработку кремниевых оптоэлектронных устройств. Материал классифицируют по размеру пор: макропоры (>50 нм), мезопоры (2–50 нм), нанопоры (<2 нм). Его уникальные свойства включают регулируемую пористость (5–95%), удельную поверхность до 800 м²/см³, теплопроводность ~10 Вт/(м·К) и фотолюминесценцию в видимом диапазоне с КПД до 23% [1].

Пленки на основе пористого кремния составляют значимую группу функциональных материалов, востребованных в различных научных и технических сферах. Критически важным аспектом при изучении данных покрытий является исследование их трибофизических характеристик. Эти свойства определяют поведение материала при контакте с другими поверхностями, включая процессы трения и износа.

Глубокое понимание трибофизических особенностей пленок пористого кремния крайне важно для совершенствования технологий их производства и расширения областей практического использования. К таким областям относятся микроэлектроника, медицинское приборостроение, косметическая индустрия и другие.

Микрорельеф поверхности (шероховатость) пленок пористого кремния существенно влияет на их трибофизическое поведение. Вот как неровности поверхности могут воздействовать на функциональные свойства материала:

1) Коэффициент трения: Повышенная шероховатость обычно увеличивает реальную площадь контакта при трении. Как следствие, это может приводить к возрастанию коэффициента трения между пленкой и взаимодействующей с ней поверхностью.

2) Сопротивление износу: Характер поверхностного рельефа напрямую сказывается на износостойкости покрытий. Более выраженная шероховатость потенциально увеличивает риск ускоренного износа материала из-за интенсификации механического взаимодействия.

3) Трибоэлектрические явления: Поверхностные неровности способствуют активизации трибоэлектрических эффектов в процессе трения. Это может проявляться в накоплении электростатического заряда и модификации электрофизических параметров пленки.

Комплексное изучение трибофизических аспектов пленок пористого кремния предоставляет ценную информацию для оценки его прикладного потенциала [2].

Хотя сама идея травления кремния в кислоте кажется сложной и не контролируемой, на самом деле процесс травления в жизни достаточно прост. Несмотря на кажущуюся сложность и неконтролируемость процесса травления кремния кислотой, его практическая реализация достаточно проста. Электрохимическое анодирование кремния может осуществляться в одном из трех режимов:

Гальваностатический режим (с постоянным током);

Потенциостатический режим (с постоянным напряжением);

Комбинированный режим.

В подробном рассмотрении эти способы показывают разные методы получения пористого кремния.

1. Гальваностатический режим: Скорость роста пористой пленки в этом случае определяется установленной плотностью анодного тока.

2. Потенциостатический режим: На старте процесса плотность тока ограничивается исключительно омическим сопротивлением элементов системы (электролит, электроды). В последующем величина плотности тока экспоненциально падает до уровня остаточного тока.

3. Комбинированный режим: Процесс начинается с анодной обработки при фиксированной силе тока до достижения напряжения, составляющего 15–30% от напряжения пробоя формирующейся пленки. Затем это напряжение стабилизируется, а плотность тока снижают. Данная методика позволяет получать пленки с более совершенной структурой и улучшенными диэлектрическими характеристиками.

Согласно представленным данным, комбинированный подход демонстрирует преимущества по сравнению с другими рассмотренными режимами. [3]. Установка включает кремниевую подложку (анод) и платиновый катод (рисунок 1).

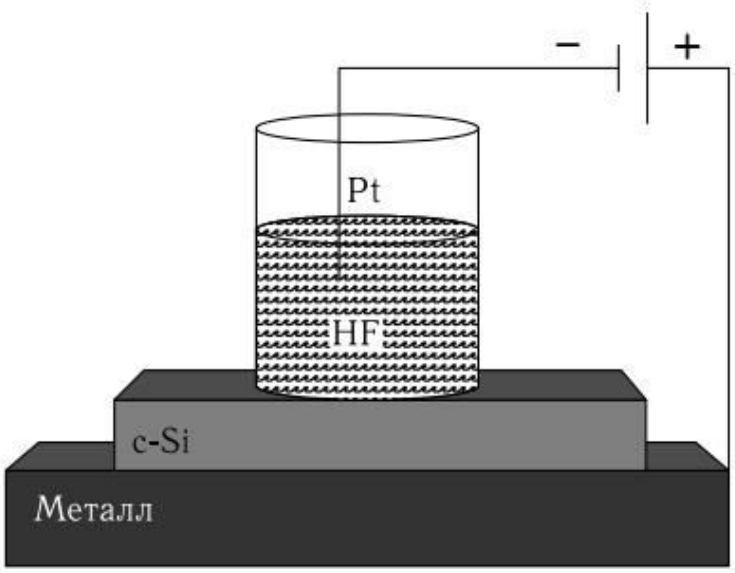


Рисунок 1. Схематичное изображение простейшей ячейки для электрохимического получения пористого кремния в растворе плавиковой кислоты [4]

Критическими параметрами являются плотность тока, концентрация плавиковой кислоты и тип подложки (p/n-тип). Преимущества метода — высокая управляемость и низкая себестоимость [4]. Альтернативные подходы включают ионную имплантацию (Ag^+, Co^+) для формирования нанопор, травление в ионных жидкостях (например, [HMIM][BF_4]) как экологичную замену плавиковой кислоты, а также лазерную абляцию и паровое травление для локальной обработки. Однако эти методы часто уступают анодному травлению в воспроизводимости и глубине пор [5].

Безопасность процессов с использованием плавиковой кислоты требует строгих мер из-за токсичности и коррозионной активности кислоты. Обязательно применение средств индивидуальной защиты: перчаток из бутилкаучука, респираторов FFP3, защитных фартуков. Для снижения рисков внедряют автоматизацию, замену плавиковой кислоты на ионные жидкости и рециклинг отходов через нейтрализацию гидроксидом кальция.

Экспериментальная часть исследования была посвящена получению пористого кремния **без предварительной очистки подложки** (кремний 2А2КДК20). Установка, изображенная на рисунке 2, состояла из тефлоновой ячейки, стального анода и платинового катода.

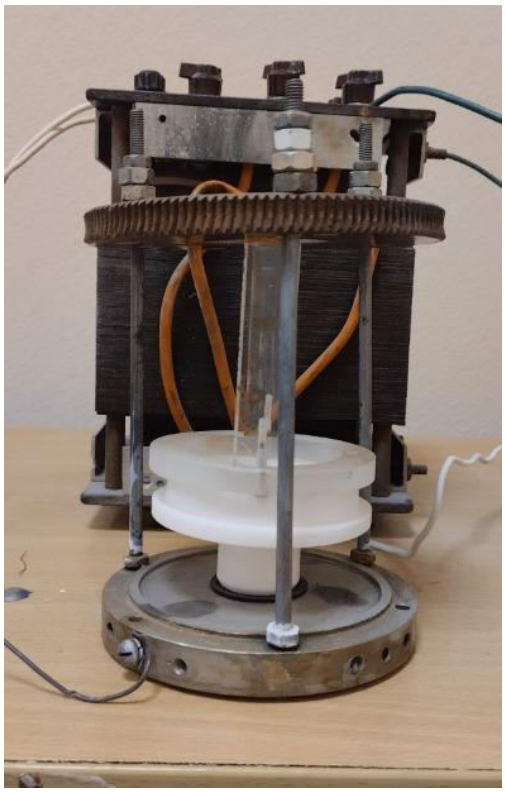


Рисунок 2. Внешний вид ячейки электрохимической

Образец 1 обрабатывался при 0.16 мА, 20 В, 30 мин в водном растворе плавиковой кислоты, что привело к формированию пористого слоя с изменением цвета (рисунки 3–4) и диаметром пор ~6-214 мкм (рисунок 5).

Рисунок 3. Изменение цвета пластины

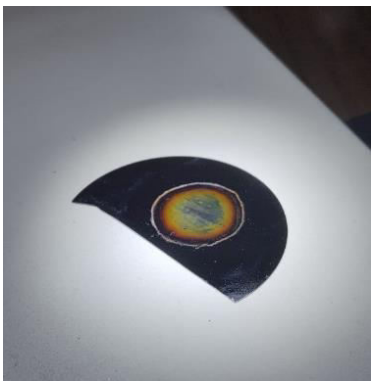


Рисунок 4. Первый образец после травления

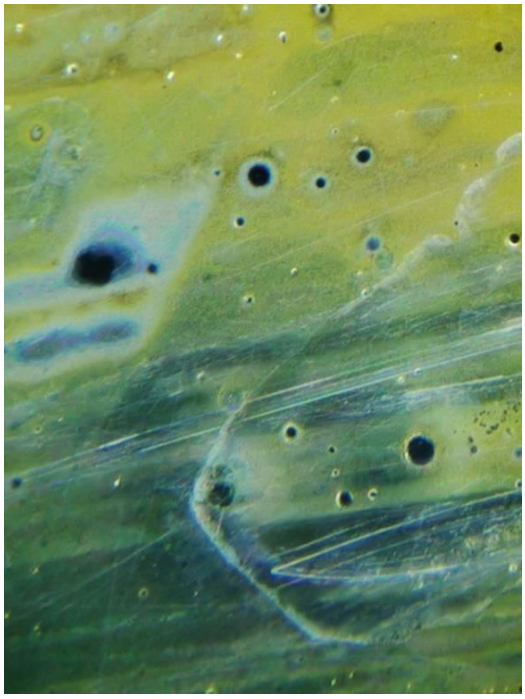


Рисунок 5. Микрофотография первого образца

Образец 3 обрабатывался при 0.44 мА, 25 В, 45 мин и показал аналогичную морфологию (рисунок 6). При этом образец 2 разрушился при высокой плотности тока (0.52 мА), подтвердив необходимость оптимизации параметров.

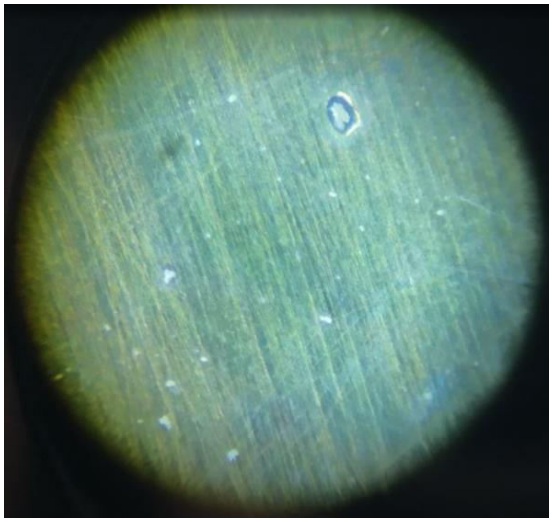


Рисунок 6. Микрофотография третьего образца

Заключение

Пористый кремний сохраняет потенциал для нанотехнологий благодаря управляемой морфологии и функциональности. Разработанный метод получения без очистки подложки снижает производственные затраты и может масштабироваться для сенсоров и энергетических устройств. Дальнейшие исследования целесообразно направить на повышение стабильности структур при вариациях плотности тока.

Исследования проведены в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Пористый кремний // Википедия, свободная энциклопедия URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Пористый_кремний (дата обращения: 15.06.2025).

2. *Каримуллин Т.М*. Изучение трибофизических свойств плёнок пористого кремния // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2024. Сборник тезисов докладов XI Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященной 300-летию со дня основания Российской Академии наук, 90-летию со дня рождения первых космонавтов СССР Ю.А. Гагарина и А.А. Леонова, 90-летию первого выпуска КАИ, 65-летию начала регулярного телевизионного вещания в Республике Татарстан. Казань, 2024. С. 476-477.

3. *Султанов Д.Э.* Получение и изучение пористого кремния // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2024. Сборник тезисов докладов XI Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященной 300-летию со дня основания Российской Академии наук, 90-летию со дня рождения первых космонавтов СССР Ю.А. Гагарина и А.А. Леонова, 90-летию первого выпуска КАИ, 65-летию начала регулярного телевизионного вещания в Республике Татарстан. Казань, 2024. С. 374-375.

4. *Ищенко А.А., Фетисов Г.В., Асланов Л.А.* Нанокремний: свойства, получение, применение, методы исследования и контроля. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 648 с.

5. *Variola F., Vetrone F., Richert L., Germanier Y.* Modern Approaches to Nanomodification of Titanium Implant Surfaces: Comparative Analysis of Etching Techniques // Journal of Nanomaterials in Dentistry. — 2023. — Vol. 4, no. 12. — P. 45–62.

6. *Canham, L*. Handbook of Porous Silicon. - 1st edition. - Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2014. - 1017 с.

DEVELOPMENT OF A METHOD AND EXPERIMENTAL SETUP FOR THE PRODUCTION AND STUDY OF POROUS SILICON

Egrashin N.A.

Supervisor: Mikheev I.D., Associate Professor, Candidate of Physico-Mathematical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Porous silicon is a promising material for optoelectronics, sensing and energy applications due to its nanoporous structure and unique optical properties. In this paper, methods for producing porous silicon, including electrochemical anodic etching and chemical deposition, are discussed. As well as a new method to obtain porous silicon using electrochemical anodic etching without pre-cleaning the substrate.

УДК 786.9:621.382.2:621.311.6:004.056.5

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ПОРТАТИВНОЙ КЛАВИАТУРЫ БАЯНА

Загеров А.А.
Научный руководитель: Муратов Р.М., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассматривается разработка цифровой портативной клавиатуры баяна, которая позволяет тренировать навыки игры на баяне. Теоретически обосновывается выбор компонентов рассматриваемого устройства.

На сегодняшний день не существует мультимедийного устройства, которое позволяло бы обучаться игре на баяне и не обременяло бы владельца большими габаритами [1]. Не говоря уже о том, что полноценный музыкальный инструмент (классический и электронный) имеет высокую стоимость [2]. По этой причине возникла идея создать портативное цифровое устройство, представляющее собой видоизмененный синтезатор в форме грифа баяна.

Преимуществами данного устройства является повышенная мобильность за счёт малой массы и размеров; возможность использования внешней гарнитуры для обеспечения общественного спокойствия; возможность установки программного обеспечении, позволяющего выполнять заложенные во внутреннюю память устройства упражнения. Данное устройство позволит развивать мелкую моторику, упростить освоение новых музыкальных произведений и поможет приобрести новые музыкальные навыки.

Разработанный прибор представляет собой отдельный правый гриф баяна (рисунок 1). Внутри гриф представляет собой аналог синтезатора: микроконтроллер, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), усилитель звукового сигнала, накопитель памяти, аккумулятор [3].

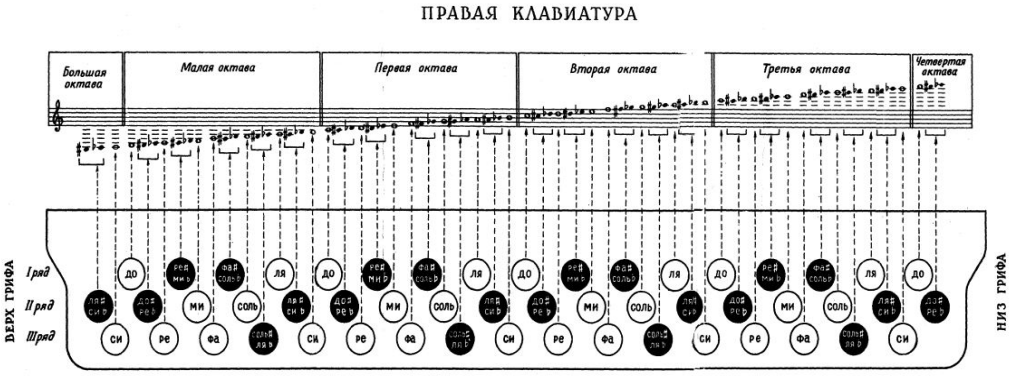


Рисунок 1 – Схема правой клавиатуры баяна [4]

Проектирование устройства, аутентично воспроизводящего тембр баяна с поддержкой записи мелодий, питанием от аккумулятора и выводом в наушники, потребовало многоэтапного анализа технических требований и компромиссов. Исходной точкой послужили акустические особенности инструмента: динамического управления громкостью через эмуляцию меха, а также характерного тембра язычковых планок с их металлическим окрасом и быстрой атакой [5]. Критичным условием стало энергоэффективное исполнение для портативного использования.

Первоначальный обзор семейств микроконтроллеров выявил непригодность 8-битных решений (ATmega) из-за недостаточной производительности для потоковой обработки сэмплов. Хотя модели вроде ATmega2560 предлагали увеличенную память, их архитектура не обеспечивала требуемой эффективности вычислений с плавающей точкой. Параллельно рассматривались процессоры с интегрированными ЦАП (STM32H7, ESP32), однако параметры SNR (90–95 дБ) и уровень цифровых помех признаны недопустимыми для высококачественного воспроизведения тихих обертонов басовых регистров в наушниках, что

обусловило выбор внешних ЦАП (PCM5100A, CS4344) с SNR >106 дБ и отдельным LDO-стабилизатором питания [6].

Ключевым критерием стала балансировка между вычислительной мощностью и энергопотреблением. Сравнение ядер ARM Cortex-M показало избыточность Cortex-M7 (STM32H7) для задач синтеза баяна, где длина сэмплов не превышает 2 секунд. Напротив, Cortex-M4 с FPU обеспечивал достаточную производительность (120–180 МГц) при вдвое меньшем энергопотреблении [7].

Отдельной задачей стала организация памяти. Встроенного Flash (512 КБ) хватило для хранения сэмплов регистров и шумов (клавиш, воздуха), но функция записи мелодий потребовала внешнего носителя. Анализ показал: QSPI Flash (Winbond W25Q64) подходит лишь для коротких фрагментов (до 45 сек при 44.1 кГц/стерео), тогда как запись композиций от 5 минут диктует применение SD-карт. Выбор пал на microSD с FATFS из-за соотношения ёмкости (32 ГБ = 5 часов аудио), скорости записи (Class 10 >20 МБ/с) и удобства извлечения данных. Для минимизации энергозатрат реализовано отключение питания карты в режиме ожидания через MOSFET-ключ [8].

Финалный выбор — STM32G474RET3 — обусловлен синергией параметров: наличие QSPI/SDIO для работы с памятью; 12-битный АЦП с временем выборки 100 нс; допустимый уровень мощности.

Проектирование аудиотракта электронного баяна требует строгого соответствия между характеристиками цифро-аналогового преобразователя и уникальными особенностями язычкового звукообразования. Акустическая природа баяна предъявляет три фундаментальных требования: сохранение широкого динамического диапазона (до 95 дБ), точная ретрансляция металлических обертонов в полосе 1.5–5 кГц и бескомпромиссная чистота фундаментальных гармоник басового регистра (60–200 Гц). Эти условия формируют систему критериев для выбора архитектуры ЦАП, где ключевым приоритетом становится минимизация искажений на всех уровнях сигнального тракта.

Динамические параметры ЦАП выступают первичным фильтром при отборе решений. Отношение сигнал/шум (SNR) должно превышать 100 дБ для адекватной передачи контраста между нюансированным piano и форсированным forte — критичного при имитации динамики меха. Коэффициент нелинейных искажений жестко ограничен 0.005%, поскольку гармонические артефакты разрушают тембральную целостность многоголосых кластеров. Динамический диапазон свыше 105 дБ обеспечивает градации громкости, соответствующие акустическому прототипу.

Физическое разделение цифрового и аналогового трактов признано обязательным. Интегрированные в микроконтроллеры ЦАП (STM32H7, ESP32) теоретически ограничены SNR ≤ 95 дБ из-за неизбежных перекрестных помех от шин данных и тактовых генераторов. Внешняя архитектура устраняет эффект подземных токов (ground bounce) и обеспечивает изоляцию аналоговых цепей через выделенные пути питания.

Сравнительный анализ спецификаций лидирующих решений выявляет преимущества микросхемы CS4344 (Cirrus Logic). Её SNR 114 дБ на 2 дБ превосходит ближайшего конкурента PCM5102A (Texas Instruments), что напрямую влияет на чистоту воспроизведения затухающих гармоник басовых язычков. Параметр THD+N 0.001% гарантирует отсутствие интермодуляционных искажений в сложных аккордах левой руки. Коэффициент подавления пульсаций питания (PSRR) 85 дБ обеспечивает устойчивость к шумам Buck-конвертера — критичное свойство для батарейного питания [9]. Хотя интерфейс CS4344 ограничен 192 кГц против 384 кГц у аналогов, этого достаточно для частоты дискретизации 48 кГц, принятой в проекте.

Интеграция ЦАП в аналоговый тракт требует каскадного усиления с буферизацией. Усилители класса AB предпочтительнее класса D из-за отсутствия ВЧ-артефактов (>200 кГц), искажающих атаку звука. Дифференциальный вход обязателен для подавления синфазных помех, а PSRR >90 дБ компенсирует пульсации преобразователя.

Система питания аналогового тракта строится вокруг выделенного LDO-стабилизатора (TPS7A47) с шумом <1 мкВ RMS и π-фильтрами на входе. Развязка цифровой и аналоговой земли реализуется по звездообразной топологии с ферритовыми бусиками на линиях питания. Пассивный RC-фильтр 2-го порядка (fcp=35 кГц) подавляет частоты Найквиста без фазовых сдвигов в рабочем диапазоне.

Заключительный выбор CS4344 обоснован превосходством в ключевых для баяна параметрах: 114 дБ SNR сохраняет обертоновую структуру, 0.001% THD+N обеспечивает чистоту аккордов, а 85 дБ PSRR поддерживает стабильность при колебаниях питания. Эта архитектура остается теоретически безальтернативной для задач высокоточной ретрансляции язычковых тембров в портативных синтезаторах.

Разработка автономного источника питания для электронного баяна стала многоуровневой инженерной задачей, где приоритеты аутентичности звучания, портативности и длительности работы формировали жёсткие рамки. Исходным вектором анализа стало понимание уникальной энергетической сигнатуры инструмента: сочетание стабильной нагрузки аудиотракта с пиковыми бросками тока при активации полифонии и записи на SD-карту. Требование интеграции в корпус, анатомически соответствующий традиционному баяну, исключало применение стандартных цилиндрических элементов, а чувствительность ЦАП к пульсациям напряжения диктовало необходимость эталонно "чистого" питания.

Сравнительный обзор электрохимических технологий сразу вывел литий-полимерные (Li-Po) решения в лидеры рассмотрения. Их преимущество определялось не только удельной энергоёмкостью, превосходящей Ni-MH-аккумуляторы на 70%, но и критичной для проекта гибкостью форм-фактора. Способность Li-Po ячеек адаптироваться к криволинейным поверхностям корпуса позволила распределить массу батареи вдоль рёбер жесткости инструмента, сохранив эргономику. Номинальное напряжение 3.7 В с плоской разрядной характеристикой в диапазоне 20–80% ёмкости создавало идеальную основу для питания цифровых и аналоговых каскадов без промежуточных повышающих преобразователей, чьи импульсные помехи могли загрязнить аудиотракт [10].

Расчёт целевой ёмкости базировался на сценарии интенсивной эксплуатации: одновременная полифоническая игра с включённой записью WAV-потока и активным эффектом реверберации. Установленный минимальный порог автономности в 4 часа требовал запаса энергии 560 мАч, но с учётом деградации электрохимической системы после 300 циклов (типичное снижение ёмкости на 15–20%) и потерь КПД в цепях стабилизации (суммарно 12–15%) цифра скорректировалась до 800 мАч. Выбор остановился на ячейке 1200 мАч – решение, обеспечивающее 30% резерв для компенсации старения и поддержания полного напряжения на усилителях наушников даже в конце разрядного цикла.

При проектировании аудиоинтерфейса электронного баяна рассматривалась возможность оснащения устройства Bluetooth 5.0 с поддержкой профилей A2DP и LE Audio. Технически такая интеграция выглядела привлекательной для сегмента потребительской электроники, однако углублённый анализ выявил принципиальные противоречия с философией инструмента. Ключевым контраргументом стало фундаментальное несоответствие природы беспроводной передачи требованиям акустической аутентичности. Характерный для баяна тембр формируется сложной интерференцией обертонов язычковых планок, где даже кратковременные фазовые искажения разрушают уникальный «металлический» окрас звука. Стандартные кодеки SBC и aptX HD, несмотря на заявленную битрейт-пропускную способность, неизбежно применяют акустическое сжатие, отсекающее субгармоники в области 80–150 Гц.

Энергетический аспект стал вторым барьером. Типичный Bluetooth-модуль с током передачи 25–40 мА заметно увеличивает энергопотребление системы, что прямо противоречило целевым показателям автономности. Самым главным недостатком Bluetooth-подключения является временная задержка между нажатием на клавишу и откликом внешней гарнитуры [11]. Играть на музыкальном инструменте с запоздалым откликом невозможно.

Устройство реализует концепцию электронного баяна, сочетающую аутентичность звучания с современной технологической базой. Применение внешнего 24-битного ЦАП (PCM5100A) и усилителя класса D с подавлением помех >100 дБ гарантирует чистоту воспроизведения характерного тембра язычковых регистров в профессиональных наушниках. Отказ от беспроводных интерфейсов в пользу проводного аудиотракта, оптимизированная система питания на Li-Po аккумуляторе 1200 мАч и глубокие режимы сна (до 50 мкА) обеспечивают 5.5 часов автономной работы без компромиссов в качестве звука.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Google Patents / [Электронный ресурс] // Google Patents: [сайт]. — URL: https://patents.google.com/?q=(Accordeon+keyboard)&oq=Accordeon+keyboard (дата обращения 01.07.2025).

2. Баяны / [Электронный ресурс] // Музторг: [сайт]. — URL: https://www.muztorg.ru/category/bayany (дата обращения: 01.07.2025).

3. *Попов Д.* Как устроен синтезатор / Попов Д. [Электронный ресурс] // Музыкальное оборудование: [сайт]. — URL: https://muzoborudovanie.ru/articles/synth.php (дата обращения: 01.07.2025).

4. Расположение нот на баяне // gkuz-dpb URL: https://gkuz-dpb.ru/foto/raspolozhenie-not-na-bayane-pravaya-ruka-shema/?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera (дата обращения: 01.07.2025).

5. Атака (музыка) // Википедия URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Атака_(музыка) (дата обращения: 01.07.2025).

6. *Бакиев И.И, Муратов Р.М.* Структурная схема устройства сбора данных на основе микроконтроллера семейства STM 32 // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности. – Москва: Конверт, 2021. – С. 28-30.

7. ARM Cortex-M4 Microcontrollers // ChipDip URL: https://www.chipdip.ru/product/stm32f412rgt6-arm-mcu-cortex-m4-st-microelectronics-8000182276 (дата обращения: 01.07.2025).

8. FatFs // Википедия URL: https://en.m.wikipedia.org/wiki/FatFs (дата обращения: 01.07.2025).

9. Power supply rejection ratio // Википедия URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Power_supply_rejection_ratio (дата обращения: 01.07.2025).

10. Избавляемся от посторонних шумов в аудиотракте // Habr URL: https://habr.com/ru/articles/131744/ (дата обращения: 01.07.2025).

11. Подборка механических клавиатур // Habr URL: https://habr.com/ru/companies/first/articles/848086/ (дата обращения: 01.07.2025).

DEVELOPMENT OF A DIGITAL PORTABLE BAYAN KEYBOARD

Zagerov A.A.

Supervisor: Muratov R.M.**,** Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper considers the development of a digital portable accordion keyboard, which allows you to train your accordion playing skills. The choice of components of the device in question is theoretically justified.

УДК 681.34

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ОЦИФРОВКИ АУДИОСИГНАЛА С ПРЕДУСИЛИТЕЛЕМ И ИНТЕРФЕЙСОМ USB TYPE-C НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Иванов А.Е., Тепляков А.А.

Научный руководитель: Виноградов В.Ю., доцент, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе рассматриваются вопросы разработки устройства оцифровки аудиосигнала с предусилителем и интерфейсом USB Type-C, обеспечивающего высокое качество звукозаписи и совместимость с современными устройствами. Целью работы является создание надежного и удобного решения для профессиональной и любительской аудиозаписи. Для ее достижения выполнены следующие задачи: анализ характеристик микрофонов, выбор оптимальных компонентов, разработка конструкторской документации в КОМПАС-3D, расчет параметров устройства, а также изготовление и тестирование опытного образца. В результате разработано работоспособное устройство с низким уровнем шумов и высокой точностью преобразования сигнала, что подтверждено испытаниями. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего совершенствования и внедрения устройства в производство.

Современный этап развития цифровых технологий характеризуется стремительным ростом требований к качеству звукозаписи и обработки аудиосигналов. В условиях повсеместного распространения мультимедийных устройств, таких как смартфоны, планшеты, компьютеры и профессиональное студийное оборудование, особую актуальность приобретают устройства, способные обеспечить высококачественную оцифровку аудиосигналов с минимальными искажениями и шумами. Разработка устройств, сочетающих в себе современные методы цифровой обработки сигналов, высокую точность преобразования и удобство использования, является одной из ключевых задач в области аудиотехники. В этой связи тема данной работы является чрезвычайно актуальной и востребованной как для профессиональных, так и для бытовых применений.

Актуальность темы исследования обусловлена несколькими факторами. Во-первых, интерфейс USB Type-C, обладающий высокой скоростью передачи данных, универсальностью и удобством подключения, становится стандартом для современных аудиоустройств. Во-вторых, интеграция предусилителя в устройство оцифровки позволяет упростить процесс звукозаписи, минимизировать внешние помехи и повысить качество сигнала. Таким образом, разработка такого устройства отвечает текущим потребностям рынка и открывает новые возможности для профессиональных и любительских применений.

Объектом исследования в данной работе является процесс оцифровки аудиосигнала, включающий преобразование аналогового сигнала в цифровой, его предварительное усиление и передачу через интерфейс USB Type-C. Предмет исследования — разработка устройства, обеспечивающего высокое качество звукозаписи за счет применения современных методов цифровой обработки сигналов, оптимального выбора компонентов и тщательного проектирования схемы.

При проектировании устройства ключевым аспектом стал подбор подходящего АЦП, поскольку от этого компонента напрямую зависит качество оцифровки звука и стабильность работы системы. В ходе анализа современных микросхем и изучения технических характеристик различных производителей было принято решение использовать PCM2912APJTR от Texas Instruments.

Основным преимуществом данной микросхемы является ее интегрированная архитектура, объединяющая АЦП и USB-контроллер в одном корпусе. Такой подход позволил упростить схему, сократить количество внешних элементов и снизить себестоимость

устройства без потери функциональности. В условиях растущих требований к миниатюризации электроники — это решение оказалось наиболее оптимальным.

Важным критерием выбора стала поддержка стандарта USB Audio Class 1.0, обеспечивающего автоматическое распознавание устройства в операционных системах (Windows, macOS, Linux) без необходимости установки дополнительных драйверов. Это значительно упрощает эксплуатацию и масштабирование производства.

Технические параметры выбранного АЦП (16 бит, 48 кГц) соответствуют требованиям к устройствам данного класса. Более высокие характеристики могли бы улучшить качество звука, но потребовали бы усложнения схемы и увеличения затрат, что нецелесообразно для массового применения [1].

Альтернативные решения либо уступают по ключевым параметрам, либо требуют дополнительных компонентов (внешние генераторы, фильтры), что усложняет конструкцию.

Таким образом, выбор PCM2912APJTR оказался технически и экономически обоснованным, полностью соответствующим целям проекта.

В процессе проектирования устройства значительное внимание было уделено подбору оптимального предусилителя, способного обеспечить качественную работу с выбранным АЦП PCM2912APJTR. В результате проведенного анализа было выбрано решение SSM2019BRNZ производства Analog Devices, полностью соответствующее техническим требованиям проекта.

Ключевым преимуществом данного предусилителя стали его выдающиеся характеристики по уровню шума - менее 1 нВ/√Гц. Такой низкий показатель шума позволяет сохранять все нюансы звукового сигнала, что особенно критично при записи вокала и акустических инструментов. Для сравнения, аналогичные по цене решения демонстрируют значительно более высокий уровень шумов.

Особого внимания заслуживает наличие программируемого коэффициента усиления с диапазоном до 60 дБ. Эта функция обеспечивает универсальность устройства, позволяя одинаково эффективно работать как в условиях домашней студии, так и при записи громких источников звука. Важно отметить, что качество сигнала остается стабильным во всем диапазоне регулировок, что выгодно отличает данное решение от многих аналогов [2].

Сочетание этих характеристик делает SSM2019BRNZ оптимальным выбором для создания устройства способного удовлетворить потребности как лбителей, так и профессиональных музыкантов.

В ходе работы была использована отечественная САПР КОМПАС-3D - полностью локализованная система трехмерного проектирования, являющаяся отраслевым стандартом в России. Данное программное обеспечение широко применяется на промышленных предприятиях и в проектных организациях по всей стране, что подтверждает его надежность и востребованность в профессиональной среде.

Выбранная система проектирования обладает уникальной особенностью - глубокой интеграцией процессов трехмерного моделирования и оформления конструкторской документации. Программный комплекс автоматически формирует чертежные виды по созданным объемным моделям с полным соблюдением требований Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) [3].

При разработке принципиальной электрической схемы устройства стояли задачи организации питания через интерфейс USB Type-C, проектирования предусилительного каскада, реализации аналого-цифрового преобразования и оптимизации схемы для стабильной работы с сохранением качества сигнала. Для обеспечения двуполярного питания ±15В, необходимого для работы предусилителя SSM2019BRNZ, был выбран DC-DC преобразователь NMA05515SC, который эффективно преобразует стандартное USB-напряжение +5В в требуемые уровни. Этот компактный модуль демонстрирует высокий КПД около 90%, что критически важно при работе с ограниченной мощностью USB-интерфейса. В схеме выходные напряжения преобразователя подключены непосредственно к микросхеме предусилителя: +15В подается на вывод положительного питания, -15В - на вывод отрицательного питания, при этом общая земля соединена с аналоговой землей всей схемы.

Разработанная принципиальная схема наглядно отражает электрическую структуру устройства, демонстрируя взаимосвязь всех компонентов и обеспечивая стабильную работу системы при сохранении высокого качества звукового сигнала.

При проектировании печатной платы устройства была выполнена комплексная работа по трассировке с использованием среды EasyEDA - современного онлайн-инструмента для проектирования электронных устройств. На подготовительном этапе проведена тщательная компоновка компонентов с учетом их функционального взаимодействия и особенностей схемы. Особое внимание уделено критически важным аспектам: четкому разделению аналоговой и цифровой частей, оптимальному расположению элементов питания и минимизации паразитных наводок.

В процессе трассировки соблюдались основные принципы проектирования печатных плат: обеспечение минимальной длины проводников для снижения паразитных индуктивностей, использование увеличенной ширины дорожек в цепях питания для уменьшения их сопротивления, соблюдение необходимых зазоров между проводниками для предотвращения пробоев и утечек. Особое внимание уделено рациональному размещению переходных отверстий, что позволило оптимизировать топологию платы и улучшить ее эксплуатационные характеристики.

Результатом работы стала качественно спроектированная двухслойная печатная плата (рисунок 1.1), обеспечивающая стабильную работу всех компонентов устройства. Применение среды EasyEDA значительно ускорило процесс проектирования благодаря удобному интерфейсу и комплексному подходу, объединяющему разработку принципиальной схемы и трассировку платы в едином рабочем пространстве. Полученная конструкция полностью соответствует техническим требованиям проекта и обеспечивает надежную работу устройства в различных условиях эксплуатации.

При создании чертежей деталей соблюдены положения следующих стандартов: ГОСТ 2.109-73 (основные требования к чертежам), ГОСТ 2.307-2018 (нанесение размеров и предельных отклонений), ГОСТ 25346-2013 (система допусков и посадок).

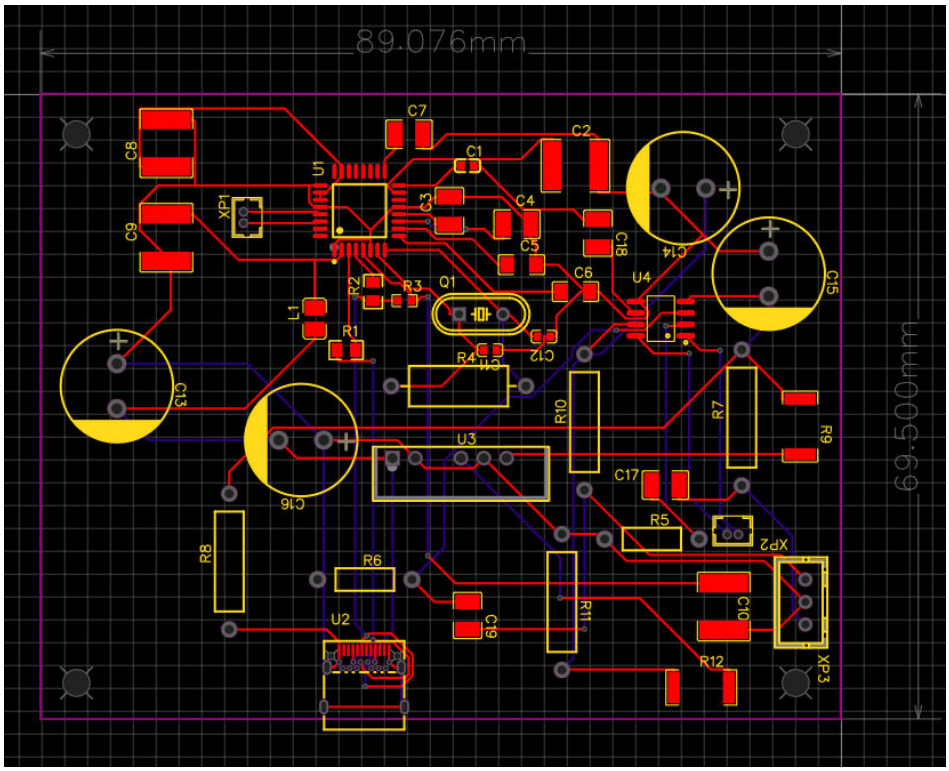


Рисунок 1. Трассировка печатной платы

На чертежах детально отображены все необходимые параметры:
- основные габаритные, установочные и присоединительные размеры

- предельные отклонения геометрических параметров
- показатели шероховатости рабочих поверхностей
- маркировка материалов
- дополнительные технические требования к производству

Особое внимание уделено точному расчету допусков и посадок для сопрягаемых элементов, что гарантирует правильность сборки изделия. Графическое оформление выполнено с соблюдением ГОСТ 2.304-81, включая применение стандартного чертежного шрифта.

Проведенная проверка подтвердила полное соответствие разработанной документации нормативным требованиям. Чертежи содержат всю необходимую информацию для беспроблемного изготовления деталей в условиях серийного производства. Каждый чертеж обеспечивает однозначность толкования технических требований и может быть непосредственно использован на производстве.

Сборочные чертежи устройства разработаны в полном соответствии с требованиями ГОСТ 2.109-73 и включают всю необходимую информацию для качественной сборки изделия. На чертежах представлен общий вид устройства с указанием всех составных компонентов и их взаимного расположения. Четко обозначены габаритные размеры сборочной единицы, что позволяет правильно организовать производственный процесс.

Разработанные сборочные чертежи обеспечивают однозначное понимание конструкции устройства и позволяют осуществить его сборку без дополнительных уточнений.

Проведен расчет теплового режима, подтвердивший, что устройство не требует дополнительного охлаждения (максимальная температура элементов – 32 °C).

Оценена надежность устройства: среднее время безотказной работы составило 53324 часа, что соответствует высокому уровню надежности.

На основании разработанной технической документации был успешно изготовлен и протестирован рабочий прототип устройства. Монтажные работы выполнялись с применением современного паяльного оборудования, включая специализированную термовоздушную станцию для точной установки SMD-компонентов. Особое внимание уделялось соблюдению температурных режимов пайки, что позволило избежать повреждения чувствительных элементов схемы. После завершения монтажа печатной платы и проверки ее функциональности была выполнена финальная сборка устройства с тщательной установкой всех компонентов в корпус и надежным подключением интерфейсных разъемов.

Готовый прототип подвергся комплексным испытаниям, включавшим проверку системы питания, измерение рабочих характеристик и тестирование основных функций. Полученные результаты демонстрируют правильность принятых технических решений и высокое качество изготовления.

Заключение

Созданное аудиоустройство обеспечивает профессиональное качество оцифровки звукового сигнала с сохранением всех нюансов оригинального звучания. Основными достоинствами разработки стали: универсальный интерфейс USB Type-C для простого подключения, превосходные акустические характеристики и стабильность работы. Проведенные испытания доказали соответствие изделия актуальным стандартам качества, что позволяет рекомендовать его для использования как профессионалами, так и аудиоэнтузиастами.

Проделанная работа наглядно иллюстрирует эффективное сочетание фундаментальных исследований, точных инженерных расчетов и успешной технической реализации. Достигнутые результаты создают прочную основу для дальнейшего совершенствования устройства и его перевода в серийное производство. Особую ценность представляет подтвержденная на практике возможность получения студийного качества звука в компактном и удобном формате.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:
1. PCM2912A. Audio CODEC with USB Interface, Mono microphone input and stereo headphone output [Электронный ресурс]: Datasheet / Texas Instruments. – URL: https://www.ti.com/product/PCM2912A (дата обращения: 19.06.2025).
2. SSM2019BRNZ. Low Voltage Microphone Preamplifier [Электронный ресурс]: Datasheet / Analog Devices. - URL: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/SSM2019.pdf (дата обращения: 19.06.2025).
3. KOMPAS-3D: система трехмерного проектирования [Электронный ресурс] // АСКОН. – URL: https://kompas.ru/kompas-3d/about/ (дата обращения: 19.06.2025).

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR DIGITIZING AN AUDIO SIGNAL WITH A PRE-AMPLIFIER AND A USB TYPE-C INTERFACE BASED ON MODERN METHODS OF DIGITAL SIGNAL PROCESSING

Ivanov A.E., Teplyakov A.A.
Supervisor: Vinogradov V.Yu., Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper discusses the development of an audio signal digitization device with a preamplifier and a USB Type-C interface that provides high-quality sound recording and compatibility with modern devices. The purpose of the work is to create a reliable and convenient solution for professional and amateur audio recording. To achieve this, the following tasks were completed: analysis of microphone characteristics, selection of optimal components, development of design documentation in KOMPAS-3D, calculation of device parameters, as well as manufacturing and testing of a prototype. As a result, a working device with a low noise level and high signal conversion accuracy was developed, which was confirmed by tests. The results obtained can be used for further improvement and implementation of the device into production.

УДК 629.3:535.92:621.38

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ И МЕДНЫХ СЕТЕЙ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Кальметов Т.В.
Научный руководитель: Виноградов В.Ю., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе проведён сравнительный анализ волоконно-оптических и медных сетей в автомобильной электронике по критериям массы, скорости передачи данных и устойчивости к электромагнитным помехам. Показано, что оптоволокно превосходит медь по техническим характеристикам, однако уступает в надёжности, стоимости и простоте обслуживания. Сделан вывод о целесообразности гибридного применения обеих технологий в зависимости от требований к конкретной подсистеме.

Введение

Развитие современных транспортных средств сопровождается ростом количества электронных систем управления, безопасности, комфорта и мультимедиа. Это обусловливает повышенные требования к автомобильным информационным сетям, от которых требуется высокая пропускная способность, устойчивость к внешним воздействиям и минимальные габариты. До недавнего времени в автомобилестроении доминировали медные шины (CAN, LIN, FlexRay), однако с ростом объема передаваемых данных, особенно в системах автоматического управления и мультимедиа, начинают активно применяться волоконно-оптические технологии.

Цель настоящей работы — провести сравнительный анализ волоконно-оптических и медных сетей в контексте автомобильной электроники по следующим критериям: вес, скорость передачи данных, устойчивость к электромагнитным помехам.

История и эволюция сетевых технологий в автомобилестроении

На ранних этапах развития автомобильной электроники все электрические системы соединялись между собой с помощью аналоговой проводки, где для каждой функции (освещение, стеклоподъёмники, сигнализация и т.д.) использовались отдельные провода. С увеличением числа электронных устройств в 1980–1990-х годах такое решение стало неэффективным из-за избыточного количества жгутов, повышенной массы и сложности сборки.

Ответом на эти вызовы стало появление сетевых протоколов. Первыми были введены LIN (Local Interconnect Network) для недорогих периферийных функций и CAN (Controller Area Network), разработанный компанией Bosch в 1980-х годах. CAN быстро стал промышленным стандартом за счёт своей надёжности, низкой стоимости и устойчивости к электромагнитным помехам. Позднее, для синхронных и более скоростных задач, был разработан протокол FlexRay (до 10 Мбит/с), использующий временные слоты и избыточность для повышения надёжности.

С начала XXI века с ростом требований к мультимедиа, навигации, телематике и системам автономного вождения (ADAS), традиционные медные сети перестали справляться с объёмами данных. Это обусловило переход к высокоскоростным технологиям, включая Automotive Ethernet и оптоволоконные стандарты, такие как MOST (Media Oriented Systems Transport). Особенно активно оптоволоконные линии применяются в премиум-сегменте автомобилей и в системах передачи видеопотоков, где необходимы гигабитные скорости и нулевая чувствительность к помехам.

Таким образом, эволюция автомобильных сетей отражает постепенный переход от простых аналоговых решений к гибким, распределённым, высокоскоростным цифровым архитектурам, где традиционная медь постепенно уступает место оптоволокну в критически важных подсистемах.

Перспективы развития и гибридные архитектуры сетей

В условиях стремительного увеличения объёмов, передаваемых данных и ужесточения требований к электромагнитной совместимости, ведущие автопроизводители (включая BMW, Audi, Tesla, Mercedes-Benz) переходят к внедрению гибридных архитектур бортовых сетей. В таких системах волоконно-оптические линии используются в качестве высокоскоростных магистралей для передачи мультимедийного контента, видеопотоков с камер, навигационной информации и данных от систем ADAS. Одновременно с этим медные шины сохраняют своё значение в качестве недорогого и надёжного решения для низкоскоростных и управляющих контуров, таких как LIN и CAN.

Одним из перспективных направлений развития является применение Plastic Optical Fiber (POF) — пластикового оптоволокна, которое сочетает в себе высокую пропускную способность с повышенной гибкостью и ударопрочностью по сравнению с традиционным стеклянным волокном. POF демонстрирует устойчивость к вибрациям и механическим нагрузкам, что делает его особенно привлекательным для условий автомобильной эксплуатации.

Другим важным вектором является развитие протокола Automotive Ethernet, особенно его разновидностей с поддержкой временной синхронизации — Time-Sensitive Networking (TSN). Такие решения обеспечивают передачу как критически важных управляющих сообщений, так и массивных потоков данных по одному физическому каналу, что способствует унификации архитектуры и снижению сложности разводки жгутов.

Дополнительный интерес представляет использование беспроводных шин, в том числе на основе технологий Ultra-Wideband (UWB) и Wi-Fi 6, для соединения труднодоступных или подвижных узлов (например, рулевого колеса, дверей, сидений), однако на текущем этапе они ограничены узким спектром применения из-за требований по надёжности и безопасности.

Таким образом, будущее автомобильных сетей — за интеграцией различных технологий. Гибридные решения позволяют эффективно сочетать преимущества меди, оптики и беспроводной связи, формируя адаптивную, масштабируемую и устойчивую инфраструктуру для автомобилей следующего поколения.

Современные требования к бортовым сетям в контексте новых технологических трендов

Современные автомобили всё чаще становятся элементами сложной киберфизической системы, включающей в себя десятки камер, радаров, лидаров, ультразвуковых датчиков, модулей GPS, а также средств беспроводной связи (LTE/5G, Wi-Fi, Bluetooth). Эти устройства формируют гигабитные потоки данных, которые должны передаваться по бортовой сети с минимальными задержками и высокой надёжностью. Кроме того, системы активной безопасности и автономного управления (ADAS) требуют жёсткой временной синхронизации сигналов и резервирования на случай отказа компонентов.

Особую нагрузку на сеть создают мультимедийные комплексы, обеспечивающие высококачественное видео, аудио, подключение смартфонов и потоковые сервисы. Нарастающая интеграция таких функций приводит к перегрузке традиционных шин, таких как CAN или LIN, чья пропускная способность ограничена и уже не соответствует современным требованиям.

Дополнительно, в контексте концепций «умного» автомобиля, Интернета вещей (IoT) и V2X-коммуникаций (Vehicle-to-Everything), транспортное средство становится неотъемлемой частью глобальной цифровой инфраструктуры. Оно должно уметь обмениваться информацией не только с другими автомобилями (V2V), но и с инфраструктурой (V2I), пешеходами (V2P) и облачными платформами (V2C). Все эти взаимодействия требуют высокоскоростных, отказоустойчивых и масштабируемых сетей передачи данных.

В результате, всё больше автопроизводителей переходит к использованию волоконно-оптических и Ethernet-решений, обеспечивающих достаточную полосу пропускания, низкую задержку и высокий уровень надёжности для удовлетворения требований транспорта нового поколения.

Массо-габаритные характеристики

Масса автомобильной проводки играет важную роль в расчётах топливной или энергетической эффективности автомобиля. Чем меньше масса транспортного средства, тем выше его экономичность и ниже уровень выбросов. Согласно [1], в среднем на проводку и разъемы приходится от 50 до 80 кг массы автомобиля среднего класса, и эта цифра продолжает расти.

Медные кабели, несмотря на свою прочность и устойчивость к изгибам, обладают значительной плотностью (≈8,96 г/см³). Применение толстых многожильных жгутов, необходимых для обеспечения стабильной передачи сигналов и питания, увеличивает общий вес сети.

Оптоволоконные кабели, в свою очередь, изготавливаются из стекла или полимеров, имеющих плотность в 5–10 раз ниже. По данным [2], применение оптоволоконных жгутов позволяет снизить массу информационной сети в среднем на 30–60%, особенно в системах, ориентированных на передачу данных, а не энергии.

Кроме того, оптоволоконные кабели имеют меньший диаметр, что облегчает укладку в узких пространствах и способствует улучшению эргономики конструкции жгутов в салоне и моторном отсеке.

Скорость и объём передаваемой информации

Современные электронные системы требуют высокоскоростной передачи данных. Например, камеры кругового обзора, лидары и радары в системах ADAS генерируют потоки данных в гигабитном диапазоне. Медные шины, такие как CAN (Controller Area Network), имеют ограничение по скорости до 1 Мбит/с, а CAN FD — до 8 Мбит/с. FlexRay повышает

этот показатель до 10 Мбит/с, однако уже не соответствует требованиям систем автономного вождения.

Сравнительно оптоволоконные технологии обеспечивают намного более высокую пропускную способность. Стандарт MOST (Media Oriented Systems Transport), реализованный на базе оптоволокна, поддерживает до 150 Мбит/с (MOST150), чего достаточно для передачи мультимедиа, навигации и телеметрии в режиме реального времени. Актуальные разработки предполагают переход к скорости выше 1 Гбит/с, что делает оптоволокно перспективной платформой для реализации концепции автомобильных «сетей будущего» (AVN – Automotive Vehicle Networks).

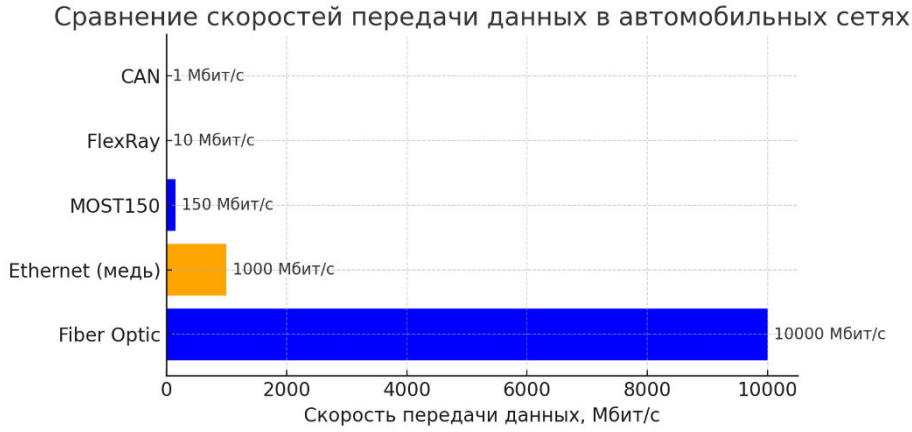


Рисунок 1 – Сравнение скорости передачи данных в автомобильной электронике

Согласно [2], переход на оптоволоконные интерфейсы является необходимым условием для построения интегрированных архитектур с централизованной обработкой данных в транспортных средствах.

Экологические аспекты применения кабельных сетей

В условиях ужесточающихся экологических стандартов и стремления к снижению углеродного следа автопроизводители уделяют особое внимание массо-габаритной оптимизации транспортных средств. Переход от традиционных медных кабелей к волоконно-оптическим линиям связи позволяет существенно снизить массу бортовой сети: по данным [Алексеев Н.А., 2020], экономия может достигать до 40–50% от массы жгута, что напрямую влияет на уменьшение расхода топлива и, как следствие, снижение выбросов CO_2.

Особенно актуально это для электромобилей, где каждый килограмм влияет на запас хода и эффективность тяговой батареи. Таким образом, внедрение оптоволоконных решений может рассматриваться не только как технологический, но и как экологически значимый шаг.

Однако существует и обратная сторона: сложность утилизации и переработки оптоволоконных компонентов. В отличие от меди, которая легко отделяется и повторно используется, оптические волокна (особенно стеклянные) требуют специальных условий утилизации и не всегда подлежат повторному применению. Кроме того, многие компоненты содержат полимерные оболочки, эпоксидные смолы и композитные материалы, создающие дополнительную нагрузку на экологическую инфраструктуру.

Таким образом, при всех преимуществах волоконно-оптических сетей с точки зрения энергоэффективности, экологическая целесообразность их массового применения должна оцениваться комплексно, с учётом как сокращения эксплуатационных выбросов, так и особенностей утилизации на завершающем этапе жизненного цикла автомобиля.

Устойчивость к электромагнитным помехам

Электромагнитная совместимость (ЭМС) является критически важным аспектом при проектировании бортовых систем автомобиля, особенно в условиях высокой плотности электрооборудования и применения мощных импульсных источников (инверторы, ЭДС торможения, зарядные устройства).

Медные линии передачи подвержены наводкам и искажению сигнала, особенно при значительной длине кабеля или параллельной прокладке с силовыми жгутами. Для обеспечения ЭМС требуется экранирование, увеличение сечений, применение фильтров — всё это повышает вес и стоимость системы.

Оптоволоконные кабели, благодаря своей физической природе, полностью инертны к электромагнитным полям. Это обеспечивает:

стабильность сигнала;

защиту от перекрестных наводок;

снижение помех вблизи импульсных источников.

Согласно исследованию [3], использование оптоволоконных сетей в электромобилях позволяет снизить уровень электромагнитных помех более чем на 70% по сравнению с аналогичными медными линиями.

Технологические особенности и ограничения

Несмотря на выраженные технические преимущества, волоконно-оптические сети пока не получили массового распространения в автомобильной промышленности среднего и бюджетного сегмента. Это обусловлено рядом объективных ограничений. Во-первых, высокая стоимость компонентов остаётся серьёзным экономическим барьером. Оптические приёмники, передатчики, а также специализированные разъёмы значительно дороже традиционных медных решений, особенно при малых объёмах производства.

Во-вторых, механическая хрупкость волокна (особенно стеклянного) требует строгого соблюдения радиусов изгиба и надёжной защиты от вибраций и ударов, что усложняет монтаж в условиях ограниченного пространства автомобильного кузова.

В-третьих, обслуживание и диагностика оптоволоконных сетей требует использования специализированного оборудования, такого как оптические рефлектометры, микроскопы и лазерные источники, что отсутствует на большинстве стандартных станций технического обслуживания (СТО).

Тем не менее, с учётом растущих требований к пропускной способности, устойчивости к электромагнитным помехам и надёжности передачи данных в условиях внедрения систем автопилотирования, ожидается постепенное расширение сферы применения волоконно-оптических решений, прежде всего в виде гибридных сетей. Такие архитектуры предполагают использование оптики в качестве высокоскоростных магистралей, дополняемых медными шинами для низкоскоростных и управляющих цепей — особенно актуально это для электромобилей и автомобилей премиум-класса.

Заключение

Проведённый анализ позволяет сделать вывод, что волоконно-оптические сети обладают как преимуществами, так и недостатками по сравнению с медными.

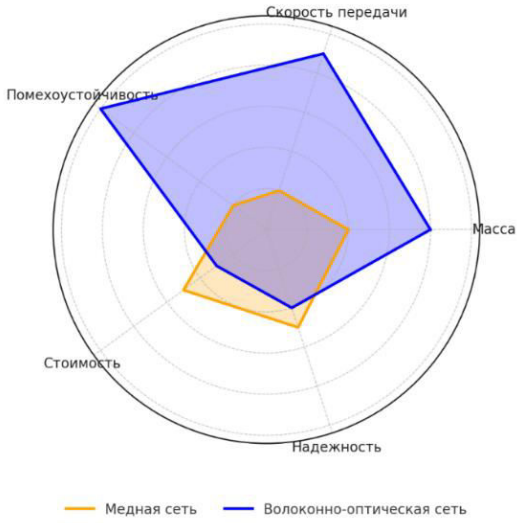


Рисунок 2 – Сравнение сетей в автомобильной электронике

Однако распространение оптоволокна в автомобильной электронике ограничено рядом технологических и экономических факторов. В краткосрочной перспективе вероятна реализация гибридных сетей, сочетающих преимущества обеих технологий, с дальнейшим переходом к полному использованию оптоволоконных решений в автономных и электрических транспортных средствах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Киселёв С.Ю.* Оптические линии в автомобильных информационных системах // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – №4. – С. 16–21.

2. *Савченко А.В.* Электромагнитная совместимость в электромобилях // Известия вузов. Электроника. – 2021. – №6. – С. 55–60.

3. *Гусев В.В.* Проблемы проектирования информационных сетей в транспорте // Наука и техника транспорта. – 2018. – №1. – С. 11–15.

COMPARATIVE ANALYSIS OF FIBER-OPTIC AND COPPER NETWORKS IN AUTOMOTIVE ELECTRONICS

Kalmetov T.V.

Supervisor: Vinogradov V.Yu., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan*)

Abstract. The paper provides a comparative analysis of fiber-optic and copper networks in automotive electronics according to the criteria of mass, data transmission rate and resistance to electromagnetic interference. It is shown that optical fiber is superior to copper in technical characteristics, but inferior in reliability, cost, and ease of maintenance. The conclusion is made about the expediency of hybrid application of both technologies depending on the requirements for a specific subsystem.

УДК 621.79

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТА КРЕМНИЙ-АЛЮМИНИЙ (ТОЧЕЧНАЯ «СВАРКА»)

Камолов А.А.

Научный руководитель: Михеев И.Д., доцент, к.ф.-м.н.,

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе рассматривается разработка метода точечной термокомпрессионной сварки кремния и алюминия. Основная цель заключается в создании прочного и электропроводного соединения между кремниевой подложкой и алюминиевой гранулой. Были изучены физико-химические свойства материалов, проанализированы существующие методы формирования контактов, проведены экспериментальные исследования по определению оптимальных параметров сварки: температура, время выдержки. Также исследованы механические и электрические характеристики полученных соединений. В результате установлено, что при температуре 600°C и времени выдержки 1 час 10 минут достигается прочное и равномерное соединение без повреждения кремниевой подложки. Измерения переходного сопротивления показали снижение значения с 33,3 кОм до 20,9 кОм для образца с диффузионным контактом, что подтверждает эффективность предложенной технологии.

Современные технологии микроэлектроники, солнечной энергетики и микросистемной техники требуют разработки новых методов формирования надёжных соединений между различными материалами. Одним из перспективных направлений является создание

контактов между кремнием и алюминием, которые широко используются в производстве полупроводниковых устройств, датчиков и элементов гибкой электроники. Однако физико-химические свойства этих материалов делают задачу создания качественного контактного соединения сложной и актуальной [1].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки эффективного и воспроизводимого метода получения прочного и электрически проводящего соединения между кремниевой подложкой и алюминиевой гранулой. Такие соединения могут применяться в MEMS-устройствах, где требуется надёжная механическая и электрическая связь между подвижными кремниевыми структурами и металлическими выводами, а также в солнечных батареях для повышения их эффективности [2].

Объектом исследования выступает процесс формирования контактного соединения между кремниевой подложкой и алюминиевой гранулой посредством точечной термокомпрессионной сварки. Предметом исследования являются параметры сварочного процесса, влияющие на качество и электрические характеристики полученного соединения.

Методология и оборудование. Для достижения цели были использованы следующие методы исследования: анализ научно-технической и патентной литературы; экспериментальное исследование процесса термокомпрессионной сварки; измерение переходного сопротивления между кремнием и алюминием до и после сварки; визуальный осмотр образцов и оценка качества соединения; расчёт параметров диффузии и моделирование процесса [3].

Экспериментальная установка состояла из нихромовой проволоки, обернутой вокруг кварцевой трубки, которая располагалась внутри металлического цилиндрического корпуса. Графитовая опорная конструкция находилась внутри трубки (рисунок 1). Для контроля температуры использовалась термопара, подключённая к мультиметру в режиме милливольт. Лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) обеспечивал регулировку напряжения и, соответственно, температуры нагрева [4].

Рисунок 1 – Экспериментальная установка

Экспериментальная часть работы была направлена на разработку метода получения прочного и электропроводного контакта между кремниевой подложкой и алюминиевой гранулой с использованием точечной термокомпрессионной сварки. Для этого проводилась подготовка материалов, включающая очистку поверхностей от загрязнений и оксидных слоёв, а также сборка экспериментальной установки [5].

В качестве исходных материалов использовались кремниевые пластины марки 1А2КДБ10 размером 30×10×0,38 мм и алюминиевые гранулы высотой от 3 до 8 мм и диаметром от 2 до 5 мм. Перед началом сварочных работ поверхности материалов требовали тщательной очистки, так как наличие оксидных плёнок и загрязнений могло препятствовать образованию качественного контактного соединения.

Очистка поверхностей проводилась в несколько этапов. Сначала кремниевые пластины и алюминиевые гранулы погружались в диметилформамид (ДМФА) на 5 минут для удаления органических загрязнений. После промывания водой образцы обрабатывались плавиковой кислотой в течение 10 минут для удаления оксидных слоёв. Завершающим этапом была финальная промывка дистиллированной водой и обработка изопропанолом для обеспечения сухости поверхности.

Экспериментальная установка состояла из нихромовой нагревательной проволоки, намотанной вокруг кварцевой трубки, внутри которой находилась графитовая опорная конструкция. Температура контролировалась с помощью термопары, подключённой к мультиметру в режиме милливольтметра. Регулировка температуры осуществлялась через лабораторный автотрансформатор (ЛАТР), что позволяло точно управлять нагревом и обеспечивать локальный тепловой режим в рабочей зоне.

Эксперимент был проведён в несколько этапов: исследование процесса диффузии кремния и алюминия, полировка алюминиевых гранул, создание сварного соединения и последующий анализ его механических и электрических характеристик.

На первом этапе проводилось исследование взаимодействия материалов при высоких температурах и выявлении возможности образования диффузионного слоя без внешнего давления. Образцы помещались в печь при температуре около 350°C на 25 минут. После обработки на кремниевой пластине наблюдалось появление небольших отверстий, соответствующих форме алюминиевой гранулы. Алюминиевая гранула не сильно изменялась внешне, но на её поверхности появились пятна, указывающие на возможную реакцию с кремнием. Полученные результаты показали, что диффузия между материалами происходит, но недостаточно интенсивно для формирования прочного соединения.

Для усиления эффекта диффузии и улучшения качества контакта была проведена полировка алюминиевых гранул с использованием алюминиевой пудры в качестве абразива. Гранулы обрабатывались вручную до достижения гладкой поверхности. После полировки шероховатость поверхности значительно снизилась, что позволило добиться более плотного контакта между материалами и улучшить условия для формирования прочного соединения.

На следующем этапе проводились попытки создания прочного контактного соединения между кремниевой подложкой и алюминиевой гранулой с использованием термокомпрессионной сварки. Было выполнено несколько экспериментов с различными параметрами нагрева и времени выдержки.

Первая попытка проводилась при температуре около 550°C и времени выдержки 60 минут с использованием алюминиевой пудры на кремниевой подложке. Часть пудры осыпалась, однако нижний слой остался на подложке, что указывает на начало формирования связи [6].

Во второй попытке температура была повышена до ~650°C, время выдержки составило 1 час 30 минут, использовалась алюминиевая гранула на кремниевой подложке. Алюминиевая гранула частично расплавилась и частично впиталась в кремниевую подложку, однако прочного соединения не образовалось — при легком прикосновении гранула отделялась.

В третьей попытке были установлены параметры: температура ~600°C, время выдержки 1 час 10 минут, использовалась алюминиевая гранула на кремниевой подложке. В результате получено прочное и равномерное соединение без повреждения кремниевой подложки. При тестировании образца на прочность при подъёме за гранулу кремниевая подложка оставалась на месте, что свидетельствует о надёжном формировании контактного соединения.

Для анализа качества полученного соединения проводились измерения переходного сопротивления с использованием моста постоянного тока МО-62. Сопротивление чистой кремниевой пластины составило 33,3 кОм, тогда как для образца с диффузионным контактом значение снизилось до 20,9 кОм. Это подтверждает эффективность созданного соединения и его хорошую электропроводность.

Микроструктурные исследования показали наличие взаимной диффузии алюминия в кремний и кремния в алюминий, а также образование интерметаллидов типа Al_4Si. Эти данные легли в основу теоретического анализа процесса формирования контакта и расчёта коэффициентов диффузии.

Для анализа процесса диффузии между кремнием и алюминием использовались данные о температуре, времени выдержки и изменениях на границе контакта между материалами. В ходе эксперимента было установлено, что при нагревании материалов происходит их взаимное проникновение — алюминий частично проникает в кремний, и наоборот, кремний начинает распространяться в алюминиевой грануле. Это явление называется взаимной диффузией.

Для расчёта глубины диффузии использовалась информация о том, как сильно материалы смешиваются друг с другом при определённой температуре и за определённое время. Было известно, что чем выше температура и чем дольше длится нагревание, тем глубже происходит проникновение одного материала в другой.

Сначала были найдены значения, характеризующие скорость диффузии при разных температурах. Эти значения были взяты из справочных данных и научных исследований, где уже изучали подобные процессы. Сравнивая поведение материалов при разных температурах, можно было понять, как быстро происходит диффузия в конкретном случае.

Затем, зная продолжительность нагревания и температуру, при которой проводился эксперимент, рассчитывали, насколько глубоко алюминий проник в кремний и наоборот. Для этого использовали усреднённые зависимости, полученные ранее в других исследованиях.

В результате был сделан вывод, что при температуре около 600 градусов Цельсия и времени выдержки около одного часа алюминий успевает проникнуть в кремний на несколько микрометров. При этом кремний также диффундирует в алюминий, хотя и в меньшей степени. Это позволило предположить, что между ними образуется прочное соединение, в котором материалы частично перемешаны [7].

Также были проведены наблюдения под микроскопом, которые показали, что на границе раздела между кремнием и алюминием действительно появляется переходная область, где структура материалов становится неоднородной. Это дополнительно подтверждает факт диффузии.

Таким образом, расчёты и визуальные наблюдения позволили оценить, насколько глубоко происходит взаимное проникновение материалов, и подтвердили, что выбранные параметры сварки обеспечивают достаточную степень взаимодействия между кремнием и алюминием для формирования прочного и электропроводного соединения.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была разработана и исследована технология формирования контактного соединения между кремниевой подложкой и алюминиевой гранулой с использованием точечной термокомпрессионной сварки. Цель исследования заключалась в создании прочного, электрически проводящего и устойчивого к внешним воздействиям соединения, пригодного для применения в микроэлектронике, MEMS-устройствах и других высокотехнологичных областях.

На основе проведённого литературного обзора были выявлены ключевые проблемы формирования контакта между кремнием и алюминием: высокая температура плавления кремния, образование оксидных плёнок, различие коэффициентов теплового расширения материалов и возможность взаимной диффузии. Сравнительный анализ существующих методов позволил выбрать термокомпрессионную сварку как наиболее подходящую технологию, сочетающую эффективность, воспроизводимость и экономические преимущества.

Экспериментальная часть включала подготовку кремниевых пластин и алюминиевых гранул, выбор оптимальных параметров сварочного процесса — температуры и времени выдержки, контроль температурно-силовых режимов, а также оценку качества полученных соединений. В результате было установлено, что при температуре 600°C и времени выдержки 1 час 10 минут достигается прочное и равномерное соединение без повреждения кремниевой подложки.

Измерения переходного сопротивления показали значительное снижение его значения с 33,3 кОм (для чистой кремниевой пластины) до 20,9 кОм для образца с диффузионным контактом. Это подтверждает эффективность созданного соединения и его хорошую электропроводность. Микроструктурные исследования показали наличие взаимной диффузии алюминия в кремний и кремния в алюминий, а также образование интерметаллидов типа Al_4Si. Эти данные легли в основу теоретического анализа процесса формирования контакта и расчёта коэффициентов диффузии.

Таким образом, в рамках данной работы были достигнуты следующие результаты: разработан метод точечной термокомпрессионной сварки кремния и алюминия; определены оптимальные параметры процесса: температура 600°C, время выдержки 1 час 10 минут; подтверждено снижение переходного сопротивления и увеличение механической прочности соединения; проведены измерения и расчёты диффузионных характеристик; представлены рекомендации по практическому применению технологии в микроэлектронике и энергетике.

Полученные результаты могут быть использованы в промышленности для создания надёжных и долговечных соединений в устройствах с ограниченным пространством и переменными нагрузками, таких как MEMS-датчики, солнечные батареи и элементы гибкой электроники. Дальнейшие исследования могут быть направлены на автоматизацию процесса, использование новых материалов и моделирование поведения соединений под действием внешних факторов, таких как вибрации, температурные перепады и высокие токовые нагрузки.

Данная работа вносит вклад в развитие технологий микроэлектроники и демонстрирует возможность создания компактных и эффективных соединений между полупроводниками и металлами, что имеет важное значение для современной электронной промышленности.

Полученные результаты могут быть внедрены в производство MEMS-устройств, солнечных батарей и других изделий микроэлектроники, где требуется миниатюризация, надёжность и стабильность контактов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на автоматизацию процесса, использование новых материалов и моделирование поведения соединений под действием внешних факторов, таких как переменные температурные нагрузки, вибрации и высокие токовые режимы.

Работа демонстрирует важность и перспективность разработки новых методов формирования контактов между полупроводниками и металлами, что имеет значение для развития современных электронных и энергетических технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кремний — Википедия [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия. – URL:https://ru.wikipedia.org/wiki/Кремний (дата обращения: 26.04.2025).

2. Алюминий — Википедия [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Алюминий (дата обращения: 26.04.2025).

3. *Анна Бабунова* [Электронный ресурс] // История алюминия: сайт. – URL: https://ecookna.university/knowledges/materials/alyuminiy/istoriya-alyuminiya-v-proizvodstve-svetopropuskaemykh-konstruktsiy/ (дата обращения: 26.04.2025).

4. Микроэлектромеханические системы — Википедия [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия. – URL:https://ru.wikipedia.org/wiki/ Микроэлектромеханические_системы (дата обращения: 26.04.2025).

5. Finite element method [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия. – URL:https://en.wikipedia.org/wiki/Finite_element_method (дата обращения: 29.04.2025).

6. FEM [Электронный ресурс] // FreeCAD. – URL: https://wiki.freecad.org/File: FEM_example01_pic12.png (дата обращения: 29.04.2025).
7. Углеродные нанотрубки [Электронный ресурс] // Академик. – URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/nanotechnology/231/углеродные (дата обращения: 29.04.2025).

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR OBTAINING AND INVESTIGATING SILICON-ALUMINUM CONTACT (SPOT WELDING)

Kamolov A.A.
Supervisor: Mikheev I.D., Associate Professor, Candidate of Physico-Mathematical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper considers the development of a method for spot thermocompression welding of silicon and aluminum. The main goal is to create a strong and electrically conductive connection between the silicon substrate and the aluminum pellet. The physicochemical properties of the materials were studied, the existing methods of forming contacts were analyzed, experimental studies were conducted to determine the optimal welding parameters: temperature, holding time. The mechanical and electrical characteristics of the obtained compounds are also investigated. As a result, it was found that at a temperature of 600 °C and a holding time of 1 hour and 10 minutes, a strong and uniform connection is achieved without damaging the silicon substrate. Measurements of the transient resistance showed a decrease in the value from 33.3 kOhm to 20.9 kOhm for a sample with a diffusion contact, which confirms the effectiveness of the proposed technology.

УДК 681.5.08

УСТРОЙСТВО ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАТОПЛЕНИЯ ДЛЯ БЫТОВОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ НА БАЗЕ MIK32 АМУР

Ковалев В.К., Загидуллин Р.М.
Научный руководитель: Насыбуллин А.Р., доцент, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Научная статья посвящена проектированию и разработке устройства обнаружения затопления на основе микроконтроллера MIK32, предназначенного для оперативного выявления протечек воды в жилых, коммерческих и промышленных помещениях. Целью работы является создание компактного, надежного и энергоэффективного устройства, способного интегрироваться в современные системы умного дома.

Современные системы мониторинга и предотвращения аварийных ситуаций, связанных с протечками воды, играют ключевую роль в обеспечении безопасности жилых, коммерческих и промышленных помещений. В данной работе рассматривается проектирование и реализация устройства обнаружения протечек на основе микроконтроллера MIK32, сочетающего в себе высокую точность измерений, энергоэффективность и возможность интеграции в современные системы умного дома.

Датчик затопления представляет собой электронное устройство, предназначенное для обнаружения утечек жидкостей путем регистрации изменений электрической проводимости между контактными элементами. Принцип действия основан на том, что вода, обладая определенной электропроводностью, замыкает электрическую цепь между электродами датчика при попадании на его поверхность, что вызывает срабатывание сигнального механизма [1].

Надежным способом детектирования воды является емкостной. Он сочетает в себе классический способ замыкания, только данные дорожки не взаимодействуют с ними напрямую. Электроды изолируются и благодаря этому становятся неким конденсатором. При

попадании воды на площадку, частота сигнала, проходящего через этот конденсатор, изменяется и благодаря этому изменению можно считывать, как нахождение воды, так и ее количество. Пример реализации такого устройства приведен на рисунке 1.

Рисунок 1. Пример реализации устройства с применением емкостного способа детектирования воды [2]

Полностью отечественный, от изготовления кристаллов до выпуска отладочных плат, микроконтроллер «К1948ВК018 МІК32 Amur», создан на базе свободной архитектуры RISC-V. Архитектура RISC-V имеет в своем составе ядро SCR1, в котором используется открытый исходный код от российской компании Syntacore, с набором команд RV32IMC, обеспечивающий высокую скорость обработки данных и эффективность работы устройств, позволяя использовать «К1948ВК018 МІК32 Amur» в приложениях, требующих высокой производительности, а также исключить влияние иностранных компаний и санкций с их стороны. Конкретные характеристики микроконтроллера будут описаны в дальнейшем, ведь именно этот микроконтроллер станет основой в моем устройтсве. Внешний вид отладочной платы микроконтроллера представлен на рисунке 2.

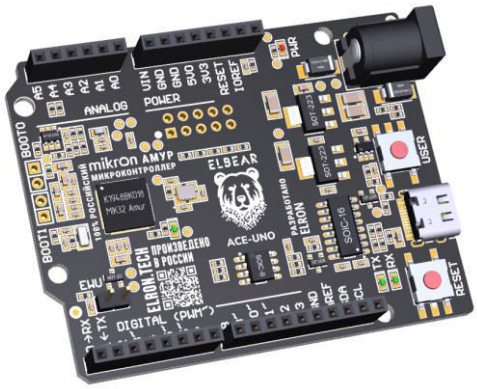


Рисунок 2. Плата разработки ELBEAR ACE-UNO AC VER Flash 32 Мб [3]

Микроконтроллер предназначен для использования в устройствах промышленной автоматизации и интернета вещей, беспроводной периферии, интеллектуальных сетей, охранных систем, сигнализации, телеметрии, мониторинга, умного дома и управления климатом, освещением и других инфраструктурных систем [4].

Для беспроводной передачи информации микроконтроллеру нужен либо встроенный высокочастотный преобразователь как у некоторых приведенных примеров ранее, либо радиомодуль.

Модуль HC-12 представляет собой беспроводной трансивер для передачи цифровых сигналов на расстояние без их преобразования. Устройство обеспечивает дуплексную передачу данных между несколькими узлами сети, сохраняя исходную форму сигнала.

Функциональность модуля реализована через два сигнальных вывода: RX (прием) и TX (передача), что делает его совместимым с интерфейсом UART. При подаче логической единицы на входной контакт одного модуля, соответствующий сигнал появляется на выходных контактах всех совмещенных устройств в зоне покрытия [5].

Рабочие характеристики HC-12 обеспечивают надежную передачу данных в пределах установленного радиуса действия. Особенностью модуля является возможность одновременного подключения нескольких приемных устройств к одному передатчику, что расширяет сферу его практического применения. Внешний вид платы радиомодуля представлен на рисунке 3.

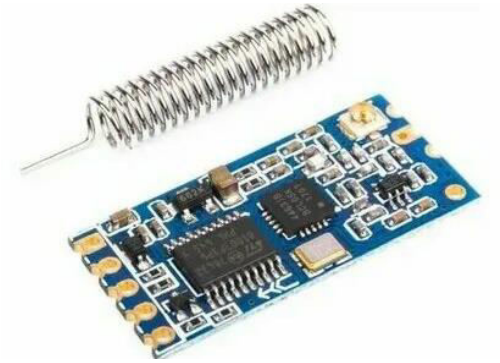


Рисунок 3. Приемопередатчик HC-12 [6]

Для нашего микроконтроллера требуется стандартная обвязка с питанием. Питание во всей цепи будет составлять 3,3 В, это напряжение, которое требуется для питания всех компонентов цепи. При выборе способа питания был выбран литиевый аккумулятор с выходным напряжением 3,7 В.

Данный аккумулятор не подходит для питания нашей схемы напрямую, поэтому мы будем использовать понижающий чип для стабилизирования напряжения на выходе 3,3 В. Изучая различные варианты реализации в интернете и некоторых источниках литературы, мной была выбрана микросхема TX4310B.

Для работы микроконтроллера и хранения кода, ему нужна ячейка памяти, мной была выбрана ячейка памяти на 32 Мбита которой будет достаточно для обработки всей информации в нашем устройстве.

Для повышения точности измерений параметров микроклимата в схему устройства интегрирован специализированный датчик BME280, обеспечивающий одновременный контроль температуры и влажности. Внешний вид датчика показан на рисунке 4.

Рисунок 4. Внешний вид датчика температуры и влажности BME280 [7]

С учетом всего вышеперечисленного мы можем разработать и представить в виде блок-схемы на рисунке 5.

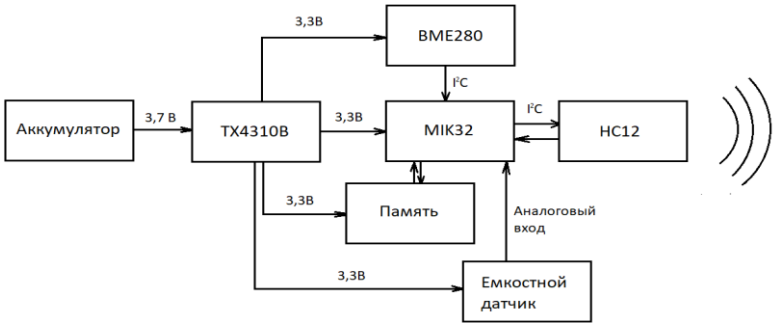


Рисунок 5. Блок-схема устройства датчика затопления

Для корректной работы схемы необходимо учитывать:

1. ля минимизации помех и повышения эффективности в цепи преобразователя важно использовать керамические конденсаторы с низким ESR и размещать их как можно ближе к выводам микросхемы.

2. Разводка печатной платы должна обеспечивать короткие и широкие дорожки, особенно для цепей земли и питания, чтобы снизить паразитные индуктивности и сопротивления.

3. Для схемы питания необходимо разместить конденсаторы как можно ближе к выводам питания микроконтроллера (VCC и GND), чтобы минимизировать паразитную индуктивность проводников и повысить эффективность фильтрации.

4. Для схемы подключения кварцевых резонаторов важно соблюдать топологию подключения: резонаторы размещаются максимально близко к соответствующим выводам микроконтроллера (OSC32M_0/1 и OSC32k_0/1), а конденсаторы — как можно ближе к выводам резонаторов, с минимальной длиной дорожек.

5. Для цепи сброса кнопка SW2 подключается между выводом RST микроконтроллера и землёй, а резистор и конденсатор размещаются как можно ближе к выводу RST, чтобы минимизировать паразитные наводки. Напряжение VDD_BU обеспечивает питание цепи сброса даже при отключении основного питания.

6. Для аналоговых цепей важно обеспечить минимальную длину проводников между дросселем, конденсатором и выводами AVCC/AVSS микроконтроллера. Аналоговая земля AVSS должна быть соединена с общей землёй только в одной точке

Учитывая все требования к подключению и составления схемы по datasheet устройств была разработана электрическая схема, представленная на рисунке 6, и топология платы, представленная на рисунке 7.

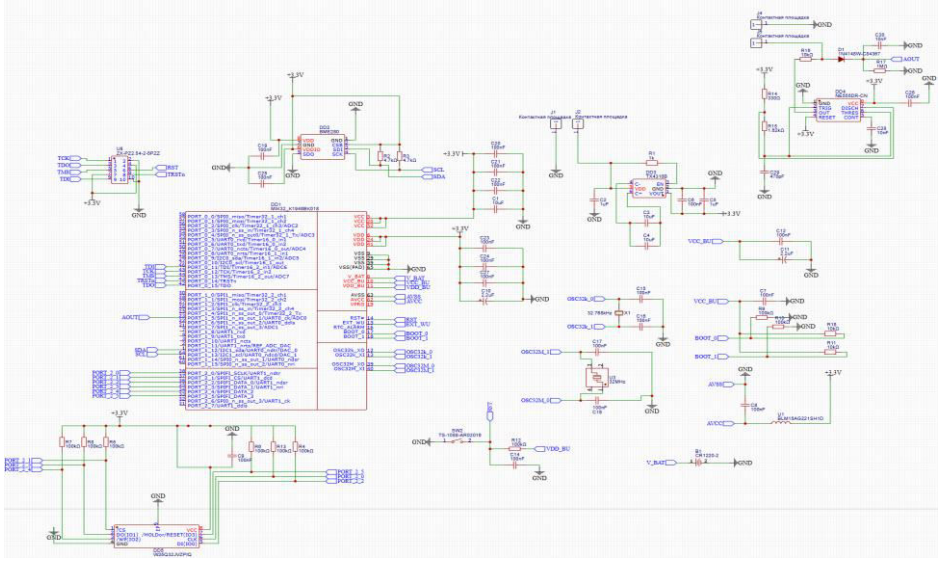


Рисунок 6 – Электрическая схема датчика затопления

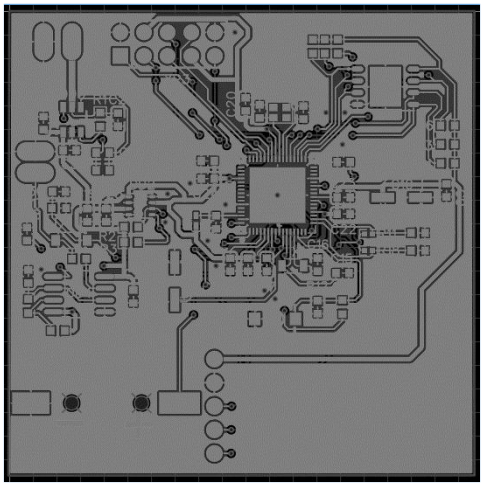


Рисунок 7 – Топология печатной платы с лицевой стороны

Программа устройства начинается с инициализации системы, которая включает настройку тактирования микроконтроллера MIK32. Активируются кварцевые резонаторы на 32 МГц для основного тактирования и 32.768 кГц для RTC. Далее инициализируются периферийные модули: GPIO для датчика затопления, кнопки сброса и светодиодных индикаторов, UART для связи с радиомодулем HC-12; I2C для подключения датчика BME280, АЦП для обработки аналоговых сигналов, таймеры для периодического опроса датчиков и управления режимами энергосбережения.

После инициализации выполняется калибровка и проверка датчиков. Основной цикл работы строится вокруг режима пониженного энергопотребления. Микроконтроллер переходит в режим сна (sleep/deep sleep) между измерениями, пробуждаясь по таймеру или внешнему прерыванию.

При обнаружении затопления формируется и отправляется пакет тревоги через радиомодуль HC-12. Пакет включает ID устройства, тип события и показания датчиков, отправляется с проверкой доставки. Событие записывается в энергонезависимую память W25Q32JVZPIQ для последующего анализа.

Работа с радиомодулем HC-12 начинается с его инициализации: переход в режим конфигурации (SET = LOW), отправка AT-команд для установки рабочей частоты, мощности передатчика и скорости передачи данных, после чего модуль возвращается в рабочий режим (SET = HIGH).

Для энергосбережения неиспользуемые периферийные модули отключаются между измерениями, время активного режима минимизируется, а для длительной автономной работы применяются режимы deep sleep с пробуждением по RTC.

В аварийных сценариях программа реагирует соответствующим образом: при потере связи с HC-12 предпринимается попытка переинициализации модуля; при низком заряде аккумулятора отправляется предупреждение, и устройство переходит в режим минимального энергопотребления; сброс по watchdog таймеру обеспечивает восстановление работоспособности после критических ошибок.

Получившийся алгоритм работы показан упрощенно на блок схеме на рисунке 8.

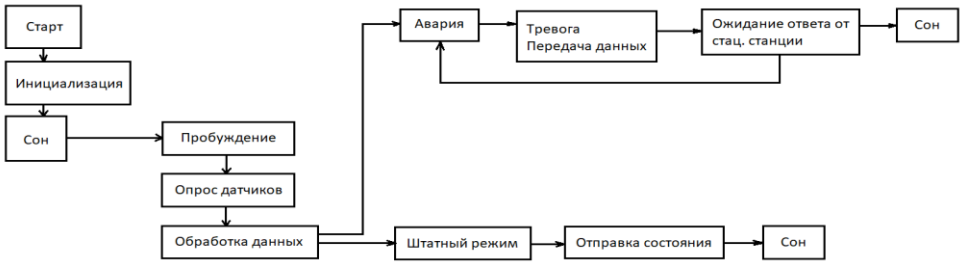


Рисунок 8 – Блок схема алгоритма работы датчика

Практическая часть работы продемонстрировала эффективность разработанного устройства, сочетающего высокую точность измерений с использованием датчика BME280, надежную беспроводную передачу данных через модуль HC-12 и энергоэффективную работу на базе микроконтроллера MIK32.

Особое значение имеет реализация алгоритмов низкого энергопотребления, обеспечивающих длительную автономную работу устройства.

Важным результатом стало создание полностью функционального прототипа. Полученные в ходе исследования данные позволяют рекомендовать разработанное решение для внедрения в жилых и коммерческих помещениях с целью предотвращения ущерба от аварийных протечек воды.

Исследования проведены в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Датчик протечки // Википедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Датчик_протечки. – Текст: электронный.
2. Обзор датчиков протечки // ВКонтакте. – URL: https://vk.com/wall-195980187_22646. – Текст: электронный.
3. Обзор микроконтроллеров // Дзен. – URL: https://dzen.ru/a/ZjkIj9kco3vO1BW1. – Текст: электронный.
4. Первый российский RISC-V микроконтроллер MIK32 Amur // Tellur-EL. – URL: https://tellur-el.ru/company/news/pervyy_rossiyskiy_risc_v_mikrokontroller_mik32_amur/?ysclid=ma2ooaq9l3420427885. – Текст: электронный.
5. Радиомодуль HC-12 // 3D-DIY. – URL: https://3d-diy.ru/blog/radiomodul-hc-12/?ysclid=ma2q2yr0se655376096. – Текст: электронный.
6. Беспроводной радиопередатчик HC-12 // CompactTool. – URL: https://compacttool.ru/besprovodnoj-radioperedatchik-hc-12. – Текст: электронный.
7. Микросхемы стабилизаторы напряжения и тока // Promelec. – URL: https://www.promelec.ru/product/395876/?term=Екатеринбург. – Текст: электронный.

FLOOD DETECTION DEVICE FOR HOUSEHOLD AND INDUSTRIAL USE BASED ON MIK32 AMUR

Kovalev V.K., Zagidullin R.M.
Supervisor: Nasybullin A.R., Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The scientific article is devoted to the design and development of a flood detection device based on the MIK32 microcontroller, designed for the rapid detection of water leaks in residential, commercial and industrial premises. The aim of the work is to create a compact, reliable and energy-efficient device capable of integrating into modern smart home systems.

УДК 535.417.2

СРАВНЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВОЗБУЖДАЮЩЕЙ ЛИНИИ ОТНОСИТЕЛЬНО SRR РЕЗОНАТОРА В МИКРОПОЛОСКОВОМ ДАТЧИКЕ

Куданкин Е.М.
Научный руководитель: Фахрутдинов Р.В, доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

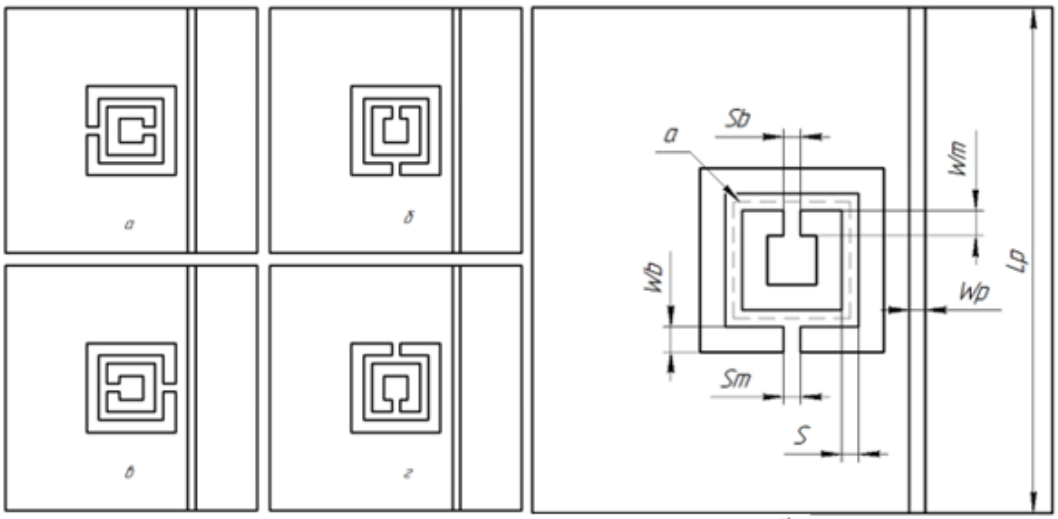
Аннотация. В докладе рассматриваются микрополосковые датчики на основе круглых и квадратных разрезных кольцевых (SRR) резонаторов, проводится их моделирование,

исследуются зависимости характеристик датчиков от геометрических размеров и взаимного расположения зазора в большом кольце резонатора и питающей микрополосковой линией. А также производится оптимизация датчика на основе анализа зависимостей и оценка чувствительности, а также находятся функции преобразования для диэлектрической проницаемости.

В последние время возрос интерес к так называемым SRR резонаторам. Они представляют собой разрезное кольцо, выполненное в виде микрополосковой линии, вытравленной на диэлектрической подложке, они позволяют измерять диэлектрическую проницаемость веществ. А контроль комплексной диэлектрической проницаемости является важной задачей во многих отраслях науки и техники. Например, в пищевой промышленности, это контроль содержания белка и жира в мясных продуктах, жира в молоке, влажности хлебобулочных и кондитерских изделий, измерение уровня сахара в напитках. В медицине, например, для измерения глюкозы в крови [1]. В электронике, к примеру, это контроль за характеристиками подложек для печатных плат. В нефтяной промышленности, это контроль, допустим, за качеством дизельного топлива. Так же по комплексной диэлектрической проницаемости, можно определять дефекты [2] в пластиковых и композитных материалах. Или определять удельную плотность веществ и материалов [3].

В качестве материала подложки используется FR-4 толщиной 1 мм и толщиной медной металлизации 0,035 мм. По формулам из [4] найдем ширину возбуждающего полоска, рассчитанную на волновое сопротивление 50 Ом, которая составляет 1,91 мм.

Рассматривать будем варианты, показанные на рисунке 1 (а).



а б

Рис. 1 – SRR резонатор: а) варианты датчика на основе квадратного кольцевого разрезного резонатора, б) обозначения размеров датчика.

На рисунке 1 б), показаны обозначения размеров. Для первого моделирования примем размеры, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Размеры SRR резонатора с квадратным кольцом

Обозначение	**Название параметра**	**Значение, мм**
Wb	Ширина внешней щели	1,91
Wm	Ширина внутренней щели	1,91
S	Ширина кольца	1
Sb	Ширина внешнего зазора	1
Sm	Ширина внутреннего зазора	1
H	Высота диэлектрической подложка (FR-4)	1
T	Толщина проводника (медь)	0,035

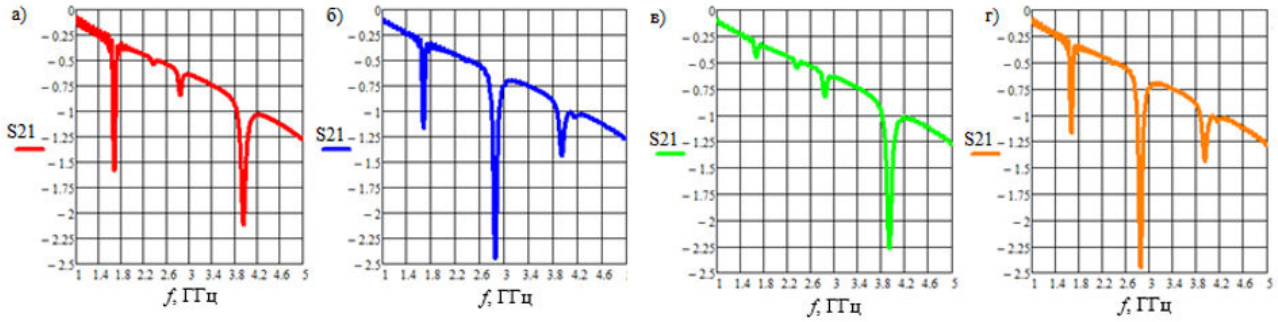


Рис. 2 – Частотные зависимости модуля коэффициента передачи для 4-х вариантов датчика на основе квадратного разрезного резонатора

На рисунке 2 показаны коэффициенты передачи для вариантов датчика с расположением резонатора показанным на рисунке 1, будем считать, что везде по 4 резонанса. Результаты моделирования сведем в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты моделирования 4-х вариантов для датчика на основе квадратного разрезного резонатора

Варианты	***f*1, ГГц**	***A*1, дБ**	***Q*1**	***f*2, ГГц**	***A*2, дБ**	***Q*2**
а	1,2668	-1,5877	21,993	2,0363	-0,545	39,694
б	1,265	-1,1707	22,6703	-	-	-
в	1,2614	-0,4489	19,1994	2,0363	-0,5512	29,3839
г	1,2641	-1,1704	22,6541	-	-	-
Варианты	***f*3, ГГц**	**A3, дБ**	**Q3**	***f*4, ГГц**	**A4, дБ**	**Q4**
а	2,5736	-0,8407	39,1719	3,83	-2,1107	39,0418
б	2,5889	-2,4515	32,6881	3,8156	-1,4371	45,5867
в	2,5736	-0,8253	34,8727	3,8102	-2,2725	36,4961
г	2,5889	-2,45	32,3209	3,8165	-1,4367	45,1123

Из графиков на рисунке 2 и таблицы 2 видно, что есть различия характеристик датчика от взаимного расположения, возбуждающего микрополоска и резонатора. Так, для перпендикулярного расположения, возбуждающего микрополоска и зазора в большом кольце, возникает 4 резонанса, а для параллельного расположения только 3 резонанса. Дополнительный резонанс возникает на частоте первой гармоники малого кольца.

Наибольшую добротность имеет четвертый резонанс варианта б, но он имеет наименьшую амплитуду среди четвертого резонанса.

Наибольшие, амплитуды имеют третий и четвертый резонансы. И добротности на этих резонансах больше, чем на первых двух. Амплитуда второго резонанса очень маленькая, поэтому его рассматривать не будем. Далее будем рассматривать варианты, *а* и *б*.

На рисунке 3 приведены зависимости добротности и амплитуды от геометрических размеров.

При моделировании варианта, *а*, когда зазор в большом кольце перпендикулярен возбуждающей линии, оказалось, что поведение зависимостей частоты, амплитуды и добротности от геометрических размеров такое же, как и у параллельного. Разница только в том, что первый и четвертый резонанс возникает выше, чем у параллельного, а третий ниже, чем у параллельного. Поэтому приводить здесь такие же зависимости смысла нет.

На основе данных, полученных выше, добьемся максимальной амплитуды от датчика на основе квадратного разрезного кольцевого резонатора, выполненного в виде варианта *б* (рисунок 1). Размеры полученного датчика следующие: Wb = 0,5 мм, Wm = 4,6 мм, S = 0,2 мм, Sb = 1 мм, Sm = 0,3 мм, Wp = 1,91 мм, Lp = 60 мм, Gap = 0,1 мм.

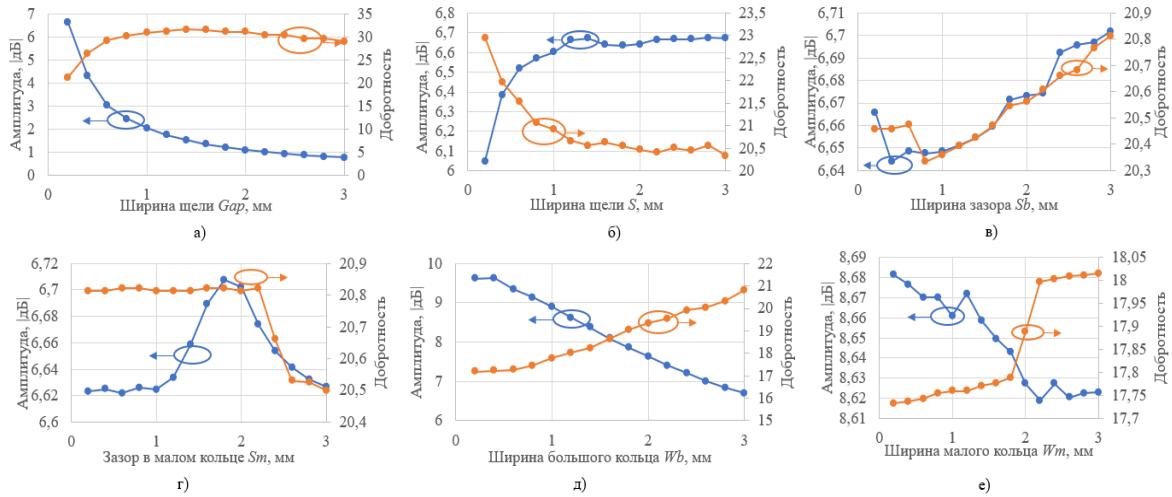


Рис. 3 – Влияние вариации параметров на амплитуду и добротность резонанса:
а) щели *Gap* между возбуждающим микрополоском и резонатором,
б) щели *S* между кольцами, в) зазора *Sb* в большом кольце, г) зазора *Sm* в малом кольце,
д) *Wb* большого кольца, е) *Wm* малого кольца

Поставим сверху материал толщиной 5 толщин подложек, то есть 5 мм, и размерами 40х40 мм, с диэлектрической проницаемостью сначала 5, затем 5,1. Результаты моделирования сведем в таблицу 3.

Таблица 3

Данные, полученные для датчика с максимальной амплитудой

	***f*1, ГГц**		***A*1, дБ**		***Q*1**		***S*1, МГц**
ε	5	5,1	5	5,1	5	5,1	
	1,068	1,0624	-12,195	-12,295	13,35	13,28	5,6
	***f*3, ГГц**		***A*3, дБ**		***Q*3**		***S*3, МГц**
ε	5	5,1	5	5,1	5	5,1	
	2,6624	2,648	-12,303	-12,319	19,017	19,05	14,4
	***f*4, ГГц**		***A*4, дБ**		***Q*4**		***S*4, МГц**
ε	5	5,1	5	5,1	5	5,1	
	3,6744	3,656	-8,651	-8,747	20,99	21,4	18,4

На основе данных, полученных выше, добьемся максимальной добротности от датчика на основе квадратного разрезного кольцевого резонатора, выполненного в виде варианта *б* (рисунок 2.2). Размеры полученного датчика, следующие: *Wb* = 1 мм, *Wm* = 1 мм, *S* = 0,2 мм, *Sb* = 1 мм, *Sm* = 1 мм, *Wp* = 1,91 мм, *Lp* = 60 мм, *Gap* = 1 мм.

Также, поставим сверху материал толщиной 5 толщин подложек, то есть 5 мм, и размерами 40х40 мм, с диэлектрической проницаемостью сначала 5, затем 5,1 и тангенсом угла диэлектрических потерь, равным 0,001. Результаты моделирования сведем в таблицу 4.

Таблица 4

Данные, полученные для датчика с максимальной добротностью

	***f*1, ГГц**		***A*1, дБ**		***Q*1**		***S*1, МГц**
ε	5	5,1	5	5,1	5	5,1	
	1,732	1,726	-1,923	-1,956	35,34	35,22	6
	***f*3, ГГц**		***A*3, дБ**		***Q*3**		***S*3, МГц**
ε	5	5,1	5	5,1	5	5,1	
	2,441	2,431	-1,482	-1,464	46,95	47,66	10
	***f*4, ГГц**		***A*4, дБ**		***Q*4**		***S*4, МГц**
ε	5	5,1	5	5,1	5	5,1	
	3,426	3,412	-1,783	-1,835	48,94	48,74	14

Из таблиц 3 и 4 следует, что первый резонанс имеет низкую добротность и чувствительность, поэтому нам не подходит. Четвертый резонанс имеет меньшую амплитуду, но высокие добротность и чувствительность, однако мы его тоже не будем рассматривать. Второй резонанс имеет слишком маленькую амплитуду, поэтому даже не измерялся. Третий резонанс имеет наилучший баланс между амплитудой, добротностью и чувствительностью, однако нужно найти компромиссное решение между амплитудой, добротностью и чувствительностью. Максимальная амплитуда на третьем резонансе составляет около -12 дБ, а минимальная рассматриваемая -1,5 дБ. Значит средняя амплитуда составляет примерно -6,75 дБ, будем стримиться к этому значению.

Проводить оптимизацию будем для датчика на основе квадратного кольцевого резонатора, варианта *б* (рисунок 1).

По рисунку 3 а), компромисс между амплитудой и добротностью для щели между резонатором и питающей линией составляет, *Gap* = 0,4 мм.

По рисунку 3 б), компромиссное значение щели между кольцами, тоже составляет примерно 0,4 мм, но мы его примем равным *S* = 0,2 мм, так мы выиграем в добротности, но проиграем в амплитуде. Однако проигрыш в амплитуде скомпенсируем, выбрав ширину большого кольца равным *Wb* = 1 мм. Ширину малого кольца сделаем тоже равной *Wm* = 1 мм. Зазоры в кольцах примем равными *Sb* = 2 мм, *Sm* = 2 мм.

Проведем моделирование датчика с данными размерами, а также посмотрим изменение чувствительности при варьировании толщины большого и малого колец, а также зазоров в кольцах, полученные результаты моделирования сведем в таблицу 5.

Таблица 5

Результаты оптимизации

	***f*3, ГГц**		***A*3, дБ**		***Q*3**						
ε №	5	5,1	5	5,1	5	5,1	***S*, МГц**	***Sm*, мм**	***Sb*, мм**	***Wm*, мм**	***Wb*, мм**
1	2,5133	2,5034	-4,117	-4,087	39,3318	39,7366	9,9	2	2	1	1
2	2,5754	2,5619	-4,422	-4,395	40,6651	40,6651	13,5	2	2	1	0,5
3	2,5763	2,5637	-4,275	-4,260	41,4863	41,2835	12,6	2	2	2	0,5
4	2,5628	2,5493	-4,297	-4,272	41,8759	41,6553	13,5	1	2	1	0,5
5	2,6087	2,5952	-4,278	-4,248	42,0079	42,4052	13,5	1	3	1	0,5
6	2,5232	2,5106	-4,330	-4,307	41,2286	41,6351	12,6	1	1	1	0,5
7	2,5358	265223	-4,426	-4,402	40,2508	40,6166	13,5	2	1	1	0,5

Из таблицы 5 оптимальными примем вариант 2. Проведем моделирование варианта *а* (рисунок 1) с размерами, полученными выше для варианта *б* и сравним их. Результаты без материала сведем в таблицу 6, а с материалом в таблицу 7.

Таблица 6

Сравнения оптимизированного датчика вариантов *а* и *б*, без материала

	***f*, ГГц**	***A*, дБ**	***Q***
а	3,0848	-3,853	30,066
б	3,2153	-6,121	25,159

Таблица 7

Сравнения оптимизированного датчика вариантов *а* и *б*, с материалом

	***f*3, ГГц**		***A*3, дБ**		***Q*3**		
ε №	5	5,1	5	5,1	5	5,1	***S*, МГц**
а	2,4944	2,4818	-7,393	-7,463	29,484	29,335	12,6
б	2,5754	2,5619	-4,422	-4,395	40,879	40,665	13,5

Из таблиц 6 и 7 видно, что если ставить материал на датчик варианта *б*, то его амплитуда уменьшается, а добротность возрастает. А если ставить материал на датчик варианта, *а*, то амплитуда возрастает, а добротность немного уменьшается.

Для того, чтобы получить функцию преобразования для обоих вариантов, будем изменять диэлектрическую проницаемость ε исследуемого материала, полученные данные сведем в таблицы 8 – 9.

Таблица 8

Зависимость частоты от диэлектрической проницаемости для варианта *б*

ε	**Δf, ГГц**	***f*, ГГц**	***A*, дБ**	***Q***
1	0	3,2153	-6,121	25,159
2	0,1701	3,0452	-5,721	28,433
3,5	0,4257	2,7896	-4,999	34,826
5	0,6399	2,5754	-4,422	40,879
5,1	0,6534	2,5619	-4,396	40,665
7,5	0,9144	2,3009	-3,801	46,483
9	1,0458	2,1695	-3,593	50,22

Построим по таблице 8, функцию преобразования диэлектрической проницаемости, показана на рисунке 3.2.

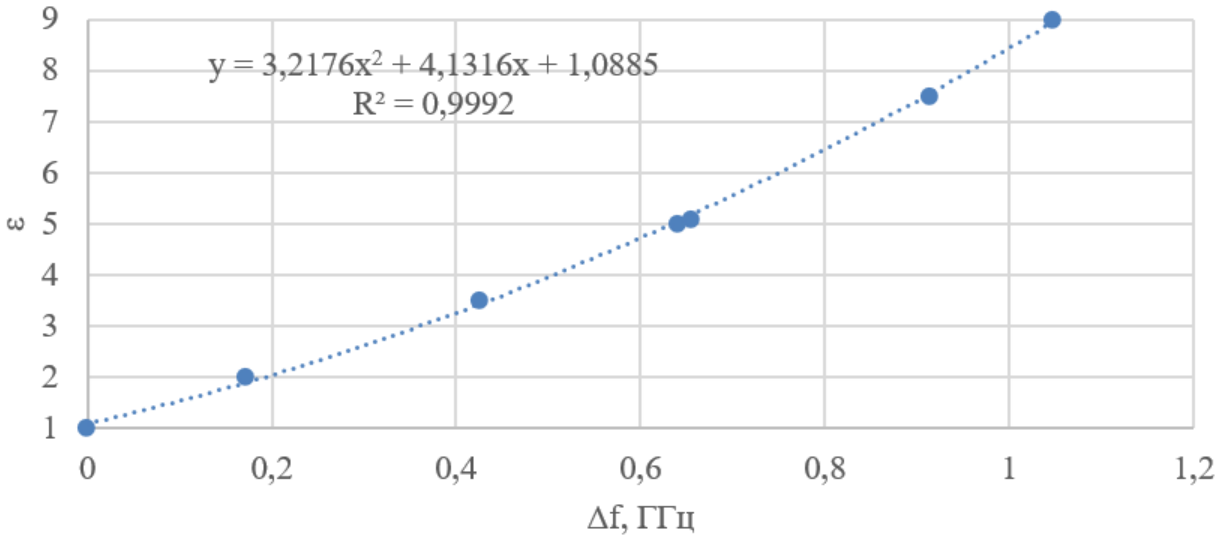


Рис. 4 – Функция преобразования диэлектрической проницаемости для варианта *б*

Таблица 9

Зависимость частоты от диэлектрической проницаемости для варианта, *а*

ε	**Δ*f*, ГГц**	***f*3, ГГц**	***A*3, дБ**	***Q*3**
1	0	3,0848	-3,8531	30,0662
2	0,1503	2,9345	-4,5677	30,76
3,5	0,3915	2,6933	-6,2669	29,6292
5	0,5904	2,4944	-7,3938	29,4847
5,1	0,603	2,4818	-7,4631	29,3357
7,5	0,8478	2,237	-8,412	29,9465
9	0,972	2,1128	-8,7352	30,8889

Построим по таблице 9, функцию преобразования диэлектрической проницаемости, показана на рисунке 5.

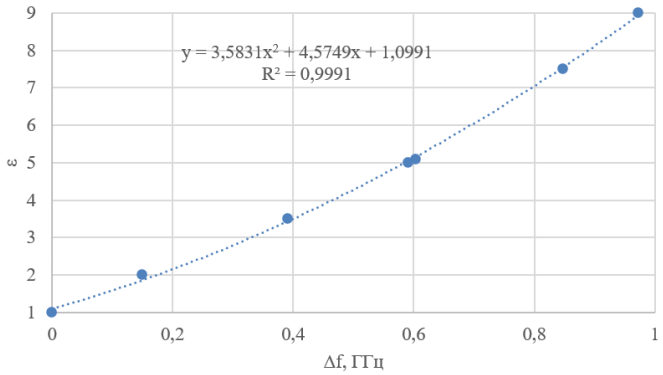


Рис. 5 – Функция преобразования диэлектрической проницаемости для варианта, *а*

По таблицам 8 и 9 построим зависимости амплитуды и добротности от диэлектрической проницаемости и покажем на рисунке 6.

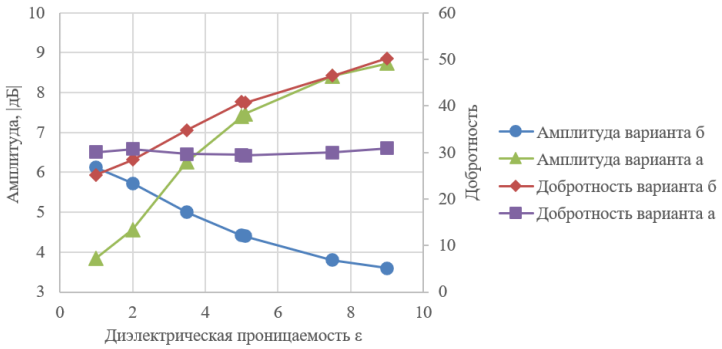


Рис. 6 – Зависимости амплитуды и добротности от диэлектрической проницаемости

По рисунку 6 можно сделать вывод, что добротность, для датчика варианта, *а*, практически не изменяется при увеличении диэлектрической проницаемости, а амплитуда растет. В то время как для датчика варианта *б*, с увеличением диэлектрической проницаемости, увеличивается добротность и падает амплитуда. В дальнейшем по полученной функции преобразования можно будет определить диэлектрическую проницаемость, предварительно откалибровав датчик по методике, указанной в [5].

В докладе были рассмотрены зависимости параметров датчика (амплитуды, частоты, добротности и чувствительности) от геометрических размеров резонатора. Также была рассмотрена разница между взаимным расположением зазора в большом кольце и возбуждающим микрополоском.

Так оказалось, что при увеличении амплитуды, практически всегда падает добротность. Основное влияние на параметры датчика оказывает щель между возбуждающим микрополоском и резонатором. А также ширина большого кольца и зазор между кольцами. Остальные параметры не так сильно влияют, но варьируя их можно добиться баланса.

Также в данной работе был оптимизирован датчик на основе квадратного кольцевого резонатора, варианта *б*, когда зазор в большом кольце расположен параллельно возбуждающей линии. При сравнении его параметров с перпендикулярным взаимным расположением (вариант *а*), оказалось, что у перпендикулярного расположения, хоть и меньше амплитуда без материала (-3,853 дБ) по сравнению с параллельным вариантом (-6,121 дБ), но при постановке материала на датчик, с увеличением диэлектрической проницаемости увеличивалась амплитуда (при ε = 5, амплитуда -7,463 дБ), а добротность практически не изменялась (без материала Q = 30,066, а с материалом при ε = 5, Q = 29,335), в то время как у параллельного варианта амплитуда без материала была выше (-6,121 дБ), а при увеличении диэлектрической проницаемости уменьшалась амплитуда (при ε = 5, амплитуда -4,395 дБ) и возрастала добротность (без материала Q = 25,159, а с материалом при ε = 5, Q = 40,665).

Для оптимизированных датчиков на основе квадратного кольцевого резонатора, для вариантов, *а* и *б* были получены функции преобразования диэлектрической проницаемости. Подставляя в эти функции преобразования вместо икса значения частоты или амплитуды, для исследуемого материала, можно получить значение диэлектрической проницаемости.

Исследования проведены в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Betsy G.* Microstrip Resonator as Microfluidic Sensor for Blood-Glucose Monitoring / G. Besty, M.K. Shabina, M.K. Sreedevi // 2nd International Conference on Communication and Electronics Systems. – 2017. – pp. 496 – 499.

2. *Mukherjee S.* Design of a split-ring resonator based microstrip sensor for near-field inspection of composites / S. Mukherjee, L. Udpa, P. Chahal // IEEE. – 2018. – pp. 643-644.

3. Универсальный метод измерения удельной плотности веществ и материалов на кольцевом резонаторе / А.А. Чесноков, А.Р. Насыбуллин, Т.М. Ишкаев [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2025. – № 7. – С. 306-310.

4. Design Guide for High-Speed Controlled impedance Circuit Boards: сайт. – URL: https://www.inforstreet.com/standards/IPC-2141A/ (дата обращения: 20.06.2025). – Текст электронный.

5. *Гусев А.В.* Комбинированная калибровка резонансных СВЧ-датчиков / А.В. Гусев, Т.М. Ишкаев // XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых): Материалы Международной молодёжной научной конференции. Сборник докладов, Казань, 09–10 ноября 2023 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. – С. 3704-3709.

COMPARISON OF THE EFFECT OF THE LOCATION OF THE EXCITATION LINE RELATIVE TO THE SRR RESONATOR IN THE MICROSTRIP SENSOR

Kudankin E.M.

Supervisor: Fakhrutdinhov R.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses microstrip sensors based on round and square split ring SRR resonators, their modeling is carried out, and the dependence of sensor characteristics on geometric dimensions and the relative position of the gap in the large ring of the resonator and the feeding microstrip line is investigated. The sensor is also optimized based on dependency analysis and sensitivity evaluation, as well as conversion functions for the dielectric constant.

УДК 621.3.032

РАЗРАБОТКА БУДИЛЬНИКА С АВТОРЕГУЛИРОВКОЙ ГРОМКОСТИ И ЯРКОСТИ ПОДСВЕТКИ

Кузнецова Е.П.

Научный руководитель: Саиткулов В.Г., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе представлено устройство с функцией автоматической регулировки яркости свечения светодиодов относительно освещенности комнаты. Разработана электрическая схема для выполнения необходимых функций, спроектирован корпус с учетом всех технологических и эргономических требований, выполнены расчет надежности электронного блока и расчет теплового режима устройства.

Световой будильник – это устройство, предназначенное для мягкого пробуждения за счёт имитации естественного рассвета. В отличие от традиционных будильников, которые используют резкие звуки, световой будильник постепенно увеличивает яркость света в комнате, воздействуя на циркадные ритмы организма. Некоторые модели также включают звуки природы или музыку для усиления эффекта [1].

Далее описана работа разработанной электрической принципиальной схемы. На дисплей HS1602A, подключенному к микроконтроллеру ATmega8 через шину данных к портам PD2-PD7, в любое время суток выводится информация о текущем времени, дне недели (на руссом языке), дате, температуре в помещении и времени установленного будильника. При этом яркость свечения символов регулируется в зависимости от освещенности комнаты с помощью фоторезистора R2, который подключается к микроконтроллеру (МК) через порт PC3. Подстроечный резистор R1 используется для регулировки контрастности свечения символов. Для корректного отсчитывания времени в будильнике используется модуль часов реального времени с I2C интерфейсом на базе микросхемы DS3231. Информация с модуля передаются в микроконтроллер через шину данных, подключенную к портам SCL и SDA. Для ручной настройки пользователем встроены 4 кнопки: SW1, SW2, SW3, SW4. Для коррекции времени срабатывания сигнала будильника используется кнопка SW2, она подключается к МК через порт PB2. Кнопкой SW4, подключаемой к порту PB1, можно корректировать отображаемые параметры, нажатием на нее можно выбрать параметр, который необходимо изменить. Кнопки SW1 и SW3 используются для изменения параметров часов, при нажатии на SW1 к значению добавляется единица, а при нажатии на SW3 единица отнимается. Кнопки подключаются к PC1 и PC0 портам микроконтроллера соответственно. Для отключения сигнала будильника после его срабатывания также используются кнопки SW1 и SW3. В устройстве присутствует функция вывода на дисплей текущей температуры в комнате, что реализуется с помощью цифрового датчика температуры DS18D20, подключенного к МК через порт PB0. Для регулировки контрастности дисплея в устройство интегрирован построечный резистор на 10 кОм [2].

После настройки времени срабатывания будильника и текущего времени, данные хранятся в энергонезависимой памяти. При наступлении момента срабатывания будильника, который рекомендуется настроить за 30 минут до необходимого времени пробуждения, микроконтроллер анализирует данные с шины I2C, переданные от датчика освещенности BH1750, который подключается к микроконтроллеру через шину к портам SDA и SCL, и на основе полученных результатов начинает плавно включать светодиод на необходимую мощность. ATmega8 запрограммирован таким образом, что яркость светодиодов обратно пропорциональна уровню освещенности комнаты, т.е. чем темнее в комнате, тем ярче будет гореть источник света [3].

Освещение реализуется с помощью четырех светодиодов, видимый телесный угол каждого из них составляет 180º для равномерного распределения света внутри рассеивателя, такой угол позволяет избежать темных пятен внутри корпуса.

В состав элемента входят четыре кристалла, суммарный световой поток которых составляет 500 Лм, при одновременной работе четырех светодиодов сила общего светового потока может достигать 2000 Лм. Такая световая мощность соответствует рекомендованной [4].

Для повышения эффективности работы будильника, одновременно с включением светодиода начинает свою работу динамик, который проигрывает мелодии с SD-карты. Слот для SD-карты подключен к портам MOSI, MISO, SCK, а динамик к XTAL2 через резонатор на 16 МГц. При этом мелодии должны быть загружены в формате WAVE и иметь плавно увеличивающуюся громкость [5].

Основное питание схемы составляет 3,3 В и 5 В. Для стабильной работы устройства от 5 В, был интегрирован стабилизатор напряжения на 3,3 В. На рисунке 1 представлен чертеж схемы электрической принципиальной, выполненный в программе КОМПАС-3D.

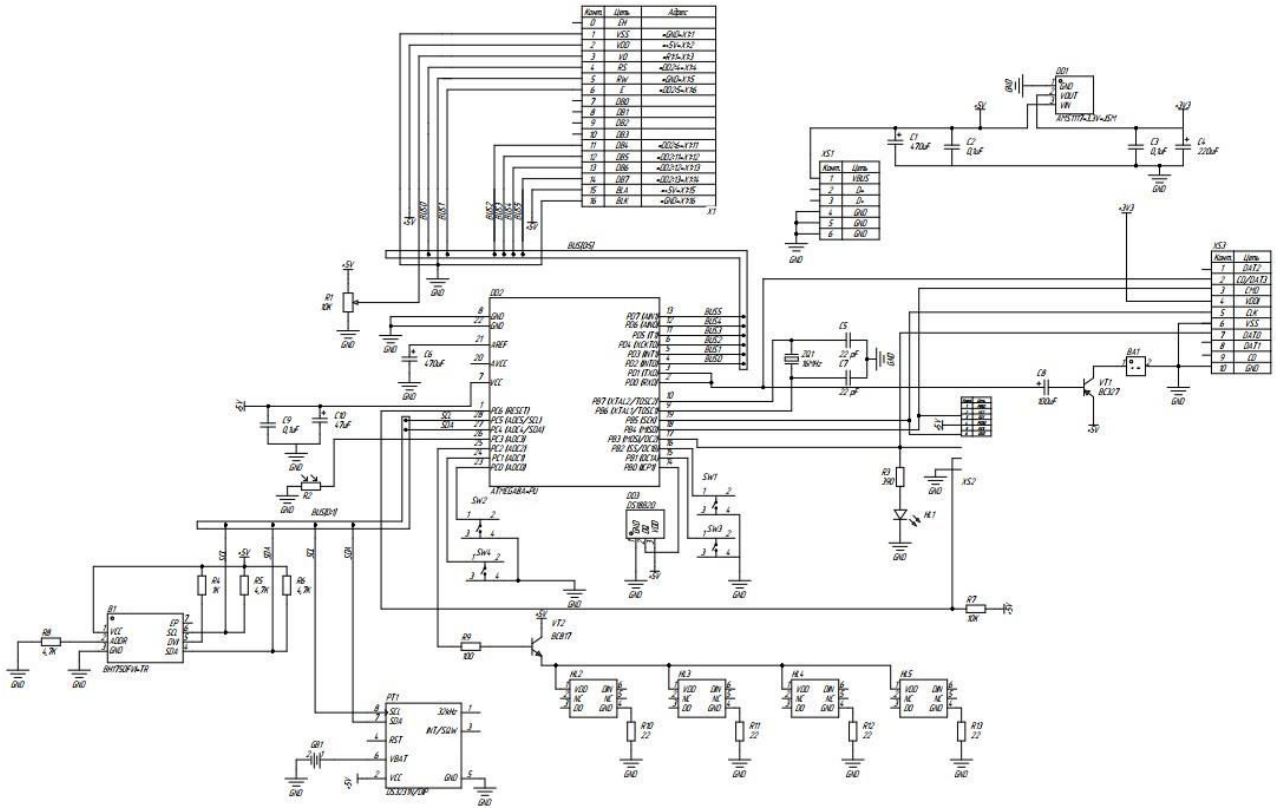


Рисунок 1. Электрическая схема разработанного устройства

Для корректной расстановки элементов и выбора размеров печатной платы был произведен расчет геометрических размеров платы. На рисунке 2 представлены размеры конструкторско-технологических зон, размеры которых необходимо учесть при расчете. При проектировании печатной платы устройства все инструкции были соблюдены.

Размер параметров x_1 и x_2 определяются способом крепления платы, если оно осуществляется винтами через отверстия, сделанные по углам платы, то значение x_1 и x_2 должно быть не меньше диаметра головки винта, если установка платы осуществляется направляющими, то x_1 и x_2 должны быть на 1-2 мм больше размера в направляющих, но не менее 2,5 мм. В проектируемом устройстве для установки печатной платы в корпус предназначены четыре винта, которые крепятся к плате модуля дисплея.

Для установки разъемов, гнезд и контактных площадок используется краевое поле y_1. В схеме будильника присутствует 2 разъема, к которым у пользователя должен быть доступ, – USB-разъем для питания, слот для SD-карты, поэтому величина y_1 вычисляется как сумма габаритного размера соединителя и 5 мм.

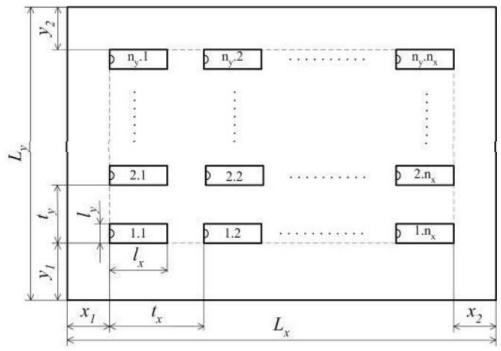


Рисунок 2. Конструкторско-технологические зоны на печатной плате [6]

Область y_2 предназначена для элементов контроля, крепления, но в разрабатываемой печатной плате они не предусмотрены, поэтому значение y_2 принимается равным x_1.

Поверхность печатной платы, обведенная пунктиром, предназначается для монтажа компонентов и размещения соединительных проводников, ее геометрические размеры зависят от размеров элементов и их компоновки. Значения параметров t_x и t_y соответствуют шагу условных зон, на которые делят печатную плату для установки микросхем.

Геометрические размеры печатной платы можно определить по формулам 1 и 2.

$$L_x = (n_x - 1) \cdot t_x + l_x + x_1 + x_2, \quad (1)$$

$$L_y = (n_y - 1) \cdot t_y + l_y + y_1 + y_2, \quad (2)$$

где n_x, n_y – это количество вертикальных и горизонтальных рядов микросхем;
l_x, l_y – это габаритные размеры корпуса.

Для расчета размера печатной платы была вычислена сумма площадей корпусов всех элементов по формуле 3.

$$S_{\text{эл}} = \sum a_i \cdot b_i = 5969 \text{ мм}^2 \quad (3)$$

Для определения установочной площади всех элементов на плате с учетом площади уголков для крепления платы и площади монтажных проводов необходимо общую площадь умножить на коэффициент установки ($K_{\text{уст}} = 1{,}2$), также при проектировании печатной платы необходимо учитывать площадь монтажа, которая рассчитывается с помощью коэффициента запаса ($K_{\text{зап}} = 1{,}5$) [6]. После учета всех коэффициентов значение площади печатной платы получилось равным 10746 мм^2. Топология печатной платы выполнена с указанием всех рекомендаций по размещению компонентов относительно друг друга. Согласно ГОСТ Р 53429–2009 стороны платы должны быть кратными 2,5 мм при длине до 100 мм и 5 мм при длине до 350 мм, этим параметрам соответствуют стороны с размерами 110×95 мм.

На задней стороне платы располагаются четыре светодиода, а остальные элементы находятся на передней части, такое размещение компонентов выбрано для отделения источников света от датчиков освещения, которыми являются фоторезистор и цифровой датчик освещенности BH1750.

Для проектирования корпуса устройства необходимо учитывать многие факторы, обобщенная конструкция радиоэлектронного устройства представлена на рисунке 3.

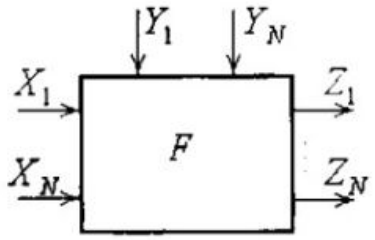


Рисунок 3. Обобщенное представление системной модели,
где X – изменяемые факторы; Y – неизменяемые факторы; Z – показатели качества;
F – связи между факторами и показателями качества [7]

К изменяемым факторам относят марки материалов, форму и размеры элементов конструкции, внешнее оформление, способы теплоотвода, герметизации и т.д. Неизменяемые факторы - это факторы ограничители в области схемотехники, системотехники, конструирования и т.д. Для разрабатываемого устройства на плате в разные стороны разнесены элементы, подверженные нагреву, а именно дисплей и светодиоды, и датчик температуры. Системотехнические ограничения – это тип радиоэлектронных средств, в представленной работе используются цифровые средства, которые предполагается использовать многократно, для этого встроены кнопки управления, позволяющие менять настройки и параметры будильника. Схемотехнические ограничения – требования к элементной базе по электрическим параметрам [7].

В качестве технологии изготовления корпуса выбрана 3D-печать, поэтому главные критерии для материала – его совместимость с 3D-технологиями, а также прозрачность

пластика, т.к. сквозь него должно проходить достаточное количество света. Устройство не подразумевает сильный нагрев, поэтому в качестве материала был выбран пластик PLA, благодаря своей простоте использования и достаточной жесткости [8].

Устройство предполагается использовать в комнате на прикроватной поверхности, поэтому оно должно занимать минимум места. Для эффективного рассеивания света, соответствия современным стандартам эстетики будильник выполнен в белом цвете. Форма будильника должна быть спроектирована таким образом, чтобы свет равномерно рассеивался, поэтому корпус реализован в двух частях: нижний блок, верхний рассеиватель. Светодиоды на плате располагаются на задней стороне, поэтому для сохранения требуемого уровня освещения в комнате основная часть корпуса не отделена от рассеивателя стенкой. Толщина стенок корпуса составляет 3 мм, а рассеивателя 5 мм.

Нижний блок состоит из двух частей для обеспечения легкого вынимания печатной платы, что значительно облегчает ремонт платы и замену элементов. Для увеличения срока службы устройства батарейка на печатной плате устанавливается в держатель, из которого ее легко можно достать. Для доступа к дисплею и управляющим кнопкам в корпусе есть отверстия с соответствующими размерами, кнопки выбраны таким образом, чтобы их высота оказалась больше расстояния от внутренней грани корпуса до печатной платы.

Для питания схемы с торца корпуса сделано отверстие, обеспечивающее доступ к USB-порту. В устройстве интегрирована функция замены мелодии будильника с помощью SD-карты, поэтому в корпусе присутствует отверстие напротив слота для карты памяти.

На рисунке 4 представлена внутренняя сторона передней части корпуса. С этой стороны видно стойки для упора печатной платы в верхней части корпуса, которые выполнены для обеспечения вертикального положения печатной платы. Также на данном рисунке представлены втулки, с помощью которых обеспечивается надежное крепление платы с помощью саморезов, глубина отверстий внутри них подобрана под длину самореза.

Две части корпуса скрепляются между собой с помощью защелок, их принцип работы построен на гибкости пластика: при соприкосновении двух частей корпуса выступ временно отклоняется, пока не достигнет отверстия, а после полного совмещения с пазом возвращается в исходное положение, закрепляясь за край. Удержание двух деталей вместе происходит благодаря упорной поверхности, которая обеспечивает надежную фиксацию частей корпуса.

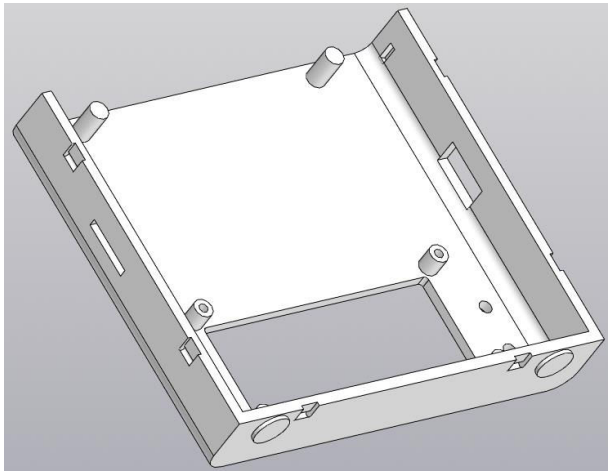
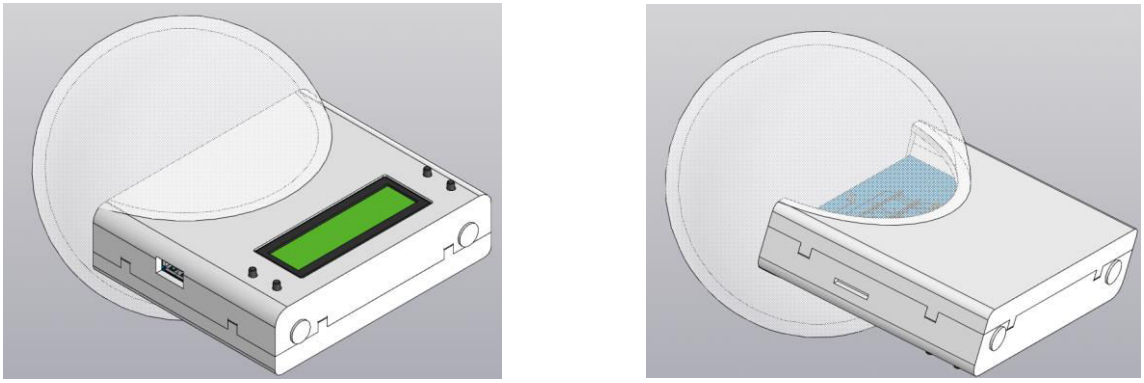


Рисунок 4. Внутренняя часть корпуса

Верхняя часть выполнена в виде прозрачной полусферы для равномерного распределения света. Она плотно надевается на основную часть и удерживается на месте с помощью двух защелок, форма рассеивателя спроектирована с учетом точного соответствия форме и размерам, за счет плотной посадки при сборке обеспечивается прилегание, которое исключает самопроизвольное смещение детали. Внешний вид устройства представлен на рисунке 5.



а) б)

Рисунок 5. Внешний вид устройства с двух сторон: а) передняя сторона, б) задняя сторона

Для подтверждения работоспособности устройства был проведен расчет надежности электронного блока, результаты которого представлены в виде графиков на рисунках 6 и 7.

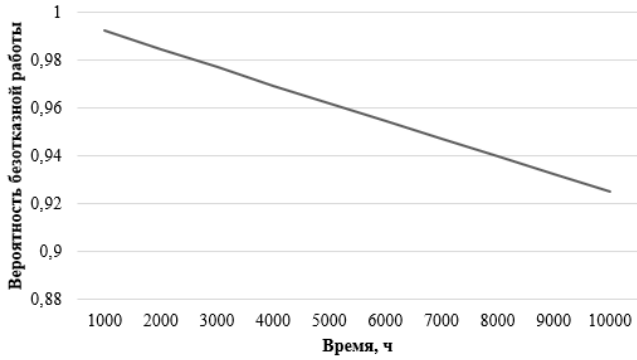


Рисунок 6. График зависимости вероятности безотказной работы от времени

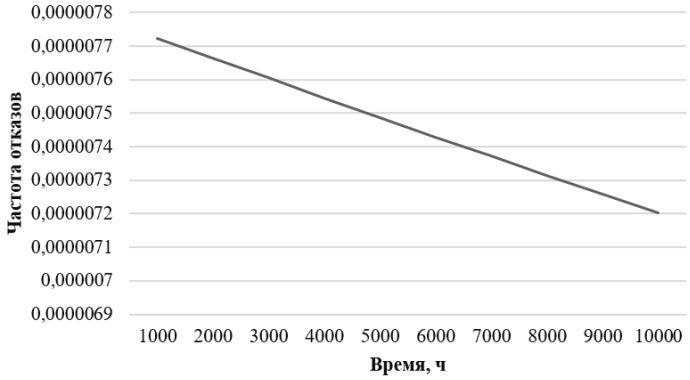


Рисунок 7 – График зависимости частоты отказов от времени

Временной промежуток выбран от 1000 до 10000 часов с шагом 1000 часов, конечная точка графика соответствует 1,142 году непрерывной работы устройства. По графикам видно, что за выбранный диапазон вероятность отказов линейно убывает на 6,7%, но остается выше заданного уровня надежности для бытовых приборов за один год работы, который равен 90%, поэтому устройство надежно. За этот же временной промежуток зависимость частоты отказов линейно уменьшается на $0{,}52 \cdot 10^{-6}$, что подтверждает надежность устройства.

В корпусе устройства не предусмотрен радиатор или альтернативная система охлаждения. Результаты расчета распределения температур внутри корпуса устройства показывают, что максимальная температура корпусов интегральных схем в блоке (336,91 К) оказывается меньше максимально допустимой (373 К), из чего можно сделать вывод, что естественного охлаждения достаточно для работоспособности устройства с заданными режимными параметрами.

В заключении хочется отметить, что разработанное устройство сочетает в себе новейшие технологии и помогает повышать уровень комфорта людей. Расчеты подтверждают работоспособность устройства и возможность его использования на ежедневной основе. Дальнейшее развитие работы может включать добавление модулей для интеграции с системами умного дома или носимыми устройствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Sleep inertia / Tassi P, Muzet A. – №4. – 2000: Sleep Med Rev, 2000 — 353 с.
2. Часы-будильник на VDF1602 + DS3231 + DS18B20 (Arduino IDE) – Текст: электронный // rcl-radio.ru: Интернет-портал. – URL: http://rcl-radio.ru/?p=129553 (дата обращения: 23.04.2025).
3. Регулятор яркости подсветки на датчике BH1750 – Текст: электронный // cxem.net: Интернет-портал. — URL: https://cxem.net/mc/mc375.php (дата обращения: 25.04.2025).
4. Сверхяркие светодиоды, мощные сверхяркие светодиоды - цены / – Текст: электронный // led22.ru: Интернет-портал. – URL: https://led22.ru/ledcat.html (дата обращения: 27.04.2025).
5. Простой SD аудио-плеер / – Текст: электронный // cxem.net: Интернет-портал. – URL: https://cxem.net/mc/mc51.php (дата обращения: 25.04.2025).
6. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине Конструирование и технологии средств вычислительной техники / – Смоленск: МЭИ, 2019. – 40 с.
7. *Саиткулов В.Г.* Основы проектирования электронных средств / В.Г. Саиткулов, В.Н. Леухин – Казань: Издательство Казанского государственного технического университета, 2013 – 496 с.
8. Подробный гид по выбору пластика для 3D-печати / – Текст: электронный // top3dshop.ru: Интернет-портал. — URL: https://top3dshop.ru/blog/podrobnyj-gid-po-vyboru-plastika-dlja-3d-pechati.html (дата обращения: 02.05.2025).

DEVELOPMENT OF AN ALARM CLOCK WITH AUTOMATIC VOLUME AND BACKLIGHT BRIGHTNESS CONTROL

Kuznetsova E.P.
Supervisor: Saitkulov V.G., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences.
(Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In this work, a device with reduced brightness control of LEDs relative to the illumination of rooms. An electrical circuit for performing the necessary functions has been developed, a case has been provided taking into account all technological and ergonomic requirements, the reliability of the unit control and the calculation of the thermal mode of the device have been performed.

УДК 621.317.725:004

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЛЕРА PIC

Кучумов Д.М.
Научный руководитель: Муратов Р.М., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассматривается цифровой вольтметр, который призван повысить точность в экспериментальных расчётах. Рассматриваются достоинства и недостатки устройства. Так же представлены схемы цифрового вольтметра, которые показывают преимущества перед обычными.

Вольтметр представляет собой техническое устройство, предназначенное для точного измерения напряжения, присутствующего в электрической цепи. Его применение обеспечивает возможность эффективного контроля состояния электроцепей различного назначения, позволяя оперативно получать достоверные сведения о величине действующего напряжения в каждом конкретном случае.

По назначению все измерительные устройства можно разделить на следующие типы:

Импульсные предназначены для осуществления высокоточных замеров кратковременно возникающих импульсов различной формы и длительности

Селективные: приборы данной категории служат для избирательного выделения определённых частотных компонент или гармоник сложного сигнала.

Вольтметры для работы в сетях переменного/постоянного тока: их основной задачей является точное измерение уровня напряжения как в цепях постоянного тока, характеризующихся стабильностью параметров, так и в сетевых линиях переменного тока, обладающего способностью изменять своё направление и интенсивность протекания с течением времени.

Фазочувствительные, или векторметры: приборы обладают расширенными возможностями, поскольку позволяют одновременно измерять не только общее комплексное напряжение, включающее действительную и мнимую составляющую, но и выявлять отдельно фазовые сдвиги и амплитудные соотношения внутри сложной электрической цепи. [1].

Универсальные. многофункциональные приборы, сочетающие широкий спектр измерительных функций и возможности для оперативного анализа разнообразных характеристик электропитания. Основное преимущество универсальных вольтметров заключается в способности эффективно функционировать в различных режимах сети, поддерживать большое количество режимов измерения и осуществлять контроль сразу нескольких видов электроэнергии.

Работа цифрового вольтметра основана на превращении аналогового сигнала, поступающего от измерительной цепи [2].

Прибор получает на вход аналоговый сигнал, подлежащий измерению. Этот сигнал поступает непосредственно от контролируемой цепи или предварительно обрабатывается через делители напряжения или усилители, если начальное значение выходит за пределы допустимого диапазона.

Например, если напряжение значительно превосходит рабочий диапазон входного канала, используется делитель напряжения, уменьшая его перед подачей на чип. Если же сигнал недостаточно сильный, применяется предварительный усилитель, увеличивающий амплитуду до нужного уровня.

Центральным элементом цифрового вольтметра выступает аналого-цифровой преобразователь, осуществляющий перевод аналогового сигнала в цифровой формат, выражаемый числами.

Алгоритм работы АЦП состоит из нескольких этапов:

Дискретизация: первый этап, на котором аналоговый сигнал, представленный в виде постоянно изменяющейся физической величины, подвергается регулярным мгновенным фиксациям через точно установленные временные промежутки. Однако уменьшение временного шага между отдельными замерами ведёт к повышению точности последующего представления сигнала в цифровом виде. Более короткие интервалы обеспечивают большую детализацию исходного сигнала, что позитивно отражается на качестве дальнейших расчётов и отображениях данных.

Квантование: следующий важный шаг — процедура квантования зарегистрированных значений. После фиксации значений аналогового сигнала они подвергаются обработке, заключающейся в приближении каждого полученного числа к ближайшему возможному уровню разрешения АЦП.

Кодирование: Завершающим этапом преобразования служит операция кодирования. Уже квантовавший сигнал представляется теперь в виде последовательности битов, формирующей двоичное число.

Одной из центральных характеристик цифрового вольтметра является диапазон измерений. Данный параметр представляет собой совокупный перечень допустимых значений напряжения, которые прибор способен уверенно и стабильно регистрировать.

Оптимально подобранный диапазон измерений позволяет достичь важных аспектов функционирования прибора:

Надежность и продолжительность срока службы: Если рабочая нагрузка превысит верхний порог указанного диапазона, существует высокий риск повреждения чувствительных элементов устройства.

Высокая точность измерений: Неправильное сочетание измеряемого напряжения и ограниченного диапазона прибора создает предпосылки для возникновения серьезных отклонений и некорректных результатов измерений.

Помимо указанных моментов, диапазон измерений влияет на возможность эффективной адаптации прибора к разнообразным условиям эксплуатации. Некоторые модели цифровых вольтметров дополнительно оснащаются возможностью автоматического подбора диапазона, что значительно упрощает процесс измерений и снижает вероятность ошибок.

Наиболее распространены следующие стандартные пределы:

До 100 мВ для сверхточных исследований маломощных сигналов.

До 1 В для лабораторных работ и диагностики электронных схем.

До 10 В широко используемый предел для стандартных лабораторий и ремонтных мастерских.

До 100 В часто применяется в строительстве и промышленности.

До 1000 В необходим для специализированных применений, таких как диагностика силовых установок и высоковольтных цепей.

Многие современные цифровые вольтметры оснащены функцией автоматического выбора диапазона. При активации этой опции прибор самостоятельно выбирает оптимальный диапазон измерений исходя из текущих условий нагрузки. Однако такая функция увеличивает сложность конструкции и повышает стоимость устройства, поэтому пользователи зачастую предпочитают ручной выбор диапазона [3].

Важная характеристика цифрового вольтметра — это класс точности. Этот параметр определяет допустимые границы возможных отклонений при измерении напряжения. Необходимо помнить, что величина погрешности обусловлена не только конструктивными особенностями самого прибора, но и внешними факторами, такими как условия эксплуатации, окружающая среда, воздействие электромагнитных полей и другие факторы, которые могут повлиять на точность измерений.

Стандартные классы точности цифровых вольтметров различаются следующим образом:

- 0,1 — это наивысший класс точности, который выбирается преимущественно для выполнения научных исследований, экспериментальной деятельности и калибровочных мероприятий.
- 0,2 — следующий по рангу класс точности, подходящий для работы в хорошо оборудованных лабораториях и исследовательских центрах. Такая точность позволяет проводить серьезные научные эксперименты и анализировать результаты с минимальной степенью неопределенности.
- 0,5 — распространенный класс точности, используемый повсеместно в промышленном оборудовании, технической диагностике и контроле технического состояния механизмов и агрегатов
- 1 — класс точности, соответствующий минимальным стандартам точности, подходящим для обычных бытовых измерений, простой диагностики и проверочных действий.

- 2 — самый низкий класс точности, при котором точность измерений снижается настолько, что такие приборы подходят лишь для грубой оценки состояния электрических цепей или быстрой предварительной диагностики неполадок [4].

Одним из важнейших этапов проектирования цифрового вольтметра стало определение типа микроконтроллера, который возьмет на себя обработку измерительного сигнала и управление дополнительными компонентами схемы. Для реализации данной задачи был выбран контроллер. Этот выбор обусловлен рядом преимуществ, присущих семейству PIC: высоким уровнем производительности, оптимальным объемом доступной памяти, широким набором интегрированной периферии, низкой стоимостью и удобством интеграции в проектируемые конструкции.

Важным преимуществом PIC является простота архитектуры команд и компиляторов, ведь начинающим разработчикам проще разобраться в архитектуре PIC благодаря этому превосходству. А также это сокращает сроки разработки и уменьшает риск ошибок при написании программы. Благодаря предсказуемым правилам формирования инструкций программисты могут легко оптимизировать код для достижения лучшей производительности и снижения расхода энергоресурсов, что важно для автономного устройства. Программы на PIC занимают меньше места в памяти микроконтроллера, что выгодно при работе с простыми проектами вроде цифрового вольтметра, где критична экономия пространства памяти. В следствии оптимальной структуры команд, данное достоинство способствует снижению общего энергопотребления устройства, что актуально для автономных устройств с батареями, таких как наш разрабатываемый цифровой вольтметр [5].

Для подтверждения обоснованности выбора микроконтроллера PIC было проведено исследование возможных альтернативных вариантов, в рамках которого рассматривались различные типы микроконтроллеров, представленные на современном рынке, включая широко известные семейства AVR, STM и ARM. Данный сравнительный анализ позволил оценить преимущества и ограничения каждого из рассмотренных типов, что помогло принять взвешенное решение и сделать вывод о целесообразности использования именно микроконтроллеров PIC для конкретной проектной задачи.

Среди достоинств микроконтроллеров AVR стоит отметить богатую инфраструктуру поддержки, выраженную в наличии огромного количества готовых библиотек, которые способствуют упрощению процесса разработки и обеспечивают быстрый старт новых проектов. Еще одно важное преимущество заключается в поддержке целого ряда стандартных интерфейсов связи, таких как последовательный интерфейс UART, шина SPI и протокол I^2C, которые предоставляют широкие возможности для интеграции различных периферийных устройств и расширяют круг решаемых задач. Немаловажным достоинством выступает оптимальное соотношение ценовой политики и эксплуатационных характеристик, что позволяет рекомендовать данную платформу для массового производства и внедрения в повседневную практику инженеров и любителей радиоэлектроники. Тем не менее, существуют определенные нюансы, которые могут оказать негативное влияние на процесс разработки. Так, некоторые важные настройки требуют тщательной установки конфигурационных битов и регистров, что нередко влечет за собой возникновение ошибок вследствие неверной инициализации. Подобные ситуации способны повысить вероятность проявления дефектов в работе устройства, увеличивая временные затраты на выявление и устранение выявленных неполадок, а также усложняя последующую диагностику неисправности, особенно для начинающих разработчиков, недостаточно знакомых с внутренней структуры микроконтроллеров AVR [6].

Микроконтроллеры семейства STM известны своей выдающейся производительностью и способностью параллельно обрабатывать несколько задач одновременно, что позволяет успешно управлять сразу несколькими функциями и процессами. Эта особенность крайне полезна в ситуациях, когда возникает необходимость координировать сложные процедуры и обеспечивать эффективное распределение нагрузки между различными элементами системы. Вместе с тем, микроконтроллеры STM располагают

внушительным объемом встроенной флэш-памяти и оперативной памяти, что обеспечивает хранение значительных массивов данных и поддерживает исполнение весьма сложных программ непосредственно на самом микроконтроллере без необходимости внешнего хранилища или дополнительной подсистемы хранения.

Тем не менее, настройка и грамотная эксплуатация периферийных устройств STM, таких как интерфейсы ввода-вывода, таймеры и аналогово-цифровые преобразователи, требуют значительно более серьезной теоретической подготовки и практических навыков по сравнению с работой с микроконтроллерами, имеющими более простую структуру, такими как PIC или AVR. Кроме того, общий функционал и показатели производительности, характерные для микроконтроллеров STM, выходят далеко за рамки реальных потребностей обычного цифрового вольтметра. Вместо того, чтобы удовлетворять узконаправленным нуждам подобного устройства, избыток возможностей и мощности превращается в дополнительную нагрузку на систему, приводящую к необоснованному росту стоимости проекта и напрасному перерасходу материальных ресурсов.

Микроконтроллеры ARM построены на основе мощных ядер ARM Cortex-M, отличающихся превосходной производительностью при сохранении умеренного уровня энергопотребления. Данная характеристика достигается благодаря продуманному балансу между мощностью центрального процессора и энергоэффективностью архитектурных решений, что позволяет уверенно справляться с задачами повышенной сложности, такими как быстрая обработка огромных объемов данных, параллельные вычисления и функционирование в многопоточной среде. Практически каждая модель микроконтроллера семейства ARM оснащена обширным арсеналом периферийных устройств, включающих стандартные интерфейсы передачи данных, такие как универсальные асинхронные приёмопередатчики (UART), скоростные каналы обмена информацией по протоколу SPI, полноценные сетевые соединения через Ethernet-контроллеры, а также возможность организации промышленных сетей посредством шин стандарта CAN.

Однако стоит помнить, что микроконтроллеры ARM прекрасно зарекомендовали себя в сфере сложных систем и высокотехнологичных решений, где требуется значительная вычислительная мощность и разнообразие периферийных модулей. Но также в случае разработки обычного цифрового вольтметра, когда ключевую роль играют факторы низкой стоимости, максимальная простота данной конструкции и минимальный уровень потребления энергии, ARM выглядит совершенно неуместно [7].

Создание электронных устройств невозможно без понимания теории, подкрепленной наглядным представлением всех стадий разработки. Далее приведены основные элементы, демонстрирующие ход проектирования цифрового вольтметра (рисунок 1).

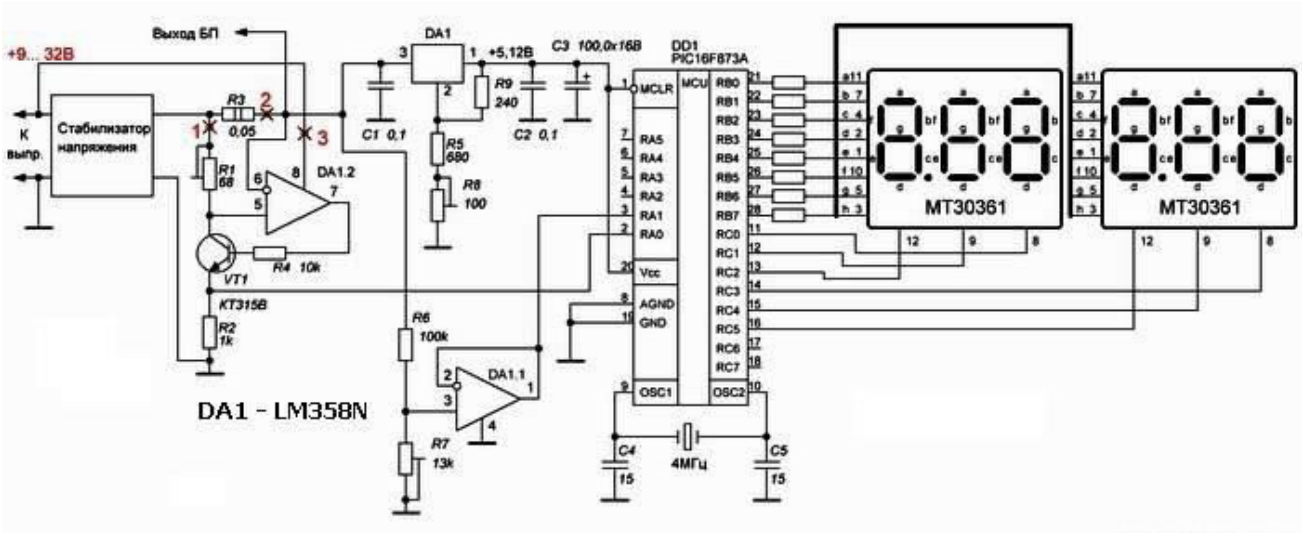


Рисунок 1. Принципиальная схема устройства [8]

Принципиальная схема отражает основные элементы устройства и пути прохождения сигналов. Особое внимание заслуживает система отображения информации, которая выполнена на основе светодиодных индикаторов с общим катодом. Один из имеющихся в составе микросхемы LM358 операционных усилителей исполняет роль повторителя напряжения, главной целью которого является надежная защита основного контроллера в случае непредвиденных сбоев или нестандартных ситуаций. В рамках рассматриваемой схемы датчик тока реализуется посредством использования специального резистора R3. Главным преимуществом подобного подхода к измерению тока является тот факт, что исчезает потребность в трудоемком и дорогостоящем процессе точной подгонки резистора с сопротивлением порядка 0,001 Ом. Ток нагрузки, необходимый для последующего этапа оцифровки, извлекается непосредственно с нагрузочного резистора преобразователя, обозначаемого на схеме буквой R2. Особенностью данной схемы является требование соблюдения строгого лимита по напряжению на специальном фильтрующем конденсаторе, находящемся после выпрямительного узла блока питания. Данное ограничение вызвано техническими характеристиками операционной микросхемы, рассчитанной на максимально допустимую величину напряжения питания не выше 32 В. Кроме того, нельзя забывать и о другом важном аспекте: максимальное входное напряжение специализированного стабилизирующего элемента типа КР142ЕН12А ограничено отметкой в 37 В, что также необходимо учитывать при проектировании и сборке устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Что такое вольтметр и как его используют? – Текст: электронный // https://www.vialight.ru: [сайт]. – URL: https://www.vialight.ru/index.php?route=extension/simple_blog/article/view&simple_blog_article_id=144 / (дата обращения: 10.03.2025).

2. Вольтметры: виды и принцип работы. – Текст: электронный // https://www.souz-pribor.ru: [сайт]. – URL: https://www.souz-pribor.ru/articles/voltmetry-vidy-i-printsip-raboty / (дата обращения: 10.03.2025).

3. Цифровой вольтметр: характеристики и преимущества. – Текст: электронный // https://www.kipspb.ru: [сайт]. – URL: https://www.kipspb.ru/articles/po/cyfrovoy.html / (дата обращения: 10.03.2025).

4. Описание типа средства измерений. – Текст: электронный // https://www.ktopoverit.ru: [сайт]. – URL: https://www.ktopoverit.ru/prof/opisanie/94316-25.pdf / (дата обращения: 7.04.2025).

5. PIC или AVR: какой микроконтроллер выбрать. – Текст: электронный // https://microkontroller.ru: [сайт]. – URL: https://microkontroller.ru/pic-microcontroller-projects/pic-ili-avr-kakoj-mikrokontroller-vybrat/?ysclid=mb5dgdrw5s448209230 / (дата обращения: 7.04.2025).

6. Difference Between AVR and PIC. – Текст: электронный // https://www.tutorialspoint.com: [сайт]. – URL: https://www.tutorialspoint.com/difference-between-avr-and-pic / (дата обращения: 20.04.2025).

7. Различие между микроконтроллерами AVR, ARM, 8051 и PIC. – Текст: электронный // http://digitrode.ru: [сайт]. – URL: http://digitrode.ru/computing-devices/mcu_cpu/1253-mikrokontrollery-8051-pic-avr-i-arm-otlichiya-i-osobennosti.html / (дата обращения: 20.04.2025).

8. Цифровой амперметр и вольтметр на PIC16F873A. –Текст: электронный // https://cxema.my1.ru: [сайт]. – URL: https://cxema.my1.ru/publ/instrumenty/izmeritelnaja_tekhnika/cifrovoj_ampermetr_i_voltmetr_na_pic16f873a/47-1-0-5691 / (дата обращения: 25.04.2025).

DEVELOPMENT OF A DIGITAL VOLTAGE MEASUREMENT SYSTEM BASED ON PIC CONTROLLER

Kuchumov D.M.

Supervisor: Muratov R.M., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper examines a digital voltmeter, which is designed to improve the accuracy

of experimental calculations. The advantages and disadvantages of the digital voltmeter are considered. Also presented are the circuits of the digital voltmeter, which show advantages over conventional ones.

УДК 623.618.7

КОНЦЕПЦИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ РЕАЛИЗАЦИИ 2,5D КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Ломаева Е.К.
Научный руководитель: Козин К.В., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Работа посвящена разработке методики проектирования Большой Гибридной Интегральной Схемы (БГИС) с трехмерным размещением компонентов на многослойной печатной плате (МПП). Рассматриваются преимущества объемного монтажа, включая уменьшение габаритов, снижение паразитных параметров и увеличение надежности.

Современная микроэлектроника столкнулась с парадоксом: требования к миниатюризации устройств растут, тогда как увеличение производительности сопровождается ростом тепловыделения. Традиционные МПП, где компоненты размещаются только на поверхности, достигли пределов плотности монтажа. Переход к 2,5D-конструированию, подразумевающему трёхмерную интеграцию элементов *внутри* платы, открывает новые возможности (рис. 1). Актуальность данной работы обусловлена необходимостью решения двух ключевых проблем: сокращение высокопроизводительных устройств; обеспечение эффективного теплоотводат в компактных конструкциях.

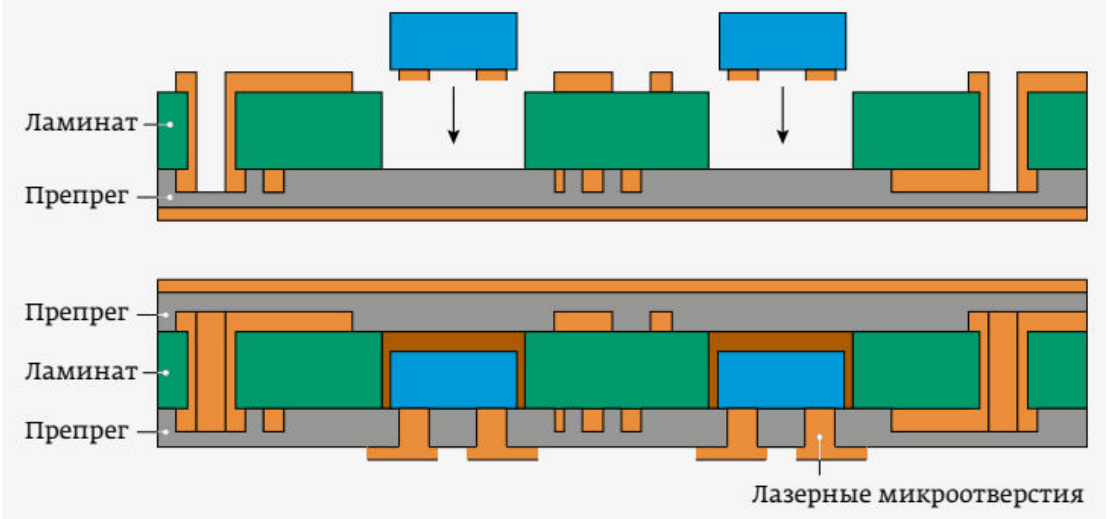


Рисунок 1. Размещение встроенных компонентов в объеме ламината

В современных условиях производство МПП требует применения инновационных технологий, среди которых особое место занимают методы высокоплотного монтажа (HDI), лазерное сверление микроотверстий и их последующая металлизация. Эти подходы обеспечивают высокую точность и надежность изделий, что особенно важно для микроэлектроники. В ходе исследований были рассмотрены два основных метода создания керамических слоев:

1. Раскатывание – позволяет точно регулировать толщину материала, но требует тщательного контроля качества поверхности основы.

2. Нанесение покрытия – обеспечивает равномерное распределение материала, однако для его реализации необходимо специализированное оборудование [1].

Оба метода имеют свои преимущества, но их применение сопряжено с необходимостью строгого соблюдения технологических норм.

Одним из ключевых аспектов проектирования МПП является оптимальное расположение элементов. Современные технологии позволяют встраивать в плату [2]:

- тонкопленочные компоненты (резисторы, конденсаторы);
- дискретные элементы (микросхемы, дроссели).

Для этого используются препреги и кристаллические подложки, обеспечивающие надежное соединение. Например, в четырехслойной плате первые три слоя могут быть заняты SMD-компонентами, а на внешнем слое размещаются более габаритные элементы, такие как варисторы. При этом важно соблюдать минимальные расстояния между компонентами, отверстиями и краями платы, чтобы избежать коротких замыканий и сохранить механическую прочность конструкции (рис. 2).

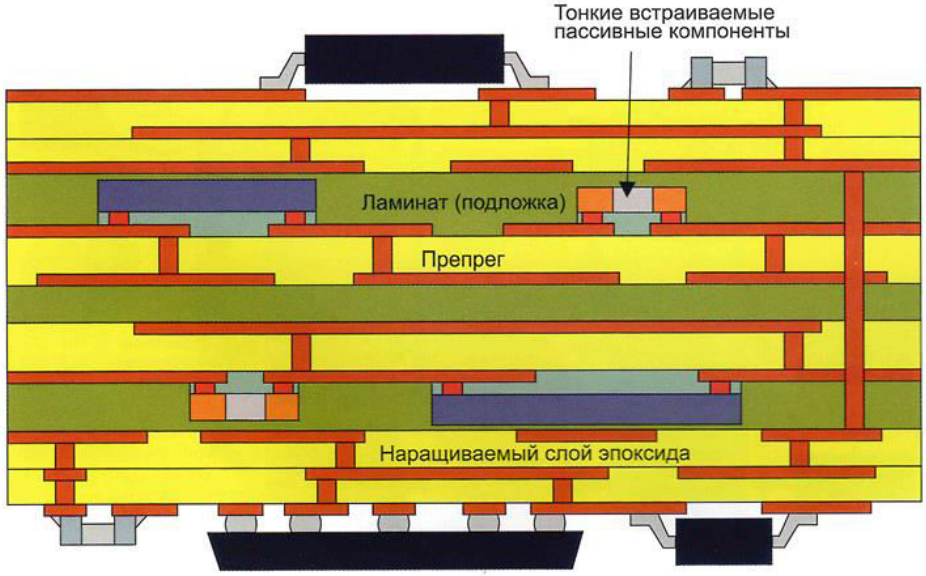


Рисунок 2.Стек печатной платы с двумя ядрами, выделенными для встроенных компонентов

Эффективный отвод тепла – одна из важнейших задач при проектировании МПП. Традиционные методы охлаждения, такие как радиаторы, увеличивают габариты устройства, что не всегда приемлемо. В качестве альтернативы предлагается:

– использование материалов с высокой теплопроводностью (например, пирографита (рис. 3)), который интегрируется между слоями препрега [3];

– применение металлизированных глухих отверстий, заполненных медью – это не только улучшает теплоотвод, но и повышает механическую стабильность платы, снижая паразитные наводки [4].

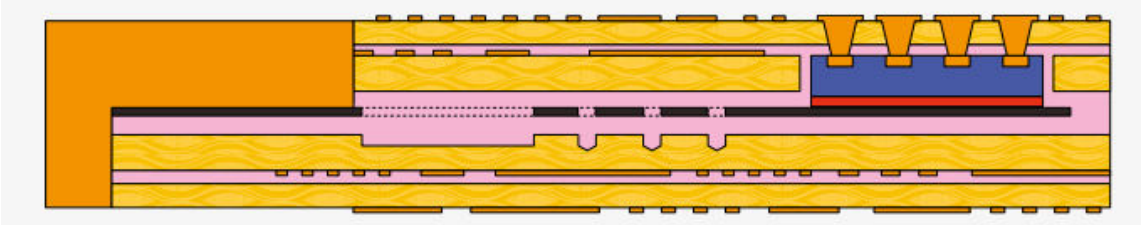


Рисунок 2.2. Встроенный теплоотвод с использованием листового пирофграфита

Для оценки эффективности разработанных решений был проведен детальный анализ массы и размеров платы. Масса рассчитывалась по формуле [5]:

$$M = \rho \cdot V, \quad (1)$$

где ρ – плотность материала (например, для стеклотекстолита – 1850 кг/м³);
V – объем платы с учетом технологических отверстий.

Благодаря оптимизации конструкции удалось добиться сокращения объема на 85% без ущерба для функциональности устройства.

Современные методы производства МПП позволяют создавать компактные, надежные и высокопроизводительные устройства. Использование передовых материалов и технологий, таких как HDI, лазерное сверление и эффективные системы охлаждения, открывает новые возможности для микроэлектроники. Дальнейшее развитие этих направлений будет способствовать миниатюризации устройств при одновременном повышении их энергоэффективности и надежности.

Предложенная концепция МПП с 2.5D конструированием открывает возможности для микроэлектроники. Уменьшение размеров и массы, а также улучшенный теплообмен обеспечивают конкурентоспособность устройств в телекоммуникациях, медицине и оборонной технике. Решения могут стать основой для развития 3D-технологий и интеграции «систем в подложке» (SiP) [6].

Проведенные исследования убедительно доказывают, что использование многослойных печатных плат с трехмерным размещением электронных компонентов открывает новые возможности для создания компактных и высоконадежных устройств. Такой подход позволяет существенно уменьшить габариты изделий без снижения их функциональных характеристик, что особенно актуально для современной микроэлектроники [7].

Проведенные исследования позволили не только подтвердить эффективность существующих решений, но и обозначили несколько важных направлений для совершенствования технологий производства многослойных печатных плат. Рассмотрим эти перспективные области более детально. Одним из ключевых аспектов, требующих особого внимания, является совершенствование процессов автоматизированной сборки. Современные производственные линии нуждаются в разработке специализированного оборудования, способного обеспечить высокоточный монтаж компонентов в сложных многослойных структурах. При этом важное значение приобретает создание интеллектуальных систем контроля, основанных на технологиях компьютерного зрения и машинного обучения, которые позволят значительно повысить точность позиционирования элементов.

Нельзя недооценивать важность системы контроля качества, которая должна охватывать все этапы производства. Речь идет о внедрении современных методов контроля, включающих прецизионные измерения геометрических параметров, неразрушающий контроль межслойных соединений и комплексный мониторинг технологических процессов. Особую перспективу представляет интеграция традиционных технологий производства МПП с современными аддитивными методами. Сочетание 3D-печати проводящих структур, лазерной металлизации и послойного синтеза функциональных элементов открывает новые горизонты для создания электронных устройств следующего поколения. Такие гибридные технологии позволяют не только значительно сократить массогабаритные показатели изделий, но и существенно расширяют их функциональные возможности.

Реализация этих перспективных направлений потребует комплексного подхода, сочетающего фундаментальные исследования с прикладными разработками. Только такой путь позволит создать действительно конкурентоспособные производственные технологии, отвечающие вызовам современной электронной промышленности. [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Родионов Ю.А*. Производство гибридных интегральных схем» (Родионов Ю.А. Производство гибридных интегральных схем: учебное пособие / Ю.А. Родионов. — Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. — ISBN 978-5-9729-0460-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/148379 (дата обращения: 16.04.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей. — С. 8.).

2. *Шихов С*. Печатные платы со встроенными компонентами: от концепции до производства // «Технологии в электронной промышленности» выпуск №1 – 2025, - 26 - 31 с.

3. *Абрамов А., Боброва Ю.* Печатные платы со встроенным теплоотводом на основе листового пирографита // Журнал «Электроника: Наука, технология, бизнес», выпуск №9, - 2022, 82 - 88 с.

4. Патент RU №2677633 C1, МПК H05K 1/02 (2006.01). Конструкция многослойных печатных плат со встроенным теплоотводом №2017143348/09: заявл. 12.12.2017: опубл. 18.01.2019 / Жукова Т.А, Яхин И.Н., Степанова А.С., Иванов Б.И., Казаков С.В., Сапожников А.И. – 8 с.

5. ГОСТ 10317 - 79 Печатные платы. Основные размеры: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26.04.1979 №1541 – ст.: дата введения 1980 - 01 - 01. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294840/4294840365.pdf (дата обращения 06.05.2025). – Текст: электронный.

6. *Вертянов Д*. Технология внутреннего монтажа бескорпусных элементов и особенности проектирования микросистем со встроенными кристаллами / С. Евстафьев, П. Виклунд, В. Сидоренко // Журнал «Электроника: Наука, технология, бизнес», выпуск №6, - 2020, 96 - 102 с.

7. *Кондаков А.К*. Определение массогабаритных показателей конструкции блока РЭС: методическое пособие для выполнение практического задания для студентов радиотехнического факультета по дисциплине «Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств» / А.К. Кондаков. – Томск, 2012. - 6 с.

8. *Ломаева Е.К*. Разработка больших гибридных интегральных схем с использованием размещения компонентов в объеме многослойной печатной платы / Е.К. Ломаева // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2025 [Текст]: материалы XII Молодежной международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов – Казань, 2025.

THE CONCEPT OF PRINTED CIRCUIT BOARDS FOR THE IMPLEMENTATION OF 2,5D DESIGN OF ELECTRONIC DEVICES

Lomaeva E.K.

Supervisor: Kozin K.V., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The work is devoted to the development of a design methodology for a Large Hybrid Integrated Circuit (LHIC) with three-dimensional component placement on a multilayer printed circuit board (MCB). The advantages of volumetric installation are considered, including a reduction in size, a reduction in parasitic parameters and an increase in reliability.

УДК 612.111.15

МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАСЫЩЕНИЯ КРОВИ КИСЛОРОДОМ ПОСРЕДСТВОМ ПУЛЬСОКСИМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

Мамин Р.Г.

Научный руководитель: Муратов Р.М., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Доклад представляет методологию неинвазивного метода измерения насыщения крови кислородом с использованием пульсоксиметрического датчика. Рассматриваются физические принципы работы датчика, факторы, влияющие на точность измерений и алгоритмы расчёта. Описанная методология лежит в основе разработки и клинического применения пульсоксиметров для мониторинга ключевых параметров оксигенации крови.

Основу метода пульсоксиметрии составляет измерение поглощения света определенной длины волны гемоглобином крови. Гемоглобин служит своего рода фильтром, причем «цвет и «толщина» этого естественного фильтра могут меняться. «Цвет» фильтра зависит от количества кислорода, связанного с гемоглобином, или, иными словами, от процентного содержания оксигемоглобина. На этом базируется способность пульсоксиметра устанавливать степень оксигенации крови. На изменения «толщины» фильтра влияет пульсация артериол: каждая пульсовая волна увеличивает количество крови в артериях и артериолах. Врач определяет это как пульс, а пульсоксиметр — как «утолщение» фильтра. Так измеряются частота пульса и амплитуда пульсовой волны. Таким образом, применение одного принципа измерения позволяет определить сразу три диагностических параметра: степень насыщения гемоглобина крови кислородом, частоту пульса и его «объемную» амплитуду.

Внутри датчика, работающего пульсоксиметра находится источник красного света — светодиод (LED — light-emitting diode). В действительности в датчике их два, оба функционируют, но мы видим лишь красный свет, поскольку второй светодиод дает невидимое глазом инфракрасное (ИК) излучение. На противоположной части датчика располагается фотодетектор, который определяет интенсивность падающего на него светового потока (рисунок 1). Фотодетектор измеряет излучение обоих светодиодов, кроме того, он способен улавливать окружающий свет. Когда между светодиодами и фотодетектором находится палец или мочка уха пациента, часть излучаемого света поглощается, рассеивается, отражается тканями и кровью, и световой поток, достигающий детектора, ослабляется [1].

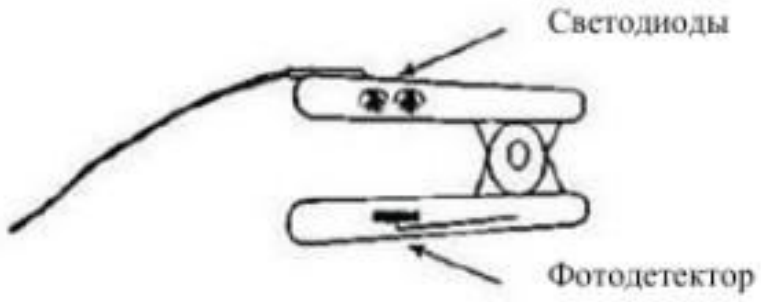


Рисунок 1. Датчик пульсоксимтера

Из всех этих явлений нас интересует поглощение светового потока кровью, протекающей по сосудам, и не всей, а только артериальной, поскольку цель пульсоксиметрии — измерение степени насыщения гемоглобина артериальной крови кислородом.

Гемоглобин — общее название белков крови, содержащихся в эритроцитах и состоящих из четырех цепочек бесцветного белка глобина, каждая из которых включает одну группу гема. Разновидности гемоглобина имеют собственные названия и обозначения (фетальный Hb, MetHb и пр.).

Оксигемоглобин — полностью оксигенированный гемоглобин, каждая молекула которого содержит четыре молекулы кислорода (O2). Обозначается HbO2.

Дезоксигемоглобин — гемоглобин, не содержащий кислорода. Называется также восстановленным, или редуцированным, гемоглобином и обозначается Hb.

Ткани, через которые проходят оба световых потока, являются неизбирательным фильтром и равномерно ослабляют излучение обоих светодиодов. Степень ослабления зависит от толщины тканей, наличия кожного пигмента, лака для ногтей и прочих препятствий на пути света.

Гемоглобин, в отличие от тканей, — это цветной фильтр, причем на цвет фильтра влияет степень насыщения гемоглобина кислородом.

Дезоксигемоглобин, имеющий темно-вишневый цвет, интенсивно поглощает красный свет и слабо задерживает инфракрасный. Поэтому если на кровь, не содержащую кислорода,

направить красный и инфракрасный свет, то первый будет почти полностью задержан, а второй — лишь несколько ослаблен. И наоборот, оксигемоглобин хорошо рассеивает красный свет (и потому сам имеет красный цвет), но интенсивно поглощает инфракрасное излучение.

Таким образом, соотношение двух световых потоков, дошедших до фотодетектора через мочку уха или палец, зависит от степени насыщения (сатурации) гемоглобина крови кислородом. По этим данным, используя специальный алгоритм, рассчитывают процентное содержание в крови оксигемоглобина.

На рисунке 2 условно, в виде слоев, показаны препятствия, которые световые потоки, излучаемые светодиодами, встречают на пути к фотодетектору.

Свет частично рассеивается, поглощается и отражается тканями пальца или мочки уха. Толщина биологического фильтра в каждом случае индивидуальна, но при стабильном положении датчика практически постоянна. Она легко учитывается пульсоксиметром, который настраивает интенсивность свечения светодиодов, чтобы излучаемый ими свет мог в достаточном количестве проникать сквозь толщу тканей. Однако при движении больного или смещении датчика расстояние между светодиодами и фотодетектором становится непостоянным, что приводит к появлению артефактов.

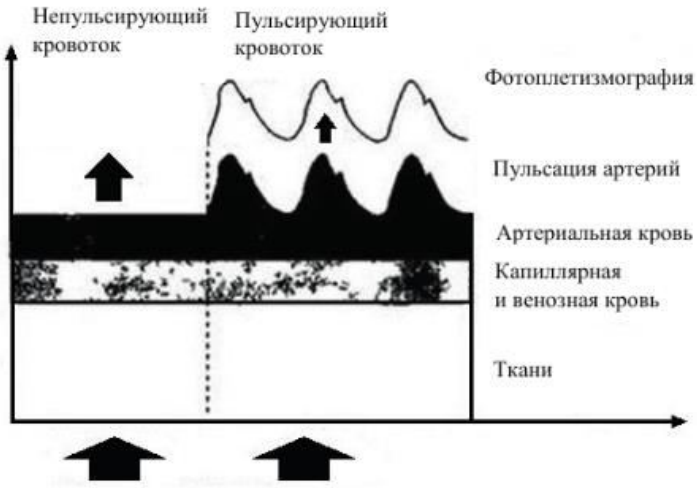


Рисунок 2. Поглощение световых потоков от светодиодов тканями

Следующее препятствие на пути светового потока — венозная и капиллярная кровь — первый избирательный фильтр, который ослабляет красное и инфракрасное излучение неодинаково. Соотношение величин двух световых потоков, прошедших через данный фильтр, зависит от концентрации окси- и дезоксигемоглобина в крови. Но поскольку пульсация венул и капилляров незначительна, объем крови, содержащийся в них, можно считать постоянной величиной, которая просто измеряется и легко учитывается при расчетах.

Однако если датчик слишком сильно сдавливает палец или мочку уха, тем самым нарушая отток крови от тканей, пульсация артериального кровотока способна передаваться на вены. Пульсоксиметр не отличает пульсацию артерий от пульсации вен, а потому начинает включать в расчет абсорбцию света венозной кровью, занижая результат. Это необходимо иметь в виду при установке датчика.

Артефактное занижение результата может возникать и в момент кашля, порождающего мощные волны давления в венозной системе.

Высокие венозные волны могут появляться на фотоплетизмограмме, если датчик находится значительно ниже уровня сердца. Чтобы самому убедиться в этом, достаточно встать и опустить руку с датчиком вниз. Во многих случаях такое действие сопровождается удвоением частоты пульса и занижением сатурации.

Следующий слой на схеме — это кровь, остающаяся в артериолах к концу каждой пульсации, своего рода «конечно-систолический объем» артериального русла.

В итоге из трех вышеназванных слоев выходят два световых потока, по-разному ослабленных, но постоянных. Затем они проникают через последний слой — кровь, пульсирующую в артериях [2].

В момент, предшествующий сердечному сокращению, ослабление световых потоков обусловлено первыми тремя слоями: на фотодиод падает излучение, которое пульсоксиметр расценивает как фоновое. Когда до артерий доходит очередная пульсовая волна, объем крови в них увеличивается и поглощение света изменяется. На пике пульсовой волны различие между фоновым и текущим током фотодетектора становится максимальным. Пульсоксиметр измеряет это различие и считает, что причина его — в дополнительном количестве артериальной крови, появившейся на пути излучения. Этой информации оказывается достаточно, чтобы по специальному алгоритму рассчитать степень насыщения гемоглобина артериальной крови кислородом.

В различных моделях пульсоксиметров степень насыщения гемоглобина артериальной крови кислородом (в % от общего содержания гемоглобина) обозначается неодинаково:

• SAT — сатурация (насыщение);

• HbO2 — процентное содержание HbO2 от общего количества гемоглобина;

• SaO2 — насыщение артериальной крови кислородом, измеренное лабораторным инвазивным методом;

• SpO2 — насыщение артериальной крови кислородом, измеренное неинвазивным методом пульсоксиметрии.

Последнее обозначение — наиболее употребляемое и самое корректное, поскольку предполагает, что результат измерения зависит от особенностей метода. Например, SpO2 при наличии в крови карбоксигемоглобина будет выше истинной величины SaO2, измеренной лабораторным методом.

В современных моделях пульсоксиметров пульсация артериол выводится на дисплей в виде кривой. Поскольку эта кривая отражает колебания объема артериального русла, измеренные фотометрическим методом, она называется фотоплетизмограммой (ФПГ). Форма ФПГ показана на рисунке 3.

Пульсоксиметр способен рассчитывать SpO2 по каждой волне ФПГ, а частоту пульса — по каждому интервалу между волнами.

Рисунок 3. Дисплей пульсоксиметра

Информация о снижении или повышении SpO2 отражается на дисплее с некоторой задержкой; в отдельных случаях она составляет несколько десятков секунд. Главная причина задержки заключается в том, что датчик монитора измеряет сатурацию на самой периферии кровеносного русла, также стоит учесть, что он устанавливается на самых удаленных от центра частях тела — пальцах. При каждом сердечном сокращении волна давления распространяется по артериям с очень большой скоростью, и интервал между тонами сердца и волнами на ФПГ исчисляется долями секунды. Поэтому можно считать, что фотоплетизмограмма колеблется практически синхронно с сердечными сокращениями.

Но скорость кровотока значительно ниже скорости распространения волн давления в сосудах, а порция крови, оттекающей от сердца, передает информацию о гипоксемии лишь тогда, когда доходит до периферии и попадает в поле зрения датчика. Таким образом, скорость реакции пульсоксиметра на изменения SpO2 определяется линейной скоростью артериального кровотока, которая, в свою очередь, зависит от сердечного выброса и просвета сосудов. В норме кровь очередного ударного объема достигает пальцевого датчика через 3–5 с, а ушного — через 2–3 с после сердечного сокращения.

Каждая молекула гемоглобина может связывать до четырех молекул кислорода. Однако эта связь стабильна, когда молекула гемоглобина связана именно с четырьмя молекулами или, когда гемоглобин вообще с ними не связан. Состояние очень неустойчиво, когда существует связь с 1–3 молекулами кислорода. Поэтому гемоглобин присутствует в организме в двух видах: либо лишенный кислорода (гемоглобин Hb), либо гемоглобин, связанный с четырьмя молекулами кислорода (оксигемоглобин HbO2).

Сатурацией кислорода называют отношение количества оксигемоглобина к общему количеству гемоглобина в крови, выраженное в процентах. Определение сатурации можно записать в виде формулы (1) [3]:

$$SpO_2 = \frac{HbO_2}{HbO_2+Hb} \cdot 100\% \quad (1)$$

На рисунке 4 представлена структурная схема пульсоксиметра. Рассмотрим ее подробнее.

Рисунок 4. Струкутрная схема пульсоксиметра

Пульсоксиметр состоит из следующих основных узлов:

1) фотодиод регистрирует сигнал с излучателей (светодиодов);

2) усилитель усиливает сигнал, зарегистрированный с фотодиода;

3) схема переключения каналов отвечает за переключение режимов приема сигналов — их три:

• режим, при котором фотодиод регистрирует излучение красной части спектра (длина волны — 660 нм);

• режим приема фотодиодом инфракрасной части спектра (длина волны — 940 нм);

• измерение темнового тока: в данном режиме излучение обоих светодиодов отсутствует, при этом фотодиод генерирует так называемый темновой ток, получаемый исходя из особенностей его структуры и внешних (паразитных) источников света; этот режим необходим для калибровки измерений в связи с вносимой темновым током погрешностью;

4) АЦП (аналого-цифровой преобразователь) — устройство, преобразующее входной аналоговый сигнал в цифровой код;

5) блок управления яркостью и включением светодиодов предназначен для регулирования интенсивности излучения светодиодов, а также их переключений;

6) красный светодиод — источник излучения красной части спектра (около 660 нм);

7) инфракрасный светодиод — источник излучения инфракрасной части спектра (около 940 нм);

8) процессор — основной модуль управления и обработки полученных с АЦП данных; он управляет АЦП, блоком переключения каналов и блоком управления яркостью и включением светодиодов, кроме того, процессор осуществляет связь с компьютером, передавая через периферийное устройство последовательной передачи SPI данные в интерфейс CAN с последующей передачей через преобразователь CAN-USB всей информации в компьютер [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Встраиваемые информационно-измерительные системы для медицинских приборов: учебно-методическое пособие / М.В. Бабич, А.В. Чистяков, В.А. Сирица; М-во науки и высшего образования РФ. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022 — 80 с.

2. *Щеглов А.В.* Неинвазивные методы измерения импеданса биологических объектов/ *А.В. Щеглов, Т.М. Ишкаев* // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2023: Материалы X Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Казань, 13–15 апреля 2023 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. – С. 599-600.

3. *Калинина И.В.* Определение степени оксигенации крови фотометрическим методом /*И.В. Калинина* // Материалы Научной сессии: В 2 т. Направления: VIII. Экономика и финансы. IX. Управление и региональная экономика. X. Математика и информационные технологии. XI. Физические науки. XII. Естественные науки. XIII. Приоритетные технологии. XIV. Сервис и туризм. XV. Психология и педагогика, Волгоград, 22–26 апреля 2019 г./ отв. ред. А.Э. Калинина. Том 2. – Волгоград: Волгоградский государственный университет, 2019. – С. 178-183.

4. *Зырянова М.Н.* Разработка принципов построения прибора для бесконтактного измерения сатурации крови кислородом / *М.Н. Зырянова, Е.В. Сыпин* // Южно-Сибирский научный вестник. – 2016. – № 3(15). – С. 5-8.

METHODOLOGY FOR DETERMINING BLOOD OXYGEN SATURATION USING A PULSE OXIMETER SENSOR

Mamin R.G.

Supervisor: Muratov R.M., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The report presents the methodology of a non-invasive method for measuring blood oxygen saturation using a pulse oximeter sensor. The physical principles of the sensor's operation, factors affecting measurement accuracy and calculation algorithms are considered. The described methodology underlies the development and clinical application of pulse oximeters for monitoring key parameters of blood oxygenation.

УДК 681.586.78

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫХ ДАТЧИКОВ

Марков С.А.

Научный руководитель: Виноградов В.Ю., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Работа посвящена изучению современным методам контроля сейсмически активных объектов с использованием магнитно-импульсных датчиков. Актуальность темы обусловлена перспективным направлением магнитно-импульсных датчиков, способных регистрировать изменения магнитного поля, связанные с деформациями и микроразрушениями в конструкциях.

Магнитно-импульсные датчики представляют собой современное средство неразрушающего контроля, основанное на анализе изменений магнитного поля при воздействии на объект короткими импульсами намагничивания (рисунок 1). Принцип работы базируется на явлении электромагнитной индукции: при подаче импульса тока в катушке создается магнитное поле, взаимодействующее с материалом, а возникающие вихревые токи и вторичные поля регистрируются датчиком. Данная технология отличается высокой чувствительностью к дефектам (трещинам, коррозии) в ферромагнитных материалах, возможностью бесконтактного контроля сложных поверхностей и высокой скоростью измерений. Метод находит применение в дефектоскопии трубопроводов, рельсов и конструкционных элементов, контроле качества сварных швов, мониторинге механических напряжений. Перспективы развития связаны с интеграцией систем искусственного интеллекта и IoT-технологий для автоматизации процессов диагностики и прогнозной аналитики [1].

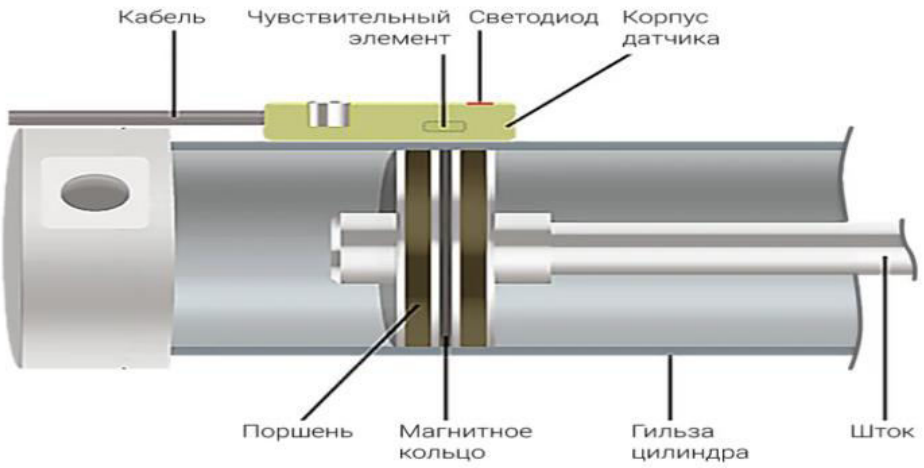


Рисунок 1. Магнитно - импульсный датчик

Электромагнитные поля представляют собой фундаментальное физическое явление, возникающее в результате движения электрических зарядов. Эти поля состоят из взаимосвязанных электрической и магнитной компонент, распространяющихся в пространстве в виде волн различной частоты. В современном мире мы сталкиваемся с широким спектром электромагнитных излучений - от низкочастотных полей, создаваемых линиями электропередач и бытовой техникой, до высокочастотных излучений систем беспроводной связи и даже ионизирующего излучения в медицинской диагностике.

Естественные источники электромагнитных полей включают магнитное поле Земли, солнечное излучение и атмосферные разряды, которые существовали задолго до появления человечества. Однако с развитием технологий появились многочисленные искусственные источники: электротранспорт, системы мобильной связи, медицинское оборудование и промышленные установки. Эти технологии кардинально изменили нашу жизнь, обеспечив возможность мгновенной связи, точной диагностики заболеваний и эффективного промышленного производства.

Вопрос влияния электромагнитных полей на живые организмы остается предметом активных научных исследований. В то время как воздействие низкоинтенсивных полей от бытовых устройств считается безопасным, существуют опасения относительно возможных последствий длительного воздействия мощных электромагнитных излучений. В природе электромагнитные поля играют важную роль в жизнедеятельности многих видов - например, птицы используют магнитное поле Земли для навигации во время миграций.

Для минимизации потенциальных рисков разработаны различные методы защиты, включая экранирование помещений специальными материалами, соблюдение нормативов по предельно допустимым уровням излучения и поддержание безопасного расстояния от мощных источников. Научное сообщество продолжает изучать как потенциальные риски, так

и новые возможности применения электромагнитных полей, включая их использование в медицинской терапии и разработке систем беспроводной передачи энергии.

Электромагнитные датчики представляют собой важнейший класс измерительных устройств, нашедших широкое применение в различных отраслях промышленности, системах автоматизации и бытовой технике. Основной принцип их функционирования основан на взаимодействии электромагнитного поля с контролируемой средой или объектом. В основе работы таких датчиков лежат фундаментальные законы электромагнетизма, открытые Фарадеем, Максвеллом и другими выдающимися физиками.

Конструктивно электромагнитный датчик обычно содержит катушку индуктивности или систему катушек, через которые пропускается электрический ток. При протекании тока в катушке создается электромагнитное поле определенной конфигурации. Когда в зоне действия этого поля появляется измеряемый объект, параметры электромагнитного поля изменяются - это может проявляться в изменении индуктивности катушки, появлении вихревых токов в объекте или других физических эффектах. Эти изменения регистрируются электронной схемой датчика и преобразуются в измерительный сигнал.

Анализ изменений магнитного поля представляет собой важное направление исследований в геофизике, промышленности и системах безопасности. Магнитное поле Земли и его локальные вариации содержат ценную информацию о геологических структурах, техногенных объектах и физических процессах. Современные методы анализа включают использование высокочувствительных магнитометров, таких как квантовые (ОПМ), феррозондовые или SQUID-датчики, способные регистрировать ничтожные изменения магнитной индукции порядка нанотесла. В геологоразведке анализ аномалий магнитного поля позволяет обнаруживать залежи полезных ископаемых, определять границы тектонических плит и исследовать строение земной коры. Особое значение имеет магнитная разведка при поиске нефтегазовых месторождений, где она дополняет сейсмические методы исследования.

В промышленности мониторинг магнитного поля используется для диагностики состояния электрооборудования, обнаружения скрытых дефектов в металлических конструкциях и контроля технологических процессов. Системы безопасности применяют анализ магнитных аномалий для обнаружения скрытого оружия или несанкционированного вмешательства в работу защищенных объектов. Современные алгоритмы обработки данных включают методы цифровой фильтрации, спектрального анализа и машинного обучения, позволяющие выделять полезные сигналы на фоне шумов. Особый интерес представляет изучение временных вариаций геомагнитного поля, связанных с солнечной активностью, которые влияют на работу систем связи и навигации.

Датчики, использующие эффект Холла, представляют собой важный класс устройств для измерения магнитных полей и параметров, связанных с ними (рисунок 2). Принцип их работы основан на физическом явлении, открытом Эдвином Холлом в 1879 году, когда в проводнике с током, помещенном в магнитное поле, возникает поперечная разность потенциалов. Современные датчики Холла преобразуют эту разность потенциалов в электрический сигнал, пропорциональный величине и направлению магнитного поля. Конструктивно такие датчики состоят из тонкой полупроводниковой пластины (обычно из арсенида галлия или кремния), через которую пропускают ток, и измерительных электродов для снятия холловского напряжения.Основное преимущество датчиков Холла - их бесконтактный принцип работы, что обеспечивает высокую надежность и долговечность. Они способны измерять как постоянные, так и переменные магнитные поля с высокой точностью и быстродействием. В зависимости от конструкции различают аналоговые датчики, выдающие напряжение, пропорциональное индукции поля, и цифровые (ключевые), которые срабатывают при достижении определенного порога магнитной индукции. Современные интегральные датчики Холла часто содержат встроенные усилители сигнала, температурные компенсаторы и цифровые интерфейсы для обработки данных.

Области применения датчиков Холла чрезвычайно широки. В автомобильной промышленности они используются для измерения положения коленчатого вала, контроля

скорости вращения колес, определения положения дроссельной заслонки. В промышленной автоматизации эти датчики применяют для бесконтактного определения положения, измерения тока, контроля скорости вращения валов. Бытовые приборы используют их в системах защиты от открытия дверей, в электрических счетчиках, компьютерных вентиляторах. Перспективы развития датчиков Холла связаны с повышением их чувствительности, уменьшением размеров и энергопотребления, а также интеграцией с системами обработки сигналов. Благодаря своей надежности, точности и универсальности, датчики на основе эффекта Холла продолжают находить новые применения в различных отраслях техники [2].

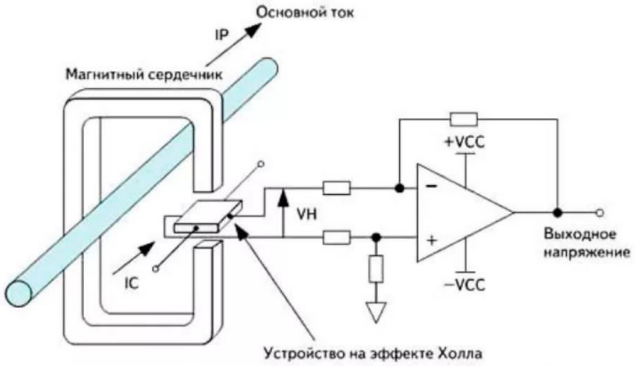


Рисунок 2. Датчик на основе эффекта Холла

Внешние магнитные помехи представляют собой одну из наиболее серьезных проблем при работе с магнитными датчиками и измерительными системами. Эти нежелательные магнитные поля возникают от различных источников, включая линии электропередач, электрические машины, трансформаторы, бытовые электроприборы и даже транспортные средства. Особенность таких помех заключается в их непредсказуемости и широком частотном диапазоне - от постоянных полей до высокочастотных электромагнитных наводок. В промышленных условиях интенсивность помех может достигать десятков миллитесла, что значительно превышает уровень полезного сигнала во многих приложениях. Основные проблемы, вызываемые внешними магнитными помехами, включают искажение результатов измерений, снижение чувствительности датчиков и появление ложных срабатываний в системах автоматики. Особенно критичны эти воздействия для высокочувствительных датчиков, таких как магниторезистивные элементы или СКВИД-магнитометры, способные регистрировать поля в нанотесловом диапазоне [3].

Представлена структурная схема магнитно-импульсного датчика (рисунок 3). В качестве сенсоров магнитного поля используются одно и двухкомпонентные сенсоры HMC1021Z и HMC1022Z компании Honeywell International Inc. Сенсоры снабжены выводами сигнала Set (установки)/ Reset (сброса), необходимого для нормальной работы ДМ. МК предназначен для обмен информацией с блоком электроники (БЭ), управление коммутатором, магнитными сенсорами, АЦП. Обмен между БЭ и ДМ осуществляется по запросу с БЭ. Коммутатор предназначен для последовательной коммутации напряжения с осей X, Y, Z магнитных сенсоров. Управление осуществляет МК с помощью двухбитного слова. Усилитель предназначен для усиления сигнала магнитных сенсоров. Коэффициент усиления находится в диапазоне 55 до 80. В качестве усилителя используется инструментальный усилитель. АЦП предназначен для оцифровки сигнала магнитных сенсоров. Разрядность АЦП равна 12 битам. Управление АЦП осуществляется МК по SPI-интерфейсу. Преобразователь питания предназначен для питания всех модулей ДМ. Преобразователь преобразует напряжение из 6 В в ±5 В, 12 В [4].

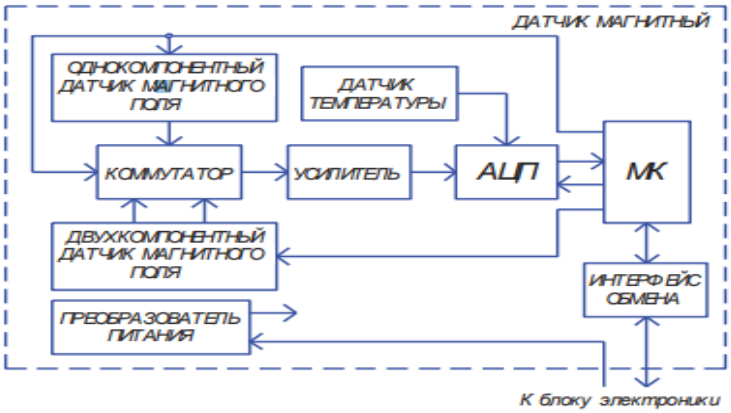


Рисунок 3. Структурная схема магнитно-импульсного датчика

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Сидоров В.П.* Инновации в агротехнике: Гидропоника и вертикальные фермы. — М.: Агропромиздат, 2023. — 144 с.

2. *Бессонов Л.*А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Гардарики, 2002. – 638 с.

3. Журнал «Электронные компоненты» / под ред. П.Р. Сидорова. - 2024. - № 2. - 120

4. *Gorbunov I.A.* Innovative Approaches to Mechanical Protection of Electronic Devices // International Journal of Electronics and Communications. - 2022. - Vol. 15, no. 3. - P. 112-120.

IMPROVEMENT OF SEISMIC MONITORING METHODS BASED ON MAGNETIC PULSE SENSORS

Markov S.A.

Supervisor: Vinogradov V.Yu., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. The article is devoted to the study of modern methods of monitoring seismically active objects using magnetic pulse sensors. The relevance of the topic is due to the promising direction of magnetic pulse sensors capable of detecting changes in the magnetic field associated with deformations and micro-fractures in structures.

УДК 621.3.011.31

ОБЗОР АНАЛИТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВЫЧИСЛЕНИЯ ИНДУКТИВНОСТИ ОДИНОЧНОГО ПЕРЕХОДНОГО ОТВЕРСТИЯ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Михо Р.Б.

Научный руководитель: Суровцев Р.С., доцент, д. т. н.

(Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г.Томск)

Аннотация. В работе кратко описан механизм возникновения паразитной индуктивности переходного отверстия на печатной плате. Рассмотрены разные аналитические выражения для её расчёта, а также методы аппроксимации, на которых основаны эти выражения. Отмечены достоинства и недостатки каждого из них.

В конструкции современных технических средств (ТС) основным элементом является печатная плата (ПП). На ней размещают различные элементы электронной компонентной базы (ЭКБ), связь между которыми обеспечивают печатные проводники, полученные в результате травления при производстве ПП. С повышением количества размещаемой ЭКБ применение

двухслойных ПП без увеличения её размеров становится затруднительным. Для сохранения габаритов и повышения технологичности применяют многослойные печатные платы (МПП), состоящие из нескольких проводящих слоёв, переход между которыми осуществляется с помощью переходных отверстий (ПО).

ПО представляет собой металлизированное отверстие меньшего диаметра по сравнению с обычными металлизированными отверстиями для монтажа элементов (Рис.1) [1].

С помощью ПО можно осуществлять переход сигнальных линий на другой слой для упрощения трассировки. Однако применение ПО при трассировке сигнальных линий имеет определённые ограничения. Прежде всего, это связано с паразитными свойствами ПО, непосредственно влияющими на целостность передаваемого сигнала. Паразитные свойства ПО заключаются в том, что ПО подобно линии передачи (ЛП) обладает собственными ёмкостью и индуктивностью, которые напрямую зависят от геометрических параметров и, по существу являются паразитными.

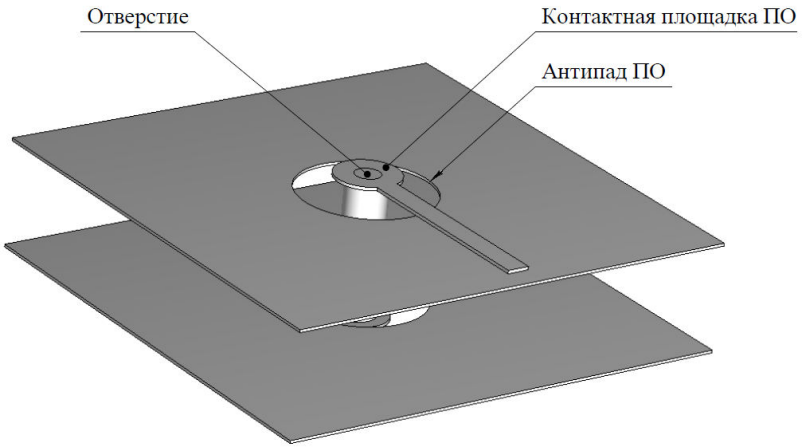


Рис. 1. Основные элементы конструкции ПО

Отдельно стоит внести ясность в понятие антипада ПО. Антипад ПО – это зона в соседнем слое, свободная от меди. Размер антипада ПО зависит от размера контактной площадки (КП) ПО и зазора между ней и окружающей её медной областью, предназначенной для размещения цепей питания или заземления.

Как правило, среди емкостной и индуктивной составляющих в ПО преобладает именно индуктивная. Приоритетной при проектировании ПО является борьба с паразитной индуктивностью. Высокочастотные (или высокоскоростные) сигналы проходя через ПО претерпевают значительные искажения, связанные с уменьшением амплитуды сигнала, а также появлением гармоник на соседних частотах, которые при длине ПО равной 1/4 длины волны сигнала вносят нежелательные составляющие в спектр сигнала [1]. Для предотвращения искажений требуется вычисление и оценка индуктивности ПО. Задача её нахождения может решается двумя методами: численно и аналитически. К численному методу относят различные 3D-решатели. К аналитическому методу относят выражения, полученные с помощью физико-математического аппарата и аппроксимации структуры ПО в виде различных конструкций. Каждый метод имеет свои достоинства и недостатки. 3D-решатели дают высокую точность расчёта, что позволяет учитывать большее количество входных данных, однако их применение имеет ограничения. К ним относятся высокий порог вхождения для применения подобных решателей, время, затрачиваемое для задания структуры и её моделирования, а также их стоимость. Аналитические выражения не требуют существенных затрат времени на освоение 3D-решатели для построения модели ПО и получения результата. Недостатком является сравнительно низкая точность расчёта, зачастую связанная со сложной структурой МПП. Целью данной работы является краткий обзор и систематизация аналитических выражений для расчёта паразитной индуктивности, создаваемой ПО.

Величина паразитной индуктивности (*L)*, создаваемой одиночным ПО на пути распространения сигнала, прежде всего, зависит от геометрии ПО. В типовых конструкциях ПП индуктивность может достигать 1,2 нГн [2].

Существующие аналитические выражения предлагают различные подходы к нахождению индуктивности ПО. Выражение (1) подходит для ПП, где структура ПО однородна, т.е. имеет одинаковый зазор от гарантийного пояска КП на всех слоях питания и заземления [2].

$$L_{via} = 20h \cdot \left[\ln\left(\frac{4h}{d}\right) + 1 \right], \tag{1}$$

где L_{via} – индуктивность ПО, нГн,
h – толщина ПП, мм,
d – диаметр отверстия, мм.

Выражение (2) использует подход нахождения индуктивности ПО через h и d. Подход заключается в том, что рядом с ПО могут располагаться печатные проводники, которые также вносят вклад в значение индуктивности [3].

$$L_{via} = \frac{\mu_0}{4\pi}\left[2h \cdot \ln\left(\frac{2h + \sqrt{\frac{d^2}{4} + (2h)^2}}{d/2} \right) + \left(\frac{d}{2} + \sqrt{\frac{d^2}{4} + (2h)^2} \right) \right], \tag{2}$$

где L_{via} – индуктивность ПО, Гн,
μ_0 – абсолютная магнитная проницаемость, Гн/м.

Следующий подход основывается на представлении ПО в виде структуры, состоящей из трёх портов, которая располагается на слоях питания или заземления [4]. На рис. 2 представлена данная структура. Индуктивность, создаваемая ПО находится в третьем порте.

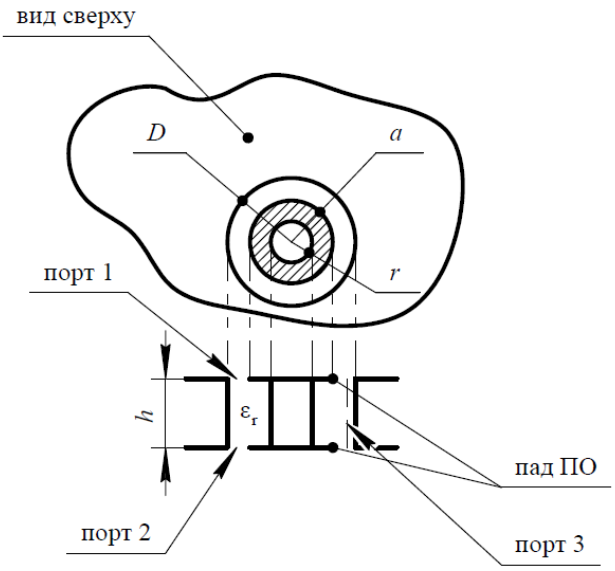


Рис. 2. Трёхпортовая структура ПО [4]

Выражение для нахождения паразитной индуктивности ПО имеет следующий вид:

$$L_{via} = -\frac{\mu_0 h}{2\pi k D} \cdot \frac{W_{00}}{W_{10}}, \tag{3}$$

где L_{via} – паразитная индуктивность ПО, Гн,

$k = k_0\sqrt{\varepsilon_r}$ – волновое число, зависящее от относительной диэлектрической проницаемости ε_r материала ПП,
k_0 – свободное волновое число,
r – радиус ПО, мм,
W_{00} и W_{10} – общие вспомогательные функции, являющиеся определителем функций Ханкеля и Бесселя, зависящие от коэффициентом m и n [4].

Рассматривая ПО как отрезок ЛП, в первом приближении можно предположить то, что одиночное ПО можно аппроксимировать отрезком коаксиального кабеля. На этом основывается выражение (4) [5]:

$$L_{cvia} = \frac{5,08 \cdot 10^{-9}}{2,54} \ln\left(\frac{D}{d}\right) \cdot h, \quad (4)$$

где L_{cvia} – коаксиальная индуктивность ПО, Гн,
D – диаметр антипада, мм.

В работе рассмотрены аналитические выражения для вычисления индуктивности одиночного ПО. Выражения (1), (2), (4) не требуют сложных математических вычислений и подходят для быстрого расчёта индуктивности. Выражение (3) несмотря на свою громоздкость, позволяет учитывать множество эффектов, возникающих в ПО, в том числе зависимость волнового числа k от относительной диэлектрической проницаемости материала, что не учтено в выражениях (1), (2), (4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Мухо Р.Б.* Обзор методов оценки и борьбы с паразитным влиянием неиспользуемой части переходного отверстия на печатной плате для обеспечения целостности цифровых сигналов // Сборник докладов XXX Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири». – Томск: Изд-во ТУСУР, 2024. – С.124 – 129.

2. *Ardizzoni J.A.* Practical Guide to High Speed Printed-Circuit-Board Layout // Analog Dialogue, 2005. – Vol. 39. – № 9. – P. 1–6.

3. *Ghosh A., Das S.K., Das A.* Interference Effects of Via Interconnect in Three Layer Printed Circuit Board // Aces Journal, – 2018. – Vol. 33. – № 5. – P. 1040 –1047.

4. *Zhang Y., Oo Z., Wei X., Liu E., Fan J., Li E.* Systematic Microwave Network Analysis for Multilayer Printed Circuit Board With Vias and Decoupling Capacitors // IEEE Transactions On Electomagnetic Compability. – 2010. – Vol. 52. – № 2. – P. 401 – 409.

5. *Simonovich L.*, *Bogatin E., Cao Y.* Method of Modeling Differential Vias // White Paper, Lamsim Enteprises inc, 2011. – 42 p.

A REVIEW OF ANALYTICAL MODELS FOR CALCULATING INDUCTANCE OF SINGLE VIA ON PRINTED CIRCUIT BOARD

Mikho R.B.
Supervisor: Surovtsev R.S., Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences
(Tomsk State University of Control System and Radioelectronics, Tomsk)

Abstract. In paper shortly described the mechanism of appearance parasitic inductance of via on a printed circuit board. Various analytical expressions for calculation are considered as well as approximation methods on which these expressions are based. The advantages and disadvantages of each of them are noted.

УДК 681.586.48

РАЗРАБОТКА НОСИМОГО УЗИ АППАРАТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Насыров А.Д.
Научный руководитель: Муратов Р.М., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В докладе обсуждается процесс исследования разработки носимого узи аппарата для выявления рака молочной железы в целях повышения качества жизни населения путем раннего обнаружения злокачественных опухолей.

Ультразвук широко используется для исследования тканей, например, для диагностики рака молочной железы (РМЖ), однако несмотря на то, что ультразвуковое исследование (УЗИ) является легкодоступным и повсеместным, согласно статистике, примерно в 70% случаев рак молочной железы был выявлен пациентками самостоятельно, что крайне затруднительно сделать на ранних стадиях.

Ультразвук используется в различных областях медицины: кардиологии, акушерстве, гастроэнтерологии, урологии, эндокринологии и многих других медицинских сферах (рис. 1). Ежегодный рост количества проводимых исследований свидетельствует о постоянно возрастающей роли ультразвука в современной медицине, также важной тенденцией стоит выделить все больше повышение интереса к обследованию своего организма, что тем более говорит о повышенной актуальности данной работы.

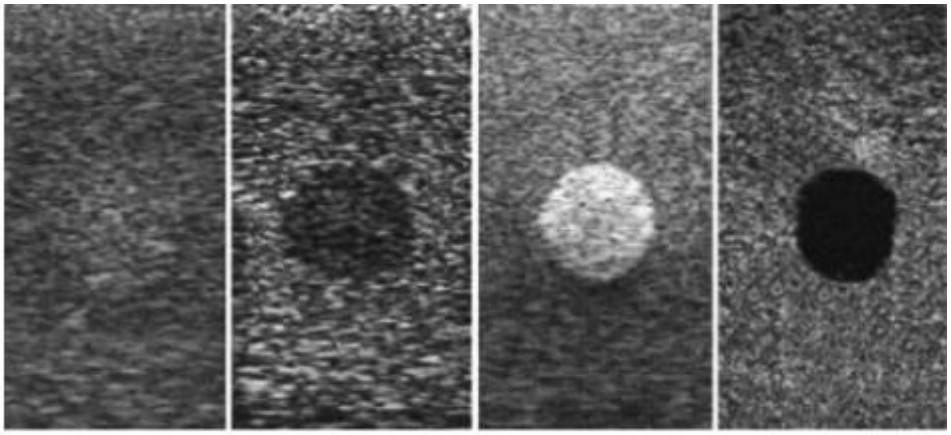


Рис. 1. Внешний вид эхогенностей: а – изоэхогенность, б – гипоэхогенность, в – гиперэхогенность ткань, г – анэхогенность

Широкое использование ультразвука в медицинском исследовании связана с безопасностью и простотой диагностики при сопоставление известных аналогичных неинвазивных методов диагностики, например, по сравнении с магнитно-резонансной томографией, технология ультразвука не подвергает обследуемого пациента воздействию рентгеновских лучей. Так, основа ультразвуковых медицинских приборов лежит в использовании прямого и обратного пьезоэлектрических эффектов. Впервые этот физический эффект был использован физиками Полем Ланжевеном и Шиловским Константином Васильевичем для создания устройства, способного обнаруживать подводные объекты методом акустического излучения и отражения.

Ультразвуковая волна представляет собой звуковое колебание частиц упругой среды с частотой выше 20 кГц, она способна успешно распространяется по мягким тканям человека, однако отражается или рассеивается от границы с более твердым, жидким или воздушным участками организма вследствие различного акустического импеданса.

Благодаря своим частотным характеристикам, движение ультразвукового колебания можно учитывать согласно законам геометрической оптики.

Развитие технологий привело к появлению нового направления в ультразвуковой диагностике – носимых устройств. Носимые ультразвуковые сканеры открывают большие возможности для развития домашней медицины и позволят продвинуть сферу персональных медицинских приборов.

Однако при разработке носимого ультразвукового сканера можно столкнуться со следующими проблемами:

– Сложность в использовании для неквалифицированного персонала;

– Программное обеспечение – разработка интуитивно понятного интерфейса;

Специфика ультразвуковой технологии предполагает надежный контакт с кожей, однако в местах с криволинейной формой поверхности это соприкосновение может нарушиться.

Решение некоторых из этих проблем находится в данной работе, а разрабатываемый прототип может позволить создать новое поколение носимых ультразвуковых устройств, которые значительно расширят возможности медицинских приборов и сделают их более доступными для потребителей по всему миру.

Перспективные направления развития включают интеграцию с мобильными устройствами для создания личных кабинетов и связи с серверами медицинских учреждений, использование искусственного интеллекта позволит наблюдать за изменениями в развитии образований, анализировать форму и опасность аномалий.

Для борьбы с раком молочной железы используют всевозможные методы лечения заболеваний, однако до сих пор одним из основных факторов снижения количества летальных исходов является обнаружение злокачественного образования на ранних этапах его развития.

Важно помнить, что стандартизированный показатель — это условная величина, которая не представляет собой реальную заболеваемость в данной группе, а показывает, как бы она выглядела, если бы структуры групп были одинаковы.

В данной работе предложен вариант разработки носимого УЗИ аппарата при помощи уменьшения размеров датчика, а также благодаря исключения квалификации пользователя, что может позволить выполнить ультразвуковую диагностику области груди самостоятельно.

Для реализации этой разработке были исследованы научные работы в области пьезоэлектриков, онкологии, радиотехники [1], схемотехники и других связанных с этой темой сфер. Решить задачу согласования сред для акустических волн и минимизировать их отражение от границы раздела сред можно введением четвертьволнового трансформирующего слоя. Этот метод широко используется в оптике и технике СВЧ. Он основан на использовании модели эквивалентной линии передачи для анализа распространения акустических волн.

Подбирая значение волнового сопротивления четвертьволнового слоя среды, можно решить задачу согласования двух сред. Между двумя средами нужно расположить дополнительный четвертьволновый слой материала с таким акустическим сопротивлением, чтобы обеспечить равенство акустического сопротивления первой среды и входного сопротивления эквивалентной линии передачи. В этом случае отраженные от обеих границ дополнительного согласующего что приведет к их взаимной компенсации. Сдвиг фазы 180 градусов обеспечивается разностью хода волн между границами в полдлины волны, а равенство амплитуд – рациональным выбором акустического сопротивления трансформирующего слоя. а равенство акустического сопротивления первой среды и входного сопротивления эквивалентной линии передачи. Для возбуждения пьезоэлектрического резонатора необходимо создать деформацию в структуре кристалла либо ввести под действие электрического поля.

Тогда благодаря своим анизотропным свойствам кристалла, при которых параметры кристалла отличаются в зависимости от выбранного направления. Так, например, для генерации акустического колебания максимальной амплитуды нужно подвести такой ток в

цепи электрода, чтобы его резонансная частота была максимально близко собственной частоте пьезоэлектрического преобразователя, так как акустический импеданс выбранной пьезокерамики обладает наименьшим значением по мере приближения к этой частоте резонанса. Другим немаловажным параметром, на который стоит обратить внимание, является скорость распространения звуковой, скорость распространения в газообразных веществах и жидкостях значительно меньше, чем в твердом теле.

Поскольку человеческий организм полон объектами различных плотностей, в медицине используют понятие эхогенности, который определяет плотность ткани, то есть чем меньше плотность, тем ниже эхогенность. Существует 4 типа эхогенности, приведём эту классификацию ниже.

– изоэхогенность – отсутствие каких-либо уплотнений, говорит о здоровом состоянии ткани, на снимках обозначается серым цветом;

– гипоэхогенность – область пониженной плотности, может свидетельствовать о наличии кисты;

– гиперэхогенность – светло-серые или белые области указывают на повышенную плотность;

– анэхогенность – показатель высокого поглощения звуковой волны и свидетельствует об отсутствии эхогенности.

Такие явления, как отражение, поглощение и рассеивание акустического колебания приводят к постепенному затуханию волны по мере распространения. Даже в однородной среде происходит затухание за счёт преобразования в тепловую энергию

На данный момент при стремлении достичь более точных пьезоакустических преобразователей, например, при изготовлении устройств, измеряющих внешние параметры с целью контроля, регулирования и измерения, применяют именно вышеописанную конструкцию. Для вариации частотных характеристик могут использовать увеличение или уменьшение зазора между электронным выводом и пьезоэлектрическими резонатором, что приводит к созданию огромного числа измерительных устройств регулировки, контроля и снятия внешних изменений и параметров среди пьезоакустических приборов.

Существует также и иное часто применяемое механическое исполнение закрепления электрода и пьезорезонатора с помощью составной конструкции. Для его реализации выполняют объединение пьезовибратора и генератора на основе других свойств, отличных от свойств пьезоматериала. Чаще всего в качестве непьезоэлектрического генератора акустических волн используют металл с высоким значением добротности, а у резонатора, использующего пьезоэлектрические свойства, должен быть высокий коэффициент, отвечающий за преобразование механической энергии в электрическую. Также были проведены работы по расчетам акустического импеданса двух и единичного слоев согласования по математической модели Кримхольца-Лидома-Матея, также были рассчитаны необходимые пропорции материалов для создания слоев необходимой плотности, обеспечивающих согласование между ультразвуковым преобразователем и кожей, при заданной толщине материала [2]. Также были выбраны и учтены лучшие геометрические размеры пьезоматериалов, позволяющие датчику работать в нужной полосе частот между показателями резонансной и антирезонансной частотами как видно на рисунке 2 [3]:

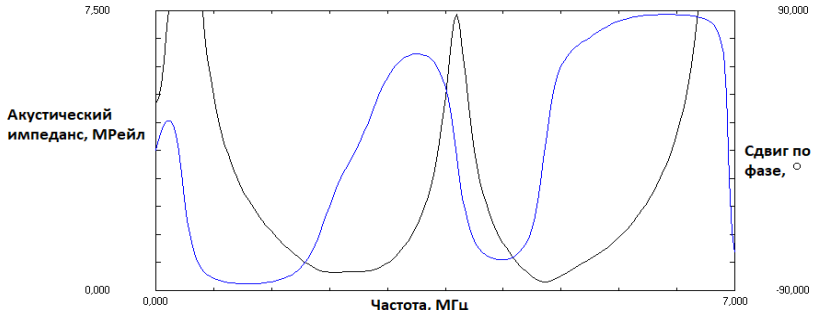


Рис. 2. График зависимости акустического импеданса и сдвига по фазе

Из приведенных выше аргументов, можно сделать вывод, что реализация носимого ультразвукового аппарата выполнима и может оказать неоценимый вклад в медицину.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток: Учеб. Пособие для вузов / В.С. Филиппов, Л.И. Пономарев, А.Ю. Гринев и др. // Под ред. Д.И. Воскресенского. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Радио и связь, 1994 - 592 с.

2. Design and comparison of PMN-PT single crystals and PZT ceramics based medical phased array ultrasonic transducer / Zhang Zhang, Jialin Xu, Jialin Xu [et al.] // Elsevier – University of Chinese Academy of Sciences, Beijing. – Beijing, 2018. – P. 9.

3. Проектирование электронных средств. Ультразвуковой контроль толщины стенок деталей сложной формы: монография / В.Г. Саиткулов. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2017. – 196 с.

DESIGN OF A WEARABLE ULTRASOUND DEVICE FOR BREAST CANCER DETECTION

Nasyrov A.D.

Supervisor: Muratov R.M., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses the process of researching the development of a wearable ultrasound device for detecting breast cancer in order to improve the quality of life of the population through early detection of malignant tumors.

УДК 621.08

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО БЕЗМАСОЧНОГО ЛИТОГРАФА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭКСПОЗИЦИИ ФОТОРЕЗИСТА

Наумов О.А.

Научный руководитель: Насыбуллин А.Р., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г.Казань)

Аннотация. В предоставленном материале описывается процесс разработки лабораторного безмасочного литографа. Проведён анализ технологии безмасочной литографии, тенденции её развития и применения в промышленной отрасли. В ходе работы произведена конструкционная разработка установки безмасочной литографии на основе готовых вариантов проекционного и фокусирующего устройств, а также разработана конструкция для позиционирования проекционного устройства.

1. Фотолитография. Представление вариантов литографии в промышленности

Фотолитография представляет собой процесс переноса изображения топологии элементов микросхемы на полупроводниковую подложку или проводящих дорожек на заготовку печатной платы электрорадиоизделия. Современные установки фотолитографии позволяют получить элементы интегральных микросхем размером до 22 нм с применением технологий мультипаттеринга или множественной экспозиции и иммерсионной фотолитографии [1]. И хоть подобная точность позволяет с высоким качеством массово производить микросхемы и печатные платы с отработанной топологией, при разработке новой топологии технология фотолитографии вызывает ряд крупных издержек. Создание и отработка производства электрорадиоизделия при помощи фотошаблона окупается только при крупной серии. Для мелких и средних серий данная технология вызывает неоправданные и неокупаемые издержки, особенно в условиях разработки в несколько этапов [2]. Одним из

наиболее дорогостоящих пунктов при разработке новой топологии является разработка и приобретение нового фотошаблона для данной топологии. Поскольку в ходе отработки топологии, её структура может изменяться, для каждого изменения необходимо приобретать новый фотошаблон. К тому же нельзя исключать неточности при производстве фотошаблона, способной вызвать брак опытной партии печатных плат или подложек.

Экспонирование фоторезиста, помимо классической литографии через фотошаблон, проводится и по ряду иных методов литографии. Например, литография без маски – это технология, используемая для проецирования или записи рисунка в фокусном пятне на подложку. Преимуществом безмасочной фотолитографии является возможность изменять литографические узоры для разных плат без затрат на создание фотошаблона, что можно использовать для создания двойного рисунка на подложке, или компенсации нелинейного поведения материала. В зависимости от типа безмасочной литографии, узор может наносится электронным лучом, пишущим лазером генератора изображений фотошаблона, либо проецироваться с внешнего носителя, представляя собой сочетание светлых и тёмных участков. [3] Для производства опытных партий и образцов целесообразнее и выгоднее применять технологию безмасочной литографии. В ходе экспонирования установкой безмасочной литографии проекция топологии может быть оптимально масштабирована, применение грамотно составленной топологии позволяет обойти оптические искажения, вызванные аберрацией оптики и интерференционной картиной.

2. Безмасочная литография на основе пространственных модуляторов отсвещения

Одно из направлений развития безмасочной литографии основывается на применении массивов поворотных микрозеркал для формирования проекции топологии микросхемы. В ходе данной работы за основу формирования изображения была взята именно эта технология. Разработка установок безмасочной литографии по сей день остаётся актуальной задачей, целью которой является снижение стоимости разработки и производства маленьких серий электронных средств и интегральных микросхем.

Система оптической литографии для своего функционирования должна включать в себя источник ультрафиолетового излучения, пространственный модулятор освещения, систему оптического формирования изображения и средства для перемещения фоточувствительной подложки относительно пространственного модулятора света [4]. Элементы пространственного модулятора могут находится в двух состояниях: «включенным» считается тот элемент, который повёрнут так, чтобы отражать ультрафиолет на поверхность фоторезиста, «выключенным», соответственно, считается элемент, повёрнутый таким образом, чтобы отражать ультрафиолет в поглотитель.

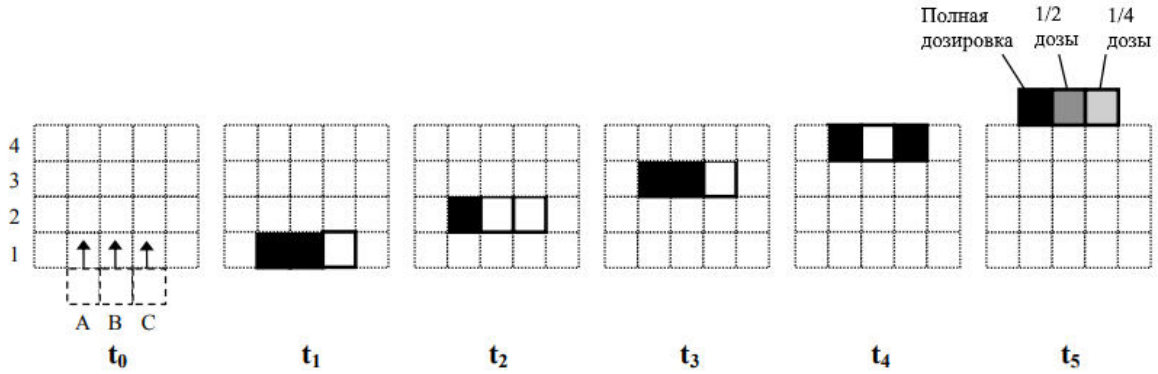


Рисунок 1. Схема дозировки DMD с разрешением 5x4 зеркала для гипотетических областей A, B и C [5]

Установки безмасочной литографии могут проецировать изображение на подложку разными способами. Один из способов – фокусировка пучка ультрафиолетового излучения в требуемую точку на плате или подложке. Данная технология ещё называется методом

определения уровня серого. Метод позволяет регулировать дозировку облучения фоторезиста, «включая» над экспонируемой полосой фоторезиста требуемое число зеркал. Таким образом, любая точка на подложке может получить долю энергии с дискретным приращением серого, максимальное значение которого означает максимальную дозировку и определяется числом зеркал в одной линии модулятора. Простейшая схема регулировки дозы для гипотетического устройства микрозеркал с разрешением 5x4 представлена на рисунке 1.

Общая энергия дозировки, приходящаяся на точку на подложки, зависит от количества включенных зеркал DMD массива, облучённости поверхности каждого зеркала и времени экспонирования конкретной точки при прохождении под зеркалом. В свою очередь, время пребывания зависит от скорости движения подложки. Если предположить, что освещённость массива зеркал равномерна и каждое зеркало имеет одинаковую облучённость, то общая дозировка, полученная точкой на подложке, определяется согласно выражению (1) [5].

$$D = I_m T N, \tag{1}$$

где D – общая дозировка точки на подложке, мДж/см^2;
I_m – облучение подложки для активного зеркала, мВт/см^2;
T – время экспонирования точки одним зеркалом, сек;
N – число активных зеркал, под которыми проходит точка, шт.

Сценический рельс, на котором установлена подложка, при этом перемещается равномерно под модулятором освещения. Скорость перемещения столика и частота поворота зеркал DMD синхронизированы так, чтобы точка на подложке перемещалась ровно на расстояние одного зеркала за время одного кадра. Время одного кадра DMD определяется по выражению (2).

$$T = \frac{P}{v}, \tag{2}$$

где P – размер проецирующего зеркала, мм;
v – скорость движения подложки.

Сочетая выражения (1) и (2), можно вывести уравнение, определяющее дозировку облучения (3).

$$D = \frac{I_m P N}{v}. \tag{3}$$

При заданном размере зеркала и интенсивности облучения, дозировку можно регулировать, изменяя скорость движения подложки, либо варьируя число зеркал, включаемых при экспонировании участка подложки. Причём, для увеличения скорости движения подложки существует верхний предел. Он обусловлен тем, что для получения дозировки только от одного зеркала, время экспонирования должно быть не меньше минимального периода кадров.

Если учесть изменчивый характер облучения подложки разными зеркалами, то уравнение (3) преобразуется, поскольку значение облучения подложки обретает характер функции, зависимой от времени [17 5]. Число активных при экспонировании зеркал также обретает характер функции, а именно двоичной функции времени, принимающей дискретные значения 0 или 1. Таким образом, общая дозировка для точки на подложке выражается уравнением (4).

$$D = \int_0^T \frac{I_m(x+vt)PN(t)}{v}\,dt, \tag{4}$$

где x – координата точки на подлодке, мкм;
t – время, сек.

Второй метод переноса топологии на подложку заключается в том, что изображения топологии делятся на участки и последовательно передаются на массив поворотных микрозеркал. Каждый участок топологии разбивается на множество светящихся точек и

фокусируется на несмежные участки подложки с помощью системы линз. Для нанесения следующего участка топологии, подложку с уже нанесённым рисунком передвигают, и на массив микрозеркал подаётся следующий участок топологии [6]. Массив DLP зеркал выстраивается согласно требуемой топологии, и выставленный таким образом рисунок можно выдерживать столько времени, сколько необходимо для правильного процесса экспозиции. При необходимости, в ориентацию зеркал массива DLP вносятся изменения передачей сигнала с компьютера, выстраивая на DLP матрице новую топологию. Для устранения мерцания отраженного от микрозеркал изображения и имитации непрерывного освещения применяется дифракционная решётка.

В процессе экспонирования, одно зеркало может с разной интенсивностью воздействовать на один участок фоторезиста на поверхности подложки, из-за чего толщина экспонированного фоторезиста в разных участках может быть разной. Чтобы свести эту погрешность к минимуму, необходимо, чтобы одно зеркало частично перекрывало соседние участки. Это способствует формированию на слое фоторезиста небольших гребней, повышающих разрешение рисунка на подложке. Путём увеличения числа наложений зеркал на смежные участки, можно добиться очень точного разрешения желаемой экспозиции [7]. Подобную установку можно реализовать таким образом, чтобы сценический рельс автоматически изменял сцену, перемещаясь по «змеевидной» траектории. При этом литографические узоры, переносимые на подложку и соответствующие элементам, напечатанным на подложке, должны смещаться по пространственному модулятору так, чтобы они казались неподвижными на постоянно движущейся подложке.

При условии, что подвижный стол движется с постоянной скоростью вдоль одного из прямолинейных участков, смещение узора достигается сдвигом модулятора на одну строку через конкретные интервалы времени. Данный интервал времени определяется по формуле (5) [4].

$$T = \frac{pM}{v}, \tag{5}$$

где T – интервал времени, в который модулятор смещается на одну строку;
p – шаг между строками массива микрозеркал;
M – увеличение системы проекционного объектива;
v – скорость движения подвижного стола.

Схема установки литографии по данному методу представлена на рисунке 2

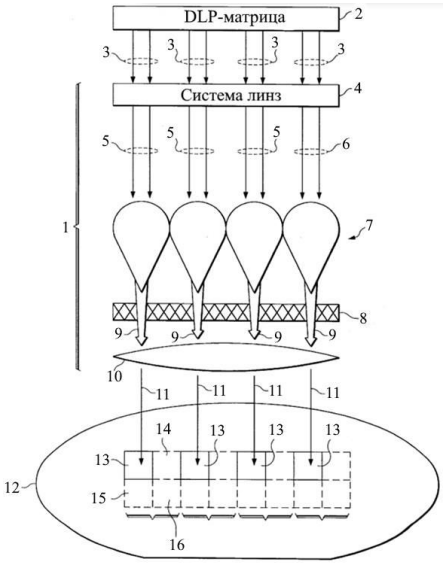


Рисунок 2. Схема установки литографии, где 1 – оптическая система литографа; 2 – DLP–матрица; 3, 5, 9, 11 – оптические пути излучения; 4 – система линз; 7 – массив микролинз; 8 – дифракционная решётка; 10 – фокусирующая линза; 12 – подложка; 13, 14, 15, 16 – участки экспозиции [6]

Распределение дозировки излучения вдоль оси X на поверхности подложки задаётся уравнением (6).

$$D(x) = N \int_0^T I_w(x,t)dt, \tag{6}$$

где N – постоянная, определяемая числом зеркал в массиве;
$I_w(x,t)$ – функция распределения интенсивности освещения на поверхности подложки.
x – координата на плоскости подложки по оси OX.

Интенсивность освещения для движущейся подложки связана с интенсивностью освещения для подложки в состоянии покоя по уравнению (7), при условии, что подложка движется с постоянной скоростью.

$$I_w(x,t) = I(x + vt, t). \tag{7}$$

Элементы модулятора находятся в одном состоянии, пока значение времени находится в пределах от 0 до T/2, и сдвигаются на строку, когда время достигает T/2. Следовательно, зависимость интенсивности освещённости покоящейся подложки можно выразить в виде системы из двух уравнений, представленной в формуле (8).

$$\begin{cases} I(x,t) = I_0(x), & 0 < t < \frac{T}{2} \\ I(x,t) = I_0(x - pM), & T/2 < t < T \end{cases}, \tag{8}$$

где $I_0(x)$ – распределение интенсивности освещения для одного элемента пространственного модулятора освещения, при условии, что подложка покоится;
p – шаг между строками массива микрозеркал;
M – увеличение системы проекционного объектива.

Опираясь на выше описанные уравнения, можно вывести в уравнение (9).

$$D(x) = N\left(\int_0^{T/2} I_0(x + vt)dt + \int_{T/2}^{T} I_0(x + vt - vT)dt\right). \tag{9}$$

Предполагая, что $I(x)$ распределено согласно закону Гаусса, можно выяснить, что для 10 рядов элементов во включенном состоянии распределение интенсивности освещения будет иметь вид (10).

$$I_0(x) = \frac{1}{2{,}51}\sigma \int_0^{10} e^{\frac{-(x-y)}{2\sigma^2}} dy, \tag{10}$$

где σ – дисперсия при распределении по Гауссу;
y – координата на плоскости подложки по оси OY.

Процесс формирования изображения на подложке с периодами изменения положения зеркал модулятора освещения продемонстрирован на рисунке 3.

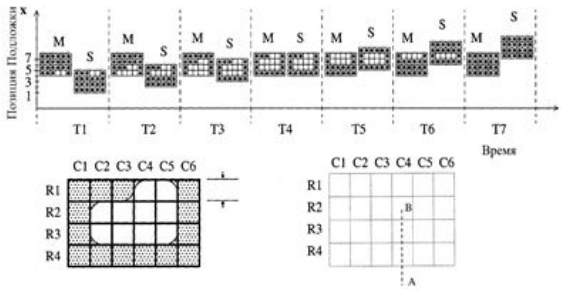


Рисунок 3. Схематическое изображение процесса формирования изображения на подложке, где M – иллюстрация изображения на модуляторе; S – иллюстрация изображения на подложке [4]

Разрабатываемая установка основывается на втором методе переноса изображения топологии на подложку. Для реализации были использованы готовые системы проецирования – проектор NEC NP-V260W и фокусировки изображения – микроскоп Saike Digital SK2126S, модернизированные для выполнения поставленной задачи.

Проекционная литография требует хорошо настроенной и качественной оптической системы. Для расчёта оптической системы необходимо знать характеристики применяемого пространственного модулятора. В проекторе, применяемом в ходе разработки, установлена DLP–матрица с разрешением 1280x800 пикселей и размером отражающей поверхности 12,07x7,57 мм [8]. Путём простого соотношения, можно вычислить размеры одного пиксела DLP-матрицы, что представлено выражениями (11) и (12).

$$p_W = \frac{W}{R_W} = \frac{12{,}07 \cdot 10^{-3}}{1280} = 9{,}4 \cdot 10^{-6} \text{ м}; \tag{11}$$

$$p_H = \frac{H}{R_H} = \frac{7{,}57 \cdot 10^{-3}}{800} = 9{,}4 \cdot 10^{-6} \text{ м}. \tag{12}$$

Зная размеры одного пикселя и требуемое разрешение изображения, можно рассчитать кратность увеличения оптической системы. Требуемое разрешение изображения в ходе разработки установки было установлено от 10 до 15 мкм. Расчёт кратности увеличения оптической системы установки проводится согласно выражению. (13).

$$m = \frac{I_W}{p_W} = \frac{I_H}{p_H} = \frac{10 \cdot 10^{-6}}{9{,}4 \cdot 10^{-6}} = 1{,}064, \tag{13}$$

где p_W, p_H – ширина и высота пикселя DLP-матрицы соответственно;
W, H – ширина и высота отражающей поверхности матрицы, м;
R_W, R_H – число пикселей на ширину и высоту поверхности матрицы, шт;
m – кратность увеличения оптики;
I_W, I_H – ширина и высота точки, отражённой от одного зеркала, м.

Для получения качественного, чёткого и недеформированного изображения, аберрации оптики должны быть сведены к минимуму вплоть до аберраций третьего порядка. Характеристики, описывающие свойства оптической системы, представлены уравнениями (13) – (20).

$$S_I = \sum_{i=1}^{k} A_i^2 h_i \Delta\left(\frac{u}{n}\right)_i = \sum_{i=1}^{k} I_i = 0; \tag{14}$$

$$S_{II} = \sum_{i=1}^{k} A_i B_i h_i \Delta\left(\frac{u}{n}\right)_i = \sum_{i=1}^{k} II_i = 0; \tag{15}$$

$$S_{III} = \sum_{i=1}^{k} B_i^2 h_i \Delta\left(\frac{u}{n}\right)_i = \sum_{i=1}^{k} III_i = 0; \tag{16}$$

$$S_{IV} = H^2 \sum_{i=1}^{k} P_i = 0; \tag{17}$$

$$S_{III} = \sum_{i=1}^{k} \frac{B_i}{A_i} (H^2 P_i + III_i) = 0; \tag{18}$$

$$d_0 = 300 \text{ мм}; \tag{19}$$

$$u_i^{pr} = 0\,, \tag{20}$$

где k – общее число лучей в системе;
$S_j,\ j = I, II, III, IV, V$ – значение аберраций третьего порядка;
A_i – значение аберраций для краевых лучей;
B_i – значение аберраций для главного луча;
h_i – высота параксиального краевого луча;

u_i – угол отклонения параксиального краевого луча;
n_i – номер луча;
H – разность отклонений главного и краевых лучей;
P_i – показатель искажений от кривизны отражающей поверхности;
h_i^{pr} – высота параксиального главного луча;
d_0 – расстояние от отражающей поверхности первой линзы в системе;
u_i^{pr} – угол отклонения параксиального главного луча.

Расчёт углов, в пределах которых лучи выходят из окуляра проектора, производится согласно значениям из таблицы расстояний руководства по эксплуатации [9], и представлен выражениями (21) и (22).

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{D}{C}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{67\text{ мм}}{1335\text{ мм}}\right) = 2{,}862°; \quad (21)$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{D+H_{Im}}{C}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{67\text{мм}+538\text{ мм}}{1335\text{ мм}}\right) = 24{,}371°, \quad (22)$$

где α – минимальный угол отклонения лучей от оптической оси, град;
β – максимальный угол отклонения лучей от оптической оси, град:
D – расстояние от оптической оси до нижней границы изображения;
C расстояние от окуляра проектора до экрана;
H_{Im} – высота проецируемого изображения на экране.

Для того, чтобы изображение из проектора выходило параллельно оптической оси, необходимо на выходе установить призму. Поскольку проекционные лучи выходят из окуляра проектора в диапазоне улов, призма должна быть скруглённой, с одной стороны. Для фокусировки изображения на поверхности подложки после призмы-коллиматора необходимо установить одну или несколько собирающих линз. Таким образом, оптическая системы безмасочного литографа состоит из отражающей DLP-матрицы, призмы-коллиматора и нескольких собирающих линз.

Применяя закон Снеллиуса, можно построить графическую модель требуемой призмы, представленной на рисунке 4.

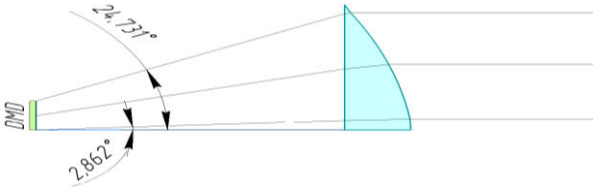


Рисунок 4 – Графическая модель призмы-коллиматора оптической системы безмасочного литографа

Исследования проведены в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Сузуки К., Смит Б.У.* Microlithography: Science and Technology/ К.Сузуки, Б.У. Смит – 3-е изд., – Deanta Global Publishing Services, Chennai – 2020 – 850 с. – ISBN 9781032836737.

2. *Дегтярев И.* Безмасочная фотолитография – потребность современного производства/ И. Дегтярев, В. Бабкин// Вектор высоких технологий. – 2019 – №2. – с. 56–58.

3. *Наумов О.А*. Разработка и технология простейшего безмасочного литографа/ О.А. Наумов //X Международная молодёжная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2023» / А.Р. Насыбуллин, О.А. Наумов. – Казань, 2023. – С. 524-525.

4. Патент 7167296. США, МПК G02B 26/00, G03B 27/42, G03B 27/54, G03B 27/72. Continuous direct-write optical lithography: № 7167296B2: заявл. 21.08.2003, опубл. 23.01.2007/ Мейсбургер У.Д. – 52 с.

5. Патент 7167296. США, МПК G02B 26/00, G03B 27/42, G03B 27/54, G03B 27/72. Continuous direct-write optical lithography: № 7167296B2: заявл. 21.08.2003, опубл. 23.01.2007/ Мейсбургер У.Д. – 52 с.

6. *Хансотт Э.Дж.* High speed maskless lithography of printed circuit boards using digital micromirrors/ Э.Дж. Хансотт, Э.К. Кариньян, У.Д. Меисбургер// Труды SPIE. – 2011. – Т. 7932, №793207 – 14 с.

7. Патент 6379867. США, МПК G03F 9/02. Moving exposure system and method for maskless lithography system/ № 6379867B1: заявл. 10.01.2000, опубл. 30.04.2002/Мэй У., Канатаке Т., Исзикава А. – 14 с.

8. Nec V260W – Текст электронный // HCinema: интернет-портал. – URL: https://hcinema.de/pro/ansp-en.php?angabe=necv260w&wid= (дата обращения 20.05.2025).

9. Переносной проектор V300X/V260X/V230X/V260/V230/V300W/ V260W: руководства пользователя/ NEC Display Solutions. – 2011-2016 – URL: https://www.sharp-nec-displays.com/support/webdl/dl_service/data/manual/en/v300x/V300X_manual_RUS_v5.pdf (дата обращения 20.05.2025) – Текст электронный.

DEVELOPMENT OF A LABORATORY MASKLESS LITHOGRAPH FOR STUDYING THE PHOTORESIST EXPOSURE PROCESS

Naumov O.A.

Supervisor: Nasibullin A.R., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The provided material describes the process of developing a laboratory maskless lithograph. The maskless lithography technology, trends in its development and application in the industrial sector are analyzed. In the course of the work, a design development of a maskless lithography installation based on ready-made versions of projection and focusing devices was carried out, as well as a design for positioning the projection device was developed.

УДК 621.311.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА IP2366 ДЛЯ МОЩНЫХ ПОРТАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Нахалов Е.П.

Научный руководитель: Михеев И.Д., доцент, к. ф.-м. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Доклад посвящен исследованию возможностей использования интегральной микросхемы IP2366 для портативного источника питания, предназначенного для обеспечения мобильных устройств мощным источником энергии. В условиях растущего спроса на автономные зарядные решения, данный проект ставит целью создание компактного, универсального и высокоэффективного устройства, которое обеспечит надежную работу различных электронных систем.

В условиях стремительного развития технологий и электронных устройств, потребность в надежных и эффективных источниках питания становится все более актуальной. Портативные источники питания играют ключевую роль в обеспечении мобильности и автономности современных гаджетов, таких как смартфоны, планшеты, носимые устройства и другие электронные устройства. В данной работе рассматривается

разработка портативного источника питания на базе интегральной схемы IP2366, которая зарекомендовала себя как эффективное решение для управления зарядкой и разрядкой литий-ионных аккумуляторов.

Микросхема IP2366 представляет собой высоко интегрированный и высокофункциональный чип управления зарядкой и разрядкой литий-ионных батарей, который эффективно управляет темпами зарядки и разрядки. Она поддерживает множество быстрых протоколов зарядки и разрядки, таких как AFC (Adaptive Fast Charging), FCP (Fast Charge Protocol), PD2.0 (Power Delivery 2.0), PD3.0 и PD3.1, что позволяет пользователю достичь высокой мощности зарядки до 140 Вт [1].

Протокол AFC (Adaptive Fast Charging) был разработан компанией Samsung и впервые представлен вместе с Galaxy Note 4 в 2014 году. Основная цель его создания – обеспечить ускоренную зарядку аккумуляторов собственных устройств Samsung с минимальным нагревом. AFC использует два основных режима работы: стандартный (5 В) и быстрый (9 В). В начале процесса зарядное устройство подает 5 В для проверки совместимости с подключенным гаджетом. Если устройство поддерживает AFC, напряжение повышается до 9 В при токе до 1,67 А, что дает максимальную мощность около 15 Вт. Протокол включает в себя постоянный мониторинг температуры и силы тока, чтобы избежать перегрева и повреждения аккумулятора. Хотя AFC частично совместим с Qualcomm Quick Charge 2.0, он не поддерживает более высокие напряжения (12 В и выше), что ограничивает его скорость по сравнению с более современными стандартами. В основном он применяется в смартфонах и планшетах Samsung, но также может работать с некоторыми сторонними устройствами, поддерживающими аналогичные параметры [2].

Fast Charge Protocol (FCP) – это стандарт быстрой зарядки, разработанный Huawei для своих мобильных устройств. Он был создан как альтернатива Qualcomm Quick Charge и обеспечивает мощность до 18 Вт (9 В / 2 А) или 10 Вт (5 В / 2 А) в зависимости от режима.

Процесс зарядки по FCP начинается с подачи стандартного напряжения 5 В для проверки совместимости. Если устройство поддерживает протокол, зарядное устройство переключается на повышенное напряжение 9 В. Алгоритм включает в себя постоянный контроль параметров для предотвращения перегрева и оптимизации скорости зарядки.

FCP отличается относительно низким энергопотреблением в режиме ожидания, что делает его энергоэффективным. Однако по сравнению с более современными протоколами, такими как Power Delivery или Quick Charge 4+, он уступает в максимальной мощности и гибкости. В основном FCP используется в смартфонах и планшетах Huawei, но также может поддерживаться некоторыми другими устройствами с аналогичными характеристиками [3].

Power Delivery 2.0 (PD2.0) – это универсальный стандарт быстрой зарядки, разработанный USB Implementers Forum (USB-IF) для устройств с разъемом USB Type-C. Он поддерживает мощность до 100 Вт (20 В / 5 А) и предназначен для широкого спектра гаджетов, включая смартфоны, ноутбуки и мониторы.

PD2.0 использует цифровой протокол USB PD Messaging для согласования параметров зарядки между устройством и зарядным блоком. Доступны несколько профилей напряжения: 5 В, 9 В, 15 В и 20 В, что позволяет гибко подстраиваться под требования разных устройств. Например, смартфон может заряжаться при 9 В, а ноутбук – при 20 В.

Одним из ключевых преимуществ PD2.0 является его универсальность: он совместим с множеством устройств и поддерживает двустороннюю передачу энергии (например, зарядка ноутбука от портативного аккумулятора). Однако из-за отсутствия точного регулирования напряжения и тока (в отличие от более новых версий) он может быть менее эффективным при зарядке небольших устройств, таких как смартфоны.

Power Delivery 3.0 (PD3.0) – это усовершенствованная версия PD2.0, представленная в 2017 году. Основное нововведение – поддержка функции Programmable Power Supply (PPS), которая позволяет динамически регулировать напряжение с шагом 20 мВ и ток с точностью до 50 мА. Это значительно снижает нагрев и повышает эффективность зарядки, особенно для литий-ионных аккумуляторов. Максимальная мощность осталась на уровне 100 Вт, но

благодаря PPS протокол стал более адаптивным. Например, смартфоны теперь могут заряжаться с оптимальными параметрами (например, 9 В / 3 А → 27 Вт), а ноутбуки – с более высоким напряжением (20 В / 5 А → 100 Вт).

PD3.0 также включает улучшенные механизмы защиты от перегрузки и короткого замыкания, что делает его безопаснее предшественника. Этот стандарт широко используется в современных гаджетах, включая флагманские смартфоны, планшеты и ноутбуки.

Power Delivery 3.1 (PD3.1) – это новейшая версия стандарта, представленная в 2021 году. Его главное отличие – увеличение максимальной мощности до 240 Вт (48 В / 5 А) за счет использования кабелей Extended Power Range (EPR) [4]. Это позволяет заряжать даже самые энергоемкие устройства, такие как игровые ноутбуки и рабочие станции.

PD3.1 разделен на два диапазона:

Standard Power Range (SPR) – до 100 Вт (как в PD3.0), совместим с обычными кабелями USB-C.

Extended Power Range (EPR) – от 100 Вт до 240 Вт, требует специальных кабелей EPR и поддерживает напряжения 28 В, 36 В и 48 В.

Как и PD3.0, этот стандарт поддерживает PPS для точной регулировки напряжения и тока, что делает его идеальным для быстрой зарядки смартфонов и планшетов. Кроме того, PD3.1 включает усовершенствованные протоколы безопасности, предотвращающие перегрев и повреждение устройств при высоких мощностях.

AFC и FCP – это устаревающие протоколы, которые используются в основном в устройствах Samsung и Huawei. PD2.0 стал первым универсальным стандартом быстрой зарядки, а PD3.0 и PD3.1 значительно расширили его возможности за счет PPS и поддержки высоких мощностей. Сегодня Power Delivery является наиболее перспективным стандартом, совместимым с широким спектром устройств – от смартфонов до мощных ноутбуков.

Таким образом портативный источник питания на базе микроконтроллера IP2366 является универсальным решением для современных мобильных устройств и систем, требующих эффективного управления источниками питания.

Одна из ключевых особенностей IP2366 заключается в его способности использовать всего один индуктор для реализации синхронных функций по понижению и повышению напряжения. Эта высокая степень интеграции существенно упрощает схему и позволяет сократить количество необходимых периферийных устройств, что, в свою очередь, не только минимизирует размеры конечного устройства, но и снижает затраты на изготовление за счет уменьшения стоимости компонентов.

Микросхема IP2366 поддерживает различные конфигурации аккумуляторов с 2, 3, 4, 5 и 6 последовательными ячейками, что предоставляет гибкость в выборе подходящей батареи. Этот выбор можно легко произвести, меняя внешние сопротивления, что позволяет дополнительно адаптировать систему под нужды конкретного приложения. Кроме того, IP2366 поддерживает установку аккумулятора с возможностью задать напряжение полной зарядки 3.65В, 4.1В, 4.2В, 4.35В или 4.4В, что делает ее подходящей для работы с различными типами литий-ионных батарей.

Микросхема также включает в себя встроенные схемы контроля температуры как самой интегральной схемы, так и температуры NTC (Negative Temperature Coefficient) аккумулятора, а также контроля входного напряжения. Эти функции позволяют чипу интеллектуально регулировать ток заряда в зависимости от мощности подключенного зарядного устройства, что способствует более безопасному и эффективному заряду.

IP2366 обеспечивает поддержание низкопотребляющего режима, в котором ток покоя снижается до 5 микроампер. Эта особенность особенно важна для устройств, работающих от батареи, так как позволяет значительно продлить время работы от аккумулятора. В режиме низкого потребления при подключении зарядного устройства происходит автоматическое пробуждение системы для начала процесса заряда, а короткое нажатие кнопки позволяет активировать внешнюю разрядку.

Кроме того, IP2366 включает в себя встроенный 14-битный АЦП (аналого-цифровой преобразователь), который способен точно измерять такие параметры, как входное напряжение и ток, напряжение и ток аккумулятора, что обеспечивает точность работы системы. Все данные о напряжении и токе в процессе заряда и разряда могут быть получены через интерфейс I2C, что открывает дополнительные возможности для интеграции чипа в более сложные системы управления.

Также стоит отметить, что IP2366 поддерживает четыре индикатора состояния батареи, которые информируют пользователей о уровне заряда и состоянии процесса зарядки или разрядки, что повышает удобство использования устройства.

Итак, микросхема IP2366 представляет собой мощное и универсальное решение для управления зарядкой и разрядкой литий-ионных батарей, предлагающее высокую степень интеграции и функциональности в компактной форме, что делает ее идеальным выбором для современных электронных устройств, требующих надёжности и эффективности.

На современном рынке представлено множество портативных источников питания с высокоемкими аккумуляторами. Однако многие из них обладают неэффективными выходными платами, ограничивающими мощность на выходе, как правило, не превышающую 22,5 ватт. Это приводит к недостаточной реализации потенциала аккумуляторов, несмотря на их значительные размеры и емкость.

В данной работе предлагается использовать плату на основе микросхемы IP2366, обладающую возможностью выдачи мощности до 140 ватт. Данный подход позволит создать портативный источник энергии, способный обеспечивать питание современных ноутбуков, паяльников и других устройств, поддерживающих передовые протоколы передачи энергии по USB Type-C. Это, в свою очередь, значительно повысит эффективность использования аккумуляторов и расширит функциональные возможности портативной электроники.

На данный момент на рынке существует 2 исполнения платы для портативного аккумулятора на микроконтроллере IP2366. Первый вариант (рисунок 1) является платой на одном микроконтроллере IP2366 с одним двунаправленным разъемом Type-C, позволяющим отдавать до 140 ватт мощности по протоколу PD 3.1 и принимать до 100 ватт мощности. Второй вариант (рисунок 2) представляет собой плату сразу с двумя микроконтроллерами IP2366. В этом исполнении на плате имеется два разъема с поддержкой PD3.1, один двунаправленный Type-C, второй однонаправленный USB Type-A, которые в сумме позволяют отдавать до 280 ватт мощности по протоколу PD 3.1 и принимать до 100 ватт.

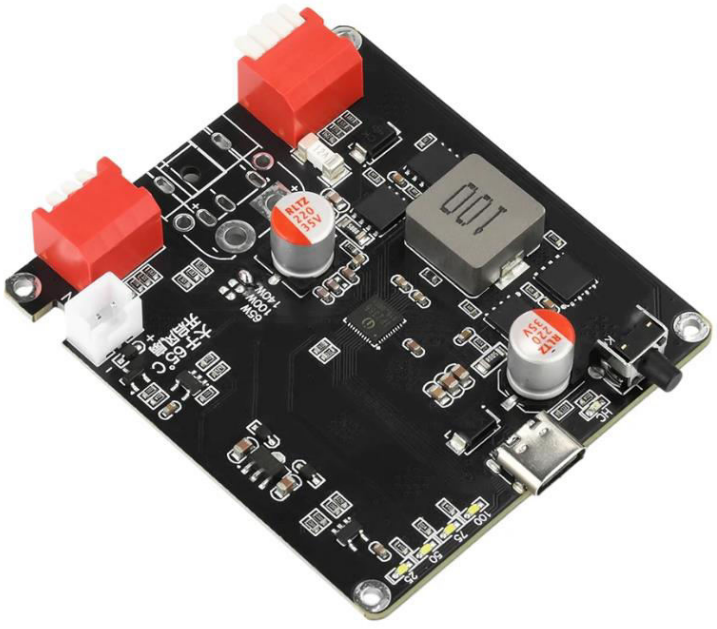


Рисунок 1 – вариант исполнения платы для портативного аккумулятора на одном микроконтроллере IP2366 [5]

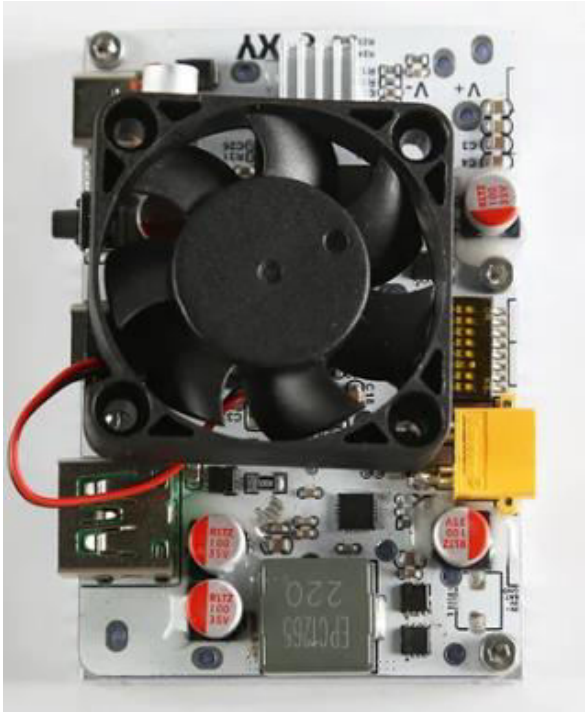


Рисунок 2 – вариант исполнения платы для портативного аккумулятора на двух микроконтроллерах IP2366 [6]

Рассмотрим подробнее исполнение платы на одном микроконтроллере IP2366. Этот модуль на контроллере IP2366 представляет собой универсальное двунаправленное зарядное устройство с поддержкой современных стандартов быстрой зарядки. Он способен как заряжать аккумуляторные сборки, так и отдавать энергию подключенным устройствам. Максимальная мощность в режиме разряда достигает 140 Вт при напряжении 28 В и токе 5 А, что соответствует спецификациям Power Delivery 3.1. В режиме заряда модуль принимает до 100 Вт мощности при 20 В и 5 А.

При нагрузке 100 Вт модуль демонстрирует КПД около 90%, однако силовые элементы могут нагреваться до 75°C, что требует организации охлаждения. Конструктивно устройство выполнено на плате размером 65×60 мм с одним портом USB-C, группами перемычек для настройки и четырьмя индикаторными светодиодами. Для работы на максимальной мощности 140 Вт обязательно требуется активное охлаждение через дополнительный вентилятор (разъем 12 В для подключения вентилятора присутствует на плате).

Модуль требует использования качественных кабелей, поддерживающих высокие токи, а также внешней системы балансировки ячеек аккумуляторной сборки.

В заключение следует отметить, что данный модуль представляет собой удачное решение для создания мощных портативных зарядных устройств и систем накопления энергии. Его ключевыми преимуществами являются поддержка современных стандартов питания, высокая эффективность преобразования энергии и гибкость конфигурации. Однако для полноценного использования всех возможностей устройства необходимо учитывать требования к системе охлаждения, качеству соединительных кабелей и необходимости дополнительной системы балансировки аккумуляторных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. IP2366 High-Efficiency Bidirectional Buck-Boost Fast Charging Controller [Электронный ресурс] // ChipSourceTek. – URL: https://www.chipsourcetek.com/en/boost-step-down/3065.html (дата обращения: 13.06.2025).

2. Adaptive Fast Charging [Электронный ресурс] // Namu Wiki. – URL: https://en.namu.wiki/w/Adaptive%20Fast%20Charging (дата обращения: 14.06.2025).

3. Fast Charge Protocol (FCP) [Электронный ресурс] // Huawei Official Support. – URL: https://consumer.huawei.com/en/support/content/en-us15926744/ (дата обращения: 14.06.2025).
4. USB Power Delivery Specification, Revision 3.1 [Электронный ресурс] // USB Implementers Forum, Inc. – URL: https://www.usb.org/sites/default/files/D2T2-1%20-%20USB%20Power%20Delivery.pdf (дата обращения: 15.06.2025).
5. Двунаправленная плата зарядки IP2366 140W PD3.1 [Электронный ресурс] // AliExpress.п–пURL: https://aliexpress.ru/item/1005008551603897.html?sku_id=12000045671302867&spm=a2g2w.productlist.searchresults.1.2d1246e6tnhACY (дата обращения: 15.06.2025).
6. IP2366 PD3.1 280W Плата Power Bank [Электронный ресурс] // AliExpress. – URL: https://aliexpress.ru/item/1005009243456489.html (дата обращения: 17.06.2025).

USING THE IP2366 MICROCONTROLLER FOR HIGH-POWER PORTABLE POWER SOURCES

Nahalov E.P.
Supervisor: Mikheev I.D., Associate Professor, Candidate of Physico-Mathematical Sciences.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This report explores the capabilities of the IP2366 integrated circuit for use in portable power supplies designed to provide mobile devices with a high-capacity energy source. In light of the growing demand for autonomous charging solutions, this project aims to develop a compact, versatile, and highly efficient device capable of reliably powering various electronic systems.

УДК 621.311.61

СПОСОБ РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПОРТАТИВНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА С НАКОПИТЕЛЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Нестеров И.А.
Научный руководитель: Козин К.В., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В докладе описаны решения для реализации электромеханического портативного зарядного устройства с накопителем механической энергии, преобразовательного тракта устройства: от трехфазного генератора через выпрямитель на диодах Шоттки и стабилизатор напряжения до повышающего преобразователя напряжения на выход USB 5В. Решения обеспечивают эффективное использование энергии пружинного накопителя и безопасную зарядку внешних устройств в автономных условиях.

Возрастающая потребность в автономных источниках питания для портативной электроники в условиях отсутствия стационарной сети стимулирует разработку устройств с альтернативными принципами генерации энергии. Одним из перспективных направлений является использование механических накопителей, таких как спиральные пружины, преобразующих кинетическую энергию пользователя в электричество. Ключевой задачей при создании таких устройств становится разработка эффективной и надежной электронной схемы, обеспечивающей преобразование нестабильного выходного сигнала генератора в стабильное напряжение для заряда аккумулятора и питания нагрузки [1].

Принцип работы устройства – предполагается, что пользователь зарядного устройства с помощью ручки заводит пружину, которая через шестерную передачу подсоединена к генератору переменного тока. Пружина предает потенциальную энергию на генератор, который в свою очередь вырабатывает электрический ток. Для того чтобы пружина могла

оставаться в сжатом состоянии, ручка переламывается в сторону и упирается в корпус устройства, тем самым, не давая пружине раскрутиться.

В предложенном варианте электромеханического зарядного устройства накопитель механической энергии представлен в виде спиральной пружины и ручки, за которую производится подзавод пружины. Выбор спиральной пружины обоснован следующими преимуществами: данный вид пружин довольно компактный, по сравнению с наиболее распространенными пружинами сжатия, раскручивается достаточно плавно, обеспечивая тем самым стабильное вращение генератора. Так же стоит отметить, что пружины подобного типа легче интегрировать в крутящийся механизм за счёт предусмотренных зацепов для крепления пружины к валу и к удерживающему её барабану. Таким образом спиральная пружина оптимальна для устройств с ручным заводом, где важны компактность, плавность работы и долговечность механизма [2].

Схема заводной спиральной пружины показана на рисунке 1.2. Внутренний конец пружины закреплен на валике, а наружный крепится к корпусу прибора, как показано на рисунке 1, а, или к барабану, как показано на рисунке 1, б, внутри которого размещается вся спиральная пружина. При заводе валик вращается относительно корпуса или барабана, при этом пружина изгибается вокруг валика, и, когда витки плотно навиваются на валик, процесс завода заканчивается [3].

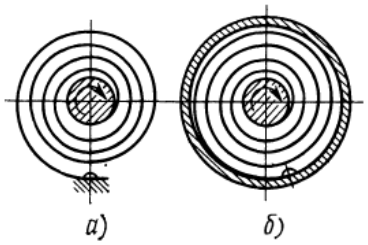


Рисунок 1. Схема спиральной заводной пружины [3]

С помощью метода расчёта спиральной пружины. описанной в тексте [4] и подбора были выявлены следующие оптимальные значения параметров спиральной пружины: внутренний радиус барабана r_0 = 30 мм, радиус валика r = 10 мм, внешний радиус заведенной пружины r_1 = 15 мм, толщина пружины s = 2 мм, заданный минимальный момент на валике пружины M_{min} = 500 Н·мм, модуль упругости E = 130000 МПа, допускаемое напряжение на изгиб $[\sigma_{из}]$ = 780 Мпа, КПД η при использовании касторового масла = 0,704, число витков спущенной пружины n = 5, число витков свободной пружины n_1 = 3, число витков заведенной пружины n_2 = 10, ширина пружины b = 5 мм.

Найдем максимальное расчётное число витков пружины для заведённого состояния:

$$n_{p\,max} = n_2 - n_1 = 10 - 3 = 7,$$

где $n_{p\,max}$ – максимальное расчётное число витков пружины.

Рассчитаем минимальное расчётное число витков пружины для спущенного состояния:

$$n_{p\,min} = n - n_1 = 5 - 3 = 2,$$

где $n_{p\,min}$ – минимальное расчётное число витков пружины.

Также необходимо рассчитать длину развернутой пружины:

$$L = \pi\cdot\left((r_0+r_1)\cdot n+2\cdot r\right) = 3{,}14\cdot\left((30+15)\cdot 5+2\cdot 10\right) = 769{,}689 \text{ мм},$$

где L – длинна развернутой пружины, мм.

Затем было необходимо рассчитать максимальный момент на валике пружины:

$$M_{max} = \frac{\pi\cdot E\cdot b\cdot s^3\cdot n_{p\,max}\cdot\eta}{6\cdot L} = \frac{3{,}14\cdot 130000\cdot 5\cdot 2^3\cdot 7\cdot 0{,}704}{6\cdot 769{,}689} = 17432{,}38 \text{ Н·мм},$$

где M_{max} – максимальный момент на валике пружины, Н·мм.

Затем было найдено расчётное значение минимального момента на валике пружины:

$$M_{min} = M_{max}\frac{n_{p\,min}}{n_{p\,max}} = 17432{,}38 \cdot \frac{2}{7} = 4980{,}68 \text{ Н·мм},$$

где M_{min} – минимальный момент на валике пружины, Н·мм.

Найдем искомую величину механической энергии, выдаваемой спиральной пружиной:

$$Q_м = \frac{M_{max} - M_{min}}{1000} = \frac{17432{,}38 - 4980{,}68}{1000} = 12{,}452 \text{ Дж},$$

где $Q_м$ – величина механической энергии, Дж.

Значит, чтобы зарядить аккумулятор ёмкостью 3 А·ч нужно завести пружину следующее количество раз:

$$\frac{Q}{Q_м} = \frac{39960}{12{,}452} = 3209 \text{ раз},$$

где Q – энергия в аккумуляторе, Дж.

Выходит, что для одного подзавода пружины требуется усилие:

$$\frac{Q_м}{9{,}8} = \frac{12{,}452}{9{,}8} = 1{,}27 \text{ кг/м}$$

Рабочее число оборотов барабана ψ:

$$s = 0{,}157 \cdot \frac{r_0}{\psi} \rightarrow \psi = 0{,}157 \cdot \frac{r_0}{s} = 0{,}157 \cdot \frac{30}{2} = 2{,}355 \text{ оборота}.$$

Выходит, чтобы полностью зарядить аккумулятор, необходимо умножить полученное количество подзаводов для заряда аккумулятора и перемножить его на рабочее число оборотов барабана, а также учесть, что передача энергии будет осуществляться с использованием шестерней в соотношении 10:1((3209 ·2,355)/10)+10% = 831,3 оборот.

Для полноценной работы электромеханического зарядного устройства предлагается выполнить плату, которая будет выполнять следующие функции:

– выпрямление и стабилизация напряжения, поступающего с генератора переменного тока;

– преобразование переменного тока в постоянный;

– обеспечение контроля заряда аккумулятора.

Отдельно может использоваться плата, которая повышает выходное напряжение аккумулятора с 3,3 до 5 В, для передачи напряжения на USB коннектор, от которого можно зарядить множество распространённых устройств.

Первая плата состоит из нескольких функциональных блоков. Первый из них трёхфазный диодный мост, изображённый на рисунке 2. Диоды Шоттки были выбраны не случайно, ведь они имеют несколько ключевых преимуществ:

1. Данные диоды имеют прямое падение напряжения на уровне 0,2 – 0,4 В, против 0,6 – 1 В у кремниевых диодов. Это снижает потери мощности на нагрев, особенно для ручного привода, энергия которого ограничена.

2. Диоды Шоттки имеют крайне малое время восстановления, что устраняет задержки при непостоянной подаче напряжения.

3. Меньшие потери при подаче прямого напряжения и быстродействие уменьшает нагрев диодов, что упрощает тепловой расчёт и позволяет обойтись без радиаторов, которые занимали бы лишнее место в компактном корпусе зарядного устройства.

4. За счёт минимизации потерь энергии в диодном мосту увеличивается общая эффективность системы.

Для соединения с генератором предусмотрены клеммы. Металлокерамический конденсатор на 100 нФ подавляет высокочастотные шумы, устраняет помехи и выбросы напряжения от переключения диодов, электролитический конденсатор на 470 мкФ сглаживает пульсации напряжения на выходе выпрямителя, запасает энергию и выдаёт её в промежутках между полуволнами выпрямленного напряжения.

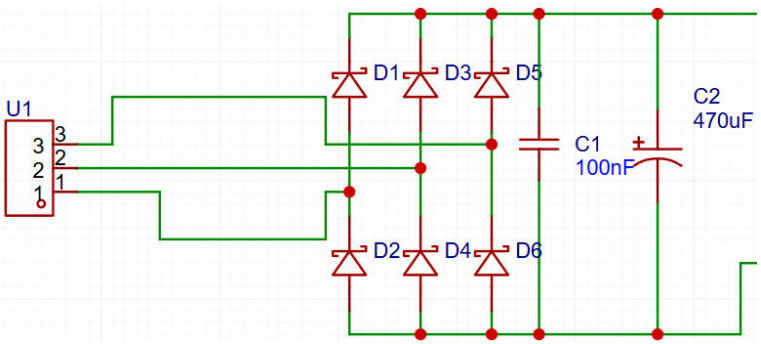


Рисунок 2. Выпрямитель напряжения на основе трехфазного диодного моста

Далее может использоваться модуль, изображенный на рисунке 3, на основе микросхемы LM2596R, который выступает в роли стабилизатора напряжения. Без стабилизатора выходное напряжение генератора может колебаться в широких пределах, что недопустимо для контроллера заряда на основе микросхемы TP4056, который будет описан далее. Данная схема состоит из следующих компонентов:

– управляющая микросхема LM2596R со встроенным силовым транзистором, генератором ШИМ и функцией защиты;

– потенциометр для регулирования выходного сопротивления;

– выходной конденсатор для сглаживания пульсаций.

Поворачивая потенциометр, можно установить выходное напряжение на уровне 5 В. Выходное напряжение задаётся соотношением между резисторами R1 и R2:

$$V_{out}=1{,}25\cdot\left(1+\frac{R2}{R1}\right)=1{,}23\cdot\left(1+\frac{3600}{1200}\right)=5\text{ В},$$

где V_{out} – выходное напряжение схемы;

R1 и R2 – резисторы, необходимые для регулировки выходного напряжения, Ом.

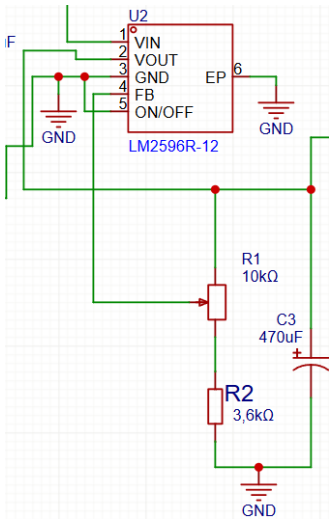


Рисунок 3. Стабилизатор напряжения

Поворачивая потенциометр, можно установить выходное напряжение на уровне 5 В. Выходное напряжение задаётся соотношением между резисторами R1 и R2:

$$V_{out}=1{,}25\cdot\left(1+\frac{R2}{R1}\right)=1{,}23\cdot\left(1+\frac{3600}{1200}\right)=5\text{ В},$$

где V_{out} – выходное напряжение схемы;

R1 и R2 – резисторы, необходимые для регулировки выходного напряжения, Ом.

Третий модуль, изображенный на рисунке 4, на основе микросхемы TP4056MS обеспечивает контроль уровня заряда, предотвращая повреждение литиевых батарей и защиту от перезаряда и переразряда. Модуль предназначен для полноценной зарядки и защиты Li-ION аккумуляторов, включая популярные модели 18650 и имеет возможность подключения к нагрузке. Модуль основан на чипе TP4056 — контроллере заряда Li-ion аккумуляторов, так же на плате присутствуют два чипа: DW01 – схема защиты от перезаряда, переполюсовки, короткого замыкания и ML8205A (сдвоенный ключ MOSFET). С помощью подбора номинала резистора R5 мы можем установить ток заряда $I_з$ на безопасном для аккумулятора уровне:

$$I_з = \frac{1000}{R5} = \frac{1000}{1{,}2} = 833 \text{ мА},$$

где $I_з$ – ток заряда аккумулятора, мА;
R5 – номинал резистора, кОм.

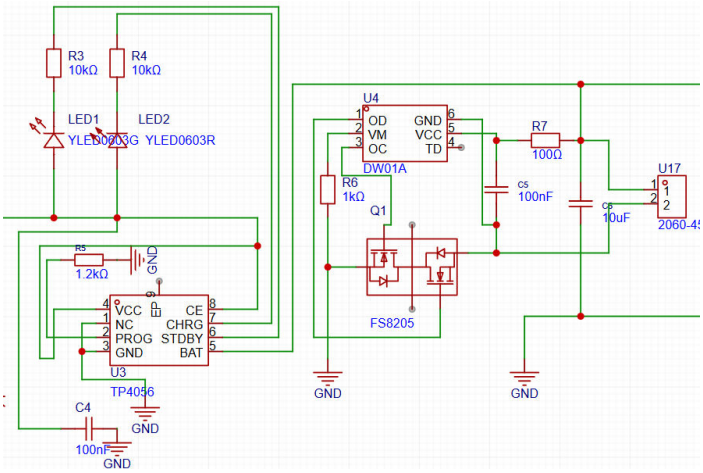


Рисунок 4. Схема заряда аккумулятора

Для индикации заряда предусмотрены зеленый и красный диоды LED1 и LED2. Конденсаторы C4 и C5 устраняют шумы и стабилизируют работу микросхемы, C6 стабилизирует выходное напряжение схемы. Предусмотрен контактный разъем U17 для подключения аккумулятора.

На рисунке 5 изображен итоговый общий вид разработанной схемы:

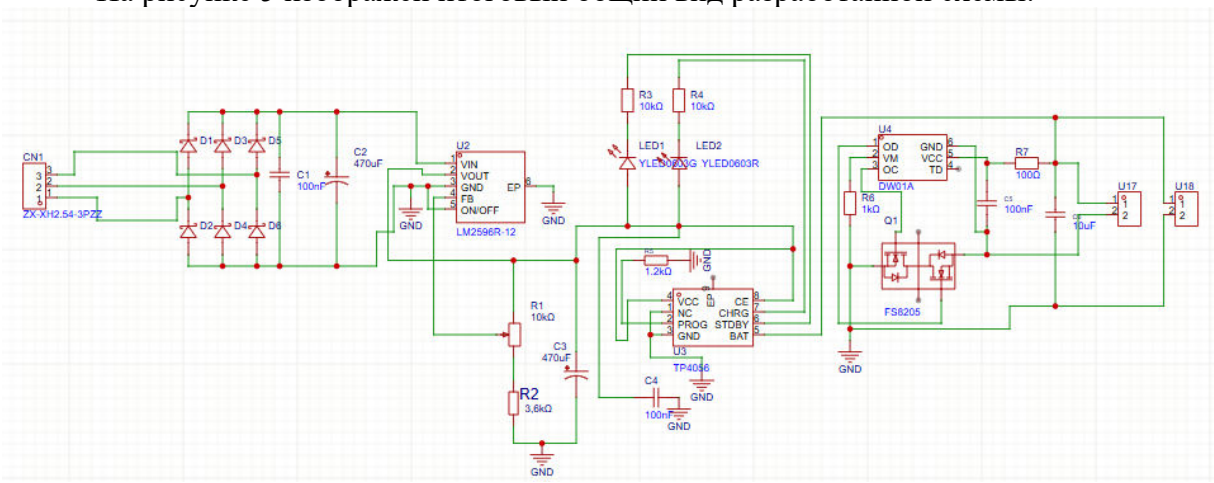


Рисунок 5. Схема передачи энергии от генератора к аккумулятору

Отдельная схема на основе микросхемы MC34063, изображена на рисунке 6, выполняет функцию повышения выходного напряжения аккумулятора с 3,3 В до 5 В. Это необходимо для передачи тока на USB коннектор, от которого можно заряжать распространённые устройства с напряжением 5 В и силой тока 1А.

Выходное напряжение задаётся соотношением между резисторами R11 и R12:

$$V_{out}=1{,}25\cdot\left(1+\frac{R11}{R12}\right)=1{,}25\cdot\left(1+\frac{3000}{1000}\right)=5\text{ В},$$

где V_{out} – выходное напряжение схемы;

R11 и R12 – резисторы, необходимые для регулировки выходного напряжения, Ом

Данная схема состоит из следующих компонентов:

– дроссель L1 аккумулирует и отдает энергию;

– диод D8 предотвращает обратный ток;

– конденсаторы C7, C8, C10 выполняют функцию сглаживания и фильтрации пульсаций;

– USB коннектор;

– DC–DC контроллер MC34063.

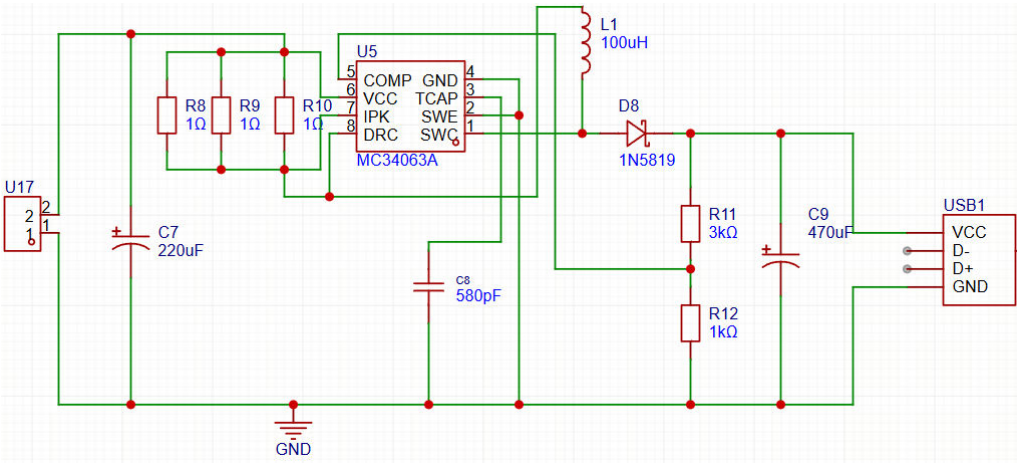


Рисунок 6. Схема повышения напряжения

Конструкция электромеханического портативного зарядного устройства может быть исполнена в виде, изображённом на рисунке 7. Она состоит из следующих элементов: ручки для подзавода пружины, барабана, удерживающего в себе спиральную пружину, вал, к которому крепится спиральная пружина и большая шестерня для передачи момента с вала пружины к генератору в соотношении 10:1, мотор-генератора с малой шестернёй, платы передачи энергии от генератора к аккумулятору, отсека для крепления аккумулятора 18650, платы повышения выходного напряжения аккумулятора и самого корпуса с крышкой.

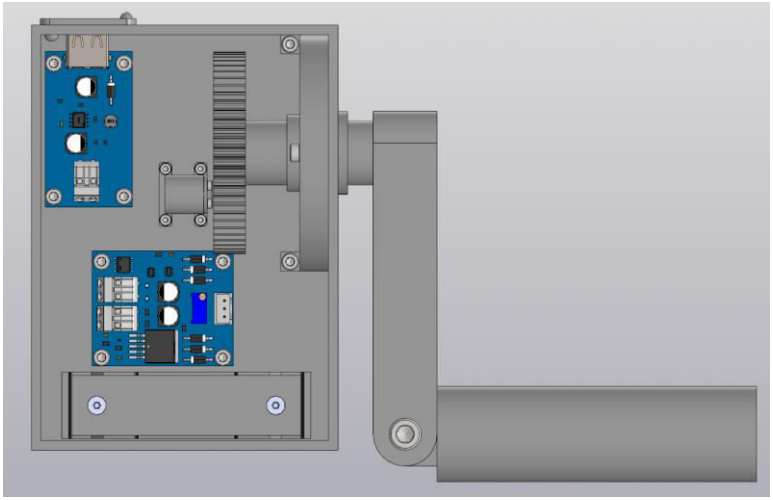


Рисунок 7. Конструкция электромеханического зарядного устройства

Предложенное устройство способно выполнять заданные функции накопления и зарядки внешних устройств. Перспективы развития проекта включают поиск более

энергоёмкого накопителя механической энергии, миниатюризацию редуктора, при снижении прилагаемого пользователем усилия, внедрение системы рекуперации энергии при торможении генератора и улучшение общей эргономики устройства. Разработанное решение демонстрирует потенциал механических накопителей как экологичной альтернативы одноразовым химическим источникам питания для носимой электроники, медицинских приборов и оборудования для ЧС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Астахов Ю.Н.* Накопители энергии в электрических системах / Ю.Н. Астахов, В.А. Веников, А.Г. Тер-Газарян. – Москва: Высш. шк., 1989. – 23 с.

2. *Гулиа Н.В*. Накопители энергии / Н.В. Гулиа. – Москва: Наука, 1980. – 152 с.

3. *Батанов М.В.* Пружины / М.В. Батанов, Н. В. Петров. – Ленинград: Машиностроение, 1968. – 216 с.

4. *Понамарев С.Д.* Расчёт упругих элементов машин и приборов / С.Д. Понамарев, Л.Е. Андреева. – Москва: Машиностроение, 1980. – 326 с.

METHOD OF IMPLEMENTING AN ELECTROMECHANICAL PORTABLE CHARGER WITH A MECHANICAL ENERGY STORAGE DEVICE

Nesterov I.A.

Supervisor: Kozin V.K., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The report describes solutions for the implementation of an electromechanical portable charger with a mechanical energy storage device, the device's conversion path: from a three-phase generator through a rectifier on Schottky diodes and a voltage stabilizer to a step-up voltage converter to a 5V USB output. The solutions ensure efficient use of the spring storage device's energy and safe charging of external devices in autonomous conditions.

УДК 621.317.39.084.2

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЗВУКА И КОНЦЕПЦИЯ ЕЁ РАЗВИТИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ ИЛИ ТЕХНИКИ

Нистругин И.Д.

Научный руководитель: Муратов Р.М., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Разработан учебный прототип встраиваемой системы спектрального анализа звука на базе микроконтроллера ATmega48, реализующий 128-точечное БПФ, оцифровку сигнала с частотой 20 KSPS и визуализацию спектра на LCD-дисплее. На основе этого устройства предложена концепция промышленного «Акустического стетоскопа» для автоматической диагностики механических дефектов оборудования путем интеграции мультисенсорного анализа вибрации и акустических аномалий. Проект направлен на трансформацию лабораторного решения в специализированный инструмент для предиктивного обслуживания в условиях промышленных предприятий.

Одним из ключевых этапов разработки анализатора спектра является выбор микроконтроллера, который будет выполнять задачи обработки сигнала и управления периферией. В данном проекте была выбрана микросхема ATmega48 семейства AVR от Microchip. Это решение обусловлено совокупностью факторов, включая производительность, объем памяти, доступность периферийных модулей, а также стоимость и простоту интеграции в схему.

ATmega48 относится к 8-битным микроконтроллерам с архитектурой AVR, которая оптимизирована для выполнения инструкций за один такт, что критично для задач реального времени. Его тактовая частота может достигать 20 МГц, что позволяет обрабатывать сигналы с частотой дискретизации до 10 кГц без потери данных. Для анализа звукового диапазона 20 Гц – 20 кГц требовалась частота дискретизации не менее 40 кГц, поэтому для компенсации ограничений частоты микроконтроллера был применен метод уменьшения количества отсчетов после предварительной фильтрации сигнала.

Важным преимуществом ATmega48 является наличие встроенного 10-битного аналого-цифрового преобразователя с 8 каналами, что упростило проектирование аналогового тракта. Для захвата аудиосигнала достаточно одного канала аналого-цифрового преобразователя, а остальные могут быть зарезервированы для дополнительных функций, например, калибровки или измерения напряжения питания. Кроме того, микроконтроллер оснащен двумя 8-битными и одним 16-битным таймерами, которые используются для запуска аналого-цифрового преобразователя по прерыванию для синхронизации выборок, генерации ШИМ-сигналов для управления подсветкой дисплея, организации временных задержек в алгоритмах визуализации.

Объем памяти ATmega48 оказался достаточным для реализации базового алгоритма быстрого преобразования Фурье с оптимизацией под ограниченные ресурсы. Например, для 128-точечного быстрого преобразования Фурье требуется около 2 КБ Flash для хранения кода и 512 Байт SRAM для буфера отсчетов и промежуточных вычислений [1].

Для оценки корректности выбора ATmega48 были рассмотрены альтернативные микроконтроллеры, такие как STM32F103, PIC16F877A и ESP32.

STM32F103 – этот микроконтроллер обладает значительно большей производительностью, 64 КБ Flash и 20 КБ SRAM, а также встроенным аппаратным модулем ЦОС. Однако его применение усложняет проект из-за необходимости работы с более сложными инструментами разработки, а также избыточности ресурсов для базового анализатора спектра. Кроме того, стоимость STM32F103 в 2–3 раза выше, что неоправданно для учебного проекта [2].

PIC16F877A – микроконтроллер от Microchip обладает схожими с ATmega48 характеристиками, но его архитектура требует большего количества тактов для выполнения инструкций. Это увеличивает задержки при обработке данных, что критично для реального времени. Кроме того, у PIC16F877A отсутствует аппаратная поддержка умножения чисел, что замедляет вычисление быстрого преобразования Фурье [3].

ESP32 – этот микроконтроллер имеет встроенные Wi-Fi и Bluetooth модули, два ядра и частоту до 240 МГц, что делает его привлекательным для сложных проектов. Однако его энергопотребление и стоимость значительно выше, а избыточная функциональность не требуется в простом анализаторе спектра с LCD-дисплеем [4].

Выбор ATmega48 оказался оптимальным решением благодаря балансу между производительностью в сравнении с другими процессорами стоимостью и простотой разработки. Его ресурсов хватает для реализации 128-точечного БПФ с частотой обновления спектра 10–15 Гц, что достаточно для визуализации на LCD. Альтернативные микроконтроллеры либо избыточны по функционалу, либо уступают в скорости вычислений. Кроме того, популярность семейства AVR обеспечивает доступность готовых библиотек и примеров кода, что ускорило разработку прошивки.

Разработка схемы обработки аналогового сигнала является фундаментальным этапом создания анализатора спектра, так как от её корректности зависит качество преобразования звука в цифровые данные. Данный процесс включает три ключевых компонента: предварительное усиление сигнала, его фильтрацию и оцифровку посредством аналого-цифрового преобразователя. Каждый из этих этапов требует тщательного расчёта и оптимизации, особенно в условиях ограниченных ресурсов микроконтроллера.

Исходный звуковой сигнал, поступающий от микрофона или линейного входа, характеризуется низким уровнем напряжения – порядка 10–50 мВ. Для работы с аналогово-

цифровым преобразователем микроконтроллера, чей входной диапазон составляет 0–5 В, необходимо усиление сигнала. В проекте используется на операционном усилителе LM324.

Любой аналоговый сигнал содержит высокочастотные помехи. Для их подавления применяется пассивный RC-фильтр нижних частот. Частота среза фильтра рассчитывается по формуле (1.1):

$$f_C = \frac{1}{2\pi RC}, \tag{1.1}$$

где f_C – частота среза;
R – сопротивление резистора в фильтре;
C – ёмкость конденсатора фильтра.

При выборе $R = 1$ кОм и $C = 7$ нФ частота среза находится как (1.2):

$$f_c \approx \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot 7 \cdot 10^{-9}} \tag{1.2}$$

Это значение немного превышает верхнюю границу анализируемого диапазона равную 20 кГц, что позволяет подавить помехи без существенного искажения полезного сигнала.

Аналого-цифровое преобразование. Оцифровка сигнала осуществляется встроенным 10-битным аналогово-цифровым преобразователем микроконтроллера ATmega48. Разрядность аналогово-цифрового преобразователя определяет шаг квантования – минимальное изменение напряжения, которое может быть зафиксировано. Для опорного напряжения шаг считается согласно формуле (1.3):

$$\Delta U = \frac{U_{REF}}{2^N} = \frac{5}{1024} \approx 4{,}88\text{мВ}, \tag{1.3}$$

где ΔU – шаг опорного напряжения;
U_{REF} – опорное напряжение.

Этого достаточно для анализа амплитудных изменений в звуковом сигнале, однако для точного измерения малых колебаний целесообразно использовать внешний 12-битный аналогово-цифровой преобразователь.

Частота дискретизации аналогово-цифрового преобразователя должна удовлетворять теореме Найквиста, которая определяется по следующей формуле (1.4):

$$f_{\text{дискр}} \geq 2 \cdot f_{\text{макс}}, \tag{1.4}$$

где $f_{\text{дискр}}$ – частота дискритизации;
$f_{\text{макс}}$ – максимальная частота.

Таким образом, при $f_{\text{дискр}} = 20$ кГц и $f_{\text{макс}} = 20$ кГц минимальная частота дискретизации равна 40 кГц. Однако встроенный аналогово-цифровой преобразователь ATmega48 при тактовой частоте 20 МГц обеспечивает скорость не более 15 тысяч выборок в секунду, то есть 15 KSPS. Для устранения этого противоречия применена децимация – уменьшение частоты дискретизации путём усреднения групп отсчётов. Например, при децимации в 4 раза реальная частота дискретизации становится согласно формуле (1.5):

$$f_{\text{действ}} = \frac{N_{\text{выб}}}{4} = \frac{15\ KSPS}{4} = 3{,}75\ KSPS \tag{1.5}$$

Это приводит к сужению полосы анализа до 1,875 кГц, что неприемлемо. Поэтому в проекте использован метод избирательной фильтрации: сигнал предварительно фильтруется до 10 кГц, после чего частота дискретизации снижается до 20 KSPS, что сохраняет полосу 10 кГц.

Погрешность аналогово-цифрового преобразователя складывается из нескольких факторов. Нестабильность опорного напряжения – в проекте используется внутренний источник, дрейф которого не превышает ±1%. Интегральная нелинейность – для ATmega48 интегральная нелинейность составляет ±2 LSB, что приводит к погрешности, которая находится по формуле (1.6):

$$\delta = \pm 2 \cdot \Delta U = \pm 9{,}76\text{мВ}, \tag{1.6}$$

где δ – погрешность;

ΔU – шаг опорного напряжения.

Температурные шумы. Для их минимизации аналоговые цепи развязаны от цифровых, а на вход аналого-цифрового преобразователя добавлен керамический конденсатор 100 нФ. Калибровка выполнена программной частью. При отсутствии сигнала измеряется уровень шума, который вычитается из последующих отсчётов. Для проверки линейности использовался генератор сигналов с эталонными напряжениями 0,5 В, 1 В и 2 В. Отклонения не превысили 1,5%.

Усиленный и отфильтрованный сигнал подаётся на вход PC0 микроконтроллера через разделительный конденсатор 1 мкФ, устраняющий постоянную составляющую. Программный алгоритм организует циклический буфер на 128 отсчётов, которые обрабатываются алгоритмом быстрого преобразования Фурье. Для визуализации на LCD-дисплее амплитуды преобразуются в логарифмическую шкалу по формуле (1.7):

$$A_{\text{дБ}} = 20 \cdot log_{10}\left(\frac{A_{\text{отсч}}}{A_{\text{макс}}}\right), \quad (1.7)$$

где $A_{\text{дБ}}$ – амплитуда;

$A_{\text{отсч}}$ – отсчетная амплитуда;

$A_{\text{макс}}$ – максимальная амплитуда;

На этапе тестирования выявлены две основные проблемы. Высокочастотные наводки от цифровых линий, проявляющиеся в виде шумового фона на спектре. Неравномерность АЧХ фильтра вблизи частоты среза. Замена резистора на подстроечный многооборотный позволила точно настроить частоту среза f_c до 20,5 кГц [5].

Разработанная схема обработки аналогового сигнала обеспечивает точность, достаточную для учебного анализатора спектра. Основным ограничением является неидеальная линейность аналогово-цифрового преобразователя на высоких частотах, что можно устранить переходом на внешний преобразователь. Дальнейшая оптимизация может включать внедрение активных фильтров с регулируемой добротностью.

Реализация визуализации спектра звукового сигнала является важным этапом проекта, так как от неё зависит удобство интерпретации данных пользователем. Для отображения информации был выбран символьный LCD-дисплей модели LCD-1602, однако его выбор потребовал тщательного анализа альтернативных вариантов, оценки технических характеристик и адаптации методов индикации под ограниченные возможности экрана. Основными критериями при выборе дисплея стали разрешение, интерфейс подключения, стоимость, энергопотребление и наличие готовых библиотек для интеграции.

Среди альтернативных вариантов рассматривались графические дисплеи, которые обладают высоким разрешением и поддерживают отображение пиксельной графики. Несмотря на их преимущества, такие как возможность визуализации плавных графиков и гистограмм, эти модели требуют использования SPI-интерфейса и значительных вычислительных ресурсов для рендеринга. Например, для обновления экрана Nokia 5110 микроконтроллеру необходимо обработать 504 байта данных, что замедляет работу системы. Кроме того, их стоимость в 2–3 раза превышает цену LCD-1602, что делало их неоптимальными для учебного проекта с ограниченным бюджетом. Другой альтернативой стали OLED-дисплеи, которые отличаются высокой контрастностью и малым временем отклика. Однако их высокая цена и ограниченный срок службы из-за выгорания пикселей также не соответствовали требованиям проекта [6].

Модель LCD-1602 оказалась оптимальным выбором благодаря сочетанию доступности, простоты подключения и низкого энергопотребления. Дисплей подключается через 4-битный параллельный интерфейс, требующий всего 7 линий микроконтроллера, а именно: RS, RW, E, D4–D7, что позволило сохранить свободные пины ATmega48 для других задач. Важным преимуществом стала поддержка пользовательских символов – дисплей позволяет создавать до 8 собственных глифов размером 5×8 пикселей, что стало ключевым для реализации псевдографики. Энергопотребление LCD-1602 также оказалось приемлемым: ток подсветки составляет 20–40 мА, что допустимо при питании от аккумулятора.

Для визуализации спектра в виде столбчатой диаграммы были созданы 5 пользовательских символов с разным уровнем заполнения: от пустого блока до полностью заполненного. Каждый столбец формируется из двух символов, что позволяет достичь максимальной высоты в 16 пикселей. Высота столбца рассчитывается на основе нормализованной амплитуды частотного диапазона по формуле (1.8):

$$H = \frac{A_i}{A_{\text{макс}}} \cdot N_{\text{ур}}, \tag{1.8}$$

где H – высота столбца;
A_i – амплитуда i-ого диапазона;
$A_{\text{макс}}$ – максимальная амплитуда;
$N_{\text{ур}}$ – количество уровней заполнения.

Например, при амплитуде, составляющей 70% от максимума, высота столбца округляется до 4, что соответствует двум символам: полностью заполненному и заполненному на 50%.

Помимо столбчатой диаграммы, рассматривались и другие методы индикации. Текстовая визуализация, например, отображение амплитуд в децибелах, оказалась слишком громоздкой для экрана 16×2. Мигающие индикаторы для выделения пиковых частот снижали читаемость при быстрых изменениях сигнала. Идея прокрутки спектра требовала частого обновления всего экрана, что усиливало мерцание. Даже цветовая индикация с использованием RGB-подсветки рассматривалась, но LCD-1602 имеет только монохромную подсветку, хотя её можно модифицировать, установив разноцветные светодиоды [7].

В процессе разработки возникли технические сложности. Ограничение в 8 пользовательских символов вынудило повторно использовать их для разных частей столбцов. Например, символ «полное заполнение» применялся как в верхней, так и в нижней части. Низкая частота обновления была увеличена до 12–15 Гц за счет оптимизации алгоритма быстрого преобразования Фурье – замены операций с плавающей точкой на целочисленные вычисления.

Несмотря на ограничения, выбор LCD-1602 полностью оправдал себя в рамках учебного проекта. Столбчатая диаграмма, реализованная через пользовательские символы, обеспечила наглядность данных, а простота интеграции и низкая стоимость позволили уложиться в бюджет. Основные недостатки – низкое разрешение и монохромность, они могут быть устранены переходом на OLED-дисплей, но это потребует увеличения затрат и вычислительных ресурсов. Таким образом, LCD-1602 продемонстрировал, что даже простые компоненты способны решать сложные задачи при грамотной программной реализации.

Микроконтроллер ATmega48 обладает ограниченными ресурсами: 4 КБ памяти программ, 512 Байт оперативной памяти и тактовой частотой до 20 МГц. Для эффективного использования этих ресурсов были распределены задачи. Высший приоритет был задан обработке прерываний от таймера и аналого-цифрового преобразователя, так как они требуют строгой временной синхронизации. Средний приоритет отдан вычислению быстрого преобразования Фурье и подготовке данных для визуализации. Низший приоритет определён для обновления дисплея, которое выполняется в фоновом режиме.

Ключевая проблема – согласование скорости оцифровки сигнала и времени обработки базового преобразования Фурье. Например, для 128-точечного базового преобразования Фурье требуется около 10 мс, что при частоте обновления 15 Гц оставляет лишь 56 мс на подготовку кадра. Это вынуждает оптимизировать каждый этап.

Прерывания – основной механизм обеспечения реального времени в системе. В проекте задействованы два типа прерываний. работает в режиме CTC и генерирует прерывания с частотой дискретизации. Например, для частоты 15 кГц период прерываний составляет 66,6 мкс. Это позволяет запускать аналого-цифрового преобразование строго по времени, избегая джиттера. После завершения оцифровки данные сохраняются в кольцевой буфер. Буфер размером 128 элементов обеспечивает временное хранение выборок до момента обработки быстрого преобразования Фурье.

Для предотвращения конфликтов между записью в буфер и чтением данных используется флаг buffer_ready. Когда буфер заполнен, флаг устанавливается, и основной цикл запускает вычисление быстрого преобразования Фурье.

Основной цикл программы постоянно проверяет флаг buffer_ready. Как только данные готовы, выполняются шаги программы. Первое – это вычисление быстрого преобразования Фурье для 128 точек, далее – нормализация амплитуд частотных компонентов, последний этап - подготовка данных для отображения на LCD.

Обновление дисплея происходит только при изменении амплитуд, что снижает нагрузку на шину данных. Также есть и другие способы оптимизации использования ресурсов.

Прошивка микроконтроллера ATmega48 в проекте анализатора спектра демонстрирует, что даже на ограниченных ресурсах можно реализовать работу в реальном времени. Ключевые факторы успеха – грамотное распределение задач, использование прерываний для синхронизации и агрессивная оптимизация кода. Основным ограничением остается объем оперативной памяти, который не позволяет использовать более 128 точек для базового преобразования Фурье. Переход на микроконтроллеры с большей памятью мог бы повысить точность, но текущая реализация доказывает жизнеспособность подхода для учебных задач [8].

Разработка печатной платы для анализатора спектра потребовала тщательного выбора между SMD и DIP монтажом. Это решение напрямую влияло на компактность устройства, сложность сборки, стоимость и ремонтопригодность. В проекте большинство элементов, таких как резисторы, конденсаторы, в том числе микроконтроллер были выбраны в корпусах SMD, тогда как разъемы и кварцевый резонатор – в DIP-исполнении. Такой гибридный подход стал компромиссом между современными технологиями и практичностью ручной сборки.

Одним из ключевых факторов выбора SMD-компонентов стала их компактность. Например, резистор в корпусе 0805 занимает площадь всего 2.0×1.2 мм, что в 5–7 раз меньше, чем у выводного аналога. Это позволило уменьшить общие габариты платы на 40%, что критично для портативного устройства. Кроме того, SMD-компоненты обладают меньшими паразитными параметрами – короткие дорожки и отсутствие длинных выводов снизили индуктивность и ёмкость соединений, особенно в аналоговой части схемы, где чистота сигнала играет решающую роль. Однако ручная пайка таких элементов немного затруднительна.

Несмотря на преимущества SMD, некоторые компоненты было целесообразно выбрать в DIP-корпусах. Разъемы питания также были реализованы в выводном исполнении, так как они подвергаются механическим нагрузкам при подключении кабелей. DIP-разъемы более устойчивы к изгибу и многократному использованию, что повышает надежность устройства. Для минимизации помех их разместили на краю платы, подальше от аналоговых цепей [9].

Отдельным вызовом стало размещение кварцевого резонатора. Изначально планировалось использовать SMD-версию, но из-за отсутствия компонента в наличии пришлось применить выводной кварц 16 МГц. В будущих версиях проекта этот недостаток будет устранен переходом на SMD-кристалл.

Размещение компонентов на плате также требовало внимания. Резисторы и конденсаторы SMD 0805 располагались максимально близко к операционному усилителю и микроконтроллеру, чтобы сократить длину сигнальных трасс. Конденсаторы фильтра питания были разнесены между слоями земли и питания для улучшения подавления шумов. Микроконтроллер ATmega48 разместили в центре платы для равномерного распределения шин данных и минимизации пересечений дорожек.

Разработанный учебный анализатор спектра на базе ATmega48, несмотря на скромные ресурсы, доказал принципиальную возможность портативного спектрального анализа звука в реальном времени. Его ядро – алгоритм БПФ, адаптированный под ограниченные вычислительные мощности, и оптимизированная схема захвата сигнала – становится отправной точкой для трансформации в промышленный инструмент нового поколения. Однако переход от лабораторного прототипа к «Акустическому Стетоскопу» для суровых

условий цехов, электростанций или железнодорожных депо требует радикального переосмысления архитектуры, фокусировки на конкретных задачах диагностики и беспрецедентной надежности. Учебное устройство, способное отображать спектр сигнала на LCD-1602, эволюционирует в специализированный диагностический комплекс, где спектральный анализ становится не самоцелью, а основой для мгновенной интерпретации состояния оборудования. Ключом к этой трансформации станет реализация четырех фундаментальных принципов: абсолютной простоты и скорости использования для мастера в перчатках, глубокой специализации на конкретных механических неисправностях, гарантированной достоверности результатов как инструмента поддержки решений, и исключительной живучести в агрессивных промышленных средах.

Текущий прототип требует от пользователя интерпретировать столбчатую диаграмму на экране – навык, недоступный без подготовки. Промышленный "Стетоскоп" должен предоставлять готовый вердикт.

Таким образом, учебный анализатор спектра, доказавший свою работоспособность на базе ATmega48, становится фундаментом для создания "Акустического Стетоскопа" – умного, специализированного и невероятно прочного помощника механика. Его сила – не в отображении графиков, а в способности за секунды превратить шум работающей машины в понятный сигнал к действию: от профилактической смазки до срочной остановки, предотвращая аварии и экономя миллионы на незапланированных ремонтах. Это эволюция от учебного прибора к промышленному стандарту диагностики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. 8 битные AVR микроконтроллеры с 4/8/16 КБ внутрисистемно программируемой Flash памяти. – Текст: электронный. – URL:http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/ic/Atmel/micros/avr/atmega48_88_168.htm (дата обращения: 10.03.25).

2. *Бакиев И.И., Муратов Р.М*. Структурная схема устройства сбора данных на основе микроконтроллера семейства STM32 / И.И. Бакиев, Р.М. Муратов [Текст] // Сборник научных статей III международной научной конференции. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «КОНВЕРТ», 2021. — С.28-30.

3. PIC16f877A Microcontroller: PinOut, Specifications, Interfacing & Its Applications. – Текст: электронный. – URL: https://www.watelectronics.com/pic16f877a-microcontroller/ (дата обращения: 10.03.25).

4. ESP32 для начинающих. – Текст: электронный. – URL: https://enjoy-robotics.ru/chto-takoe-esp32 (дата обращения: 10.03.25).

5. *Якимов Е.В*. Цифровая обработка сигналов. - 2-е изд. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. - 168 с.

6. OLED против LCD: объясняем разницу, преимущества и недостатки. – Текст: электронный. – URL: https://review.1k.by/phone/OLED_protiv_LCD_obyasnyaem_raznitsy_preimyshcestva_i_nedostatki-795.html (дата обращения: 07.04.25).

7. Выводим символы на дисплей LCD 1602 и LCD 2004. – Текст: электронный. – URL: https://portal-pk.ru/news/313-vyvodim-simvoly-na-displei-lcd-1602-i-lcd-2004.htm (дата обращения: 20.04.25).

8. Прошивка AVR (ATMEGA328) различными программаторами (в том числе и из-под Arduino). – Текст: электронный. – URL: https://blog.kvv213.com/2019/08/proshivka-avr-atmega328-razlichnymi-programmatorami-v-tom-chisle-i-iz-pod-arduino/ (дата обращения: 25.04.25).

9. https://dzen.ru/a/YS9goDFyBUyKDcpF. – Текст: электронный. – URL: https://dzen.ru/a/YS9goDFyBUyKDcpF(дата обращения: 01.05.25).

DEVELOPMENT OF A SOUND SPECTRAL ANALYSIS SYSTEM AND THE CONCEPT OF ITS DEVELOPMENT FOR THE DIAGNOSIS OF EQUIPMENT OR MACHINERY

Nistrugin I.D.
Supervisor: Muratov R.M., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. An educational prototype of an embedded sound spectral analysis system based on an ATmega48 microcontroller has been developed, which implements 128-point FFT, digitization of a signal with a frequency of 20 KSPS and visualization of the spectrum on an LCD display. Based on this device, the concept of an industrial "Acoustic stethoscope" is proposed for the automatic diagnosis of mechanical defects in equipment by integrating multisensory analysis of vibration and acoustic anomalies. The project is aimed at transforming the laboratory solution into a specialized tool for predictive maintenance in industrial enterprises.

УДК 621.311.6

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ АДАПТИВНОГО ТИПА ДЛЯ ПОДАЧИ СТАБИЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Нишонов Р.Э.
Научный руководитель: Виноградов В.Ю., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлены адаптированные устройства источников напряжения, построенные на принципе модульной архитектуры. Такие системы обеспечивают преобразование и точную стабилизацию электроэнергии для разнородного оборудования благодаря специализированным выходным модулям. Также рассмотрены широкие перспективы применения данных источников в медицине, альтернативной энергетике и образовательной сфере.

Адаптированные устройства источников напряжения представляют собой сложные электронные системы, предназначенные для преобразования и стабилизации электрической энергии. Их работа основана на многоступенчатой обработке входного напряжения. Первичное преобразование начинается с выпрямления сетевого напряжения 220 В переменного тока, которое затем фильтруется и стабилизируется. На этом этапе формируются базовые уровни постоянного напряжения (12 В, 24 В и другие), служащие основой для всей системы питания. Для этого используются импульсные преобразователи, компактными размерами и обладающие высоким КПД (85-95%) по сравнению с традиционными линейными стабилизаторами.

Особенностью современных адаптированных УИН является их модульная архитектура. Основная секция, выполняющая первичное преобразование, работает в паре с дополнительными модулями, каждый из которых отвечает за питание конкретных устройств или групп оборудования. Эти модули выполняют точную подстройку параметров электроэнергии под требования подключенной нагрузки. Например, для цифровых микросхем обычно требуются стабилизированные 3,3 В или 5 В с низким уровнем пульсаций, тогда как силовое оборудование может работать от 24 В или 48 В с большими токами. Дополнительные модули не просто преобразуют напряжение, но и обеспечивают гальваническую развязку, защиту от помех и точную стабилизацию параметров питания.

Такая архитектура позволяет создавать универсальные системы электропитания, способные обслуживать сложные комплексы разнородного оборудования. При этом каждый модуль может быть оптимизирован под конкретные задачи: одни обеспечивают высокоточное напряжение для измерительной аппаратуры, другие - большие токи для силовых устройств,

третьи - специальные параметры для особо чувствительных компонентов. Все модули работают согласованно, образуя единую систему питания с централизованным управлением и мониторингом параметров. Это значительно повышает надежность и эффективность электроснабжения сложных технических систем по сравнению с использованием отдельных блоков питания для каждого устройства [1].

Современный рынок источников питания предлагает широкий спектр технических решений, которые можно условно разделить на две основные категории: гибридные (модульные) и негибридные (монолитные) системы УИН. Каждый из этих подходов имеет свои особенности, преимущества и ограничения, которые необходимо тщательно анализировать при проектировании систем электропитания.

Гибридные системы УИН представляют собой модульные конструкции, состоящие из базового блока первичного преобразования и набора сменных или программируемых модулей вторичного преобразования. Такая архитектура обеспечивает исключительную гибкость в эксплуатации. Промышленный контроллер может использовать один и тот же базовый блок с разными выходными модулями: 24 В для релейных схем, ±15 В для аналоговых датчиков и 5 В для цифровой логики. Модульность позволяет оперативно адаптировать систему питания к изменяющимся требованиям без полной замены оборудования. Однако эта гибкость достигается ценой повышенной сложности межмодульных соединений и необходимости тщательной синхронизации работы всех компонентов системы.

Негибридные (монолитные) системы УИН представляют собой единые блоки, в которых все функции преобразования и стабилизации реализованы в едином корпусе. Такие решения отличаются простотой подключения и эксплуатации - пользователю достаточно подать входное напряжение и подключить нагрузку к соответствующим клеммам. Конструктивно они более надежны, так как не содержат множества разъемных соединений, характерных для модульных систем. Однако их главный недостаток - жестко заданные параметры выходных напряжений и токов, которые невозможно изменить без переделки самой схемы блока питания [2].

Сравнительный анализ гибридных и негибридных систем УИН

1. Гибкость и адаптивность

Гибридные системы выигрывают за счет модульной архитектуры: если стандартный блок питания предлагает фиксированные 5 В/12 В/24 В, то модульная система позволяет добавить специализированные выходы (±15 В для ОУ, 48 В для PoE, программируемые каналы) без замены основного блока. Однако эта универсальность требует сложной коммутации – в отличие от "подключил и работай" монолитных решений.

2. Экономические аспекты

Негибридный блок мощностью 500 Вт может стоить в 1,5-2 раза дешевле сопоставимого модульного решения, но при необходимости добавления новых напряжений потребуется покупать отдельный блок, тогда как в гибридной системе достаточно докупить модуль за 20-30% стоимости базового блока.

3. Эксплуатационные характеристики

Модульные системы демонстрируют лучшую энергоэффективность (КПД 92-95% против 85-90% у монолитных) за счет оптимизации каждого канала, но требуют квалифицированного обслуживания – в отличие от "работающих десятилетиями" традиционных блоков питания.

4. Надежность и ремонтопригодность

В гибридной системе отказ одного модуля не выводит из строя всю систему (можно заменить "на горячую"), тогда как выход из строя монолитного блока означает полное отключение питаемых устройств. Однако статистика показывает, что количество отказов в модульных системах на 15-20% выше из-за сложности межмодульных соединений.

5. Перспективы модернизации

Гибридная архитектура позволяет безболезненно заменять устаревшие модули (например, при переходе с 5 В на 3,3 В логику), в то время как негибридные системы требуют

полной замены блока питания, что особенно критично для промышленных линий с длительным жизненным циклом.

6. Габариты и массовые показатели

Компактный 500 Вт монолитный блок занимает на 30-40% меньше места, чем модульный аналог, но при этом не позволяет оптимально распределить теплоотведение – отдельные модули в гибридной системе можно разнести для лучшего охлаждения.

Особого внимания заслуживают комбинированные подходы, которые сочетают преимущества обоих типов систем. Например, использование базового монолитного блока с ограниченным количеством программируемых выходов или модульная система с унифицированными стандартизированными компонентами. Такие решения особенно востребованы в промышленной автоматизации, где требуется баланс между надежностью и гибкостью.

Выбор между гибридными и негибридными системами должен основываться на конкретных требованиях проекта. Для статичных систем с неизменными параметрами нагрузки часто оптимальны традиционные монолитные решения. В то время как для развивающихся комплексов с перспективой модернизации и расширения безусловное преимущество имеют модульные системы. При этом современные технологии постепенно стирают границы между этими подходами, предлагая все более универсальные и адаптивные решения [3].

В области портативных устройств разработка представляет особый интерес для производителей медицинского оборудования, где требования к стабильности питания особенно строги. Адаптивный источник может использоваться в портативных аппаратах УЗИ, кардиомониторах и другом диагностическом оборудовании, обеспечивая бесперебойную работу от различных типов аккумуляторов. Благодаря компактным размерам и высокой энергоэффективности решение идеально подходит для интеграции в мобильные устройства, где важны малый вес и продолжительное время автономной работы. Особенно ценным свойством для этой сферы применения является способность системы автоматически адаптироваться к изменяющемуся уровню заряда батареи, поддерживая стабильные выходные параметры на протяжении всего цикла разряда.

В сфере альтернативной энергетики разработка решает ключевую проблему нестабильности выходных параметров возобновляемых источников. Устройство может эффективно использоваться в солнечных электростанциях малой и средней мощности, ветрогенераторах и гибридных энергосистемах. Адаптивные алгоритмы управления позволяют максимально эффективно использовать доступную энергию, обеспечивая стабильное питание подключенного оборудования даже при значительных колебаниях входного напряжения. Особенно важно, что система может работать с широким диапазоном входных напряжений (от 100В до 500В постоянного тока), что делает ее универсальным решением для различных типов фотоэлектрических панелей и ветроустановок. Дополнительным преимуществом является возможность интеграции с системами накопления энергии, обеспечивая плавный переход между различными источниками питания.

Образовательные учреждения могут использовать разработку в качестве наглядного пособия при изучении принципов силовой электроники и систем управления. Устройство позволяет демонстрировать на практике работу различных типов преобразователей, методы стабилизации напряжения и современные подходы к управлению источниками питания. В учебных лабораториях система может служить базой для проведения экспериментов и исследований, позволяя студентам изучать реальные процессы, происходящие в силовой электронике. Особую ценность для образовательного процесса представляет модульная архитектура устройства, которая дает возможность настраивать и модифицировать отдельные узлы системы, изучая их влияние на общие характеристики. Разработка уже была успешно апробирована в нескольких технических университетах, где получила высокую оценку преподавателей и студентов [4].

Экономический анализ показывает высокую эффективность внедрения разработанного решения по сравнению с существующими аналогами. Основные преимущества с точки зрения экономики включают значительное снижение эксплуатационных расходов благодаря высокому КПД (до 94,2%), что при круглосуточной работе позволяет экономить до 3000 кВт·ч электроэнергии в год на одном устройстве. Срок окупаемости разработки при использовании в промышленных системах составляет от 1,5 до 3 лет в зависимости от режима эксплуатации и тарифов на электроэнергию [5].

Важным экономическим фактором является универсальность системы, позволяющая заменить несколько специализированных источников питания одним адаптивным устройством. Это не только снижает капитальные затраты на оборудование, но и упрощает обслуживание, сокращая затраты на ремонт и техническую поддержку. Расчеты показывают, что суммарные затраты на владение (TCO) для разработанного решения на 25-30% ниже, чем для традиционных систем.

Для производителей электронного оборудования использование адаптивного источника питания открывает новые возможности по созданию конкурентоспособной продукции. Уменьшение массогабаритных показателей системы питания позволяет создавать более компактные и легкие устройства, что особенно важно для портативной техники и IoT-устройств. Повышенная надежность разработки снижает затраты на гарантийное обслуживание и повышает репутацию бренда.

В секторе возобновляемой энергетики внедрение разработки позволяет увеличить эффективность использования генерирующих мощностей на 8-12%, что существенно улучшает экономические показатели проектов. Особенно значительный экономический эффект достигается в автономных и гибридных системах, где каждый процент повышения эффективности напрямую влияет на стоимость вырабатываемой энергии.

Образовательные учреждения получают экономический эффект от использования разработки за счет сокращения затрат на обновление лабораторного оборудования. Универсальность системы позволяет использовать ее для проведения широкого спектра лабораторных работ, заменяя несколько специализированных стендов. Долгий срок службы и ремонтопригодность устройства дополнительно снижают затраты на поддержание учебной инфраструктуры.

Перспективы коммерциализации разработки весьма обнадеживающие. Анализ рынка показывает потенциальный спрос на уровне 5-7 тысяч единиц в год для промышленного сектора и до 3 тысяч единиц для образовательных учреждений. При этом себестоимость производства позволяет устанавливать конкурентную цену с рентабельностью на уровне 35-40%. Особенно перспективными представляются рынки медицинского оборудования и возобновляемой энергетики, где требования к качеству электропитания особенно высоки, а экономия ресурсов имеет критическое значение [6].

Разработка адаптированного источника напряжения открывает широкие возможности для дальнейшего совершенствования системы. Внедрение новых технологий и материалов позволит не только улучшить ключевые параметры устройства, такие как КПД, массогабаритные показатели и надежность, но и расширить функциональные возможности за счет интеграции с современными цифровыми системами.

Одним из перспективных направлений модернизации является миниатюризация устройства. Переход на высокочастотные импульсные преобразователи, использование SMD-компонентов и силовых модулей последнего поколения позволит значительно сократить габариты системы без потери мощности. Дополнительным резервом для уменьшения размеров может стать применение гибких печатных плат и современных теплопроводящих материалов, таких как керамические подложки, которые заменят традиционные массивные радиаторы [7].

Не менее важной задачей остается повышение энергоэффективности источника питания. Внедрение широкозонных полупроводниковых материалов, таких как карбид кремния (SiC) и нитрид галлия (GaN), способно существенно снизить потери на переключение

и нагрев, особенно в высокочастотных схемах. Дополнительный эффект может дать оптимизация алгоритмов управления, включая динамическое переключение между режимами работы в зависимости от нагрузки, что особенно актуально для устройств с переменным энергопотреблением.

Другим перспективным направлением является разработка модульных конструкций с возможностью горячей замены отдельных блоков, что повышает ремонтопригодность и масштабируемость системы. Такой подход особенно востребован в критически важных применениях, где требуется высокая отказоустойчивость, например, в медицинском оборудовании или системах телекоммуникационной инфраструктуры.

Дополнительный резерв для модернизации связан с применением передовых методов теплоотвода, включая микро- и наноканальные системы охлаждения, а также использование фазовых переходов в термотрубках. Это позволит увеличить удельную мощность источников питания без увеличения их габаритов, что особенно важно для авиакосмической техники и мобильных устройств.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку гибридных решений, сочетающих различные принципы преобразования энергии, а также на создание универсальных модульных платформ, позволяющих быстро адаптировать источник напряжения под конкретные задачи. Особое внимание при модернизации следует уделить вопросам экологичности, включая разработку энергоэффективных режимов работы в условиях частичной нагрузки, а также применение новых экологически безопасных материалов в конструкции корпусов и печатных плат. Это соответствует современным тенденциям экологически чистой энергетики и требованиям международных стандартов по снижению углеродного следа электронных устройств [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Шишлаков В.Ф., Соленая О.Я., Соленый С.В.* Основы электроснабжения объектов отрасли: учебное пособие. – Санкт-Петербург: ГУАП, 2017. – 85 с.

2. Анализ надежности гибридных систем электропитания / под ред. А.Н. Кузнецова. – Санкт-Петербург: Политехника, 2020. – 178 с.

3. *Иванов В.П.* Современные системы электропитания: архитектурные решения и тенденции развития // Электронные компоненты. – 2021 – С. 45-52.

4. *Сидоров В.Г.* Преобразователи для солнечных электростанций. — Москва: Энергия, 2022. – 288 с.

5. *Кузнецов А.В.* Экономика энергоэффективных технологий в электронике // Энергосбережение. – 2023. – С. 34 - 42.

6. Методика испытаний силового оборудования на виброустойчивость: технический отчет НИИПП. – Москва, 2022. – 92 с.

7. Миниатюризация источников вторичного электропитания: сб. науч. тр. / под ред. В.П. Кондратьева. – СПб.: Политехника, 2021. – 214 с. ISBN 978-5-7325-1124-9.

8. *Петров, А.В.* Перспективные технологии силовой электроники: монография / А.В. Петров, С.К. Иванов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2022. – 328 с. ISBN 978-5-283-15432-8.

ADAPTIVE TYPE CONVERTER FOR STABLE VOLTAGE SUPPLY

Nishonov R.E.

Supervisor: Vinogradov V.Yu., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This work presents adapted voltage source devices (VSDs) based on a modular architecture principle. Such systems ensure the conversion and precise stabilization of electrical energy for different types of equipment through specialized output modules. The broad application prospects of these sources in medicine, alternative energy, and the educational sector are also examined.

УДК 004.932.2

УСТРОЙСТВО ОБХОДА ПРЕПЯТСТВИЙ С ПОМОЩЬЮ GPS НАВИГАЦИИ ДЛЯ СЛАБОВИДЯЩИХ ПАЦИЕНТОВ

Попов А.А.

Научный руководитель: Муратов Р.М., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье представлена разработка интеллектуального навигационного устройства для слабовидящих, ключевой особенностью которого является интеграция алгоритмов машинного обучения с системой мультисенсорного обнаружения препятствий. Новизна решения заключается в комбинации ультразвуковых и оптических датчиков с нейросетевым анализом окружающей среды в реальном времени, что обеспечивает точное распознавание как стационарных, так и движущихся объектов. Практическая ценность исследования подтверждается успешными испытаниями прототипа, демонстрирующего эффективность предложенного подхода в условиях городской инфраструктуры.

Современные технологии позволяют создавать комплексные системы, помогающие слабовидящим людям безопасно ориентироваться в пространстве. Такие решения объединяют несколько ключевых компонентов: сенсорные модули (ультразвуковые, инфракрасные, LiDAR), GPS/ГЛОНАСС-навигацию, а также интеллектуальную обработку данных с помощью алгоритмов машинного зрения. В отличие от традиционных тростей или простых звуковых сигнализаторов, продвинутые системы анализируют окружающую среду в реальном времени, определяя не только статические объекты (стены, ступени, бордюры), но и динамические препятствия (движущихся пешеходов, транспорт). Полученные данные преобразуются в адаптивные аудиоподсказки, передаваемые через наушники или костную проводимость, что минимизирует дискомфорт при длительном использовании. Важным аспектом является интеграция с картографическими сервисами, позволяющая строить оптимальные маршруты с учетом особенностей городской инфраструктуры — пешеходных переходов, остановок общественного транспорта и зон повышенной опасности. Дополнительные функции, такие как распознавание текста (вывески, номера домов) и голосовое управление, расширяют возможности пользователей, обеспечивая не только безопасное передвижение, но и доступ к актуальной информации об окружающем пространстве. Разработка подобных систем требует тщательного баланса между точностью сенсоров, энергоэффективностью и эргономикой, чтобы устройство оставалось компактным, удобным в ежедневной эксплуатации и доступным по стоимости для широкого круга пользователей.

При разработке систем ориентирования для слабовидящих ключевым аспектом является выбор оптимального типа датчиков для детектирования препятствий. Наиболее распространённые технологии – инфракрасные (ИК), ультразвуковые (УЗ) и оптические сенсоры – обладают разными характеристиками, определяющими их применимость в навигационных устройствах.

Инфракрасные датчики работают на основе отражения ИК-излучения от объектов. Их дальность действия обычно ограничена 0.1–1.5 м, а точность зависит от отражающих свойств поверхности. Основное преимущество – низкое энергопотребление и компактность, однако они чувствительны к внешней засветке (солнечный свет, другие ИК-источники). Расстояние определяется по времени задержки отражённого сигнала, в полном виде можно увидеть это в формуле 1:

$$d = \frac{c \cdot \Delta t}{2}, \tag{1}$$

где c – скорость света;

Δt – время между излучением и приёмом сигнала.

На рисунке 1 можно увидеть принцип работы датчика:

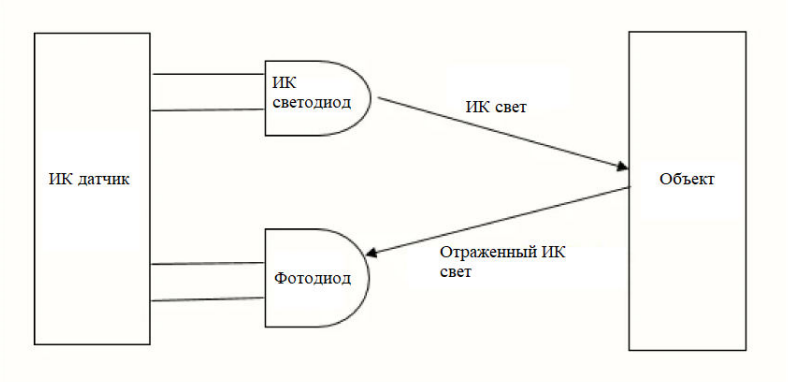


Рисунок 1. Принцип работы инфракрасного датчика

Ультразвуковые датчики используют звуковые волны (частотой 20-200 кГц) и эффективны на дистанциях от 2 см до 5 м. Они менее зависимы от освещения и способны обнаруживать прозрачные объекты (стекло), но имеют низкую угловую разрешающую способность и подвержены помехам от акустического шума. Формула расчёта расстояния аналогична ИК-датчикам, но учитывает скорость звука (v≈343 м/с при 20° Cv≈343 м/с при 20°C) в полном виде можно увидеть это в формуле 2:

$$d = \frac{v \cdot \Delta t}{2} \tag{2}$$

На рисунке 2 можно увидеть принцип работы датчика:

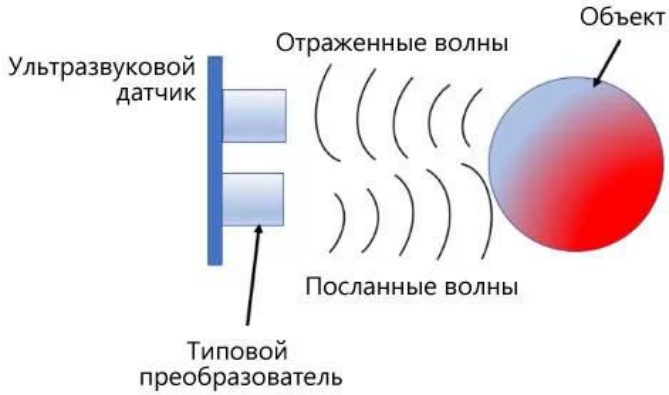


Рисунок 2. Принцип работы ультразвукового датчика

Оптические дальномеры, основанные на технологии лазерного сканирования, представляют собой высокоточные устройства для измерения расстояний до объектов в реальном времени. Их работа базируется на принципе времени пролета (ToF – Time of Flight), когда короткий лазерный импульс направляется к цели, а специальный фотоприемник фиксирует отраженный сигнал. Высокая скорость распространения светового луча (≈$3 \cdot 10^8$ м/с) требует использования прецизионной электроники с временным разрешением порядка наносекунд для обеспечения миллиметровой точности измерений. В современных реализациях часто применяется метод фазового сравнения модулированного светового сигнала, позволяющий достигать точности ±1-5 мм на расстояниях до 50-100 метров. Ключевыми компонентами таких систем являются: полупроводниковый лазерный диод (обычно с длиной волны 850-1550 нм), интерференционный фильтр приемного тракта, высокочувствительный фотодиод типа avalanche (APD) или pin-структуры, и высокопроизводительный микроконтроллер для обработки сигналов. Важным преимуществом оптических дальномеров перед другими типами сенсоров является их невосприимчивость к акустическим помехам и способность работать при любой освещенности, включая прямую

солнечную засветку. Однако их эффективность может снижаться при работе с высокоотражающими или поглощающими поверхностями, что требует дополнительной алгоритмической обработки получаемых данных.

В разрабатываемой системе навигации для слабовидящих был выбран многоточечный оптический дальномер VL53L5X компании STMicroelectronics, который сочетает в себе высокую точность измерений с энергоэффективностью и компактными размерами. Этот датчик представляет собой усовершенствованную версию Time-of-Flight (ToF) сенсора, работающего на принципе измерения времени пролета коротких лазерных импульсов (длина волны 940 нм) до объекта и обратно. Особенностью VL53L5X является использование запатентованной технологии многозонного измерения, позволяющей одновременно определять расстояния в 64 независимых секторах с углом обзора 61° (по горизонтали и вертикали) при частоте обновления до 60 Гц. Рабочий диапазон датчика составляет от 5 см до 4 метров с точностью ±5%, что оптимально для задач обнаружения препятствий в условиях городской среды. Ключевыми преимуществами выбранного решения стали: встроенный алгоритм компенсации оптических помех (включая солнечную засветку до 100 клк), низкое энергопотребление (менее 10 мА в активном режиме), компактный корпус размером 6,4×3,0×1,5 мм, а также возможность работы через прозрачные защитные покрытия. Принцип работы основан на точном измерении времени между излучением модулированного лазерного сигнала и приемом отраженного фотонов с помощью высокочувствительного SPAD (Single Photon Avalanche Diode) массива, что обеспечивает надежное детектирование даже слабоотражающих объектов. Встроенный DSP-процессор выполняет сложную обработку сигналов непосредственно на кристалле, включая компенсацию температурных дрейфов и калибровку, что значительно упрощает интеграцию датчика в конечное устройство. Эти характеристики делают VL53L5X оптимальным выбором для носимых систем навигации, где критичны малые габариты, низкое энергопотребление и высокая надежность работы в различных условиях окружающей среды [1].

В качестве вычислительного ядра разрабатываемой системы навигации был выбран 32-битный микроконтроллер STM32F407VGT6 семейства ARM Cortex-M4, что обусловлено оптимальным сочетанием его технических характеристик с требованиями проекта. Данный чип обладает тактовой частотой до 168 МГц, что обеспечивает достаточную производительность для обработки данных с нескольких сенсоров (включая оптический дальномер VL53L5X, GPS-модуль и инерциальный блок) в реальном времени. Наличие аппаратного блока вычислений с плавающей запятой и DSP-инструкций критически важно для реализации алгоритмов цифровой фильтрации сигналов. Объем встроенной памяти (1 МБ Flash + 192 КБ SRAM) позволяет хранить сложные алгоритмы обработки и картографические данные, а наличие контроллера DMA освобождает процессорное время для критичных по времени задач. Особое значение имеет низкое энергопотребление (менее 200 мкА в режиме сна с сохранением состояния), что критично для носимых устройств [2].

Также принципиальная схема устройства включает в себя GPS-модуль Quectel L76-LB с режимом низкого энергопотребления, он представляет собой многосистемный навигационный приемник, поддерживающий одновременное отслеживание спутниковых группировок GPS, ГЛОНАСС, Galileo, QZSS и SBAS благодаря 33 каналам слежения, 99 каналам сбора и 210 каналам PRN он может получать и отслеживать любое сочетание сигналов, что обеспечивает высокую точность позиционирования даже в условиях плотной городской застройки. Устройство демонстрирует впечатляющую чувствительность на уровне -167 дБм, позволяя сохранять устойчивый прием сигналов при движении в сложных городских условиях [3]. GPS-модули в современных навигационных устройствах функционируют на основе приёма и обработки сигналов от спутниковых группировок (GPS, ГЛОНАСС, Galileo). В разрабатываемой системе используется многочастотный GNSS-приёмник, обеспечивающий точность позиционирования до 1,5-2 метров в городских условиях. Принцип работы основан на точном измерении времени прохождения радиосигнала от нескольких спутников (не менее 4) до приёмного модуля. Каждый спутник передаёт два типа данных: эфемериды (точные

параметры своей орбиты) и альманах (общая информация о состоянии всей спутниковой группировки) [4]. Пример работы GPS навигации можно увидеть на рисунке 3:

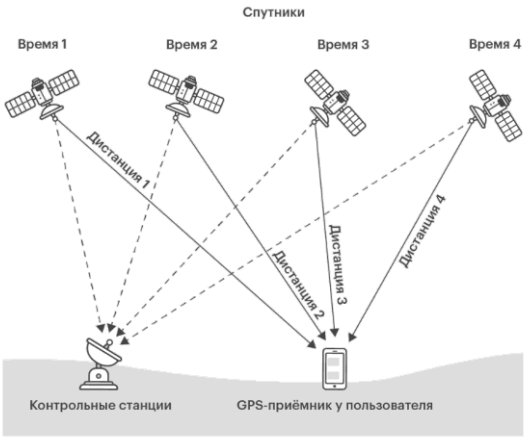


Рисунок 3. Схема работы GPS

Микроконтроллер ESP-32S для отправки звуковых оповещений о препятствии, он представляет собой высокоинтегрированное решение для беспроводных IoT-устройств, сочетающее в себе двухъядерный процессор Xtensa LX6 с тактовой частотой до 240 МГц и полнофункциональные модули беспроводной связи Wi-Fi 802.11 b/g/n и Bluetooth 4.2 BR/EDR/BLE. Архитектура процессора с поддержкой инструкций DSP и аппаратного шифрования обеспечивает эффективную обработку данных в реальном времени, что особенно важно для задач сетевого взаимодействия и безопасной передачи информации. Объем встроенной памяти включает 520 КБ SRAM и 4 МБ Flash, что позволяет реализовывать сложные сетевые протоколы без необходимости внешних микросхем памяти [5].

С принципиальной электрической схемой можно ознакомиться на рисунке 4:

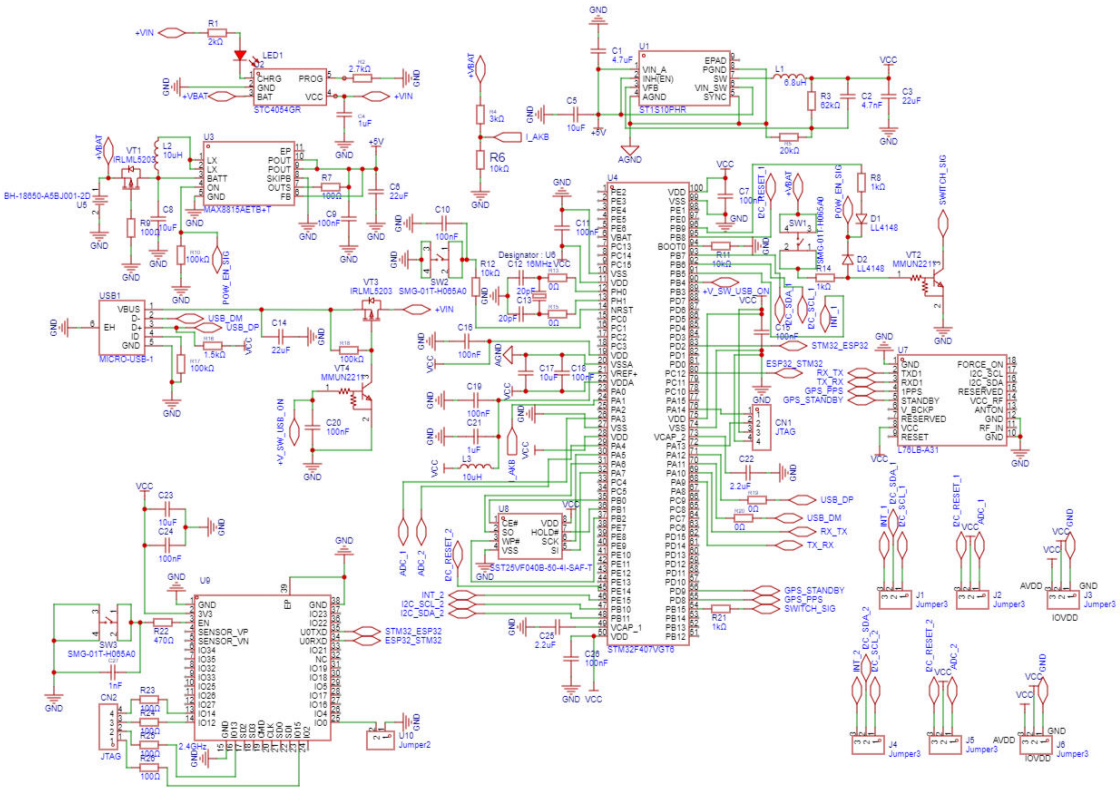


Рисунок 4 – Электрическая принципиальная схема трости для слабовидящих пациентов

Проведенная работа позволила разработать компактную навигационную систему для слабовидящих, сочетающую мультисенсорное обнаружение препятствий с точным GPS-позиционированием. Использование микроконтроллера STM32F407VGT6 и дальномера VL53L5X обеспечило энергоэффективность и высокую скорость обработки данных в реальном времени. Полученные результаты подтверждают перспективность предложенного подхода для создания доступных ассистивных устройств, значительно повышающих мобильность людей с нарушениями зрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. VL53L5CX Datasheet: Multi-zone ranging sensor with wide field of view [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l5cx.pdf (дата обращения: 19.06.2025).
2. STM32F407VG Datasheet [Электронный ресурс]: 32-bit ARM Cortex-M4 MCU + FPU, 210 DMIPS, 1 MB Flash/192+4 KB RAM, USB OTG HS/FS, 17 TIMs, 3 ADCs, 20 com. interf. – Режим доступа: https://www.st.com/resource/en/datasheet/dm00037051.pdf (дата обращения: 21.06.2025).
3. Техническая документация на модуль Quectel L76-LB GNSS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://auroraevernet.ru/upload/iblock/6f1/6f19715d438561f54e11a5cb6aa73ede.pdf (дата обращения: 21.06.2025).
4. Как работает GPS [Электронный ресурс] // Skillbox, 2023. URL: https://skillbox.ru/media/code/kak-rabotaet-gps/ (дата обращения: 21.06.2025).
5. ESP32-S Series Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.micro-planet.ma/downloads/esp32s.pdf (дата обращения: 21.06. 2025).

OBSTACLE AVOIDANCE DEVICE WITH GPS NAVIGATION FOR VISUALLY IMPAIRED PATIENTS

Popov A.A.
Supervisor: Muratov R.M., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents the development of an intelligent navigation device for visually impaired people, the key feature of which is the integration of machine learning algorithms with a multi-sensor obstacle detection system. The novelty of the solution lies in the combination of ultrasonic and optical sensors with real-time neural network analysis of the environment, which provides accurate recognition of both stationary and moving objects. The practical value of the research is confirmed by successful testing of a prototype demonstrating the effectiveness of the proposed approach in urban infrastructure conditions.

УДК 67.02

РАЗРАБОТКА УЧАСТКА ПОД АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНТАЖ КОМПОНЕНТОВ ПОВЕРХНОСТНО-МОНТИРУЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ РАЗМЕЩЕНИЕМ МАЛОГАБАРИТНЫХ И КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Романчева Т.А.
Научный руководитель: Козин К.В., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе рассматривается разработка участка автоматизированного монтажа компонентов поверхностно-монтируемых изделий на печатные платы с произвольным размещением крупногабаритных и малогабаритных

компонентов, компонентов с высокой плотностью выводов на одной монтажной поверхности печатной платы. Предложена гибридная технология участка монтажа, которая совмещает в себе трафаретную печать и установку дозирования паяльной пасты. Разработанное решение позволяет повысить точность нанесения паяльной пасты, адаптироваться к различным типам корпусов от 01005 до BGA с шагом выводов 0,3 мм и размещения рядам компонентов с шагом 1,25 и крупнее, без замены оснастки, сократить время переналадки и снизит процент брака.

Развитие производства ЭС непосредственно связано с автоматизацией и механизацией технологической подготовки производства. Предприятие называется автоматизированным, если основные технологические операции выполняются с использованием полуавтоматов или автоматов. При реализации автоматизированных производств применяются технологические линии, которые включают комплекс основного, вспомогательного и транспортного оборудования по направлению выполнения технологического процесса. [1].

Автоматизированная линия поверхностного монтажа (SMT) представляет собой комплекс оборудования, предназначенный для установки электронных компонентов на печатные платы (PCB) без использования выводных соединений. Этот процесс полностью автоматизирован и включает несколько ключевых этапов: подготовка печатных плат, нанесение паяльной пасты, оптический контроль нанесения пасты, установка компонентов, контроль установки компонентов, пайка оплавлением, автоматический оптический контроль пайки, тестирование и финальный контроль (рис.1).

Рис. 1. Типовая схема размещения оборудования участка автоматизированного монтажа

В настоящее время основным методом групповой пайки SMD-компонентов является оплавление паяльной пасты в специализированных печах. Подготовка платы к монтажу включает нанесение паяльной пасты на контактные площадки и установку компонентов.

Трафаретная печать один из наиболее распространённых методов нанесения пасты в средних и крупных сериях. Автоматические принтеры выравнивают плату и металлический трафарет с вырезанными апертурами (отверстиями) по шаблону платы, после чего паста продавливается ракелем через апертуры на нужные площадки (рис. 2). Такой подход обеспечивает высокую скорость нанесения и точность. Трафаретная печать подходит для серийного выпуска однотипных изделий, но имеет ограничение, так как для каждой новой платы требуется свой трафарет, что увеличивает время переналадки и стоимость малосерийного выпуска [2].

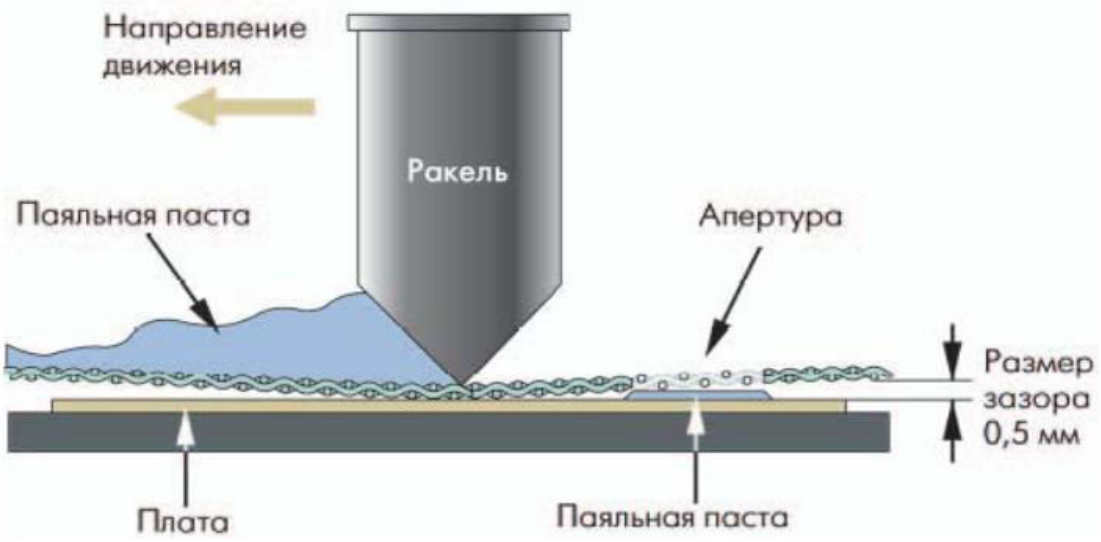


Рис. 2. Движение ракеля по трафарету [3]

Дозаторная технология не требует трафарета (рис. 3). Дозатор представляет собой накопительный цилиндр с иглой или соплом, по принципу шприца подающий строго отмеренные порции пасты на заданные площадки. Преимущество дозаторной технологии заключается в возможности тонкой настройки объёма пасты для каждой точки с высокой повторяемостью. Дозатор не зависит от жесткого шаблона и может быть перепрограммирован при смене номенклатуры плат.

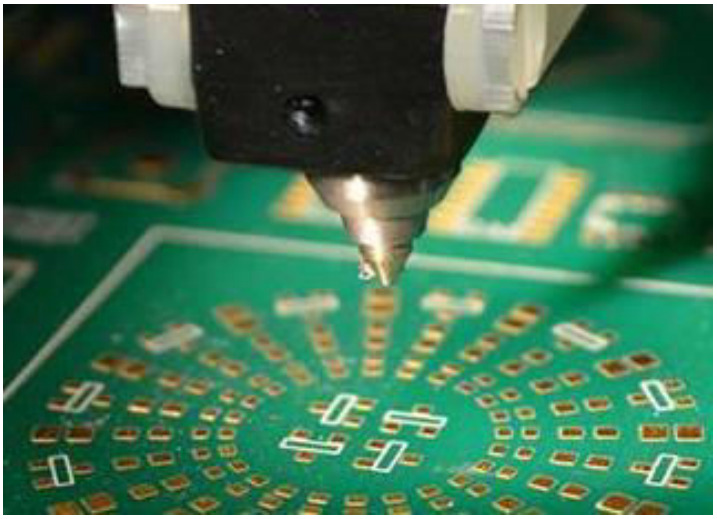


Рис. 3. Дозирование паяльной пасты/клея [4]

Разработка участка автоматизированного монтажа должна учитывать следующие требования:

– точность позиционирования – критична при установке компонентов с высокой плотностью выводов и малых габаритов;

– гибкость системы – возможность работы с компонентами различного типа, включая нестандартные форм-факторы;

– минимизация дефектов – за счет внедрения автоматизированного контроля монтажа и пайки.

Гибридный подход предполагает совместное использование трафаретной печати и дозаторного нанесения в рамках одного участка монтажа. Теоретически такая комбинация позволяет сгладить недостатки каждого метода: быстрое нанесение обширных участков пасты с помощью трафарета сочетается с высокой гибкостью и точностью дозатора для мелких,

редко встречающихся или сложных зон. Например, при выпуске небольшой серии или прототипов отпадает необходимость изготовления трафаретов: паста может быть нанесена непосредственно дозатором. При переходе к серийному выпуску те же платы можно напечатать через трафарет, экономя время и снижая стоимость единицы изделия.

Практически гибридный участок может быть организован так: на общем конвейере располагаются и автоматический трафаретный принтер, и установки-дозаторы; система управления задаёт, какие площадки покрывать каким методом. Компоненты после нанесения пасты устанавливаются с помощью установщика.

Гибридная схема особенно уместна при одновременной работе с несколькими типами плат и высоком ассортименте номенклатуры. Она позволяет быстро перенастраивать участок под разные проекты, сохраняя высокую точность дозировки материала при малых сериях и высокую производительность при крупных партиях. Таким образом, обоснование гибридного подхода состоит в комбинировании скоростной эффективности и повторяемости трафаретной печати с адаптивностью и точностью дозирования, что в целом расширяет технологические возможности участка сборки.

Преимущества предлагаемого решения:

1. Гибкость производства. Одно и то же оборудование может обслуживать разные типы плат и быстро менять конфигурацию, обеспечивая эффективную работу при малых и средних партиях.

2. Сокращение накладных расходов. Отпадает необходимость изготавливать индивидуальные трафареты для прототипов и мелких серий, что экономит время и средства.

3. Высокая точность дозирования. Дозаторы позволяют точно контролировать объёмы пасты на критичных участках, а принтер обеспечивает однородность печати на повторяющихся платах.

4. Увеличенная производительность. В крупных сериях основная часть пасты наносится быстрым трафаретным методом, а дозирование используется лишь на специальных зонах. Это обеспечивает сочетание высокой скорости и высокого качества.

5. Повышенное качество сборки. Автоматизация обеих операций снижает долю человеческого фактора и, как правило, уменьшает число дефектных соединений и необходимость перепайки.

Подводя итог, можно сделать вывод, что внедрение гибридного участка поверхностного монтажа обеспечивает улучшение ключевых показателей производства. Ожидается повышение общей производительности за счёт адаптивного распределения работ: крупные партии обрабатываются с минимальными паузами на переналадку, а опытные образцы без дополнительных затрат на изготовление трафаретов. Качество монтажа улучшается за счёт точного дозирования в проблемных зонах и контроля каждой операции автоматикой. Практика показывает, что сокращается время простоя оборудования и снижается процент брака: например, благодаря автоматическому дозированию клея на тяжёлые компоненты удаётся исключить их смещение во время пайки. В целом гибридный подход позволяет оптимизировать ресурсы участка и быстрее реагировать на изменение спроса на разные изделия в рамках одного производства [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *В.И. Крючатов, Козин К.В.* Технологическая подготовка производства электронных средств: учебное пособие по курсовому проектированию. Казань, 2023.–77 с.

2. *Шмаков М., Милишников Д., Каспина Т.* Участок поверхностного монтажа для мелкосерийного многономенклатурного производства сложных печатных узлов // Технологии в электронной промышленности. 2007. №5. С. 50–59.

3. *Соболев С.Ф.* Методические указания по лабораторным работам поверхностного монтажа: методические указания / С.Ф. Соболев. Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2009. 72 с. – URL: https://e.lanbook.com/book/43655 (дата обращения: 9.05.2025). Текст электронный.

4. *Аминджанов Т.А.* Азбука радиоэлектроники и секретов стабильно высокого качества/ Т.А. Аминджанов, А.А. Марков, Я.Н. Рогозовец Санкт-Петербург, 2024. 351 с.

5. *Романчева Т.А.* Разработка участка под автоматизированный монтаж компонентов поверхностно-монтируемых изделий на печатные платы / Романчева Т.А. // Материалы XII Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2025». 10-12 апреля 2025. Казань. – 428-430 с.

DEVELOPMENT OF A SITE FOR AUTOMATED INSTALLATION OF COMPONENTS OF SURFACE-MOUNTED PRODUCTS ON PRINTED CIRCUIT BOARDS WITH ARBITRARY PLACEMENT OF SMALL AND LARGE-SIZED COMPONENTS

Romancheva T.A.

Supervisor: Kozin K.V., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, Russia)

Abstract. This paper considers the development of an automated installation site for components of surface-mounted products on printed circuit boards with arbitrary placement of large and small-sized components, components with high pin density on one mounting surface of the printed circuit board. A hybrid technology of the installation site is proposed, which combines screen printing and a solder paste dosing unit. The developed solution makes it possible to increase the accuracy of soldering paste application, adapt to various types of housings from 01005 to BGA with a pin pitch of 0.3 mm and to accommodate rows of components in increments of 1.25 and larger, without replacing tooling, reduce changeover time and reduce the percentage of defects.

УДК 621.382.2

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ РАЗЛИЧНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНОВ В ОПТИЧЕСКИХ ПУЛЬСОМЕТРАХ

Румянцев П.В.

Научный руководитель: Муратов Р.М., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассматриваются принципы функционирования оптических пульсометров, основанных на технологии фотоплетизмографии, с акцентом на применение светодиодов различных спектральных диапазонов — зелёного, красного и инфракрасного. Проведён анализ характеристик и эффективности различных светодиодов.

Современные пульсометры, основанные на технологии фотоплетизмографии (ФПГ), представляют собой высокотехнологичные устройства, способные обеспечивать непрерывный и неинвазивный мониторинг частоты сердечных сокращений (ЧСС) в реальном времени. Фотоплетизмография — это оптический метод измерения изменений объема крови в микрососудах кожи, который основывается на регистрации вариаций интенсивности света, отраженного или прошедшего через биологические ткани. Светодиоды (LED) играют в этом процессе ключевую роль, являясь источником оптического излучения, на котором основан весь принцип действия фотоплетизмографии.

Применение светодиодов в оптических пульсометрах (рисунок 1) обусловлено их многочисленными преимуществами: миниатюрностью, низким энергопотреблением, высокой скоростью отклика, доступностью в различных длинах волн, устойчивостью к механическим воздействиям и долговечностью [1].

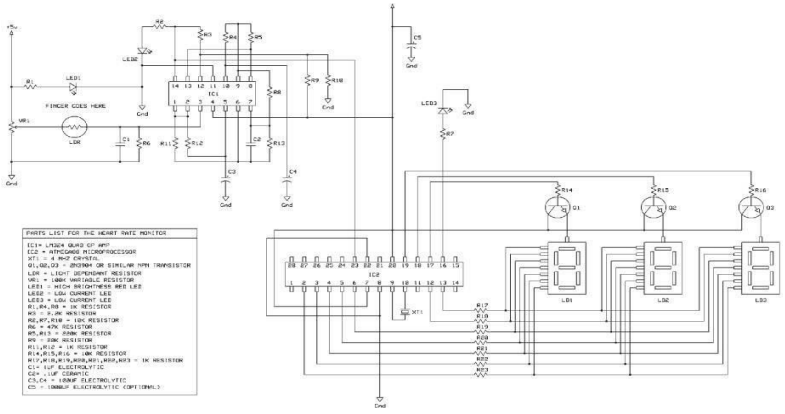


Рисунок 1. Схема электрическая принципиальная [2]

Эти характеристики делают светодиоды особенно привлекательными для встраивания в носимую электронику: умные часы, фитнес-браслеты, нагрудные ремни, кольца и даже умные текстильные изделия. Они позволяют реализовать непрерывный мониторинг ЧСС, включая ночное слежение за сердечным ритмом, мониторинг в состоянии физической нагрузки и даже выявление аритмий.

Принцип действия оптических пульсометров, использующих технологию фотоплетизмографии, основан на регистрации изменений интенсивности света, отраженного от поверхности кожи или прошедшего сквозь мягкие ткани организма. Эти изменения вызваны колебаниями объема крови в периферических сосудах, происходящими синхронно с сердечными сокращениями. Светодиоды и фотодетекторы, работающие в тесной связке, образуют высокочувствительный сенсорный модуль, способный отслеживать даже незначительные вариации кровотока.

Этапы формирования сигнала [3]:

1. Излучение света определенной длины волны. Светодиоды (LED), интегрированные в пульсометр, излучают свет с заданной длиной волны — чаще всего зелёный (около 530 нм), красный (620–750 нм) или инфракрасный (800–1000 нм). Выбор длины волны обусловлен оптическими свойствами биологических тканей, а также коэффициентами поглощения различных форм гемоглобина (оксигемоглобина и дезоксигемоглобина). Свет, попадая на кожу, частично отражается от её поверхности, частично рассеивается в подкожных слоях, а оставшаяся часть поглощается тканями и кровью. Гемоглобин, содержащийся в эритроцитах, активно поглощает свет, особенно в диапазоне зелёных и красных длин волн. Таким образом, степень поглощения света напрямую зависит от объема крови, находящейся в исследуемой области.

2. Прохождение и рассеяние света в тканях. После излучения свет проникает в биологические ткани, где он подвергается множественным процессам: преломлению, рассеянию, частичному поглощению. Эти процессы зависят от плотности тканей, структуры капилляров, наличия пигментов (например, меланина), толщины кожи, гидратации и других индивидуальных факторов. На каждом сердечном цикле в исследуемой области (например, на запястье) изменяется кровенаполнение сосудов. Во время систолы объём крови увеличивается, а при диастоле — уменьшается. Это приводит к изменению степени поглощения и рассеяния света, что влечет за собой модуляцию интенсивности светового сигнала, возвращающегося к фотодетектору.

3. Регистрация отражённого или прошедшего света фотоприемником. Фотодетектор (обычно фотодиод или фототранзистор) принимает обратноотражённый свет, прошедший через ткани, и преобразует его в электрический сигнал. Микроскопические изменения интенсивности отражённого света, вызванные пульсацией крови, фиксируются с высокой чувствительностью.

4. Преобразование сигнала и его обработка. Электрический сигнал от фотодетектора поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) микроконтроллера. Далее с помощью

встроенных алгоритмов обработки происходит фильтрация сигнала — удаление шумов (движений, внешнего освещения), компенсация пульсаций артериальных стенок, выравнивание по уровню и частотному диапазону. После обработки сигнал анализируется во временной области: алгоритмы определяют пики, соответствующие каждому сердечному сокращению. Интервал между пиками позволяет точно рассчитать частоту сердцебиения. Также возможно построение полноценной пульсовой волны, анализ которой может использоваться для дополнительной информации: оценки вариабельности пульса, уровня стресса, сосудистого тонуса и др.

5. Результат: расчет частоты сердечных сокращений. В итоге на основе изменяющейся интенсивности светового потока, проходящего через ткани или отражающегося от них, микроконтроллер вычисляет ЧСС — количество пульсовых волн в минуту. Современные алгоритмы обеспечивают высокую точность измерения даже в условиях движения пользователя, при интенсивных тренировках, изменениях температуры кожи и других внешних факторах

Сравнительный анализ эффективности использования различных светодиодов в оптических пульсометрах.

Зелёный светодиод модели GNL-3012GD (рисунок 2) представляет собой излучатель на основе материала галлий-фосфида (GaP) с длиной волны порядка 565 нанометров [4]. Это излучение находится в зелёной области видимого спектра и обладает уникальными свойствами взаимодействия с биологическими тканями, особенно в контексте фотоплетизмографии — оптического метода измерения частоты сердечных сокращений.

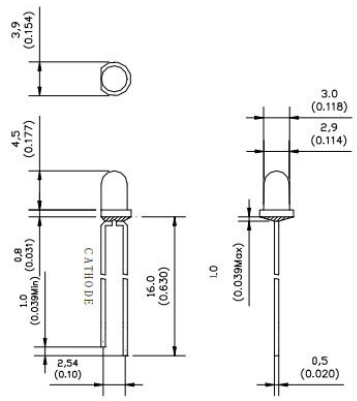


Рисунок 2. Светодиод GNL-3012GD [4]

Светодиод имеет прямое напряжение около 2,1 Вольта, что позволяет использовать его с низковольтными источниками питания, типичными для портативной электроники. При этом он рассчитан на работу с небольшим прямым током — до 30 миллиампер, что делает его энергоэффективным элементом в составе носимых устройств, работающих от аккумулятора или батареи.

Пиковый ток, допустимый в импульсном режиме, достигает 150 мА, что позволяет кратковременно повышать яркость излучения, например, в моменты, когда сигнал ухудшается из-за движения или внешнего света. Это особенно полезно для адаптивных режимов пульсометров, где интенсивность излучения подстраивается под условия.

Интенсивность света, излучаемого светодиодом при токе 20 мА, находится в пределах 7 мкд (милликандел), что свидетельствует о высокой яркости для диффузного источника. При этом угол излучения составляет около 60 градусов, что обеспечивает достаточно широкую зону охвата без избыточной рассеянности, то есть большая часть света будет направлена в ткани, а не теряться в воздухе.

Когда зелёный светодиод установлен в корпусе пульсометра, его свет проникает в поверхностные ткани и частично отражается обратно в фотодетектор, расположенный рядом. Благодаря высокой степени поглощения зелёного света кровью и низкой глубине

проникновения, возвращённый сигнал обладает высоким контрастом: разница между фазами систолы и диастолы становится ярко выраженной, что облегчает цифровую обработку сигнала.

Наличие широкого угла свечения делает зелёный светодиод удобным в том плане, что он способен охватывать большую площадь кожи, минимизируя влияние неидеального контакта с поверхностью (например, при неплотном прилегании устройства к запястью). А диффузная линза сглаживает направленность излучения, уменьшая зеркальное отражение от кожи и снижая чувствительность к наклону устройства.

Кроме того, низкое напряжение питания и малый рабочий ток обеспечивают минимальное энергопотребление, что является решающим фактором для фитнес-браслетов и умных часов, которые должны функционировать от одного заряда несколько суток, а то и недель.

Зелёный светодиод особенно хорошо подходит для использования в пульсометрах, размещаемых на запястье. Это обусловлено тем, что в области запястья капилляры и мелкие артерии расположены достаточно близко к поверхности кожи, а зелёный свет с длиной волны около 565 нм проникает именно на такую глубину — 1–2 миллиметра. Благодаря этому он эффективно захватывает изменения объёма крови при каждом сердечном сокращении, обеспечивая чёткий и стабильный сигнал. Кроме того, зелёный свет позволяет лучше справляться с артефактами, вызванными движением руки, что критически важно для носимых устройств, применяемых в повседневной активности и спорте.

В то же время для измерений, проводимых на пальце — например, в классических медицинских пульсоксиметрах — более целесообразно использовать красные или инфракрасные светодиоды.

Эти длины волн проникают глубже в ткани и обеспечивают высокую точность при оценке насыщения крови кислородом (SpO_2), что особенно важно при диагностике и мониторинге дыхательных или сердечно-сосудистых состояний. Палец обладает достаточной толщиной и плотностью сосудистой сети, чтобы обеспечить надёжный сигнал в красном и ИК-диапазоне, в то время как на запястье такие волны менее эффективны.

Инфракрасные (ИК) светодиоды серии BL-L314IR (рисунок 3) являются излучателями невидимого света с длинами волн в диапазоне 850–940 нм, что соответствует ближнему инфракрасному спектру. Они широко используются в медицинских и потребительских приборах, где требуется неинвазивное измерение физиологических параметров, таких как частота сердечных сокращений, насыщение крови кислородом (SpO_2), и вариабельность сердечного ритма.

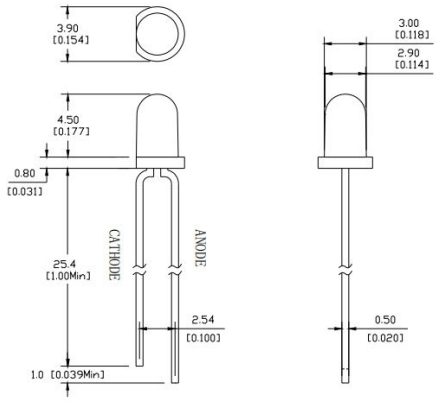


Рисунок 3. Светодиод BL-L314IR [5]

В отличие от зелёных и красных светодиодов, ИК-LED излучают невидимый глазом свет, что делает их комфортными для пользователя (не ослепляют, не отвлекают), и менее подверженными влиянию внешнего освещения.

Прямое напряжение ИК-светодиодов составляет от 1.4 до 2.0 Вольт, в зависимости от

длины волны и конкретной модели. При этом они рассчитаны на рабочий ток 50 мА, что выше, чем у зелёных диодов, но в импульсном режиме допускается кратковременное повышение тока до 250 мА (при соотношении импульс/пауза 1:10).

Интенсивность излучения измеряется не в канделах, как для видимого света, а в радиантной мощности — для моделей BL-L314IR она составляет до 25 мВт/ср, что говорит о высокой мощности в заданном направлении. Угол излучения у моделей 880 и 940 нм — 25°, а у модификации на 850 нм — 45°. Это означает, что 850-нм модель обеспечивает более широкий охват ткани, тогда как 940-нм — более сфокусированное излучение.

Для измерения пульса на пальце наилучшим решением является использование инфракрасного (ИК) светодиода. Это объясняется тем, что ИК-излучение обладает высокой проникающей способностью и слабо поглощается поверхностными структурами кожи, такими как меланин и эпидермис. Несмотря на то, что кожа на пальце плотнее, чем, например, на запястье, свет с длиной волны 850–940 нм способен проходить сквозь палец по всей толщине, позволяя использовать трансмиссивный метод измерения — когда светодиод и фотодетектор располагаются по разные стороны пальца. Такая конфигурация обеспечивает высокую точность регистрации пульсовой волны, благодаря стабильному положению пальца, хорошему кровоснабжению и низкому уровню артефактов. Именно поэтому медицинские пульсоксиметры и профессиональные оптические датчики чаще всего используют ИК-светодиоды для измерений на пальце.

Красный светодиод GNL-3012HD (рисунок 4) выполнен на основе материала галлий-фосфид (GaP) и излучает свет с пиковым значением длины волны около 700 нм [6].

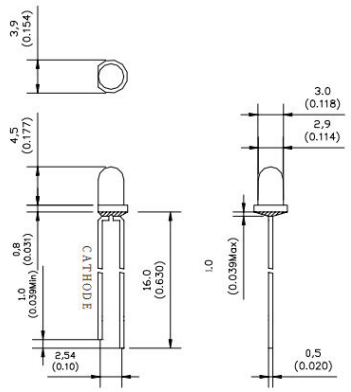


Рисунок 4. Светодиод GNL-3012HD [6]

Рабочее прямое напряжение составляет примерно 2,1 вольта, что соответствует стандартным уровням питания цифровых схем и микроконтроллеров. Световой поток при токе 20 мА достигает 1,8 милликандел, что довольно умеренно по сравнению с зелёными или ИК-LED, но считается достаточным для задач глубинной оптической диагностики. Светодиод имеет диффузную линзу и угол свечения около 60 градусов, что обеспечивает равномерное распределение света в тканях и снижает влияние оптических бликов. Максимальный рабочий ток — 30 мА, а кратковременный импульсный ток может достигать 150 мА, что даёт возможность динамически увеличивать интенсивность излучения при необходимости. Красные светодиоды, как правило, не используются в одиночку. Их основная сила проявляется при совместной работе с ИК-LED. Вместе они обеспечивают двуканальный спектральный анализ, позволяя рассчитать соотношение сигналов на двух длинах волн и тем самым вывести процентное значение насыщения крови кислородом.

Красный свет (~660–700 нм) обладает средней глубиной проникновения в ткани. Он проникает глубже, чем зелёный (530–570 нм), но не так глубоко, как инфракрасный (850–940 нм). Это делает его особенно полезным для анализа средне-глубоких сосудов, таких как артериолы, расположенные на глубине 2–4 мм от поверхности кожи. Интенсивность сигнала от красного светодиода немного ниже, чем у зелёного, и часто требует компенсации за счёт более мощного тока или высокой чувствительности фотоприемника.

Главный недостаток — низкая чувствительность к пульсовой волне, особенно на запястье, где сосуды расположены ближе к поверхности, а отражённый сигнал с красного света имеет малую амплитуду. В условиях интенсивной физической активности или слабого контакта с кожей, сигнал может быть неустойчивым и зашумлённым.

Также стоит отметить, что в отличие от зелёного света, поглощение красного спектра оксигемоглобином довольно слабое, и без дополнительного канала ИК он не даёт полноценной картины кровотока. Поэтому для измерения ЧСС в движении он уступает зелёному, а для анализа глубоких слоёв — инфракрасному.

Низкая сила света (мкд) также требует точной настройки и чувствительных детекторов. При использовании с простыми фотодиодами без усилителей могут наблюдаться потери сигнала.

После сравнения трех моделей светодиодов становится понятно, что каждый тип светодиода выполняет в оптических пульсометрах свою специализированную функцию и не является универсальным решением. Красные светодиоды, несмотря на свою важную роль, не являются самостоятельными источниками для точного измерения пульса. Их основное назначение — работа в паре с инфракрасными светодиодами для оценки насыщения крови кислородом (SpO_2). Без этого спектрального дуэта красный свет сам по себе не обеспечивает достаточной чувствительности к пульсовой волне, особенно в условиях движения или при слабом контакте с кожей. Если целью стоит надежное измерение частоты сердечных сокращений на запястье, наилучшим выбором остаются зелёные светодиоды. Благодаря высокой чувствительности к изменению объема крови в поверхностных капиллярах, хорошей контрастности сигнала и устойчивости к артефактам движения, зелёный спектр обеспечивает стабильные и точные данные именно на этом участке тела. В то же время, если измерение проводится на пальце, где ткани проходимы для света большей длины волны, наилучший результат даёт использование инфракрасного светодиода. Его способность глубоко проникать в ткани и минимально зависеть от цвета кожи делает его идеальным для точного анализа пульса и определения уровня кислорода в крови при медицинских измерениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Регистраторы пульсового сигнала: схемотехника / С.А. Дудин, А.С. Цыбиков, В.И. Якунин – Евразийское Научное Объединение. – 2020. – № 11-2(69). –79-83 с.

2. *Гафаров М.М.* Оптический портативный измеритель пульса человека / М.М. Гафаров, М.Г. Нуриев // Наука в движении: от отражения к созданию реальности: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Альметьевск, 15 июня 2016 года / Под общей редакцией М.Ш. Гарифуллиной. – Альметьевск: Издательство «Перо», 2016. – С. 38-41.

3. *Калашников Р.П.* Портативный пульсометр с USB-интерфейсом / Р.П. Калашников, А.О. Комарова, О.Д. Клименко // Информационные и измерительные системы и технологии: Сборник научных статей по материалам Международной научно-технической конференции, Новочеркасск– Новочеркасск: ООО «Лик», 2016. – С. 369-371.

4. GNL-3012GD // Chipdip URL: https://www.chipdip.ru/product/gnl-3012gd-green (дата обращения: 15.05.2025).

5. BL-L314IRCC // Chipdip URL: https://www.chipdip.ru/product/bl-l314ircc (дата обращения: 15.05.2025).

6. GNL-3012HD // Chipdip URL: https://www.chipdip.ru/product/gnl-3012hd (дата обращения: 15.05.2025).

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF USING LEDS OF VARIOUS SPECTRAL RANGES IN OPTICAL PULSE METERS

Rumyantsev P.V.

Supervisor: Muratov R.M., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper examines the principles of operation of optical pulse meters based on photoplethysmography technology, with an emphasis on the use of LEDs of various spectral ranges - green, red and infrared. A comparative analysis of the characteristics and efficiency of LEDs is carried out.

УДК 681.5

РАЗРАБОТКА СТЕЛЛАЖА С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕМИ ПРОТИАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТОЙ

Сафарова В.В.
Научный руководитель: Виноградов В.Ю., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассматривается процесс разработки умного стеллажа для склада. Также, проводится анализ современных технологий автоматизации складов, определены основные требования к функциональности разрабатываемых блоков.

Современные складские комплексы требуют инновационных решений для оптимизации пространства и повышения эффективности хранения грузов. Традиционные стеллажные системы имеют некоторые ограничения, которые связаны с человеческим фактором: ручное управление и отсутствие встроенных механизмов для предотвращения аварий. В условиях высокой нагрузки и интенсивного использования даже незначительные ошибки персонала и технические сбои могут привести к серьезным последствиям и катастрофам, например, повреждение грузов, травматизация работников и простои в работе. Такие последствия влияют не только на работу склада, но и на работу всего производства. Внедрение умных технологий позволяет решить данные проблемы за счет автоматизации процессов и интеграции систем мониторинга.

Одним из таких решений является разработка стеллажей, способных автоматически перемещаться и предотвращать аварийные ситуации. Создание автоматизированных стеллажей является одной из ключевых частей умного склада. Понятие умный склад включает в себя совокупность современных технологий и методов автоматизации процессов. В настоящее время склад становится не просто местом хранения товаров и грузов, а высокотехнологичной системой, которая включает в себя автоматизированный учет и перемещение товаров, оптимизированное хранение и интеллектуальное управление всеми процессами с использованием современных технологий.

Наиболее часто «умные» склады включают в себя следующие технологии:

1. Автоматические транспортные средства:
- автоматизированные транспортные средства;
- автоматизированные платформы управления запасами.
2. Система управления складом:
- система управления складом или WMS;
- интернет вещей (IoT);
- радиочастотная идентификация (RFID);
- искусственный интеллект (ИИ) [1].

Автоматизация складских операций предполагает внедрение современных цифровых технологических решений, таких как роботизированные системы, специализированные аппаратно-программные системы и автоматизированные комплексы, позволяющие минимизировать участие персонала в выполнении складских процессов.

Главной задачей является автоматизация логических процессов, протекающих на складе, например, повышение скорости выполнения задач, улучшения параметров безопасности и стабильности, при этом снижение денежных затрат на рабочую силу. В

настоящее время растут требования к быстродействию обработки заказов и скорости поставок товаров, поэтому автоматизация считается ключевым фактором, способствующий действенному повышению организации поставками, продуктивности и конкурентности предприятия.

Автоматизация склада — это использование специального оборудования и аппаратно-программного обеспечения для замены ручного труда автоматизированными процессами. Это помогает упростить управление товарами, повысить эффективность работы сотрудников, оборудования и снизить вероятность ошибок [2].

Цели автоматизации склада:

•Повышение производительности. Автоматизация производительности склада значительно влияет на скорость таких процессов, как приемка, отгрузка товаров, инвентаризация и комплектация заказов. Роботизированные системы способны работать круглосуточно без перерывов. Они не только обеспечивают стабильную, высокую скорость обработки грузов, но и сильно упрощают работу благодаря заранее выстроенному маршруту. Но не стоит забывать, что каждая единица оборудования нуждается в переодической оценке состояния, настройке, починке и замене.

•Снижение ошибок до минимума. Современные алгоритмы исключают человеческий фактор, обеспечивая точность операций на 99,9 %. В отличие от персонала, автоматизированные системы не способны уставать, не теряют внимания из-за продолжительного рабочего времени и не допускают ошибок при монотонной работе.

•Автоматическое формирование аналитики. Современные WMS-системы в реальном времени генерируют полные точные отчеты по работе персонала: от управленческой аналитики до финансовых документов. Это позволяет оперативно выявлять слабые места в процессах, контролировать KPI (ключевые показатели эффективности) сотрудников, автоматизировать бухгалтерский учет, а также прогнозировать спрос на основе данных об остатках.

•Удаленный контроль и мониторинг. Облачные технологии дают возможность руководить складом из любой точки мира через веб-интерфейс или мобильное приложение. Можно в режиме реального времени отслеживать движение каждой товарной единицы, контролировать работу оборудования, оперативно реагировать на внештатные ситуации.

•Масштабирование бизнеса без значительного роста затрат. Автоматизированные системы позволяют увеличивать объемы обработки в 3-5 раз без пропорционального роста штата, что позитивно складывается не только на складское пространство, но и на все производство в целом.

•Оптимизация логистики. Интеллектуальные системы автоматически рассчитывают оптимальные маршруты перемещения грузов, планируют нагрузку на транспорт, минимизируют простои техники и снижают топливные расходы на 15-20 %.

•Повышение безопасности. Автоматизация склада значительно повышает уровень безопасности, создавая защищенную среду для хранения и обработки товаров. Современные системы исключают человеческий фактор в опасных зонах, минимизируя риски травматизма и повышая целостность грузов. Технологичные современные датчики и системы мониторинга контролируют соблюдение условий хранения — от температурного режима до уровня влажности, предотвращая порчу товара из-за неправильного складирования.

•Гибкая интеграция. Гибкость современных складских систем позволяет бесшовно интегрироваться с существующей инфраструктурой. Благодаря поддержке стандартных протоколов обмена данными склад становится органичной экосистемой единого цифрового контура предприятия. Это обеспечивает синхронизацию информации между управленческими, финансовыми и логистическими системами, устраняя «информационные разрывы». Такая основательная интеграция превращает склад из отдельной зоны в значимый элемент, который не только хранит товары, но и становится источником полезных данных для аналитики и прогнозирования спроса, обеспечивает ритмичное производство и высокую производительность всего предприятия.

Перед тем, как разработать автоматизированные стеллажи, следует понять, как работает система. Система умного склада представляет собой стеллажи, стоящие вплотную друг к другу, так же есть пустое пространство равное ширине одного стеллажа. Оператор, сидящий в отдельном помещении, принимает заявку на загрузку или выгрузку товара, который зарегистрирован в определенной ячейке стеллажа. Это информацию оператор отправляет на блок управления, который находится в складском помещении на одном неподвижном стеллаже. После этого блок управления обрабатывает сигнал и далее отправляется на управляемые устройства, расположенные на каждом стеллаже. Сигнал содержит информацию о индивидуальном номере стеллажа и о том в какую сторону он должен двигаться. Управляемые устройства считывают сигнал и выполняют команду, затем ответным сигналом в блок управления приходит информация о выполнении. В свою очередь блок управления отправляет сигнал на компьютер оператору. Результатом процесса является выполненная задача сдвижения или раздвижения стеллажей, которая обеспечивает проход к конкретной ячейке.

На Рис. 1 представлено схематичное расположение стеллажей в двух положениях.

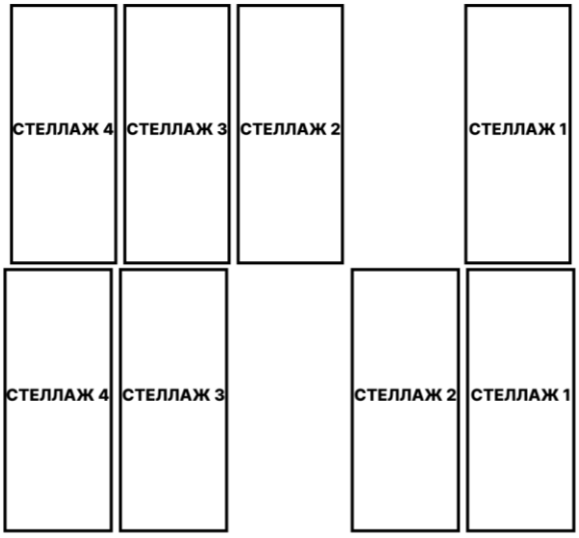


Рис. 1. Расположение стеллажей

Благодаря такому расположению стеллажей складское пространство используется эффективнее и помогает хранить большее количество товаров.

На Рис. 2 показана блок-схема информационного взаимодействия структур склада. Компьютер общается с блоком управления, а блок управления со стеллажами, т.е. прямого доступа с компьютера к стеллажам нет. Использование блока устраняет необходимость прямого индивидуального контроля каждого стеллажа. Это позволяет упростить работу оператора и ускорить работу сдвижения/ раздвижения стеллажей.

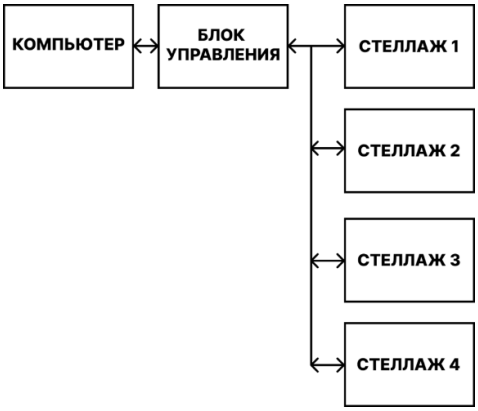


Рис. 2. Блок-схема информационного взаимодействия структур склада

Разработку автоматизированных стеллажей следует начать с блока управления. Он выполняет следующие функции:

- Прием и отправка сигнала на компьютер;
- Прием и отправка сигнала на управляемые устройства;
- Обработка принимаемых сигналов;
- Хранение информации о текущей позиции стеллажей.

При создании блока огромное влияние оказывает выбор микроконтроллера (МК), на базе которого выполнена схема. Сам МК должен быть производительным и энергоэффективным, а периферия соответствовать выполняемым функциям.

Учитывая все характеристики и параметры, а также изучив рынок, был выбран микроконтроллер STM32F103C8T6 (Рис. 3).

Рис. 3. Микроконтроллер STM32F103C8T6

Для беспроводной связи с компьютером используется радиочастотный модуль.

Радиочастотный модуль (сокращённо RF-модуль) – это небольшое электронное устройство, используемое для передачи и/или приёма радиосигналов между двумя устройствами. Часто появляется необходимость передачи информации на расстояние с помощью беспроводной связи. Такую связь можно осуществлять с помощью оптической связи или радиочастотной (РЧ) связи. Обычно предпочитается использование радиочастотной связи, так как для ее применения нет необходимости в прямой видимости. Связь состоит из принимающего устройства (приемника) и отправляющего (передатчик). Они сильно варьируются от типов и диапазонов передачи. Некоторые из них могут передавать сигнал на расстояние до 1000 метров [3].

На Рис. 4 показан выбранный радиомодуль – HC-12.

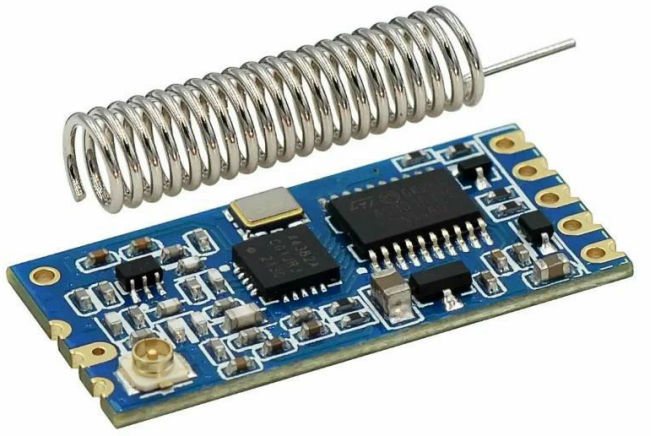


Рис. 4. Радиомодуль HC-12

Важно выбрать правильный способ передачи сигнала с управляющей платы на управляемые. Необходимо обеспечить связь с быстрым откликом и без потери сигнала. Для этой задачи была выбрана передача данных по RS-485.

RS-485 – это номер стандарта, впервые принятого Ассоциацией электронной промышленности (EIA). Сейчас этот стандарт называется TIA/EIA-485 Electrical Characteristics of Generators and Receivers for Use in Balanced Digital Multipoint Systems (Электрические характеристики передатчиков и приемников, используемых в балансных цифровых многоточечных системах) [4]. Интерфейс RS-485 реализован с помощью микросхемы ADM485AN.

Следует выбрать способ подачи питания на плату. В схеме используется напряжение 5 В и 3,3 В. Для подачи питания был выбран готовый внешний блок питания EPS-15-5, также была взята готовая схема понижения с 5 В до 3,3 В. Кроме того, была добавлена кнопка включения и индикация, которая сигнализирует о подаче и успешном понижении напряжения.

Электрическая принципиальная схема для блока управления представлена на Рис. 5.

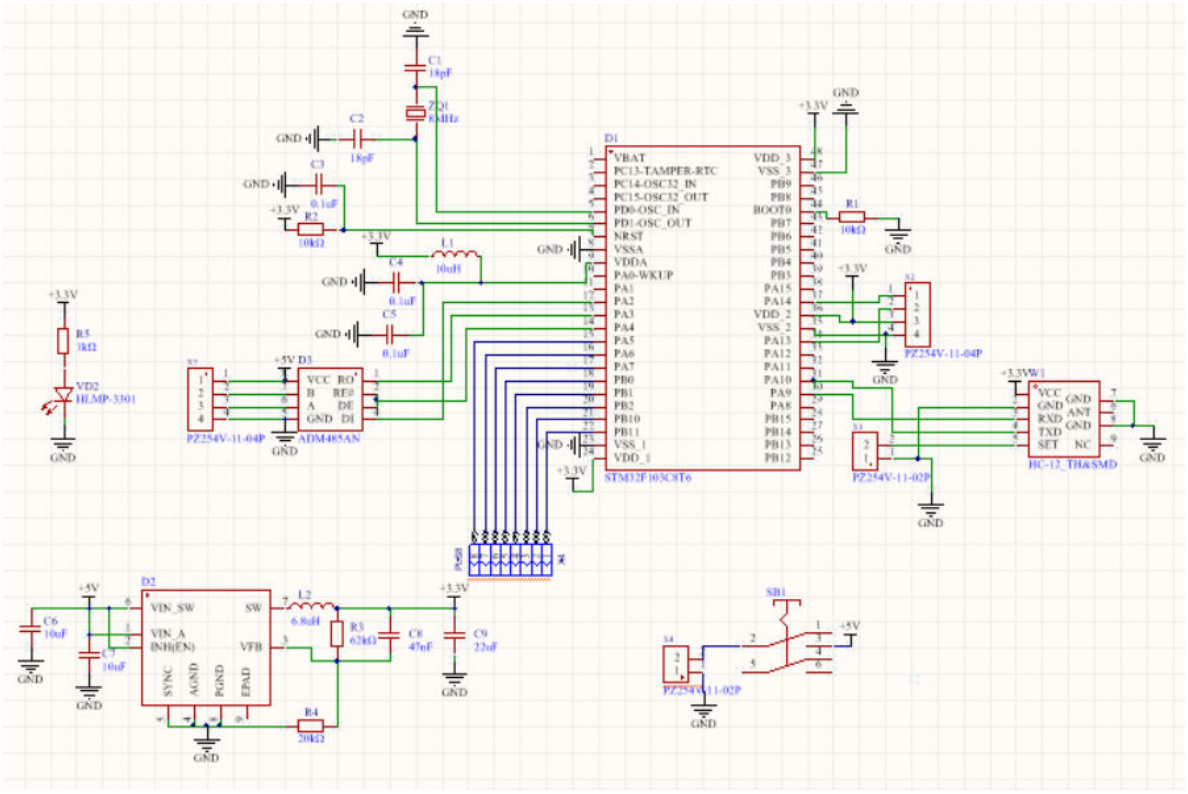


Рис.5. Электрическая принципиальная схема блока управления

Перейдем к разработке управляемой платы. Данная плата находится непосредственно на каждом стеллаже и управляет собственными сервомоторами. Преимуществом такой конструкции заключается в том, что управляемых плат может быть огромное множество, их количество напрямую зависит от количества стеллажей. Благодаря этому систему можно как расширять, так и сужать. Поэтому данная система подходит практически под любой размер складских помещений, что делает ее более функциональной и гибкой.

Схема управляемой платы схожа со схемой блока управления: в ней используется тот же МК и микросхемы 485 интерфейса, подача питания такая же как у блока. Отличие заключается в дополнительной микросхеме RS-485, которая используется для двигающей стеллаж системы, и в дополнительной индикации, которая сообщает о статусе выполнения команды. Также к управляемым платам подключены датчики расстояния, они нужны для повышения безопасности системы, определяют есть ли преграды на пути стеллажей.

Готовая электрическая принципиальная схема управляемой платы представлена на Рис. 6.

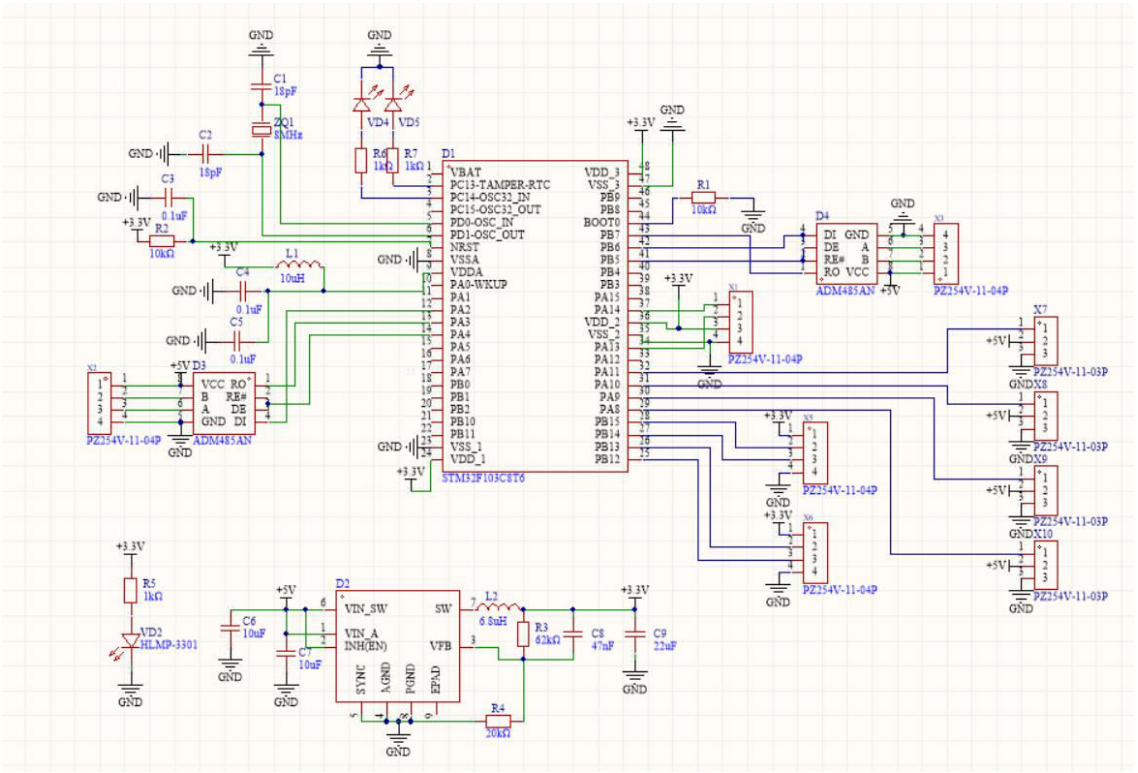


Рис. 6 – Электрическая принципиальная схема управляемой платы

Для того, чтобы приводить стеллажи в движение используются частотные преобразователи (ЧП) и серводвигатели.

Частотный преобразователь (ЧП) представляет собой электронное устройство, предназначенное для плавного регулирования скорости вращения асинхронных двигателей путем изменения частоты и напряжения питающего тока. По сути, это умный контроллер, который позволяет точно управлять работой электродвигателя, адаптируя его параметры под конкретные задачи. Современные преобразователи частоты могут не только изменять скорость вращения, но и выполнять множество дополнительных функций: защиту двигателя от перегрузок, контроль температуры, диагностику неисправностей [5].

Наиболее подходящим частотным преобразователем является Веспер Е4-8400-002Н. Данный ЧП является наиболее подходящим для работы, так как он хорошо справляется с колебаниями напряжения. Он считается лучшим частотным преобразователем на Российском рынке. Преимуществом выступает цена по сравнению со своими зарубежными аналогами.

На Рис. 7 представлен частотный преобразователь Веспер Е4-8400-002Н.

Рис. 7. Веспер Е4-8400-002Н [31]

Далее необходимо выбрать сервомотор. Наиболее подходящим сервомотор для складских помещений – серводвигатель Delta Electronics ECM-B3M-CA0602SS1 (Рис. 8).

Рис. 8 – Серводвигатель Delta Electronics ECM-B3M-CA0602SS1

В ходе разработки была спроектирована система для умного склада, интегрирующая современные системы управления перемещением стеллажей и защиты от аварийных ситуаций. Конструкция включает блок управления и управляемое устройство, подобраны устройства электроприводной системы для движения стеллажей. Разработанная конструкция оснащена датчиками расстояния и системой аварийной остановки, что минимизирует риски повреждения грузов и оборудования, также минимизированы риски скачка тока электросетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ильинцева А.А.* Роль «умных» технологий в управлении современным складом / А.А. Ильинцева // Вестник Ивановского Государственного университета. – Иваново, 2019. – Вып. 3 (41). – Текст: электронный. – URL: http://ivanovo.ac.ru/upload/medialibrary/236/Vestnik_IvSU_Ekonomika_3(41)_2019.pdf#page=69 (дата обращения 13.06.2025).

2. Автоматизация склада: учет, хранение, бизнес-процессы, WMS: сайт. – Текст: электронный. – URL: https://intekey.ru/articles/avtomatizatsiya-sklada-uchet-khranenie-biznes-protsessy-wms/ (дата обращения 13.06.25).

3. RF module: сайт. – Текст: электронный. – URL: https://en.m.wikipedia.org/wiki/RF_module (дата обращения: 14.06.2025).

4. Интерфейс RS-485: описание, подключение: сайт. – Текст: электронный. – URL: https://fast-project.ru/upload/RS-485.pdf (дата обращения: 14.06.2025).

5. Частотный преобразователь что это такое простыми словами: сайт. – Текст: электронный. – URL: https://wautomation.ru/nash-blog/chastotnyy-preobrazovatel-chto-eto-takoe-prostymi-slovami/ (дата обращения: 15.06.2025).

DEVELOPMENT OF A RACK WITH AUTOMATED POSITIONING AND EMERGENCY PROTECTION

Safarova V.V.

Supervisor: Vinogradov V.Yu., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper discusses the process of developing a smart warehouse shelving. Also, the analysis of modern warehouse automation technologies is carried out, the main requirements for the functionality of the developed units are determined.

УДК 621.396.6

РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ ЦИФРОВЫХ ЧАСОВ

Саяхов Р.И.
Научный руководитель: Муратов Р.М., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе рассматривается процесс разработки цифровых часов с применением адресных светодиодов WS2812B и микроконтроллера Atmega48PA-AU.

В условиях стремительного развития технологий и растущих требований к бытовым электронным устройствам современные цифровые часы должны отвечать не только базовому критерию высокой точности хода, но также удовлетворять ряду дополнительных требований. Среди них особенно важными являются эстетическая привлекательность, энергоэффективность, простота конструкции и реализации. Учитывая данные аспекты, при разработке цифровых часов особое внимание уделяется выбору аппаратной платформы, обеспечивающей оптимальный баланс между функциональностью, энергопотреблением и стоимостью компонентов.

Одним из ключевых элементов конструкции является система индикации. В рассматриваемом проекте в качестве индикаторных элементов применяются адресные светодиоды WS2812B. Эти светодиоды представляют собой компактные и интегрированные RGB-модули, каждый из которых содержит контроллер и позволяет независимо управлять цветом и яркостью. Благодаря последовательному протоколу передачи данных, адресуемые светодиоды WS2812B обеспечивают простоту подключения и масштабируемость, позволяя существенно сократить количество управляющих линий. Это, в свою очередь, снижает общую сложность схемы и упрощает разводку печатной платы. Кроме того, такие светодиоды характеризуются высокой яркостью, широким углом обзора и насыщенной цветопередачей, что позволяет создавать визуально привлекательные пользовательские интерфейсы.

Управляющий блок устройства реализован на основе микроконтроллера ATmega48PA-AU. Данный микроконтроллер представляет собой маломощное интегральное устройство, выполненное по технологии CMOS и относящееся к 8-разрядным микроконтроллерам семейства AVR. Он построен на усовершенствованной RISC-архитектуре, обеспечивающей выполнение большинства команд за один машинный такт. Такая архитектура позволяет достичь высокой вычислительной эффективности: производительность микроконтроллера может достигать одного миллиона операций в секунду на каждый мегагерц тактовой частоты. Это означает, что при относительно низкой тактовой частоте устройство способно выполнять достаточно сложные задачи в реальном времени, сохраняя при этом низкий уровень энергопотребления — один из важнейших параметров для автономных или постоянно включённых устройств, таких как настенные или настольные часы.

Благодаря малому энергопотреблению, компактному корпусу, встроенным периферийным модулям и широкому набору программируемых интерфейсов, микроконтроллер ATmega48PA-AU является оптимальным выбором для задач управления индикацией и внутренней логикой электронных часов. Он обеспечивает необходимую вычислительную мощность для реализации функций реального времени, управления подсветкой, обработки пользовательского ввода и других задач, связанных с функционированием устройства.

Таким образом, сочетание адресных светодиодов WS2812B и микроконтроллера ATmega48PA-AU позволяет создать цифровое устройство, которое одновременно отличается высокой функциональностью, визуальной привлекательностью, энергоэффективностью и низкой аппаратной сложностью [1].

В качестве элементов отображения информации в разрабатываемом устройстве применены адресные светодиоды типа WS2812B. Эти компоненты представляют собой

интегральные светотехнические устройства, в конструкции которых объединены три светодиода основных цветов (красный, зелёный и синий — RGB), а также встроенный контроллер с функцией широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Благодаря такой архитектуре каждый светодиод способен генерировать широкий спектр цветов путём независимого регулирования яркости каждого из трёх каналов с высокой степенью точности.

Одной из ключевых особенностей светодиодов WS2812B является наличие встроенного цифрового интерфейса, позволяющего управлять ими по однопроводному протоколу передачи данных. Для полноценного функционирования каждого светодиода необходимы всего три подключения: два — для подачи питания (обычно +5 В и «земля»), и один — для передачи управляющего сигнала. Сигнальная линия используется для последовательной передачи закодированной информации, определяющей цвет и яркость свечения каждого отдельного светодиода в цепочке. Передача данных осуществляется с фиксированной скоростью, строго определённым временным соотношением длительности логических уровней, что обеспечивает стабильность и предсказуемость отклика устройств.

Каждый светодиод WS2812B обладает способностью принимать данные, адресованные как ему самому, так и последующим в цепочке. Получив полный 24-битный пакет (по 8 бит на каждый из трёх цветовых каналов), светодиод сохраняет свою часть данных и передаёт оставшуюся часть сигнала далее по цепи. Это позволяет соединять большое количество светодиодов последовательно, управляя всей лентой или матрицей через единственный сигнальный вывод микроконтроллера.

Такой подход значительно упрощает схемотехническое решение задачи отображения информации. Отсутствие необходимости в использовании множества управляющих линий, мультиплексоров, внешних драйверов или других специализированных компонентов снижает как аппаратную сложность устройства, так и требования к габаритам печатной платы. Это особенно важно при разработке компактных информационных панелей, табло и других систем отображения, где критичны размеры, надёжность и энергоэффективность.

Кроме того, благодаря высокой яркости, насыщенной цветопередаче и широкому углу обзора, светодиоды WS2812B обеспечивают хорошую читаемость и визуальную привлекательность отображаемой информации даже при неблагоприятных условиях внешнего освещения. Их использование позволяет не только реализовать функциональную, но и эстетически привлекательную систему визуального представления данных, что особенно актуально в контексте потребительских электронных устройств [2].

Проектирование и трассировка печатной платы (PCB) были выполнены с использованием «Altium Designer», системой автоматизированного проектирования, разработанной для электронного оборудования, которое использует печатные платы и программируемые вентильные матрицы (FPGA) (рисунок 1).

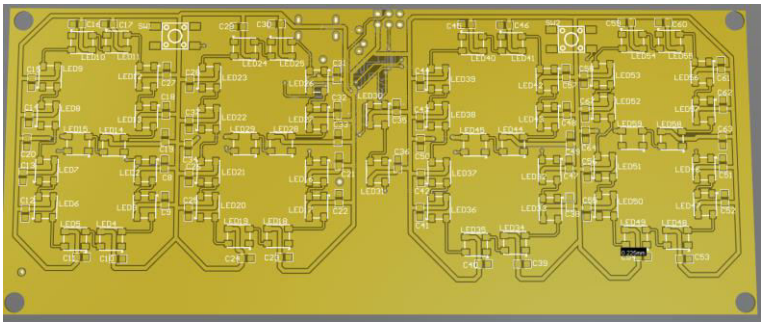


Рисунок 1. 3Д модель спроектированной печатной платы в «Altium Designer»

Программный комплекс Altium Designer представляет собой интегрированную систему автоматизированного проектирования (САПР), ориентированную на разработку современных электронных устройств. Данный программный продукт предоставляет разработчику полный набор инструментов, охватывающих все этапы проектирования — от создания принципиальных электрических схем до трассировки печатных плат и подготовки

производственной документации. Одной из ключевых особенностей Altium Designer является его способность поддерживать двунаправленную синхронизацию данных между различными представлениями проекта. Это означает, что любые изменения, внесённые, например, в схему, автоматически и мгновенно отражаются в макете печатной платы и наоборот. Такая функциональность существенно сокращает вероятность ошибок, связанных с несогласованностью данных, и повышает общую надёжность проектного процесса.

Также, Altium Designer обладает широкими возможностями по проверке целостности проекта, автоматическому анализу топологии, управлению правилами проектирования и генерации документации, что делает его мощным инструментом как для прототипирования, так и для подготовки изделий к серийному производству. Высокая степень интеграции всех модулей системы способствует оптимизации рабочего процесса, ускоряет время разработки и обеспечивает высокую точность исполнения проектных решений.

В рассматриваемом проекте цифровых часов использование адресных светодиодов WS2812B для построения семисегментного дисплея представляет собой инновационный подход к реализации индикации. В отличие от традиционных семисегментных индикаторов, которые требуют использования внешних драйверов или сложных логических схем для управления каждым сегментом, WS2812B позволяют управлять каждым «сегментом» (в данном случае — группой светодиодов) через единственный сигнальный провод. Это существенно упрощает схемотехническую реализацию устройства, снижает количество необходимых компонентов и упрощает разводку печатной платы. Кроме того, благодаря встроенной поддержке RGB-свечения, такие дисплеи могут не только отображать числовую информацию, но и реализовывать дополнительные визуальные эффекты — например, изменение цвета в зависимости от времени суток или пользовательских настроек, что повышает эстетическую привлекательность устройства.

В качестве управляющего элемента системы выбран микроконтроллер Atmega48PA-AU, относящийся к семейству 8-разрядных микроконтроллеров AVR. Данный микроконтроллер сочетает в себе низкое энергопотребление, достаточную вычислительную мощность и компактные размеры, что делает его особенно подходящим для задач управления светодиодной индикацией и выполнения вспомогательных функций (например, измерение времени, обработка пользовательского ввода, управление питанием и т.д.). Благодаря поддержке различных энергосберегающих режимов и встроенных периферийных модулей (таймеров, интерфейсов, АЦП и др.), Atmega48PA-AU обеспечивает эффективную работу устройства при минимальных затратах системных ресурсов.

Перспективы дальнейшего развития данного проекта включают интеграцию сетевой синхронизации времени посредством подключения к интернету, что может быть реализовано с использованием внешних модулей Wi-Fi или Ethernet. Такая функция позволит автоматически корректировать ход часов в соответствии с точными источниками времени (например, серверами NTP), обеспечивая высокую точность без необходимости ручной настройки. Кроме того, может быть реализована система удалённого управления и конфигурирования устройства с помощью беспроводных технологий, что расширит функциональные возможности устройства и повысит удобство его использования в домашних или офисных условиях.

Таким образом, использование современной САПР, эффективных компонентов управления и перспективных решений в области индикации позволило создать конкурентоспособные электронные устройства, сочетающие в себе функциональность, надёжность, эстетическую выразительность и низкую стоимость реализации.

Исследования проведены в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. https://robu.in/wp-content/uploads/2023/08/ATmega328-Datasheet.pdf.

2. Загидуллин Р.М. Применение адресных светодиодов для создания человеко-машинного интерфейса в системе контроля и управления доступом / Загидуллин Р. М. [Текст] // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2022. — Казань: ИП Сагиева А. Р., 2022. — С. 357–358.

DEVELOPMENT OF A DIGITAL CLOCK CIRCUIT BOARD

Sayakhov R.I.
Supervisor: Muratov R.M., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper examines the process of developing digital clocks using WS2812B addressable LEDs and Atmega48PA-AU microcontroller.

УДК 614.8.084

АДАПТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ К УСЛОВИЯМ СТУДЕНЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Сергеев С.С.
Научный руководитель Николаев М.И., доцент, к. т. н.
(Чистопольский филиал «Восток» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Чистополь.)

Аннотация. Предложен и реализован алгоритм адаптации массово выпускаемого оборудования для решения новых задач, расширяющих функционал этого оборудования. Предложены программные и аппаратные решения. По итогам работы демонстрируется действующий экземпляр.

В подавляющем большинстве случаев за работу устройства отвечает правильно собранная электронная схема. Грубо говоря, электронная схема - это совокупность соединений радиоэлектронных компонентов. Есть разные способы их соединения: выводы компонентов можно скрутить, можно спаять. Наиболее правильное, надежное и общепринятое соединение - это пайка. Но есть нюанс, если просто спаять выводы компонентов и оставить их «болтаться в воздухе», то возникнет достаточно большая вероятность того, что соединения будут замыкаться, что в свою очередь приведет к выходу из строя устройства. Чтобы избежать замыканий нужно либо изолировать выводы компонентов и места соединений, что в большинстве случаев не эстетично и не удобно для крепления компонентов внутри устройства, либо упорядочить элементы на плоскости и соединить неподвижными проводниками. Проще говоря самый удобный, надежный и красивый вариант сборки электронной схемы - это создание печатной платы. Она представляет собой склеенные слои стеклотекстолита и медных дорожек. Стеклотекстолит используется из-за того, что это очень крепкий материал, и при небольшой толщине он выдерживает огромные нагрузки. Медные дорожки - это проводники, сформированные под конкретные соединения конкретных элементов, лежащие в одной или нескольких плоскостях, приклеенные к текстолиту, что исключает вероятность случайного замыкания выводов радиокомпонентов.

Создание печатной платы - это формирование дорожек для соединения компонентов и создание отверстий и площадок для крепления этих компонентов. Сейчас во всем мире работают много заводов по производству печатных плат, на них в основном используются две технологии изготовления - аддитивная и субтрактивная. В первом случае на чистый стеклотекстолит наносят медные дорожки, во втором случае на цельном медном слое убирают ненужные области, оставляя только нужные дорожки.

Недавно я решил попробовать создать печатную плату в домашних условиях. Решил воспользоваться методом фрезеровки дорожек, то есть отделением ненужных участков медного слоя используя фрезерный ЧПУ станок «cnc 3018 pro» [1], изображённый на рис.1, и покупной лист текстолита с медью. На заводах чаще используется метод вытравливания ненужных участков меди. Я пошел другим путем, так как для точного травления дорожек, нужно надежно защитить нужные участки меди, что сделать достаточно сложно.

ЧПУ станки - это станки с числовым программным управлением. То есть все органы управления - электронные и взаимодействие со станком происходит через компьютер и специальное программное обеспечение. Сейчас такие станки вытесняют обыкновенные, так как точность производства деталей намного выше, и они не требует постоянного наличия человека.

Рисунок 1. ЧПУ станок cnc 3018 pro

А теперь подробно опишу как я сделал печатную плату. Для начала я продумал нужную мне электронную схему и изобразил ее в программе EasyEDA [1], изображённый на рис.1,, так как она способна автоматически трассировать дорожки на печатной плате в соответствии со схемой.

Далее я задал размеры печатной платы в той же среде и разместил посадочные отверстия для компонентов. Затем задал толщину дорожек и запустил процесс трассировки.

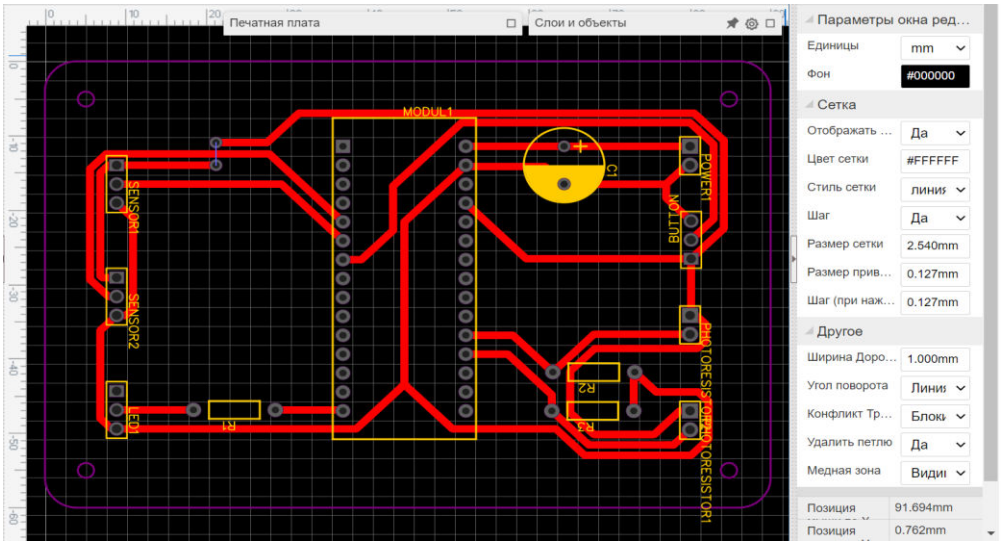


Рисунок 2. Схема платы в EasyEDA

После успешной разводки, я отредактировал некоторые дорожки и сохранил чертеж платы в формате gerber. Этот формат предназначен для заказа плат у крупных заводов, но его можно использовать и для собственного производства.

Далее необходимо было преобразовать чертеж платы из формата gerber в g-code, «понятный» ЧПУ станку. Для этого я использовал программу g2g (gerber to g-code). Там я задал форму и размер фрезы, количество проходов фрезы, толщину медного слоя на стеклотекстолите и диаметр сверла, которым были сделаны отверстия.

Получив файлы g-code (отдельно для дорожек, отверстий и внешнего контура), я открыл их в программе NC Corrector (рис.3), которая способна находить ошибки в файлах и визуализировать работу ЧПУ станка.

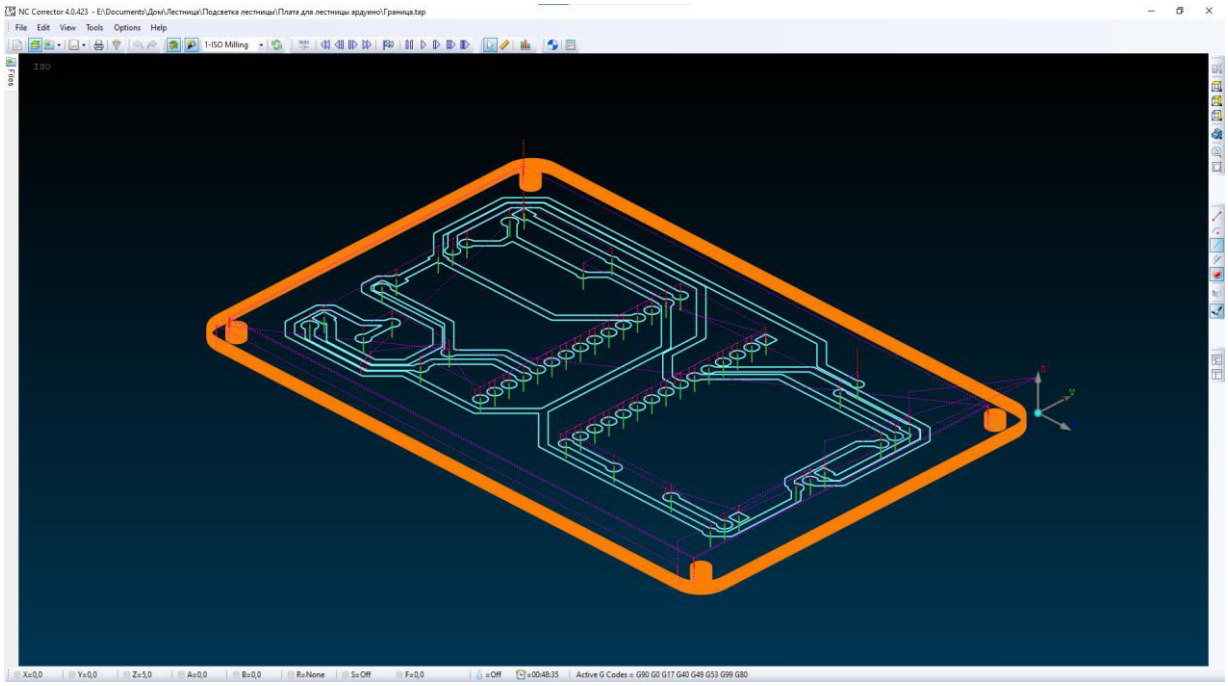


Рисунок 3. Эмуляция работы станка в NC Corrector

Затем я надежно закрепил лист текстолита на столе станка. Убедившись, что ошибок нет, я открыл файлы g-code в программе candle, которая способна транслировать команды для ЧПУ станка. В ней я создал карту высот с помощью специального щупа, так как поверхность текстолита не идеально ровная. Карта поверхностей изменяет g-code таким образом, чтобы по всей поверхности платы дорожки были прорезаны равномерно, не смотря на то, что поверхность не ровная.

Удостоверившись, что все в порядке, я зажал в цангу шпинделя фрезерного станка сверло диаметром 0.8 мм и запустил сверловку отверстий. Как только закончилась сверловка, я заменил сверло на фрезу и запустил фрезеровку дорожек. После успешной фрезеровки дорожек, не меняя фрезу я запустил фрезеровку контура платы, чтобы вырезать из большого листа текстолита нужную площадку, то есть саму плату.

В процессе создания печатной платы я сталкивался со многими трудностями, но со всеми из них мне удалось разобраться и в итоге я получил нужную мне плату, на которой разместил компоненты, припаял их к дорожкам и покрыл медный слой платы специальным изоляционным лаком «PLASTIC 71». Схема заработала, плата успешно справляется со свей задачей, и устройство, в котором она используется исправно работает на протяжении шести месяцев.

Итоги работы отображены на рисунках 4 и 5. Конечно, у моей платы есть ряд минусов, таких как отсутствие шелкографии (надписей на текстолите) и отсутствие изоляции обеих сторон платы, но для моих задач это не критично.

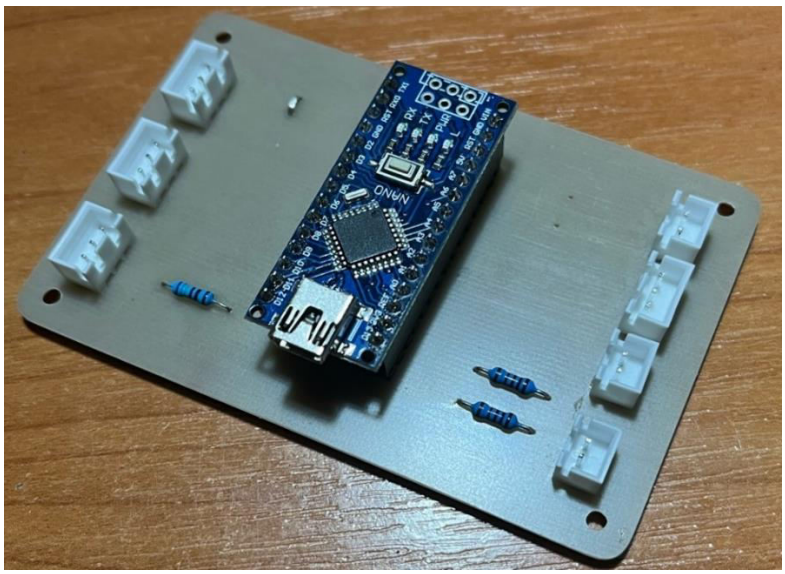


Рисунок 4 – Верхняя сторона платы со впаянными элементами

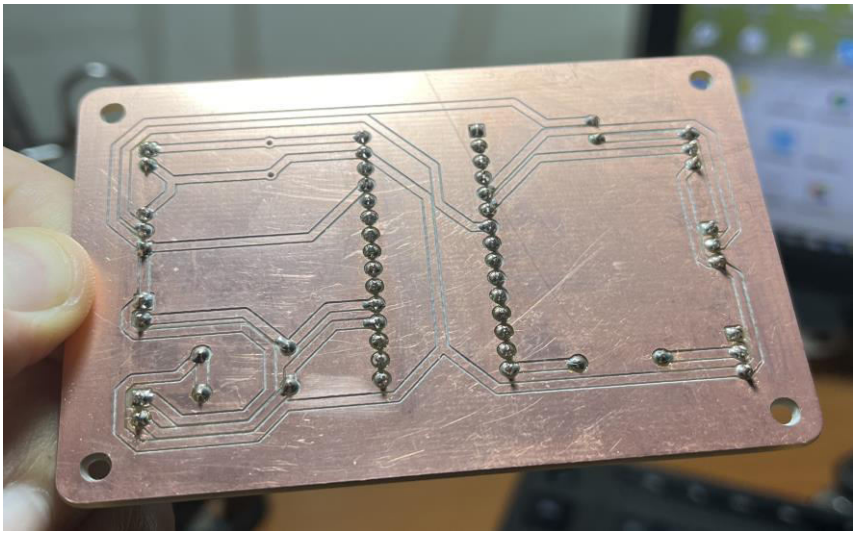


Рисунок 5. Нижняя сторона платы со впаянными элементами

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Фрезерный станок с ЧПУ // www.ozon.ru[сайт] — режим доступа: https://www.ozon.ru/product/twotrees-ttc3018-cnc-3018-pro-frezernyy-stanok-s-chpu-grbl-control-cnc-router-frezer-po-derevu-3-1727795052/ свободный (дата обращения: 09.05.2025) — Загл. с экрана.

2. Программное обеспечение для проектирования печатных плат EasyEDA // Online PCB design & circuit simulator[сайт] —режим доступа: https://easyeda.com/ свободный (дата обращения: 09.05.2025) — Загл. с экрана.

ADAPTATION OF ELECTRONIC CIRCUIT BOARD MANUFACTURING TECHNOLOGY TO STUDENT LABORATORY CONDITIONS

Sergeev S.S.

Supervisor: Nikolaev M.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Chistopol branch «Vostok» of «Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI», Chistopol*)

Abstract. An algorithm for adapting mass-produced equipment to solve new problems that expand the functionality of this equipment is proposed and implemented. Software and hardware solutions are proposed. Based on the results of the work, a working specimen is demonstrated.

УДК 631.589.2

РАЗРАБОТКА ГЕРМЕТИЧНОГО КОРПУСА ДЛЯ ЭЛЕКТРОНИКИ ГИДРОПОННЫХ СИСТЕМ С ЗАЩИТОЙ ОТ КОНДЕНСАТООБРАЗОВАНИЯ

Соколов Р.Э.

Научный руководитель: Муратов Р.М., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Данная работа посвящена разработке защитного корпуса для электронных контроллеров гидропонных систем, функционирующих в экстремальных условиях высокой влажности, температурных колебаний и агрессивной химической среды. Предложена комплексная инженерная концепция, решающая ключевые проблемы конденсатообразования и перегрева компонентов. Основное внимание уделено тепловому управлению через рациональное зонирование платы, пассивное охлаждение критичных элементов и термоизоляцию чувствительных датчиков. Рассмотрены вопросы герметизации с применением двухконтурной системы уплотнений, влагопоглощающих картриджей и специализированных дренажных каналов. Описано материальное решение на основе ультрафиолетостойкого пластика и алюминиевого основания.

Проектирование схемы в EasyEDA начинается с тщательной подготовки: определения состава системы (ATmega48A-AU, датчики pH/температуры/влажности, исполнительные устройства), изучения datasheet и составления списка соединений [1]. В среде создается принципиальная схема с группировкой компонентов по зонам: питание (стабилизатор AMS1117-3.3V, конденсаторы), датчики (pH-4502C с фильтрами, DS18B20 по 1-Wire), силовая часть (реле с защитными диодами, MOSFET-драйверы), интерфейсы (ISP-программирование, I2C-дисплей) [2]. Критически важны: развязка цепей (керамические конденсаторы 100нФ), RC-фильтры для аналоговых сигналов, подтягивающие резисторы. После трассировки и аннотации (R1, C1...) схема проверяется инструментом ERC на конфликты питания и корректность подключения (рисунок 1).

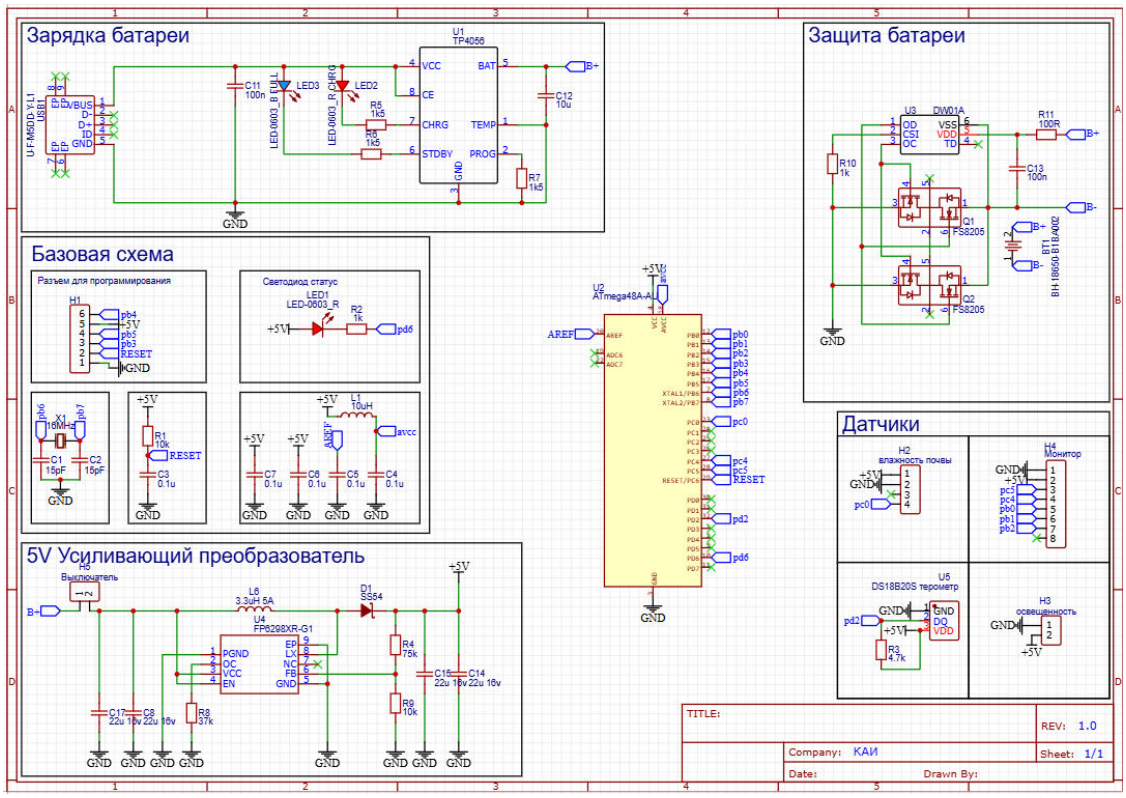


Рисунок 1. Принципиальная схема

После проектирования схемы особое внимание уделяется защите электроники от эксплуатационных рисков. Контроллеры подвергаются суровым испытаниям: высокая влажность, значительные перепады температур (до 25°C) и агрессивное воздействие питательных растворов. Эти условия приводят к основным проблемам [3].

Электронные контроллеры для гидропоники подвергаются суровым испытаниям: высокая влажность (70-95%), значительные перепады температур (до 25°C) и агрессивное воздействие питательных растворов. Эти условия приводят к двум основным проблемам: образованию конденсата внутри корпуса и перегреву ключевых компонентов. Предлагаемая конструкция решает эти проблемы комплексно, используя герметизацию, терморегулирование и оптимизированную компоновку.

В основе системы лежит плата управления размером 100x40 мм, построенная на микроконтроллере ATmega48A-AU (в корпусе TQFP-32). Питание обеспечивается литиевым аккумулятором 18650, управляемым модулем зарядки TP4056 и повышающим преобразователем FP6298XR-G1. Интерфейс с пользователем и окружающей средой включает датчик температуры DS18B20S, разъемы для датчиков влажности почвы (H2) и освещенности (H3). Силовые цепи, использующие MOSFET-транзисторы IRLZ44N (TO-220), управляют насосом и вентиляторами. Для отображения информации используется дисплей ST7789 и SMD-светодиоды 0603 [4]. Коммуникация обеспечивается через интерфейсы UART (с использованием MAX3232), I²C и 1-Wire.

Основными источниками тепла на плате являются:

Повышающий преобразователь FP6298XR-G1: Преобразует напряжение аккумулятора (3.7В) в 5В, выделяя умеренное количество тепла [5]. Длительный перегрев может привести к повреждению паяных соединений (рисунок 2).

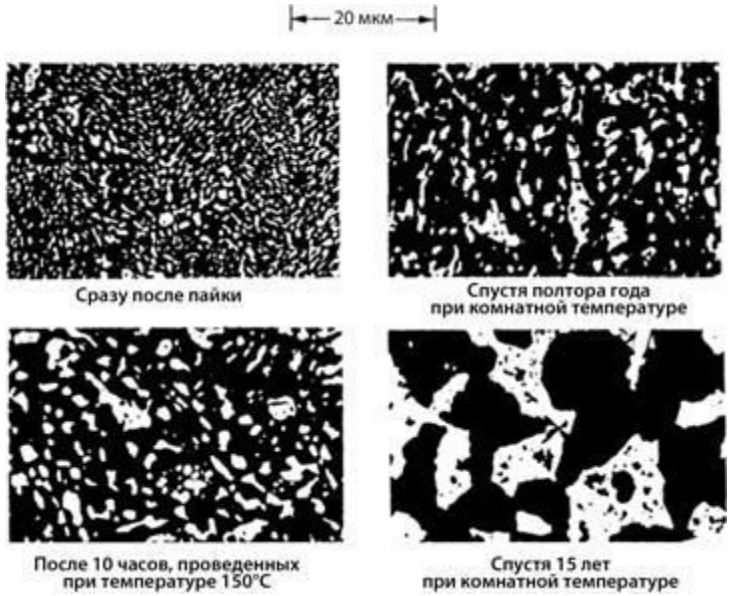


Рисунок 2. Усталость пайки при перегреве

MOSFET-транзистор IRLZ44N: Управляет водяным насосом и нагревается при коммутации токов свыше 1А. Корпус TO-220 обеспечивает достаточное естественное рассеивание тепла.

Линейный стабилизатор AMS1117-3.3V: Выделяет тепло пропорционально току нагрузки, что может повлиять на точность соседних датчиков.

Общее тепловыделение платы не превышает 2.5 Вт, что позволяет обойтись без активного охлаждения.

Для эффективного отвода тепла в герметичном корпусе используются следующие решения:

Зонирование платы: Разделение платы на силовую секцию (FP6298XR-G1 и IRLZ44N с увеличенными медными полигонами), зону контроллера (ATmega48A-AU с кварцевым резонатором) и сенсорный блок (разъемы H2/H3) с воздушными зазорами 3 мм.

Пассивное охлаждение: Медная термоплощадь 20x20 мм для преобразователя FP6298XR-G1 (рисунок 3). Теплопроводящая паста и контакт с металлизированной зоной корпуса для транзистора IRLZ44N, а также естественная конвекция через алюминиевое основание.

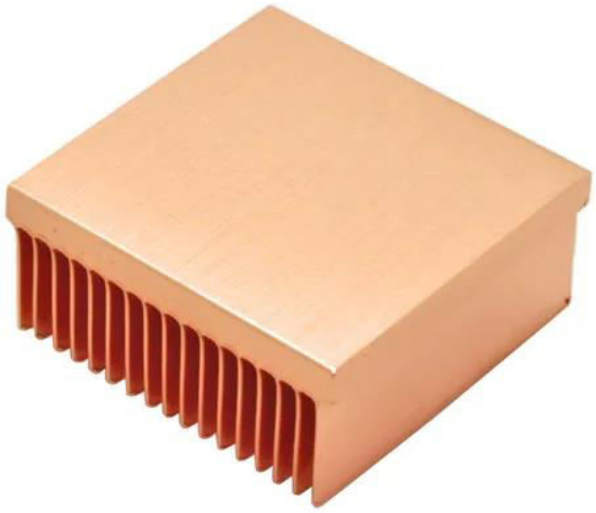


Рисунок 3. Радиатор пассивного охлаждения

Защита сенсоров: Экранирование датчика DS18B20S медной фольгой и разделительные перегородки из вспененного полипропилена.

Герметичность корпуса достигается без использования вентиляционных отверстий благодаря:

- Двухконтурному уплотнению крышки:

Силиконовый профиль EPDM дополнен тиоколовым герметиком для максимальной защиты.

Герметичность корпуса в гидропонике играет ключевую роль, так как от неё зависит не только эффективность системы, но и её долговечность, а также безопасность эксплуатации. Основная задача герметичного корпуса — предотвратить утечку питательного раствора, который является жизненно важным для растений, а также защитить электронные компоненты, такие как насосы, датчики и таймеры, от воздействия влаги, способной вызвать коррозию или короткое замыкание. Для достижения герметичности используются различные материалы, включая пластик (ПВХ, полипропилен, акрил), который не подвержен коррозии и легко обрабатывается, стекло, отличающееся инертностью, но хрупкостью, а также нержавеющую сталь или алюминий с защитным покрытием, которые обеспечивают прочность конструкции.

- Защите кабельных вводов: Лабиринтные уплотнители и термоусадочные трубки с клеевым слоем предотвращают проникновение влаги через кабели.
- Контролю влажности: Сменные картриджи с силикагелем Sorbead R поглощают влагу, а визуальные индикаторы сигнализируют о необходимости замены сорбента.
- Дренажной системе: V-образные каналы с гидрофобным покрытием направляют конденсат в зону накопления влаги над сорбентом.

В гидропонных системах выбор пластика крайне важен, поскольку материал должен быть химически инертным, устойчивым к коррозии, ультрафиолету и механическим нагрузкам. Наиболее подходящими видами пластика являются полипропилен (PP, маркировка «5»), полиэтилен высокой плотности (HDPE, маркировка «2»), непластифицированный

поливинилхлорид (uPVC, жесткий PVC), акрил (PMMA) и поликарбонат (PC), а также фторопласт (PTFE, тефлон).

Полипропилен (PP) идеален благодаря своей химической инертности – он не выделяет токсинов в воду и устойчив к удобрениям и кислотам, что критично для питательного раствора. Он также термостоек (выдерживает до +100°C), механически прочен и безопасен для пищевого использования, поэтому часто применяется в резервуарах, трубах и горшках для гидропоники.

Полиэтилен высокой плотности (HDPE) – ещё один отличный вариант из-за своей устойчивости к химикатам, прочности и нетоксичности. Он не реагирует с солями и кислотами, а УФ-стабилизированные версии не разрушаются под солнцем, что делает его хорошим выбором для открытых систем. HDPE используется в вёдрах, баках, трубах NFT-систем и гроубэгах.

Жёсткий PVC (uPVC) подходит из-за своей дешевизны, гидроизоляции и химической стойкости, но важно использовать именно непластифицированную версию, так как обычный мягкий PVC может выделять вредные фталаты. uPVC применяется в трубах DWC и аэропонных системах.

Акрил и поликарбонат ценятся за прозрачность и прочность, что полезно для систем, где нужно видеть уровень раствора или корни растений. Поликарбонат, в частности, почти не бьётся и устойчив к УФ-излучению, поэтому его используют в крышках и вертикальных фермах.

Фторопласт (PTFE) – самый инертный и термостойкий пластик, но из-за высокой стоимости применяется в основном в специализированных системах, например, для прокладок и уплотнителей.

При этом некоторые пластики категорически не подходят для гидропоники: полистирол (PS) хрупок и выделяет стирол, поликарбонат с BPA токсичен для корней, мягкий PVC содержит фталаты, а АБС-пластик может выделять вредные вещества.

В итоге, для баков и труб лучше всего подходят HDPE и PP, для жёстких конструкций – uPVC, для прозрачных элементов – поликарбонат или акрил, а для экстремальных условий – PTFE. Всегда проверяйте маркировку и убеждайтесь, что пластик пищевой или УФ-стабилизированный. Если есть сомнения, можно провести тест, залив материал раствором на неделю и проверив, не помутнела ли вода.

Материал Корпуса

Корпус изготовлен из ASA-пластика – ультрафиолетостойкого термопласта с эксплуатационными характеристиками, подходящими для агрессивной среды гидропонной установки.

Представленная конструкция электронного контроллера для гидропонной установки обеспечивает надежную и эффективную работу в сложных условиях эксплуатации. Комплексный подход к герметизации, терморегулированию и компоновке позволяет решить проблемы образования конденсата и перегрева компонентов. Использование современных материалов и технологий обеспечивает долговечность и устойчивость системы к воздействию окружающей среды. Данная конструкция может быть использована в качестве основы для разработки более сложных и функциональных систем управления гидропонными установками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Сидоров В.П.* Инновации в агротехнике: Гидропоника и вертикальные фермы. — М.: Агропромиздат, 2023. — 144 с.

2. *Бессонов Л.А.* Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Гардарики, 2002. – 638 с.

3. Журнал «Электронные компоненты» / под ред. П.Р. Сидорова. - 2024. - № 2. - 120

4. *Gorbunov I.A.* Innovative Approaches to Mechanical Protection of Electronic Devices // International Journal of Electronics and Communications. - 2022. - Vol. 15, no. 3. - P. 112-120.

5. *Александрова В.А.* Регулирование мощности низковольтной нагрузки / В.А. Александрова, Р.М. Муратов // Инженерные кадры - будущее инновационной экономики России. – 2020. – № 3. – С. 9-11.

DEVELOPMENT OF A SEALED ENCLOSURE FOR ELECTRONICS OF HYDROPONIC SYSTEMS WITH PROTECTION AGAINST CONDENSATION

Sokolov R.E.
Supervisor: Muratov R.M., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article is devoted to the development of a protective housing for electronic controllers of hydroponic systems operating in extreme conditions of high humidity, temperature fluctuations and aggressive chemical environment. A comprehensive engineering concept is proposed that solves the key problems of condensation and overheating of components. The main focus is on thermal management through rational zoning of the board, passive cooling of critical elements and thermal insulation of sensitive sensors. The issues of sealing using a two-circuit sealing system, moisture-absorbing cartridges and specialized drainage channels are considered. A material solution based on UV-resistant plastic and an aluminum base is described.

УДК 691.175.5/.8

ПОРТАТИВНАЯ КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РЕМОНТА КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Стариков С.Е., Поляев А.В.
Научный руководитель: Данилаев М.П., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе исследован принцип работы портативной комплексной системы для ремонта конструкций из полимерных композиционных материалов и металлов без демонтажа. Система обеспечивает точный контроль температуры и вакуумного давления, что позволяет восстановить до 95% исходной прочности деталей. Технология особенно актуальна для авиационной отрасли, где требуется высокая надежность и экономическая эффективность.

Портативная комплексная система для ремонта конструкций из полимерных материалов представляет собой автоматизированную систему для термовакуумного ремонта авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов и металлов непосредственно на месте эксплуатации без демонтажа повреждённых элементов [1]. Основная функция устройства заключается в восстановлении прочности конструкций за счёт точного контроля двух ключевых параметров - температуры и вакуумного давления в зоне ремонта (рисунок 1).

Рисунок 1. HCS9200B

Типовая портативная комплексная система для ремонта конструкций из полимерных материалов включает несколько ключевых компонентов. Гибкие нагревательные элементы, такие как силиконовые покрытия с терморезисторами, обеспечивают равномерный нагрев ремонтируемого участка до температур 120–200°C, необходимых для активации полимеризации ремонтных составов. Современные портативные комплексные системы для ремонта конструкций из полимерных материалов используют многозонный нагрев с независимыми терморегулируемыми участками, что позволяет минимизировать температурный градиент до ±1.5°C. Вакуумная система, включающая герметичный мешок и насос, создаёт давление до 900 мБар, удаляя воздух из зоны ремонта и обеспечивая плотное прилегание заплатки (рисунок 2).

Рисунок 2. Нагревательное покрытие для отверждения композитных материалов

Критически важными для качества ремонта являются три элемента: точный температурный контроль (обеспечивается термопарами типа J/K с точностью ±1°C), стабильное вакуумное давление (поддерживается системой на основе эффекта Вентури) и автоматизированное управление процессом (реализовано через микроконтроллер с ПИД-регуляторами). Последний непрерывно анализирует данные датчиков и корректирует параметры нагрева и вакуумирования.

Дополнительные компоненты, такие как сенсорный интерфейс для оператора, система безопасности (УЗО, температурные предохранители) и модуль документирования (встроенный принтер), обеспечивают удобство и надёжность эксплуатации. Универсальность системы позволяет применять её как для композитных (стеклопластик, углепластик), так и для металлических (алюминиевые сплавы) конструкций в авиации, ветроэнергетике и других отраслях [2].

В качестве примера реальной модели портативной комплексной системы для ремонта конструкций из полимерных материалов можно рассмотреть систему Eco Bonder EC16 V4 [3] от компании Aeroform Composites (рисунок 3).

Рисунок 3. Eco Bonder EC16 V4

Эта компактная однозонная ремонтная станция предназначена для восстановления композитных деталей в морской и ветроэнергетической отраслях, а также для выполнения неструктурного ремонта. Ее ключевые характеристики (таблица 1):

Таблица 1

Ключевые характеристики системы Eco Bonder EC16 V4

Характеристика	Описание
Тип системы	Однозонная портативная ремонтная станция для композитных материалов
Рабочие параметры	- Температура: до 80°C с точностью ±1°C - Вакуум: до 900 мБар (26.5 in Hg)
Габариты и вес	- Размеры: 310×270×200 мм - Вес: 4.6 кг

Eco Bonder EC16 V4 функционирует за счёт синхронизации двух процессов: нагрева и вакуумирования. Нагревательный мат с керамическими элементами обеспечивает равномерный прогрев зоны ремонта по заданному профилю (например, 60°C → 80°C со скоростью 3–6°C/мин). Вакуумная система, работающая на сжатом воздухе (эффект Вентури), создаёт давление до 900 мБар, удаляя воздушные включения и прижимая заплатку к поверхности. Микроконтроллер анализирует данные термопар и корректирует мощность нагрева, используя алгоритмы ПИД-регулирования.

Система ориентирована на неструктурный ремонт композитов в ветроэнергетике и судостроении. Её главное преимущество — мобильность и возможность работы без демонтажа деталей. Однако ограничение по площади (300×300 мм) и необходимость внешнего источника сжатого воздуха сужают область применения. Встроенные механизмы безопасности (УЗО, датчики перегрева) и документирование каждого цикла (печать параметров) делают её удобной для сертифицированного ремонта.

В качестве еще одного примера можно рассмотреть американский ACR-3 Hot Bonder Kit, который имеет следующие характеристики (таблица 2):

Таблица 2

Ключевые характеристики системы ACR-3 Hot Bonder Kit

Характеристика	Описание
Тип системы	Однозонная/двухзонная система для ремонта композитов
Рабочие параметры	- Температура: контроль через 10 термопар (тип J) на зону - Вакуум: двойная система (электронасос + Вентури)
Управление	Цветной HD сенсорный экран с поддержкой 30 программ и многоязычным интерфейсом

Система ACR3 Hot Bonder представляет собой профессиональное решение для термовакуумного ремонта композитных конструкций (рисунок 4). Принцип работы основан на одновременном использовании контролируемого нагрева и вакуумного прессования. Устройство оснащено гибкими нагревательными элементами, которые обеспечивают равномерный прогрев ремонтируемой зоны до требуемой температуры, контролируемой через 10 термопар типа J на каждую рабочую зону. Вакуумная система комбинированного типа включает как электрический насос, так и Вентури-элемент, что гарантирует стабильное давление до 26.5 дюймов ртутного столба и позволяет эффективно удалять воздушные включения из ремонтной зоны. Процессом управляет микропроцессорная система через цветной HD-интерфейс, поддерживающий программирование до 30 рабочих циклов с возможностью тонкой настройки параметров [4].

Рисунок 4. ACR3 Hot Bonder

Ключевым преимуществом ACR3 является его универсальность - система одинаково эффективна как в авиационном секторе, так и при ремонте лопастей ветрогенераторов или спортивного инвентаря. Мобильная конструкция в виде прочного кейса с колесами значительно упрощает транспортировку оборудования. Дополнительные плюсы включают многоязычный интерфейс, встроенную систему документирования процессов и возможность экспорта данных через USB-порт для последующего анализа. Однако система имеет и некоторые ограничения, в частности, достаточно высокую стоимость как самого оборудования, так и расходных материалов. Требовательность к квалификации оператора и необходимость использования внешнего источника сжатого воздуха для работы Вентури-системы могут создавать дополнительные сложности при эксплуатации в полевых условиях.

В России технология портативных комплексных систем для ремонта конструкций из полимерных материалов пока не получила широкого распространения в промышленных масштабах, а серийных отечественных аналогов подобных систем практически нет. В настоящее время российские предприятия, включая авиастроительные компании и ремонтные центры, вынуждены полагаться на импортное оборудование, преимущественно европейского и американского производства (например, Aeroform Composites, BriskHeat). Это создает ряд проблем, связанных с логистикой, стоимостью закупки и послепродажного обслуживания, а также зависимостью от санкционных ограничений.

Основные сложности заключаются в высокой цене импортных портативных комплексных систем для ремонта конструкций из полимерных материалов для ремонта композитных конструкций, которые могут достигать нескольких миллионов рублей за единицу, а также в ограниченной доступности запчастей и расходных материалов. Кроме того, зарубежные производители часто не адаптируют свои устройства под российские стандарты электропитания и климатические условия, что усложняет их эксплуатацию.

Проведённый анализ современных портативных комплексных систем для ремонта конструкций из полимерных материалов и ситуации на российском рынке выявляет критическую зависимость отечественной промышленности от импортного оборудования для ремонта композитных конструкций. Отсутствие серийных российских аналогов подобных систем создаёт существенные технологические риски для стратегических отраслей, включая авиастроение и энергетику. Представленные в статье материалы формируют базис для разработки отечественного решения, сочетающего функциональность зарубежных аналогов с адаптацией к российским производственным условиям и стандартам. Основной задачей следующего этапа становится создание конкурентоспособной национальной разработки,

которая должна интегрировать современные технологии температурного контроля и вакуумного прессования с учётом особенностей местного производства и эксплуатации. Особое внимание необходимо уделить вопросам локализации критически важных компонентов, разработке специализированного программного обеспечения и созданию сервисной инфраструктуры. Решение этой задачи позволит не только снизить зависимость от иностранных поставщиков, но и создать технологический задел для развития отечественных ремонтных технологий в области композитных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Камалаканнан, Гм & Рао, М.Субба & Чандра, Кирти & Абхилаш, П.* (2008). Advanced Hot Bonding System For Repair Of Aerospace Structures.

2. *Kepir, Yusuf & Günöz, Alper & Kara, Memduh.* (2021). Repairing of damaged composite materials and self-healing composites. Turkish Journal of Engineering. 6. 10.31127/tuje.866955.

3. Aeroform composites. Aeroform Hot Bonders (AHB) [Электронный ресурс]: официальный сайт. – Saint-Genis-Laval: Aeroform Composites, [2025]. – URL: https://www.aeroform-composites.com/en/hot-bonders/aeroform-hot-bonders-ahb/ (дата обращения: 09.08.2025).

4. ACR3 Hot Bonder [Электронный ресурс]: официальный сайт. – BriskHeat. Your Heating Specialist Since 1949, [2025]. – URL: https://www.briskheat.com/acr3-hot-bonder.html?srsltid=AfmBOopHt3_X5rK5tbfmadOsolPF6dA6Z-5qI9cb2uLjhP3HKtCgIB4a (дата обращения: 13.08.2025).

PORTABLE COMPLEX SYSTEM FOR REPAIR OF STRUCTURES MADE OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS

Starikov S.E., Polyaev A.V.

Supervisor: Danilaev M.P., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The study examines the working principle of the portable Hot Bonder system for repairing structures made of polymer composite materials and metals without disassembly. The system ensures precise control of temperature and vacuum pressure, enabling the restoration of up to 95% of the original strength of components. This technology is particularly relevant for the aviation industry, where high reliability and cost efficiency are essential.

УДК 621.3.019

БЕСКОНТАКТНЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ СЕЛЬСИНЫ В СИСТЕМАХ ВИБРОЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Стариков С.Е.

Научный руководитель: Горбунов И.А., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе исследованы методы защиты электронных устройств от вибраций с применением бесконтактных линейных сельсинов. Экспериментально подтверждено повышение точности контроля вибраций на 30–40% по сравнению с традиционными датчиками. Результаты актуальны для авиационной и космической техники.

Современные электронные устройства, применяемые в авиационной, космической и оборонной технике, подвергаются значительным механическим нагрузкам, включая вибрации, удары и линейные перегрузки. Эти воздействия могут приводить к преждевременному выходу из строя критически важных компонентов, что влечет за собой

серьезные последствия. Особую сложность представляет защита миниатюрных электронных модулей, где традиционные амортизационные системы невозможно применить из-за жестких ограничений по массе и габаритам. В связи с этим разработка эффективных методов виброзащиты с использованием высокоточных датчиков перемещения приобретает особую актуальность [1]. Одним из перспективных направлений является применение бесконтактных линейных сельсинов, которые сочетают высокую точность измерений с исключительной надежностью (рисунок 1).

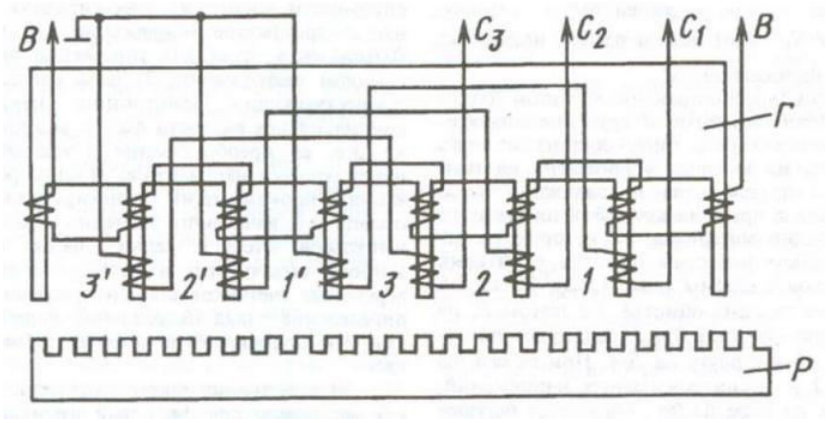


Рисунок 1. Схема бесконтактного линейного сельсина

Принцип действия бесконтактных сельсинов основан на преобразовании механических перемещений в электрический сигнал посредством изменения индуктивной связи между обмотками. В отличие от контактных датчиков, они не имеют механического износа, что обеспечивает стабильность характеристик на протяжении всего срока службы. Конструктивно сельсин представляет собой систему из первичной обмотки, питаемой переменным током частотой 400-1000 Гц, и пары вторичных дифференциальных обмоток. Ферромагнитный сердечник, связанный с защищаемым объектом, при перемещении изменяет распределение магнитного потока, что приводит к появлению выходного сигнала, пропорционального скорости и величине смещения. Важным преимуществом такой схемы является линейность преобразования в широком диапазоне частот от 0 до 500 Гц, что охватывает весь спектр возможных вибрационных воздействий на электронное оборудование.

Экспериментальные исследования проводились на базе Казанского национального исследовательского технического университета с использованием специализированного испытательного оборудования. Многокоординатный вибростенд позволял создавать вибрационные нагрузки в диапазоне частот от 5 Гц до 10 кГц, имитируя реальные условия эксплуатации авиационной электроники. Для точного контроля параметров вибрации использовалась система мониторинга, включающая восемь бесконтактных сельсинов с сердечниками из спеченного пермаллоя. Этот материал был выбран благодаря своим уникальным магнитным свойствам - высокой проницаемости (μ = 80 000-120 000) и минимальному гистерезису, что обеспечило рекордную точность измерений с погрешностью не более 0,5% во всем рабочем температурном диапазоне от -60°C до +150°C [2]. Параллельно с сельсинами для верификации результатов применялись высокоточные акселерометры с разрешением 0,001g и лазерные виброметры, что позволило получить комплексную картину вибрационного состояния тестируемых образцов.

Результаты испытаний показали, что применение бесконтактных сельсинов в системах активной виброзащиты позволяет достичь значительного улучшения характеристик по сравнению с традиционными решениями. Точность контроля вибрационных параметров повысилась на 30-40%, что особенно важно для прецизионного оборудования. Было установлено, что коэффициент подавления вибраций в комбинированных системах, сочетающих пассивные демпфирующие элементы с активным управлением на основе сигналов от сельсинов, достигает 65% в широком частотном диапазоне от 20 Гц до 5 кГц. Эти

показатели значительно превышают возможности традиционных систем виброзащиты и открывают новые перспективы для создания надежной электроники, работающей в экстремальных условиях.

Особого внимания заслуживает анализ поведения паяных соединений в электронных модулях при вибрационных нагрузках. Эксперименты показали, что циклические вибрации приводят к постепенному накоплению микротрещин в зоне паяного контакта, что в конечном итоге вызывает нарушение электрического соединения. Использование сельсиновой системы мониторинга позволило точно определять критические уровни вибрации, при которых начинается процесс деградации соединений. На основе этих данных были разработаны новые рекомендации по конструктивному исполнению печатных узлов, работающих в условиях вибраций, что позволило увеличить их ресурс на 35-40%.

Практическое внедрение разработанных решений уже осуществляется в ряде отраслей промышленности. В авиастроении модульная система защиты бортовой электроники с использованием бесконтактных сельсинов позволила увеличить межремонтный ресурс оборудования на 45% при одновременном снижении массы защитных конструкций на 30%. В энергетическом секторе применение таких систем на трансформаторных подстанциях в сейсмоактивных регионах сократило количество отказов электронного оборудования на 50%. Особенно перспективным направлением оказалось создание интеллектуальных систем мониторинга, способных не только защищать оборудование, но и прогнозировать его остаточный ресурс на основе анализа вибрационных характеристик. Эти системы уже внедрены на нескольких промышленных предприятиях и позволяют перейти от планово-предупредительного обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию оборудования.

Перспективы развития технологии бесконтактных сельсинов связаны с несколькими ключевыми направлениями. Активно ведутся работы по миниатюризации конструкций без ущерба для метрологических характеристик, что особенно важно для применения в компактной электронной аппаратуре. Другим важным направлением является интеграция с микропроцессорными системами обработки сигналов, позволяющая реализовать интеллектуальные алгоритмы диагностики и прогнозирования. Особый интерес представляют разработки многофункциональных датчиков, способных одновременно измерять перемещения, вибрации и температуру защищаемого оборудования. В рамках международного сотрудничества ведется работа по стандартизации методов испытаний электронных компонентов на стойкость к механическим воздействиям, что будет способствовать широкому внедрению разработанных решений.

Экономический анализ показал высокую эффективность внедрения систем виброзащиты на основе бесконтактных сельсинов. Расчеты для авиационной отрасли демонстрируют, что увеличение срока службы бортовой электроники на 40% приводит к сокращению эксплуатационных расходов на 25-30% [3]. Важным аспектом является и экологическая составляющая - увеличение ресурса электронных компонентов прямо способствует сокращению объема электронных отходов, проблема утилизации которых становится все более острой. Новое поколение активных демпферов потребляет на 60% меньше энергии по сравнению с аналогами предыдущего поколения, что снижает общие энергозатраты системы.

Интеграция разработанных решений в образовательный процесс уже осуществляется в Казанском национальном исследовательском техническом университете. Разработан специальный учебный курс "Современные методы защиты электроники от механических воздействий", который включает как теоретические основы, так и практические занятия с использованием экспериментального оборудования [4]. Особое внимание уделяется формированию у студентов системного подхода к проектированию защитных систем, учитывающего взаимосвязь конструктивных, материаловедческих и алгоритмических аспектов. Создаются виртуальные лабораторные практикумы, позволяющие изучать поведение электронных компонентов при различных видах механических нагрузок в

компьютерных моделях, что особенно важно в условиях ограниченного доступа к дорогостоящему испытательному оборудованию.

Международное сотрудничество в области разработки и стандартизации методов виброзащиты электронных устройств активно развивается. На базе КНИТУ-КАИ создана международная рабочая группа, объединяющая специалистов из России, Германии, Китая и Индии. Ведется работа по обновлению международных стандартов в области виброзащиты электронного оборудования, таких как IEC 60068-2-6 и MIL-STD-810G, чтобы они в полной мере учитывали современные реалии, связанные с появлением новых материалов и технологий защиты [5]. Особое внимание уделяется созданию единой базы данных по свойствам демпфирующих материалов, которая формируется на основе результатов исследований, проведенных в различных странах. Эта база включает как традиционные материалы, так и новейшие разработки, такие как метаматериалы и нанокомпозиты.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили высокую эффективность применения бесконтактных линейных сельсинов в системах виброзащиты электронных устройств. Основными преимуществами данной технологии являются: высокая точность измерений, отсутствие механического износа, температурная стабильность и долговечность. Разработанные решения уже нашли практическое применение в авиационной и энергетической отраслях, демонстрируя значительное повышение надежности электронного оборудования. Перспективы дальнейшего развития связаны с миниатюризацией датчиков, внедрением интеллектуальных алгоритмов управления и расширением международного сотрудничества в области стандартизации. Интеграция полученных результатов в образовательный процесс способствует подготовке высококвалифицированных специалистов в области конструирования и защиты электронных средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кудряшов Д.А., Соколов В.С.* Методы защиты радиоэлектронных систем от воздействия вибраций // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2023: материалы X Междунар. молодеж. науч.-техн. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов. - Казань, 2023. - С. 503-504.

2. Tayfun Cimen. State-dependent riccati equation (SDRE) control: A survey // Proc. of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control, July 6–11, 2008. Seoul, Korea, 2008.

3. *Smith J.R*. Advanced Vibration Protection Systems // IEEE Trans. – 2020. – Vol. 10. – P. 789–796.

4. *Gorbunov I.A*. Mechanical Protection of Electronics // Int. Journ. of Electronics. – 2022. – Vol. 15. – P. 112–120.

5. *Петров С.К., Сидоров В.Г.* Вибрационная защита радиоэлектронной аппаратуры. – СПб.: Политехника, 2012. – 256 с.

CONTACTLESS LINEAR SELSYNS IN VIBRATION PROTECTION SYSTEMS OF ELECTRONIC EQUIPMENT

Starikov S.E.

Supervisor: Gorbunov I.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper studies methods of protecting electronic devices from vibrations using contactless linear selsyns. An increase in vibration control accuracy by 30–40% compared to traditional sensors has been experimentally confirmed. The results are relevant for aviation and space technology.

УДК 620.179.18

АКУСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНОГО ШВА ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Тепляков А.А.

Научный руководитель: Саиткулов В.Г., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Предложен метод неразрушающего акустического контроля качества сварного соединения лопатки с диском турбины, основанный на анализе собственных резонансных частот лопатки и использовании искусственной нейронной сети для выявления дефектов. Разработана экспериментальная установка с автоматизированным возбуждением и измерением акустического отклика лопаток, а также программное обеспечение на Python для обработки сигналов и выявления дефектов. Проведённые испытания подтвердили высокую эффективность метода в обнаружении скрытых дефектов сварных швов.

Облопаченные диски турбомашин работают при высоких температурах и нагрузках, что выдвигает строгие требования к надёжности сварных соединений лопаток с диском. Даже небольшой дефект шва может привести к разрушению изделия, поэтому необходим оперативный контроль качества на этапе изготовления и эксплуатации. Разработан акустический метод контроля [1], основанный на анализе собственных частот колебаний лопатки [2] и учитывающий влияние площади сварного шва на вибрационные характеристики [3]. В основе метода лежит возбуждение свободных резонансных колебаний лопатки и анализ её акустического отклика для оценки качества сварки.

Новизна метода подтверждается патентом РФ № 229993 [4]. В отличие от прототипа, где автоматическая оценка дефектности была недостаточно точной, применение нейронной сети позволило существенно повысить точность диагностики в автоматизированном режиме. Метод чувствителен к даже малым изменениям жёсткости соединения: при наличии трещин или непровара характер резонансного спектра меняется, что фиксируется алгоритмом.

Для реализации способа разработана автоматизированная установка, позволяющая возбуждать колебания каждой лопатки и регистрировать отклик без участия оператора. На рис. 1 представлена схема конструкции установки.

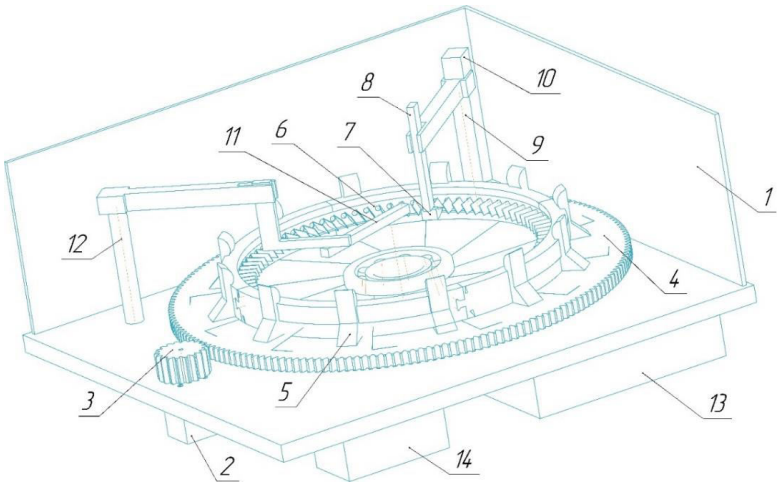


Рис. 1 – Схема установки акустического контроля сварного соединения лопатки к диску турбины: 1 – звукопоглощающий корпус; 2 – шаговый электродвигатель привода стола; 3 – зубчатая передача; 4 – фиксирующий диск-оснастка; 5 – оснастка для фиксации диска; 6 – диск турбины с лопатками; 7 – медиатор; 8 – тензодатчик; 9 – стойка; 10 – шаговый электродвигатель привода медиатора; 11 – микрофон; 12 – стойка микрофона; 13 – компьютер; 14 – контроллер управления

Установка включает в себя следующие основные узлы:

1. Звукопоглощающий корпус: закрытая камера, снижающая влияние внешних шумов и отражений звука.

2. Вращающийся стол: механизм для проворота диска с лопатками. Диск турбины 6 крепится на столе с помощью специальной оснастки 5. Стол имеет зубчатый обод и приводится во вращение шаговым электродвигателем 2 через зубчатую передачу 3. Это обеспечивает поочерёдную установку каждой лопатки в зону контроля.

3. Устройство возбуждения колебаний: медиатор 7, закрепленный на тензодатчике (динамометре) 8 на вертикальной стойке 9. Медиатор приводится в движение отдельным шаговым электродвигателем 10 и установлен таким образом, чтобы при вращении диска касаться каждой лопатки сбоку. Тензодатчик измеряет усилие при прогибе лопатки; как только достигается заданное боковое усилие, контроллер останавливает привод вращения. После этого медиатор быстро отводится в радиальном направлении, освобождая лопатку и вызывая её свободные колебания.

4. Приёмное акустическое устройство: конденсаторный микрофон 11, установленный на стойке 12 вблизи контролируемой лопатки. Микрофон улавливает звуковой отклик и подключен ко входу вычислительного устройства 6.

5. Вычислительный модуль и система управления: компьютер 13 с подключённым контроллером 14 для координации работы двигателей и сбора данных от тензодатчика 8. Программное обеспечение производит оцифровку сигнала, его обработку и анализ, отображает результаты и сохраняет данные. Контроллер управляет шаговыми двигателями по командам программы, останавливая и перемещая приводы с точностью, необходимой для синхронизации воздействия и измерения.

Рис. 2 – Блок-схема алгоритма автоматизированного контроля лопатки диска

Принцип работы установки: оператор устанавливает испытуемый диск с лопатками на вращающийся стол и запускает программу контроля. Далее процесс полностью автоматизирован (алгоритм для обработки одной лопатки показан на рис. 2). Контроллер поворачивает диск и подводит очередную лопатку к зоне измерения, где она упирается в медиатор. При достижении заданного усилия изгиба лопатки вращение прекращается. Затем медиатор мгновенно отводится, заставляя лопатку колебаться свободно. Микрофон записывает акустический отклик лопатки, и компьютер производит его анализ: выделяет информативный фрагмент акустического отклика, рассчитывает спектр и определяет резонансные частоты. Эти частоты подаются на вход нейронной сети, которая выносит заключение о состоянии шва «годен» или «дефектен». Результат для данной лопатки сохраняется, после чего медиатор опускается, диск автоматически проворачивается и цикл повторяется для следующей лопатки. Процесс повторяется до контроля всех лопаток, после чего формируется отчет с итогами проверки. Такая система позволяет в полностью автоматическом режиме быстро обследовать весь диск и обнаружить даже скрытые дефекты сварных соединений.

Программное обеспечение установки реализовано на языке Python и обеспечивает полный цикл обработки данных – от управления двигателями до выдачи диагностического решения. Разработан графический интерфейс пользователя (GUI) на базе PyQt5 [5], который позволяет оператору запускать сканирование, наблюдать за ходом контроля и просматривать результаты в удобной форме. Через GUI также реализованы режимы настройки и обучения системы. Взаимодействие с аппаратной частью происходит через микроконтроллер, подключённый по последовательному интерфейсу. Обмен данными организован в формате JSON с использованием библиотеки PySerial, это обеспечивает надёжную двунаправленную связь: программные команды запускают двигатели, а телеметрия (сигнал тензодатчика, состояние концевиков, и т.д.) поступает обратно на компьютер.

Программная система осуществляет следующие функции: (1) управление шаговыми двигателями (точное позиционирование диска и медиатора); (2) запись звука с микрофона и предварительная обработка сигнала; (3) вычисление спектральных характеристик; (4) классификация состояния шва с помощью нейросети; (5) сохранение результатов в базе данных для последующего анализа. При запуске сканирования создаётся новая запись в базе данных для текущего диска, затем в цикле для каждой лопатки выполняются операции записи и анализа сигнала (см. рис. 2). Запись акустического отклика реализована через библиотеку PyAudio, программа дожидается сигнала тензодатчика о контакте, после чего в реальном времени сохраняет звуковой сигнал в буфер. Далее производится обрезка записи – удаляются участки записи до и после основного импульса, чтобы выделить только отклик лопатки. Из полученного фрагмента рассчитывается спектр методом БПФ с использованием функционала библиотеки SciPy. Автоматически выбираются несколько (как правило, пять) наиболее значимых пиков спектра – именно они несут информацию о собственных частотах лопатки.

Далее работает модуль искусственного интеллекта. Предварительно была сформирована и обучена модель искусственной нейронной сети прямого распространения (feed-forward). Архитектура сети включает 5 входных нейронов (по числу выделяемых резонансных частот), два скрытых слоя (первый – с функцией активации ReLU, второй – с tanh) и выходной нейрон с активацией tanh, формирующий непрерывную оценку состояния. Обучение выполнено с использованием библиотек TensorFlow, Keras [6] на размеченной выборке акустических сигналов (см. раздел о калибровке). В процессе сканирования полученные пиковые частоты подаются на вход модели, которая классифицирует текущий сварной шов как «годный» или «дефектный». Решение нейросети фиксируется программой и сохраняется вместе с данными сигнала.

Для хранения результатов используется база данных PostgreSQL [6]. Каждое измерение (лопатка) сохраняется как отдельная запись с привязкой к конкретному диску и содержит исходный WAV-файл отклика, вычисленные частоты и вердикт сети. Применение СУБД обеспечивает удобство последующего анализа, воспроизводимость экспериментов и

возможность накопления статистики для дообучения алгоритмов. Так, реализован отдельный модуль для дополнительного обучения нейросети на новых данных: в интерфейсе предусмотрена вкладка «Обучение ИИ», где оператор может отметить записи с проверенных дисков и запустить процедуру дообучения модели на расширенной выборке. Это позволяет адаптировать систему к новым типам дефектов по мере накопления опыта эксплуатации.

После настройки система прошла серию функциональных испытаний на реальных изделиях. Испытания проводились на сварных дисках турбины с разным состоянием швов, включая нормальные соединения и дефектные. Цель испытаний – количественно оценить точность обнаружения дефектов и выявить возможные узкие места. Каждый тест заключался в полном сканировании диска и сравнении результатов диагностики с эталонными данными неразрушающего контроля, результат отображен в таблице 1.

Таблица 1

Показатели точности классификации сварных швов лопаток

Метрика	Значение
Общая точность (Accuracy)	94,4 %
Ложные тревоги (False Positive)	5 %
Пропущенные дефекты (False Negative)	8 %
Точность обнаружения дефектов (Precision)	82,1 %
Полнота обнаружения дефектов (Recall)	92 %

Анализ результатов показал, что предложенный метод обеспечивает высокий уровень выявления дефектов при умеренной доле ложных тревог. По итогам серии испытаний, на выбранной рабочей точке кривой Precision–Recall [7] получены следующие показатели: Accuracy 94,4 %, Recall 92 %, Precision 82,1 %, FPR 5 %, FNR 8 %.

Исследования проведены в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Патент № 2771235 C1 Российская Федерация, МПК G01N 29/12, G01H 13/00. Способ акустического контроля сварного шва, сопрягающего лопатку с диском турбины турбомашины: № 2021112480: заявл. 29.04.2021: опубл. 28.04.2022 / А.А. Тепляков, В.Г. Саиткулов, Р.В. Зиганшин, А.Т. Валиев; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ».

2. *Тепляков А.А.* Способ акустического контроля качества лазерной сварки лопаток компрессора газотурбинного двигателя, основанный на анализе спектра собственных колебаний лопаток / А.А. Тепляков, Р.В. Зиганшин, В.Г. Саиткулов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2020. – Т. 76, № 2. – С. 82-86.

3. *Саиткулов В.Г.* Влияние площади сварного соединения лопатки на собственные частоты пера лопатки газотурбинного двигателя / В.Г. Саиткулов, А.А. Тепляков, Р.В. Зиганшин // Контроль. Диагностика. – 2025. – Т. 28, № 2(320). – С. 53-58. – DOI 10.14489/td.2025.02., pp.053-058.

4. Патент на полезную модель № 229993 U1 Российская Федерация, МПК G01N 29/04. Установка для акустического контроля сварного соединения лопатки к диску турбины турбомашины: № 2024118045: заявл. 28.06.2024: опубл. 08.11.2024 / В.Г. Саиткулов, А.А. Тепляков, Р.В. Зиганшин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ».

5. *Дронов В.А., Прохоренок Н.А.* Python 3 и PyQt 5. Разработка приложений / В.А. Дронов, Н.А. Прохоренок. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2017. – 832 с.

6. *Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А*. Глубокое обучение. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с. – ISBN 978-5-97060-562-2.

7. *Кузнецова А.А.* Статистические кривые Precision - Recall для анализа качества обнаружения объектов / А.А. Кузнецова // Прикладная информатика. – 2020. – Т. 15, № 6(90). – С. 42-57. – DOI 10.37791/2687-0649-2020-15-6-42-57.

ACOUSTIC CONTROL OF TURBINE BLADE WELD SEAMS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Teplyakov A.A.

Supervisor: Saitkulov V.G., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. A method of non-destructive acoustic testing of the quality of turbine blade-to-disk weld seams is proposed. The approach is based on the analysis of the blade's natural resonance frequencies combined with the application of an artificial neural network for defect detection. An experimental setup has been developed, providing automated excitation and measurement of the acoustic response of blades, along with Python-based software for signal processing and defect identification. The conducted experiments confirmed the high efficiency of the method in detecting hidden weld defects.

УДК 621.396

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ ФОРМИРОВАТЕЛЯ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ

Туганова Д.Ю.

Научный руководитель: Крючатов В.И., доцент, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Данная работа посвящена разработке схемы технологического процесса сборки печатной платы формирователя шумоподобных сигналов. Рассмотрены основные этапы технологического процесса сборки печатной платы, начиная с подготовительных операций. Также подобрано необходимое оборудование для производства.

Разработка схемы технологического процесса сборки печатной платы представляет собой фундаментальную инженерно-технологическую задачу, определяющую эффективность, качество и надежность производства электронных модулей. Схема является описанием строгой последовательности технологических операций и переходов, которая обеспечивает преобразование базовой печатной платы в функционально завершенный узел.

Исходными данными для ее разработки выступают комплекты конструкторской документации, включающей чертежи печатной платы, принципиальные и монтажные схемы, спецификации с перечнем электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и их позиционным обозначением; технические условия (ТУ) и регламентирующие стандарты (ГОСТ), устанавливающие требования к качеству сборки, надежности и допустимым уровням дефектности. К исходным данным относится оценка производственных возможностей предприятия, охватывающая номенклатуру и технические характеристики оборудования, доступные и сертифицированные материалы. Также входит программа выпуска, определяющая планируемые объемы производства от опытных партий до крупносерийного.

В процессе разработки схемы следует учитывать, что в первую очередь выполняются операции, требующие значительных механических усилий. В качестве основы для технологической схемы сборки платы устройства следует выбрать схему сборки с базовой

деталью. Такое решение обусловлено наличием базовой детали, поверхности которой будут впоследствии использованы при установке в готовое изделие.

Начальным этапом технологической схемы является подготовка и входной контроль печатных плат, направленный на подтверждение их соответствия требованиям конструкторской документации по целостности проводящего рисунка, качеству металлизации монтажных и переходных отверстий, состоянию паяльной маски и маркировки. Выявление и отбраковка дефектных плат на этой стадии исключает их негативное влияние на последующие стадии и минимизирует потери.

Следующим этапом является нанесение паяльной пасты, где определяется оптимальный метод исходя из типов компонентов, шага выводов и требований ТУ. Разрабатываются параметры процесса, включая характеристики трафарета, свойства пасты и технологические режимы. Данные параметры строго контролируются, так как они определяют объем и форму нанесенной пасты. Качество выполнения данной операции предопределяет результат последующей пайки.

Далее проходит автоматическая установка компонентов поверхностного монтажа (SMD). На данном этапе используются автоматизированные высокоточные установки MYDATA серии MY. Данное оборудование обеспечивает высокую скорость монтажа, большое количество питателей и хорошую надежность. Размеры установщика приведены на рисунке 1.

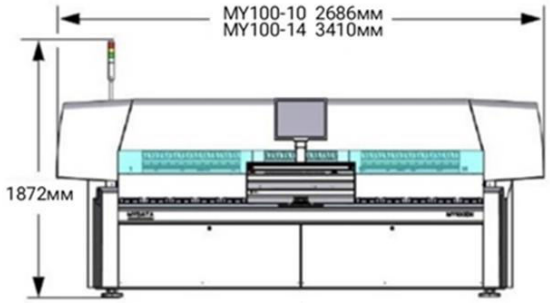


Рис. 1. Автомат установки MYDATA серии MY

Требуемое свободное пространство вокруг оборудования не является произвольным и регламентируется для обеспечения безопасности, эффективности обслуживания и бесперебойной работы. На рисунке 2 приведен автомат установки с учетом свободного пространства.

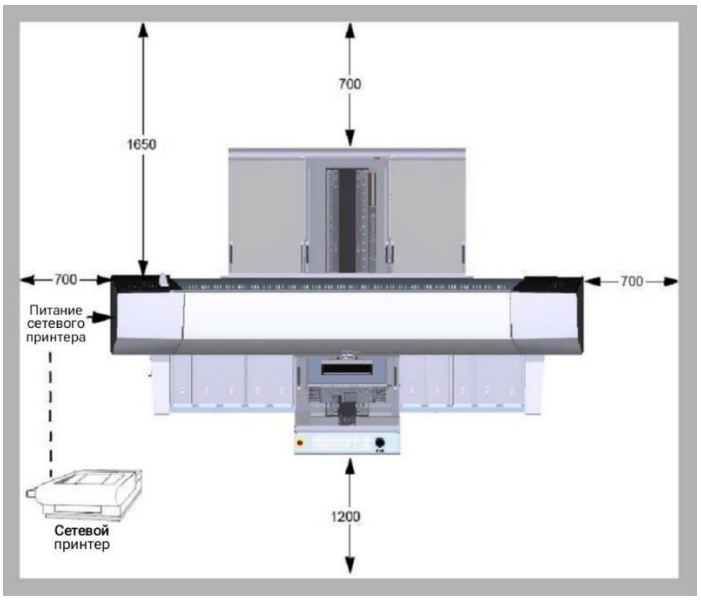


Рис. 2. Свободное пространство вокруг автомата установки MYDATA

Со всех сторон от автомата пространство должно быть не менее 700 мм. Такое расстояние обеспечивает свободный проход персонала в нормальной ситуации и быструю эвакуацию в случае чрезвычайной ситуации. Также для минимизации времени простоя критически важна зона оператора. Для комфортной и эффективной работы требуется пространство не менее 1,2 – 1,5 м. Это позволяет оператору удобно устанавливать и снимать кассеты с компонентами, подносить тележки с материалами, а также иметь доступ к сервисной панели для настройки подачи. Кроме того, автоматы нуждаются в подводе сжатого воздуха или электропитания. Поэтому необходимо пространство для свободного доступа к этим коммуникациям, гибким шлангам и кабелям, чтобы они не были пережаты или повреждены.

Основной стадией пайки SMD-компонентов является оплавление, для успешного проведения которого разрабатывается специфичный температурно-временной профиль печи. Этот профиль должен гарантировать полное расплавление паяльной пасты и формирование надежных паяных соединений. Крайне важно не допустить перегрев термочувствительных компонентов, деформацию печатной платы, вспучивание паяльной маски или образование шариков припоя. Профилирование требует учета теплоемкости печатной платы и установленных на ней компонентов, а также термостабильности применяемых материалов.

После оплавления требуется промывка. Данная операция удаляет остатки флюса, предотвращая возможную коррозию, утечки тока и снижение поверхностного сопротивления изоляции. Применяется установка отмывки Bio-Chem G13945. Сушка является обязательным этапом для полного удаления остатков моющего раствора с поверхности платы и из-под компонентов. Неполная сушка может привести к коррозии, пробоям и выходу изделия из строя при эксплуатации. Сушка выполняется в сушильном шкафу ШС-385 с принудительной конвекцией горячего воздуха. Основные параметры – температура и время сушки, которые гарантируют полное испарение влаги без перегрева чувствительных компонентов или платы.

Для повышения производительности линии и сокращения времени цикла производится автоматическая загрузка и разгрузка печатных плат. Автозагрузчик подает следующую плату сразу после того, как предыдущая была обработана и передана дальше. Оператору не нужно ждать окончания цикла, чтобы вручную установить новую плату. Это исключает простои оборудования между циклами и максимально увеличивает коэффициент его использования. На рисунке 3 приведен автоматический разгрузчик печатных плат.

Рис. 3. Автоматический разгрузчик печатных плат К-017-0562

Далее с помощью паяльных станций с регулируемой температурой осуществляется ручная пайка выводных элементов. Используется припой ПОСК 50-18 ГОСТ 21931-76. Необходим строгий контроль температуры паяльной станции, времени пайки и количества припоя для формирования качественного паяного соединения без перегрева компонента или платы.

С целью защиты от агрессивных факторов внешней среды (влаги, пыли, грязи) проводится операция лакирования. На данном этапе наносится тонкий защитный диэлектрический слой на поверхность собранной печатной платы. Однако недопустимо попадание лака внутрь вилок и розеток. Поэтому предварительно отверстия обрабатываются пастой «Латекс».

Контроль качества является неотъемлемой и очень важной составляющей технологической схемы, реализуемой на ключевых этапах процесса. Это включает визуальный контроль после установки SMD-компонентов для проверки позиционирования и полярности. Важен автоматический оптический контроль или визуальный контроль после пайки для выявления дефектов паяных соединений, перемычек или смещений компонентов. Проводятся рентгеновский контроль для соединений под корпусами компонентов и электрический контроль целостности цепей с целью предотвращения обрывов и короткого замыкания. После выполнения всех операций сборки проходит выходное функциональное тестирование собранного узла для верификации его работоспособности согласно электрической схеме.

Результатом разработки схемы технологического процесса является комплект технологической документации, оформляемой в соответствии с требованиями Единой системы технологической документации (ЕСТД).

Этот комплект включает Маршрутную карту (МК), описывающую последовательность прохождения печатной платы по производственным подразделениям. Технологические карты (ТК) на каждую операцию, детализирующие применяемое оборудование, технологическую оснастку, точные режимы выполнения (температуры, давления, скорости), используемые материалы с указанием марок и норм расхода, методы и средства контроля, а также нормы времени. В комплект входят карты эскизов для визуализации сложных операций установки или контроля, спецификации на оснастку, а также программы испытаний и тестов, которые описывают методики и параметры всех видов электрического и функционального контроля.

Разработка технологической документации ведётся поэтапно, при этом каждый этап её создания строго соответствует стадиям подготовки конструкторской документации. Такой подход обеспечивает согласованность между техническим проектированием и производственными процессами, позволяя создавать эффективные технологические решения для конкретных изделий и компонентов. В зависимости от того, какое назначение, технологические документы подразделяют на основные и вспомогательные [1, 2].

Следует отметить, что схема технологического процесса не является статичным документом. Она требует постоянного мониторинга. Проходит периодическая актуализация на основе анализа производственных данных, результатов входного контроля материалов, изменений в исходной конструкторской документации, внедрения нового оборудования, появления новых типов компонентов или материалов, а также обратной связи от эксплуатации готовых изделий.

Этот процесс корректировки и оптимизации направлен на непрерывное повышение качества сборки, снижение технологической себестоимости и трудоемкости. Также важно обеспечить высочайшую надежность и конкурентоспособность выпускаемых электронных изделий. Таким образом, разработка схемы технологического процесса сборки печатной платы является основой эффективной организации и устойчивого развития современного производства электроники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Воронина О.А*. Технология производства электронных средств: учебное пособие / О.А. Воронина, В.А. Лобанова – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2016. – 339 с.

2. Основы проектирования электронных средств: учебное пособие / В.Г Саиткулов, В.Н. Леухин. – Казань: Изд-во казан. гос. техн. ун-та, 2013. – 496 с.

DEVELOPMENT OF A PROCESS DIAGRAM FOR THE ASSEMBLY OF A PRINTED CIRCUIT BOARD FOR A NOISE-LIKE SIGNAL GENERATOR

Tuganova D.Yu.
Supervisor: Kryuchatov V.I., Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article is devoted to the development of a scheme of the technological process of assembling a printed circuit board of a noise-like signal generator. The main stages of the technological process of assembling a printed circuit board are considered, starting with preparatory operations. The necessary equipment for production is also selected.

УДК 621.3.048

РАЗРАБОТКА ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО РЕЗОНАНСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ЧАСТОТОЙ

Федоров А.Г.
Научный руководитель: Саиткулов В.Г., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье обсуждаются резонансные преобразователи напряжения. Приведены их преимущества перед классическими импульсными преобразователями, разработана электрическая принципиальная схема устройства на основе существующих и наиболее эффективных схем, создана топология печатной платы и корпус устройства.

1. Введение

Современные системы и устройства предъявляют высокие требования к преобразованию электрической энергии. Одним из ключевых элементов в таких системах являются резонансные преобразователи напряжения, которые способны обеспечивать высокий КПД, снижение коммутационных и электромагнитных помех благодаря мягкому переключению. Но традиционные резонансные преобразователи в большинстве работают на фиксированной частоте, что ограничивает их гибкость в условиях меняющейся нагрузки. В работе предложен прототип резонансного преобразователя с регулируемой частотой, способный подстраивать рабочую частоту под значения частот резонансного контура с помощью контроллера, тем самым обеспечивая высокую выходную мощность.

2. Выбор топологии схемы и регулирования частоты

Наиболее широко используются топологии LCC- и LLC- резонансных контуров. Это возможно благодаря их достаточно высокой энергетической эффективностью, обусловленной низкодобротным резонансным контуром, который может быть построен на основе паразитных параметров трансформатора. В LLC-преобразователе обычно применяется частотное регулирование [1]. Резонансный преобразователь на основе топологии с двумя конденсаторами менее распространен. Эффективность резонансных преобразователей по сравнению с импульсными объясняется возможности переключения ключей транзисторов при нулевом напряжении, что происходит благодаря возникающей синусоидальной форме тока в резонансном контуре. В LLC-преобразователе резонансный контур образован введением дополнительной индуктивности, что позволяет регулировать ток инвертора шунтированием входного тока выпрямителя [1]. Схема резонансного LCC-преобразователя приведена на рисунке 1.

В качестве регулирования частоты будет использоваться метод частотно-импульсной модуляции – регулирование осуществляется изменением частоты следования импульсов напряжения [3].

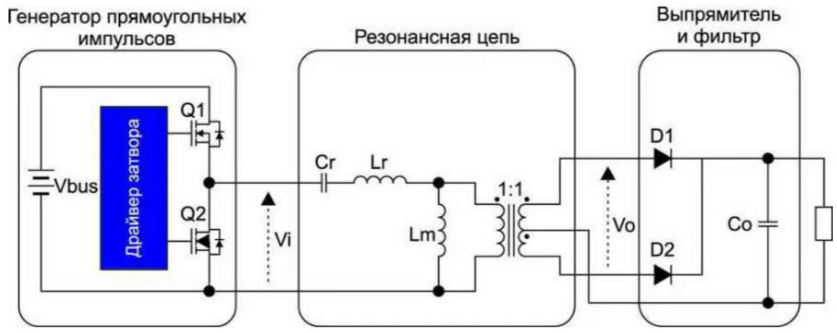


Рисунок 1. Резонансный LCC-Преобразователь [2]

При настройке частоты близкой к резонансной частоте контура, мощность на выходе максимальна и энергия передается эффективнее. При увеличении частоты выше резонанса, выходное напряжения начинает падать и за ним уменьшается и мощность преобразователя на выходе. При уменьшении частоты ухудшаются условия переключения и эффективность передачи энергии падает.

За настройку частоты отвечает микроконтроллер или управляющая схема. Они задают частоту генерации тока таким образом, чтобы она была максимальна близка к резонансной.

3. Обоснование и выбор конструкции устройства

Принципиальная схема резонансного преобразователя напряжения с регулируемой частотой приведена на рисунке 2.

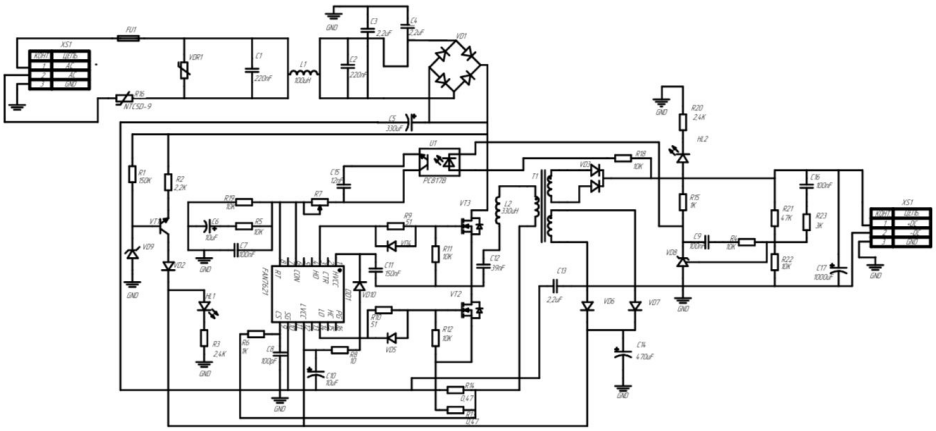


Рисунок 2. Принципиальная схема устройства

Данная схема структурно делится на несколько блоков:

– Вход питания и фильтрация.
– Выпрямление и сглаживание напряжения.
– Импульсный преобразователь с микросхемой и резонансным контуром.
– Выпрямление и фильтрация.
– Блок защиты и контроля.
– Блок питания микросхемы.

Параметры резонансного преобразователя напряжения:

– Входное напряжение – 220 В.
– Максимальное выходное напряжение: до 24 В.
– Максимальный ток нагрузки 5 А.
– Выходная мощность: до 120 Вт.

В качестве микросхемы был выбран FAN7621.

FAN7621 – это ШИМ-контроллер полумостового резонансного преобразователя от Fairchild Semiconductor. Содержит драйвер ключевого транзистора, задающий генератор и цепи защиты [4]. Был выбран из-за своей простоты настройки и соответствия необходимых характеристик.

В качестве трансформатора была выбрана модель в корпусе ETD29 с ферритовым магнитным сердечником PC40. Выбор данного корпуса трансформатора был сделан на основе его удобства намотки жил, приемлемой ценой и достаточно высокой надежности при эксплуатации

Сделаем расчет параметров электрической схемы устройства.

Вычислим выходную мощность в максимуме по формуле (1):

$$P_{\text{макс}} = U_{\text{вых}} \cdot I_{\text{вых}} = 24 \cdot 5 = 120 \text{ Вт} \quad (1)$$

Потребляемая мощность по формуле (3.2):

$$P_{\text{пот=}} \frac{P_{\text{макс}}}{\eta} = \frac{120}{0{,}9} = 133{,}3 \text{ Вт}, \quad (2)$$

где $\eta = 90\ \%$ – средний КПД преобразователя.

Рассчитаем эквивалентное сопротивление нагрузки.

С помощью коэффициента трансформации $n = 5.17$, находим эквивалентное сопротивление нагрузки по формуле (3.6):

$$R_{ac} = \frac{8 \cdot n^2}{\pi^2} \cdot \frac{V_{\text{вых}}^2}{P_{\text{макс}}} = \frac{8 \cdot 5{,}17^2}{\pi^2} \cdot \frac{24^2}{120} = 103{,}99 \text{ Ом}. \quad (3)$$

Приступим к расчету основного элемента преобразователя – резонансного контура. Воспользуемся рисунком 3, с помощью которого, зная коэффициент отношений индуктивностей контура m и пиковый коэффициент передачи $M^{\text{макс}}$, можно выбрать добротность Q.

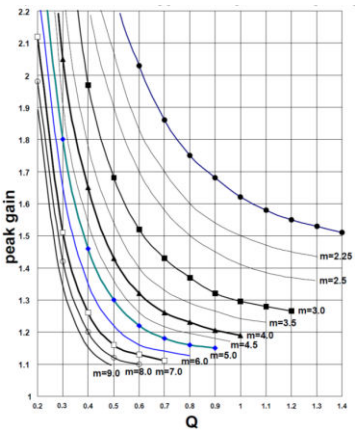


Рисунок 3. Пиковый коэффициент передачи (достижимый максимум коэффициента) против Q для различных значений m [5]

Согласно рисунку 3.2 добротность $Q = 0{,}4$.

При выборе резонансной частоты 100 кГц, резонансный конденсатор, резонансная индуктивность будут равны, согласно формулам (4), (5):

$$\text{C}_r = \frac{1}{2\pi \cdot Q \cdot f_0 \cdot R_{ac}} = \frac{1}{2\pi \cdot 0{,}4 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 103{,}99} = 38{,}82 \text{ нФ} \quad (4)$$

$$L_r = \frac{1}{(2\pi \cdot f_0)^2 \cdot C_r} = \frac{1}{(2\pi \cdot 100 \cdot 10^3)^2 \cdot 38{,}82 \cdot 10^{-9}} = 65{,}25 \text{ мкГн} \quad (5)$$

Расчет трансформатора: согласно справочным данным, площадь сечения сердечника трансформатора ETD29 A_e равна 76 мм^2. Магнитный размах индукции в Тесла стандартным – $\Delta B = 0.4$ Минимальную частоту переключения возьмем в 78 кГц. Минимальное количество витков первичной стороны трансформатора задается по формуле (6) [6]:

$$N_p^{min} = \frac{n \cdot (V_o + V_F)}{2 \cdot \ f_{min} \cdot \ M_{\text{мин}} \cdot \Delta \text{B} \cdot \text{A}_\text{e}} = \tag{6}$$

$$= \frac{5.17 \cdot (0{,}9 + 24)}{2 \cdot 78 \cdot \ 10^3 \cdot 1{,}11 \cdot 0{,}4 \cdot 76 \ \cdot 10^{-6}} = 24{,}45$$

Выберем количество витков вторичной стороны N_s так, чтобы результирующее количество первичной стороны N_p было больше, чем минимальное количество витков первичной стороны трансформатора.

Подбор *n* приведен в формулах (7) и (8):

$$N_p = n \cdot \ N_s = 5.17 \cdot 1 = 5{,}17 < \ N_p^{min} \tag{7}$$

$$N_p = n \cdot \ N_s = 5.17 \cdot 5 = 25{,}85 > \ N_p^{min} \tag{8}$$

Согласно формуле (8), количество витков вторичной обмотки трансформатора $N_p = 5$.

Выполненная топология платы устройства с передней и обратной изображена на рисунках 4 и 5:

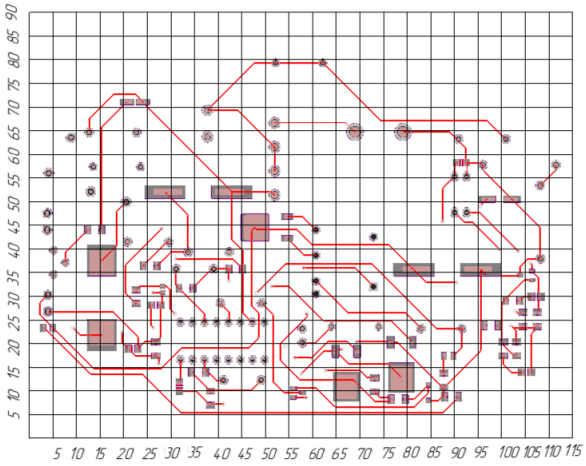


Рисунок 4. Топология передней стороны печатной платы

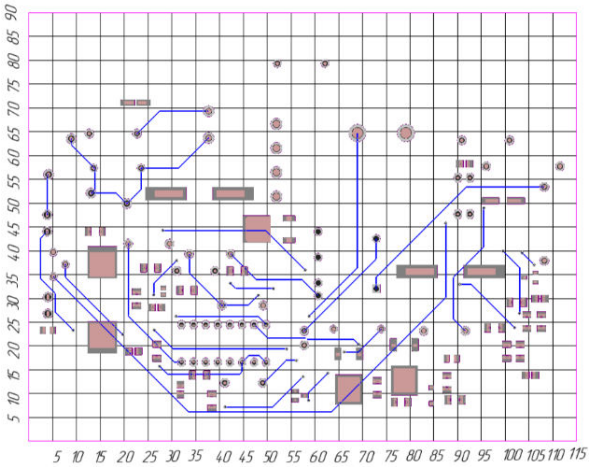


Рисунок 5. Топология обратной стороны печатной платы

Для изготовления корпуса выбрана 3D-печать. Материал для пластика был выбран ABS. Акрилонитрил-бутадиен-стирол отличается высокой прочностью и устойчивостью к высоким температурам.

Были сделаны расчеты надежности устройства.

Согласно расчетам надежности, вероятность безотказной работы, находящиеся по формуле (9), будет равна:

$$P_c(t) = exp\left[\sum_{i=1}^{n} N_i \cdot \lambda_i \cdot t\right] = exp[7{,}19 \cdot 10^{-6} \cdot 10000] = 0{,}912 \quad (9)$$

Для резонансных блоков питания процент безотказной работы должен составлять 90 – 95%. По данным расчетам, устройство соответствует заданной надежности, находится в пределах нормы.

Были сделаны расчеты теплового режима устройства, согласно которым силовые элементы нагревались в пределах нормы.

4. Заключение

В данной статье рассматривался резонансный преобразователь напряжения с регулируемой частотой. В ходе работы был выбран наиболее эффективный тип топологии схемы, способ регулирования частоты, представлена разработка электрической схемы и печатной платы, расчет его параметров элементов, надежности и теплового режима. Резонансные преобразователи обладают наиболее эффективными характеристиками при своих малых габаритах. Но не смотря на свои преимущества требуют более точной настройки резонансного контура, что делает их сложными в реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Осипов А.В. Сопоставление энергетических характеристик резонансных LLC- и LCC- преобразователей. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://journal.tusur.ru/storage/178959/19-Osipov_%D0%BF.pdf?1741939287 (дата обращения: 17.04.2025).

2. Некоторые особенности работы LCC-преобразователей. сайт. – URL: https://www.cryptoprofi.info/?p=16373 (дата обращения: 18.04.2025). – Текст: электронный.

3. Шахнов В.А. Проектирование источников электропитания в электронной аппаратуре : учебное пособие. / В.А. Шахнов, Б.В. Артемьев, В.Г. Костиков, –Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023. – 397 с.

4. Datasheet FAN7621. PFM Controller for Half-Bridge Resonant Converters – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1748819195&tld=ru&lang=en&name=FAN7621_rezonans (дата обращения: 24.04.2025).

5. AN-4151 Расчёт полумостового LLC резонансного преобразователя, использующего мощный ключ семейства FSFR производства Fairchild. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://valvolodin.narod.ru/sprav/AN4151ru.pdf (дата обращения: 29.04.2025).

6. AN-4151 Расчёт полумостового LLC резонансного преобразователя, использующего мощный ключ семейства FSFR производства Fairchild. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://valvolodin.narod.ru/sprav/AN4151ru.pdf (дата обращения: 29.04.2025).

DEVELOPMENT OF A VOLTAGE CONVERTER WITH ADJUSTABLE FREQUENCY

Fedorov A.G.

Supervisor: Saitkulov V.G., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev –KAI, Kazan)

Abstract. This article discusses resonant voltage converters, shows their advantages over classical pulse converters. Develops an electrical schematic diagram of the device based on existing and most efficient circuits, creates a printed circuit board topology and device housing.

УДК 543.52.054

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДОПУСКОВ РАДИОПРИЕМНЫХ ТРАКТОВ ЦИФРОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ ПРИЕМНИКОВ ГНСС

Федоров А.Ю.
Научный руководитель: Павлов В.С., начальник отдела, к. т. н.
(АО «ВНИИР-Прогресс», г. Москва)

Аннотация. Исследовано влияние коэффициента усиления и коэффициента шума приемных трактов цифровой антенной решетки (ЦАР) с алгоритмом пространственной компенсации помех на характеристики приема сигнала глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) при воздействии помех. Рассмотрены типовые модели неисправности радиоприёмных трактов и обоснованы требования к технологическим допускам при серийном производстве ЦАР.

Введение

Работа приемников ГНСС критически зависима от помеховой обстановки. Сигналы ГНСС имеют мощность на уровне минус 161 дБВт и могут быть «заглушены» маломощными средствами постановки помех [1]. Наиболее эффективным средством повышения помехоустойчивости приемников навигационной аппаратуры ГНСС является применение ЦАР с алгоритмами пространственной компенсации помех, реализованный на основе теории пространственно-временной обработки сигналов (ПВОС) [2].

Практическая эффективность алгоритмов ЦАР ограничена влиянием ряда критических факторов, из которых наибольшую значимость имеют многолучевость распространения помех [3], неидентичность частотных характеристик [3] и нелинейность приемных трактов [4]. Перечисленные факторы хорошо изучены и их преодоление можно считать решенной научно-технической проблемой в области разработки ЦАР.

При серийном выпуске на первый план выходит проблема снижения показателей помехоустойчивости из-за превышения допусков на параметры элементной базы. При этом, контролируемыми параметрами радиоприемного тракта являются традиционные характеристики - коэффициент шума и усиления. Несмотря на то, что коэффициент шума определяет ухудшение отношения сигнал/шум в радиоприемном устройстве, но при работе алгоритмов компенсации помех в различных помеховых обстановках, влияние характеристик отдельных каналов ЦАР на итоговые характеристики приема сигналов ГНСС не является очевидным. Актуальной задачей является проведение статистического исследования по данной проблеме и обоснование технологических допусков на величины коэффициентов усиления и шума при серийном производстве ЦАР.

Учет отклонения параметров элементной базы [3].

В работе [5] рассматривается схема построения современных ЦАР для приемников ГНСС (рис. 1). Радиоприемные тракты ЦАР выполнены по супергетеродинной схеме с однократным преобразованием частоты, содержат малошумящие усилители и фильтр промежуточной частоты.

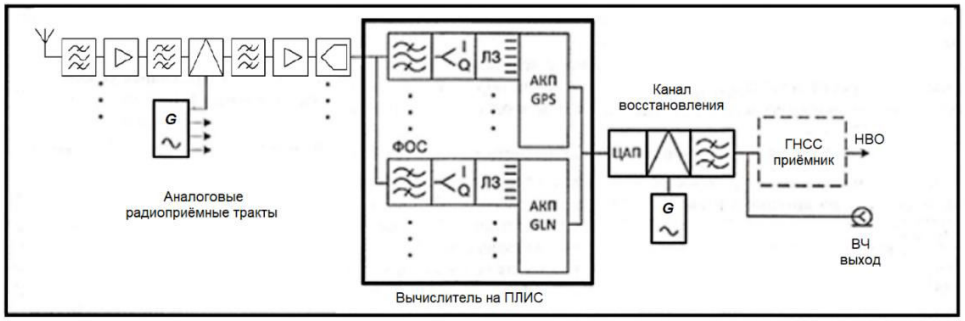


Рис. 1. Структурная схема ЦАР

Рассмотрим аналоговый радиоприемный тракт (рис. 1). Из практики автора, неисправности тракта зачастую связаны с отклонением коэффициента усиления компонента и, как следствие, изменением коэффициента шума. Значения коэффициентов шума и усиления, их допустимые отклонения (2**σ**) применены от современной импортной элементной базы (таблица 1). В целях моделирования данные значения будем трактовать по вероятности 0,95. Расчет коэффициента шума тракта производится формулой при каскадном соединении:

$$N_{общ.} = N_1 + \frac{N_2 - 1}{G_1} + \frac{N_3 - 1}{G_1 \cdot G_2} + \cdots + \frac{N_n - 1}{G_1 \cdot G_2 \ldots G_n}, \quad (1)$$

где G_n – коэффициент усиления ($К_у$) n-го каскада тракта;
N_n – коэффициент шума ($К_ш$) n-го каскада тракта.

Таблица 1

Характеристики исследуемого тракта

№	Тип компонента	$К_ш$ – N, дБ	Отклонение $К_ш$ – 2**σ**, дБ	$К_у$ – G, дБ	Отклонение $К_у$ – 2**σ**, дБ	Вероятность неисправности
1	ПАВ - фильтр	-2,25	0,25	-2,25	0,25	0,1
2	Усилитель	0,515	0,07	17,6	1,5	0,15
3	ПАВ - фильтр	-2,25	0,25	-2,25	0,25	0,1
4	Смеситель	9,9	1	8,4	0,1	0,2
5	ФПЧ	4	0,5	-4	0,5	0,25
6	Усилитель	5,49	1	15,5	0,05	0,15
7	АЦП и входные линии	28,8	1	0	0	0,05

Применим статистический подход к характеристикам радиоприемного тракта. **Для оценки величины технологического разброса** $К_у$ и $К_ш$, построим функции распределения.

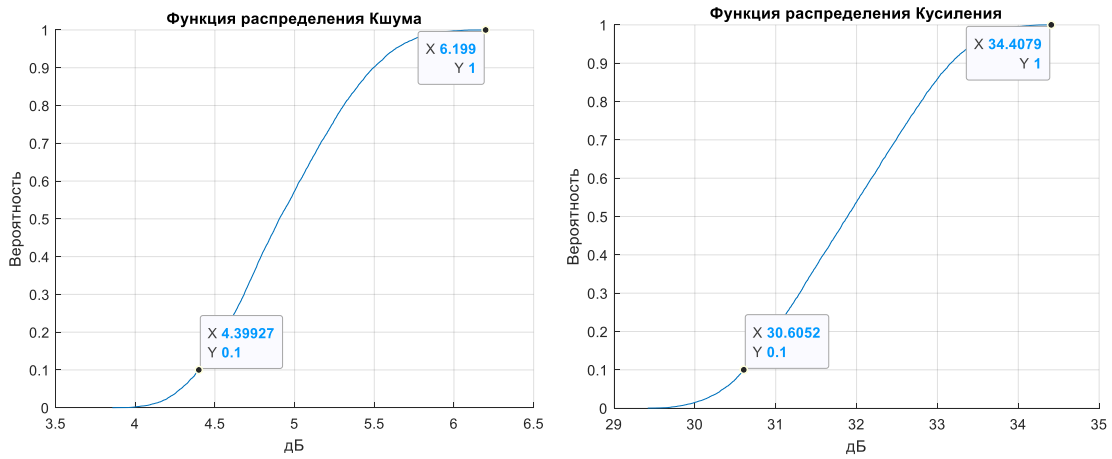


Рис. 2. Функция распределения $К_у$ и $К_ш$ при технологических разбросах

Из рис. 2 по вероятности 0.9, наблюдаем распределение величины $К_у$ в диапазоне 30,6-34,4 дБ и $К_ш$ в диапазоне 4,3-6,1 дБ для исправного радиоприемного тракта.

При серийном производстве, наиболее простой контролируемой величиной является $К_у$. Пусть имеется радиоприемный тракт, в котором неисправен смеситель и его коэффициент усиления снижен от номинального на 3 дБ. Применяя (1), коэффициент шума тракта составит 6,3 дБ (рис. 3). Следовательно, уменьшение коэффициента усиления на 3 дБ в смесителе - увеличит коэффициент шума на 0,61-1,1 дБ. Очевидно, это ухудшит характеристики помехоустойчивости АКП.

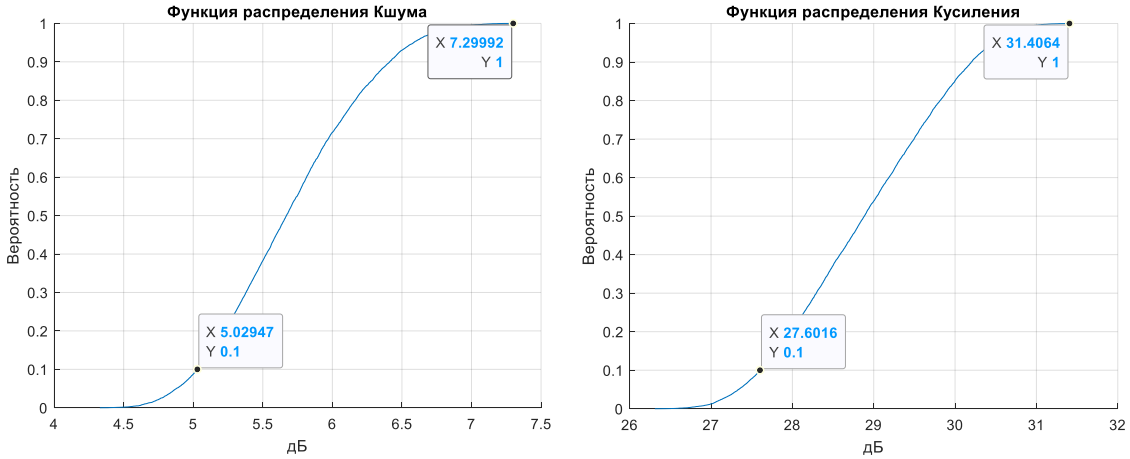


Рис. 3. Функция распределения $К_у$ и $К_ш$ при неисправности смесителя

Представляет интерес, произвести моделирование влияния неисправности в трактах на ОСШ при пространственной обработке в наихудшей помеховой обстановке и обосновать требования к технологическим допускам при серийном производстве ЦАР.

Рассмотрим задачу моделирования пространственной обработки. [2]

Запишем уравнение наблюдения на выходе ЦАР

$$\boldsymbol{\xi}_t = \mathbf{H}s_t + \mathbf{C}x_t + \mathbf{n}_{0t}, \tag{2}$$

где $\boldsymbol{\xi}_t$ – комплексный М-вектор наблюдений;

$$\mathbf{H} = \exp\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\mathbf{A}\cdot\mathbf{e}_S\right)$$ – M - мерный комплексный вектор-функция,

описывающая амплитудно-фазовое распределение полезных сигналов в зависимости от углов направления приема φ,θ радиосигнала. $\mathbf{A} = \left[\mathbf{a}_1 \quad \mathbf{a}_2 \quad \text{K} \quad \mathbf{a}_M\right]^{\text{T}}$, $\mathbf{a}_i$ – вектор-столбец координат антенного элемента в составе ЦАР, $\mathbf{e}_S$ – направляющий вектор, зависящий от углов φ,θ;

s_t – комплексное колебание источника полезного радиосигнала;

$$\mathbf{C} = \exp\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\mathbf{A}\cdot\mathbf{e}_X\right)$$ – M - мерный комплексный вектор-функция,

описывающая амплитудно-фазовое распределение помех в зависимости от углов направления приема φ,θ радиосигнала. $\mathbf{A} = \left[\mathbf{a}_1 \quad \mathbf{a}_2 \quad \text{K} \quad \mathbf{a}_M\right]^{\text{T}}$, $\mathbf{a}_i$ – вектор-столбец координат антенного элемента в составе ЦАР, $\mathbf{e}_X$ – направляющий вектор, зависящий от углов φ,θ;

x_t – комплексное колебание радиосигнала помехи;

$\mathbf{n}_{0t}$ – внутренний шум в М каналах.

Предположим, что полезные сигналы, приходят с случайного направления по азимуту и углу места от 5˚ до 70˚, а сигналы помех - с случайного направления по азимуту и углу места от 15˚ до минус 30˚.

Корреляционная матрица принятых сигналов **V** выглядит следующим образом:

$$\mathbf{V} = \boldsymbol{\xi}_t \cdot \boldsymbol{\xi}_t^{\text{H}}, \tag{3}$$

где Н – символ комплексного сопряжения и транспонирования.

Так как мощность полезного сигнала ГНСС ниже уровня внутреннего шума радиоприемных трактов и помех, составляющей $\mathbf{H}s_t$ можно пренебречь.

Тогда корреляционная матрица может быть представлена в виде:

$$\mathbf{V} = \mathbf{C} \cdot \overline{x_t \cdot x_t^{\mathrm{H}}} \cdot \mathbf{C}^{\mathrm{H}} + \overline{n_{0t} \cdot n_{0t}^{\mathrm{H}}} = \mathbf{C} \cdot P_J \cdot \mathbf{C}^{\mathrm{H}} + I \cdot P_n, \quad (4)$$

где P_J – матрица помех, где по диагонали расположены мощности помех в каналах;
P_n – матрица шумов, где по диагонали расположены мощности шумов в каналах.

Применим алгоритм оптимальной пространственной обработки. Из [1], алгоритм компенсации представлен в виде:

$$\eta_t = \overset{\circ}{\mathbf{H}}^{\mathrm{H}} \cdot \mathbf{V}^{-1} \cdot \xi_t, \quad (5)$$

где $\overset{\circ}{\mathbf{H}}$ – выражение для оптимальной ПОС (для АКП, $\overset{\circ}{\mathbf{H}}$ имеет вид [1 0 0 0]).

Применяя алгоритм компенсации (5) по отдельности для составляющих сигнала $\mathbf{H}s_t$ и шума $\mathbf{C}x_t + \mathbf{n_{0t}}$, из определения ОСШ [6], выражение ОСШ на выходе АКП (5) с пространственной обработкой примет вид:

$$SNR = \frac{D\{\xi_{st}\}}{D\{\xi_{xt}\}} = \frac{\left(\left|\overset{\circ}{\mathbf{H}}^{\mathrm{H}} \cdot \mathbf{V}^{-1} \cdot \mathbf{H}\right|\right)^2 \cdot P_s}{\overset{\circ}{\mathbf{H}}^{\mathrm{H}} \cdot \mathbf{V}^{-1} \cdot \overset{\circ}{\mathbf{H}}}, \quad (6)$$

где P_s – мощность полезного сигнала.

Произведем статистическое моделирование. Пусть имеются 5000 четырехэлементных АКП с неисправностью в радиоприемном тракте. Из практики автора, с высокой вероятностью (0,9) неисправным бывает один из трактов, однако имеется малая вероятность (0,1) одновременной неисправности двух трактов. В моделировании не рассматриваются события одновременной неисправности трёх и четырёх трактов, так как вероятности этих событий несоизмеримо малы. Каждый из каскадов тракта, имеет свою вероятность неисправности, зависящую, от качества пайки, количества и исправности компонентов. Их вероятности представлены в таблице 1.

Построим функцию распределения коэффициентов шума и усиления в трактах для 5000 изделий. Для оценки общего отклонения, отобразим значения по исправным и неисправным трактам в одном графике.

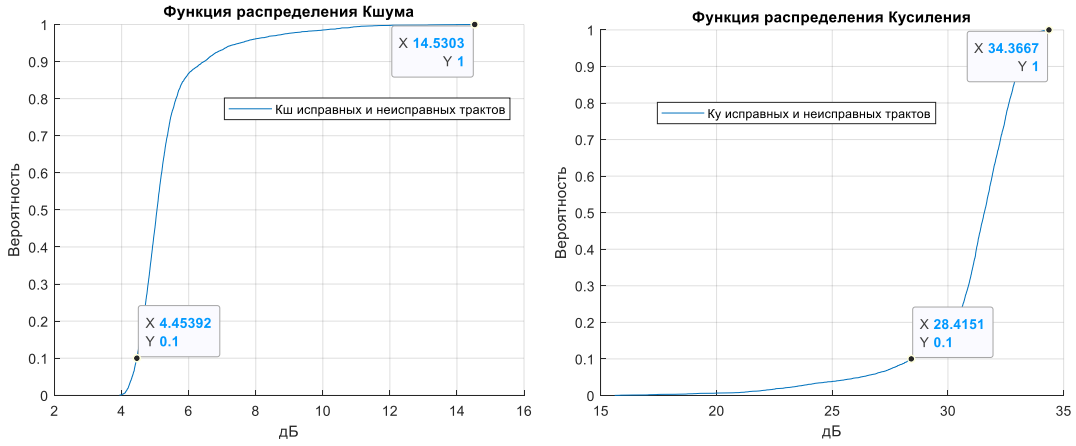


Рис. 4. Функция распределения $К_у$ и $К_ш$ в антенной решетке при неисправности

Из рис. 4, по уровню вероятности 0.9, наблюдаем максимальное уменьшение $К_у$ на 6 дБ и максимальное увеличение $К_ш$ на 8 дБ от номинальных значений, представленных на рис. 3. Для исследования влияния неисправных радиоприемных трактов на ОСШ с пространственной обработкой при наихудшей помеховой обстановке (3 помехи), построим функцию распределения.

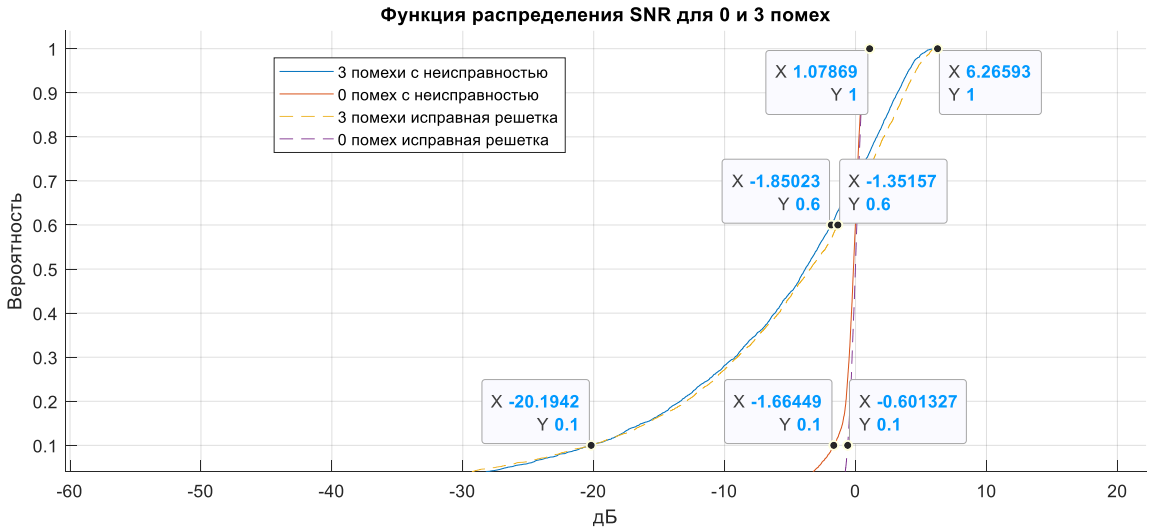


Рис. 5. Функция распределения ОСШ в антенной решетке при неисправности

Выводы

1. В условиях технологических разбросов исправных радиоприемных трактов, имеем нормированную величину отклонения ОСШ при пространственной обработке не более 0.5 дБ. Коэффициент усиления радиоприемных трактов расположен в диапазоне 30-34 дБ.

2. Для всех радиоприемных трактов, при типовых неисправностях, коэффициент усиления расположен в диапазоне 28,4-34,3 дБ. Разброс коэффициента усиления исправных радиоприемных трактов не должен превышать 4,5 дБ.

3. ОСШ с пространственной обработкой в условиях неисправности одного и/или двух радиоприемных трактов и наихудшей помеховой обстановки ухудшается в диапазоне 0.5-1.2 дБ.

4. Для серийного выпуска АКП на базе антенной решетки целесообразно не допускать отклонения коэффициента усиления более чем на 4.5 дБ. Классическим методом контроля характеристик радиоприемного тракта является АЧХ. По результатам данного исследования, для обеспечения потерь ОСШ в пределах 1 дБ [2], в рамках различных моделей неисправностей нужно обеспечивать отклонение между каналами на величину не более 3 дБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Тихонов В.И., Харисов В.Н.* Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем // Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2004. 608 с.

2. *Ефименко В.С., Пастухов А.В., Харисов В.Н.* Экспериментальное исследование цифровых корректирующих фильтров в каналах антенных компенсаторов помех для приёмника СРНС // М.: Радиотехника (Журнал в журнале). 2008. №7. С. 56-59.

3. *Ефименко В.С., Харисов В.Н., Медведев П.В.* Влияние многолучёвого распространения помех на качество их подавления // М.: Радиотехника (Журнал в журнале). 2005. №7. С. 62-67.

4. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Радиотехника. 2010. 800 с.

5. *Харисов В.Н., Быстраков С.Г., Пастухов А.В., Сизов Р.Н.* Метод задания требований к неидентичности каналов компенсаторов помех // М.: Радиотехника (Журнал в журнале). 2007. №7. С. 113-120.

6. Методика расчета высокочастотных трактов приемо-передающих устройств на основе специализированной программы ADIsimRF: учебно-методическое пособие / В.А. Ботов, Д.Ю. Вишняков, Л.Н. Казаков, Е.А. Селянская; Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова. — Ярославль: ЯрГУ, 2016. — 56 с.

JUSTIFICATION OF TECHNOLOGICAL ADMISSIONS OF DIGITAL ANTENNA ARRAYS RADIO RECEIVER TRAFFIC FOR INTERFERENCE-RESISTANT GNSS RECEIVERS

Fedorov A.Y.
Supervisor: Pavlov V.S., Head of Department, Doctor of Engineering Sciences
(JSC VNIIR-Progress, Moscow)

Abstract. The influence of the gain and noise factor of the receiving paths of a digital antenna array (DAA) with a spatial interference compensation algorithm on the reception characteristics of global navigation satellite systems (GNSS) under interference conditions has been studied. Typical models of radio receiving path malfunctions have been considered, and requirements for technological tolerances during the serial production of DAAs have been substantiated.

УДК 681.2.083

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО НА ОСНОВЕ НИОБАТА ЛИТИЯ

Харитонов Д.Ю.
Научный руководитель: Кузнецов А.А., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе изучаются спектральные свойства интерферометра Фабри-Перо (ИФП), выполненного на основе ниобата лития ($LiNbO_3$). Исследование проводилось как при отсутствии внешнего напряжения, так и при приложении напряжения около 5 В. Эксперименты осуществлялись с использованием структуры, имеющей воздушный зазор приблизительно 200 мкм. Это позволило проанализировать влияние приложенного электрического поля на спектральные параметры интерферометра. Полученные результаты могут найти применение при создании оптических устройств, управляемых внешним воздействием.

Введение

ИФП нашли обширное применение в спектроскопии, области лазеров и оптической метрологии, благодаря высокой разрешающей способности по спектру. Отдельный интерес представляют ИФП, созданные с использованием электрооптических материалов, например, $LiNbO_3$. Это обусловлено возможностью контролировать резонансные характеристики таких устройств посредством внешнего электрического поля [1,2].

Пример схемы ИФП

В качестве наглядного примера разберем ИФП, функционирующий в инфракрасном диапазоне, с брэгговской длиной волны 1550 нм. ИФП – это пластина, изготовленная из материала, характеризующегося более высоким показателем преломления, чем окружающая среда (как продемонстрировано на Рис. 1). Подобная конструкция может исполнять роль резонатора, реагируя на конкретные частоты. Несмотря на возможность аналитического решения, данная модель позволяет продемонстрировать методику определения резонансных частот и добротности. Принцип действия основан на том, что электромагнитное излучение, распространяясь перпендикулярно поверхности, частично отражается и проходит сквозь каждую границу раздела сред с различными диэлектрическими свойствами. Если длина L соотносится с целым числом длин волн, система функционирует как резонатор.

ИФП, сконструированные на базе $LiNbO_3$, вызывают большой интерес в оптических системах связи, поскольку позволяют электрооптически регулировать свои спектральные параметры. В текущем исследовании рассматривается применение ИФП для создания частотно-модулированного сигнала в оптических линиях связи. Главная цель — вычислить

параметры геометрии интерферометра (с зазором примерно 200 мкм), гарантирующие *FSR*, отвечающего 1/125 нм (или частоте биений ≤ 1 ГГц) без приложения внешнего напряжения. Этот способ дает возможность использовать распространенные фотоприемники, избавляя от необходимости в высокочастотных компонентах.

Для динамического управления *FSR* используется эффект Поккельса в $LiNbO_3$. При подаче напряжения (около ~5 В), происходит изменение оптической длины резонатора. Данный процесс обеспечивает перестройку спектральных свойств ИФП и, как следствие, формирование частотной модуляции сигнала. Полученные результаты открывают возможности для разработки компактных и экономичных модуляторов, применяемых в волоконно-оптических линиях связи [3].

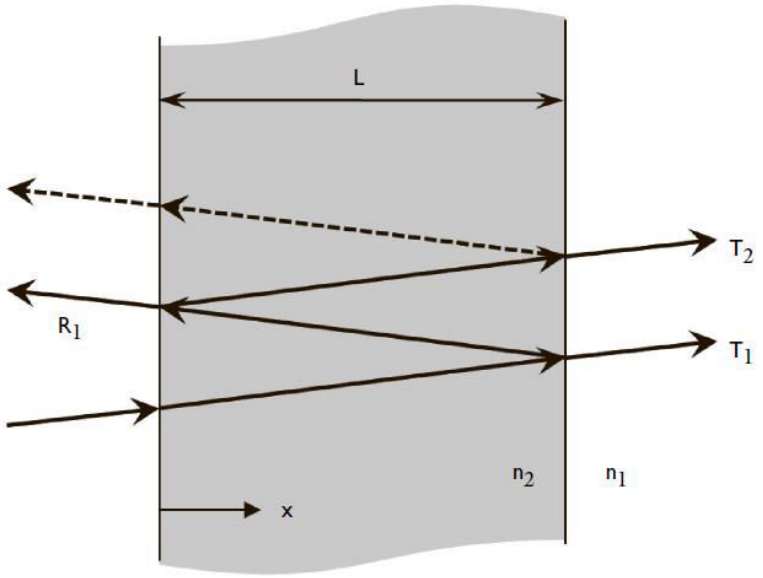


Рис. 1. Общий вид интерферометра Фабри-Перо: *L* – длина участка интерферометра, R_1, T_1, T_2 – лучи, проходящие сквозь среду интерферометра, n_2 – показатель преломления $LiNbO_3$, n_1 – показатель преломления воздуха.

FSR ИФП определяется как [4-7]:

$$FSR = \frac{c}{2nL}, \tag{1}$$

где: c — скорость света, n — показатель преломления $LiNbO_3$, L — оптическая длина резонатора (физическая длина с учетом зазора и электрооптического эффекта).

При приложении напряжения V вдоль оптической оси в $LiNbO_3$ возникает электрооптический эффект Поккельса, изменяющий показатель преломления:

$$\Delta n = -\frac{1}{2} n^3 r_{33} \frac{V}{d}, \tag{2}$$

где: r_{33} — электрооптический коэффициент $LiNbO_3$ (≈ 30.8 пм/В для длины волны ~1550 нм), d — расстояние между электродами.

Скорректированный показатель преломления:

$$n' = n + \Delta n = n\left(1 - \frac{1}{2} n^2 r_{33} \frac{V}{d}\right), \tag{3}$$

Тогда управляемый *FSR* при приложенном напряжении:

$$FSR' = \frac{c}{2n'L} \approx \frac{c}{2nL}\left(1 + \frac{1}{2} n^2 r_{33} \frac{V}{d}\right), \tag{4}$$

Подавая напряжение (~5 В), можно изменять *FSR* (Рис. 2) за счет электрооптической подстройки *n*, что позволяет реализовать частотную модуляцию в оптических линиях связи.

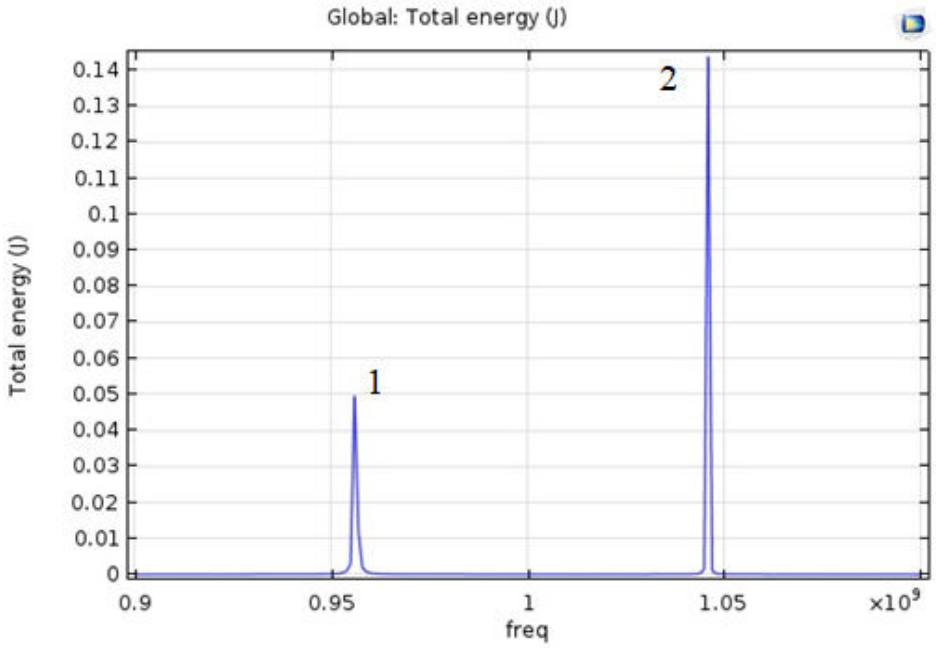


Рис. 2. График плотности энергии внутри интерферометра в диапазоне частот: 1. без приложенного напряжения, 2. с приложенным напряжением.

Заключение

В ходе проведенного эксперимента было зафиксировано, что подача напряжения величиной 5 В на ИФП, изготовленного на основе $LiNbO_3$, влечет за собой изменение частоты биений на 86 МГц по сравнению с состоянием без воздействия внешнего электрического поля. Данный сдвиг является прямым следствием электрооптического эффекта Поккельса. Он вызывает изменение коэффициента преломления $LiNbO_3$, что в свою очередь влияет на *FSR* интерферометра. Зафиксированная разница в частоте биений (примерно 86 МГц) наглядно демонстрирует эффективность электрооптической перестройки интерферометра, открывая перспективы для его применения в системах частотной модуляции, используемых в оптических линиях связи [8-10].

Важно отметить, что наблюдаемая линейная зависимость сдвига частоты от приложенного напряжения свидетельствует о предсказуемости и управляемости устройства, что является ключевым требованием для практических приложений. Указанная величина частотного сдвига соответствует рабочему диапазону стандартных фотоприемников, что подтверждает практическую возможность создания управляемых оптических устройств, исключая необходимость применения сверхскоростных компонентов. Это существенно снижает потенциальную стоимость и сложность конечных устройств на основе данной технологии. Дальнейшие исследования представляется целесообразным направить на оптимизацию конфигурации резонатора и характеристик прикладываемого напряжения с целью расширения диапазона перестройки частоты. В частности, перспективным направлением является исследование влияния геометрии электродов на эффективность модуляции и температурной стабильности системы. Проведенная работа закладывает основу для разработки новых компонентов интегральной фотоники, таких как высокоскоростные модуляторы и перестраиваемые фильтры для систем волоконно-оптической связи и квантовых вычислений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10059, https://rscf.ru/project/23-79-10059/.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ярив А.* Введение в оптическую электронику. - М.: Высшая школа, 1983. - 472 с.
2. *Петров В.М.* Оптические резонаторы и интерферометры. - М.: Физматлит, 2016. – 384 с.
3. *Гаузер Дж.* Оптические системы связи. - М.: Радио и связь, 1989. - 504 с.
4. *Zhang Q. et al.* Electro-optic modulation in lithium niobate waveguides // Optica. - 2021. - Vol.8, №5. - P.652-657.
5. *Peterson G.E.* Nonlinear optical and electro-optic properties of $LiNbO_3$ // J. Appl. Phys. - 1971. - Vol.42, №1. - P.487-494.
6. *Гусев В.С.* Оптические резонаторы и их применение. - СПб: Политехника, 2018. - 348 с.
7. *Toney J.E.* Lithium Niobate Photonics. - Artech House, 2015. - 312 p.
8. *Rabiei P. et al.* Polymer Micro-Optic Fabry-Perot Filters // IEEE Photonics Technology Letters. - 2003. - Vol. 15(9). - P. 1255-1257.
9. *Morozov O.N.* Tunable Optical Filters: Design and Applications. - SPIE Press, 2018. - 287 p.
10. *Wooten E.L. et al.* A Review of Lithium Niobate Modulators for Fiber-Optic Communications Systems // IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. - 2000. - Vol. 6(1). - P. 69-82.

SIMULATION OF SPECTRAL CHARACTERISTICS MEASUREMENTS USING A FABRY-PEROT INTERFEROMETER BASED ON LITHIUM NIOBATE

Kharitonov D.Yu.

Supervisor: Kuznetsov A.A., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

Abstract. In this paper, the spectral properties of a Fabry-Perot interferometer (*IFP*) based on lithium niobate ($LiNbO_3$) are studied. The study was conducted both in the absence of an external voltage and when a voltage of about 5 V. The experiments were carried out using a structure having an air gap of approximately 200 microns. This made it possible to analyze the effect of the applied electric field on the spectral parameters of the interferometer. The results obtained can be used in the creation of optical devices controlled by external influences.

УДК 621.396.6

СПОСОБЫ РАЗМЕЩЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ВНУТРИ СТРУКТУРЫ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Цепелев М.В.

Научный руководитель: Насыбуллин А.Р., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассмотрены современные способы размещения электронных компонентов внутри структуры печатных плат. Проанализированы конструктивные решения, технологические подходы, достоинства и недостатки приведенных методов.

Одним из практических направлений развития технологии встраивания полупроводниковых компонентов в структуру печатных плат является исследование, в котором разработан и проанализирован полумостовой модуль на базе кристаллов SiC MOSFET, встроенных в многослойную печатную плату. Основная цель данного подхода - уменьшение габаритов корпуса, снижение производственной сложности и стоимости, при сохранении необходимых электрических и тепловых характеристик, соответствующих

требованиям силовой электроники, в частности - бортовых зарядных устройств для электромобилей мощностью до 22 кВт [1].

В рамках разработки встраиваемого в печатную плату корпуса для кристаллов SiC MOSFET использована многослойная структура на основе FR4 с формированием углубления в центральной части платы. Это углубление выполняется в виде выемки в диэлектрическом слое, в которую устанавливается полупроводниковый кристалл. Кристалл фиксируется на нижнем медном слое, который одновременно выполняет функции теплораспределяющей подложки и электродного контакта (стока). Верхний контакт кристалла (исток) соединяется с поверхностными дорожками с помощью вертикальных переходов - медных заполненных микроотверстий, расположенных вблизи кристалла.

В конструкции применены контактные площадки поверхностного монтажа вместо традиционных выводов сквозного монтажа. Это решение позволило уменьшить паразитную индуктивность силового контура, повысить симметрию токораспределения, обеспечить возможность пайки корпуса одновременно с другими компонентами на плате [2].

Для формирования многослойной структуры использованы два медных слоя по 2 унции каждый, что позволило достичь необходимого сечения токопроводящих дорожек при ограниченной толщине платы (менее 0,5 мм). Отказ от дополнительной металлизации и применения термопаст обеспечен за счёт непосредственного прижатия нижней стороны платы (со стороны стока) к радиатору через паяльную маску с вырезами. Расположение контактных площадок по истоку и затвору выполнено на противоположной стороне платы, с возможностью подведения управляющих сигналов через внешнюю плату. На рисунке 1 представлена внутренняя структура слоев печатной платы.

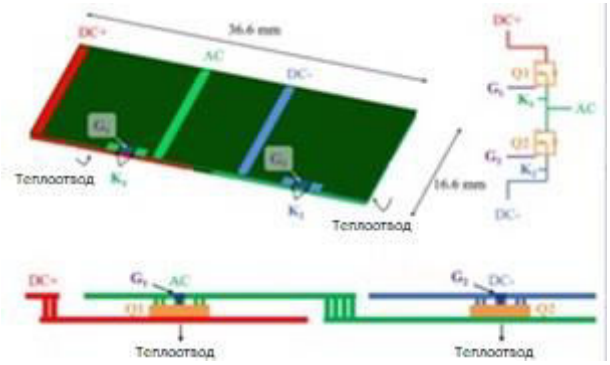


Рисунок 1. Структура внутренних слоев печатной платы

При проектировании корпуса отдельно оценивалась целесообразность интеграции схемы управления затвором и развязывающих конденсаторов. В финальной версии отказались от встроенных схем с целью сокращения площади, упрощения производства и повышения гибкости компоновки. Это также позволило снизить количество слоёв (с четырёх до двух) и исключить более 5000 межслойных отверстий, что значительно упростило процесс изготовления.

Метод встраивания полупроводникового кристалла в структуру печатной платы обеспечивает высокую плотность интеграции и позволяет значительно снизить паразитную индуктивность силовой и затворной петли. В исследовании реализован корпус с двухслойной архитектурой и встроенным SiC MOSFET, где переход к поверхностному монтажу и отказ от встроенных развязывающих элементов позволили уменьшить длину корпуса на 4,7 %, а также сократить количество микроотверстий на 5022 по сравнению с четырёхслойной конструкцией. При этом достигнуто эффективное тепловое сопротивление на уровне 0,074 К/Вт, а индуктивность силового контура не превышала 2,4 нГн. Основным ограничением метода является невозможность замены встроенного кристалла и необходимость точного соблюдения технологических допусков, однако в рамках заданного применения такая конструкция продемонстрировала надёжность и соответствие требованиям к плотности мощности и тепловому режиму [3].

Одним из наиболее перспективных подходов к трёхмерной интеграции компонентов в структуру печатной платы является технология, разрабатываемая в рамках европейского проекта HERMES, ориентированного на индустриализацию метода встраивания кристаллов в многослойную PCB. В основе технологии лежит использование заполненных медью микроотверстий, которые обеспечивают как электрическое соединение встроенных чипов, так и их термомеханическую фиксацию в объёме платы. Это позволяет полностью отказаться от проволочных соединений, существенно повысив надёжность межсоединений, а также улучшить тепловые характеристики модуля [4].

Конструктивно встраивание осуществляется путём размещения кристаллов в центральных слоях платы с последующим их перекрытием диэлектриком и ламинированием. В проекте HERMES рассматриваются оба возможных варианта ориентации кристалла — лицевой стороной вверх и лицевой стороной вниз, что позволяет реализовать как прямое соединение через шары пайки, так и межслойные соединения через микроотверстия. Схематичное изображение технологии встраивания компонентов в структуру печатной платы по технологии HERMES представлено на рисунке 2. Отдельным направлением является штабелирование нескольких кристаллов в одной PCB-структуре, что особенно актуально для создания высокоплотных кремниевых корпусов.

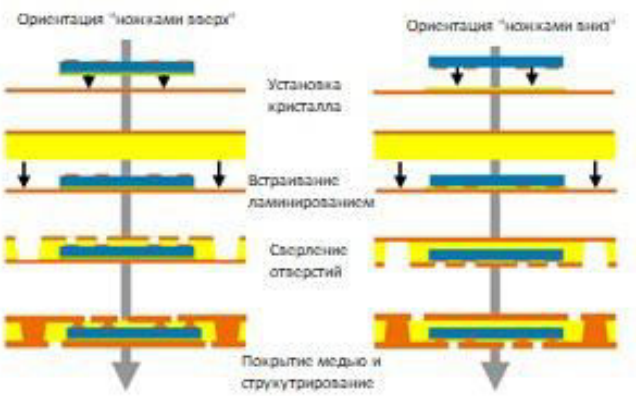


Рисунок 2. Схематичное изображение технологии встраивания компонентов в структуру печатной платы по технологии HERMES

Отличительной особенностью подхода HERMES является его ориентация не только на разработку технологического процесса, но и на встраивание в производственную цепочку: от подготовки кристаллов и форм-фактора до оценки надёжности, и соответствия требованиям автомобильной и телеком-индустрии. Проводится комплексное моделирование термомеханического поведения с использованием метода конечных элементов (FEA), а также экспериментальная валидация результатов через встроенные сенсоры и трёхкоординатные измерения напряжений. В результате формируются регламенты проектирования с учётом надёжности, нацеленные на обеспечение стабильности пайки и устойчивости многослойной структуры при термических нагрузках.

При ориентации ножками вниз кристалл устанавливается контактными площадками вниз, используя токопроводящий полимерный клей, обеспечивающий точную фиксацию и равномерное прилегание. Этот метод даёт возможность интегрировать в один стек кристаллы различной толщины, благодаря поэтапной укладке препрегов с вырезами, адаптированными по высоте. После формирования композитной структуры, содержащей один или несколько встроенных компонентов, полученный сердечник ламинируется и включается в состав многослойной печатной платы.

Ключевым элементом конструкции являются заполненные медью микроотверстия, обеспечивающие электрическое соединение между кристаллом и внешними слоями платы. Контактные площадки кристалла предварительно адаптируются к масштабу печатной платы посредством нанесения слоя перераспределения, включающего диэлектрическую прослойку

и медную маршрутизацию. Типичный шаг межсоединений после перераспределения составляет 225 мкм, с минимальной шириной линии порядка 25 мкм. Это позволяет обеспечить согласование плотности контактной сетки чипа с топологией платы.

Перед интеграцией пластина подвергается тонкой шлифовке до толщины 100–150 мкм (или до 70 мкм для силовых кристаллов), что снижает тепловое сопротивление. В завершение пластина разделяется на отдельные кристаллы и подготавливается для высокоскоростной автоматической сборки.

Технология HERMES позволяет надёжно встраивать активные и пассивные компоненты внутрь многослойных печатных плат с высокой плотностью компоновки. Её основные преимущества — низкая паразитная индуктивность, улучшенные тепловые характеристики и возможность штабелирования кристаллов. Метод совместим с существующими процессами производства PCB и обеспечивает высокую точность межсоединений. К ограничениям относятся высокая технологическая сложность подготовки компонентов (металлизация, перераспределение выводов, шлифовка), чувствительность к термомеханическим нагрузкам, а также необходимость индивидуальной настройки под разные типы кристаллов и толщины [5].

Технология полного встраивания пластин в многослойные печатные платы, разработанная в рамках проекта BrainScaleS, представляет собой один из наиболее перспективных подходов к созданию высокоплотных и масштабируемых нейроморфных аппаратных платформ. Основу технологии составляет предварительная переработка всей кремниевой пластины с применением многоуровневого перераспределения проводников и последующее встраивание пластины в подложку на основе композитного материала Cu-Invar-Cu, обеспечивающего необходимую термомеханическую стабильность [6].

Процесс начинается с формирования контактных металлизаций на уровне всей пластины и изготовления трассировки с минимальным шагом 8 мкм между сетками. После утончения пластины до 250 мкм она помещается в специально подготовленную полость внутри многослойной структуры, где фиксируется посредством ламинирования эпоксидных препрегов FR4 и внешней медной фольги. Доступ к выводам обеспечивается с помощью лазерного микросверления, медного осаждения и субтрактивного травления, формирующего топологию соединений на уровне платы. Полученная структура демонстрирует высокую электрическую и термомеханическую надёжность, сохраняя функциональность более 96% встроенных чипов после проведения ускоренных термоциклических испытаний и пайки. Схематично структура слоев представлена на рисунке 3.

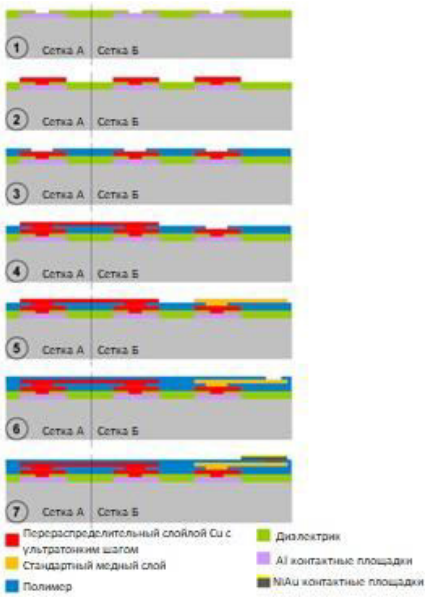


Рисунок 3. Структура слоев для адаптированной технологии полного перераспределения пластин с использованием сверхтонкой межсетчатой трассировки

Ключевым преимуществом данной технологии является возможность значительного увеличения плотности межсоединений и снижения задержек передачи сигналов за счёт сохранения пластин в едином теле и реализации соединений на уровне подложки. Технология отличается высокой совместимостью со стандартными процессами производства печатных плат и допускает дальнейшее стекирование для построения масштабируемых вычислительных модулей. Вместе с тем метод предъявляет высокие требования к точности позиционирования и термостабильности конструкции, а любые отклонения в геометрии при ламинировании могут привести к ограничению количества доступных выводов. Несмотря на это, предложенное решение демонстрирует высокий потенциал для построения нейроморфных систем нового поколения и дальнейшего расширения архитектурного масштаба аппаратных платформ [7].

Современные методы встраивания компонентов в структуру печатных плат позволяют существенно повысить плотность компоновки и надёжность межсоединений, однако каждый из них обладает конструктивными и технологическими ограничениями. Эти методы не всегда универсальны и требуют адаптации под конкретные задачи и типы компонентов. Дальнейшие исследования необходимы для расширения применимости и повышения технологической гибкости данных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Gross B., Li M., Rolere S., Richier C., Allard B., Semail E*. Design and Analysis of a PCB-Embedded 1.2 kV SiC Half-Bridge Module // 2021 IEEE 33rd International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs (ISPSD), May 30–June 3, 2021. Nagoya, Japan. IEEE, 2021. P. 115–118. DOI: 10.1109/ISPSD50666.2021.9452145.

2. *Ломаева Е.К.* Разработка большой гибридной интегральной схемы с использованием размещения компонентов в объеме многослойной печатной платы // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2025: XII Междунар. молодеж. науч.-техн. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов, Казань, 10–12 апр. 2025 г. – Казань, 2025. – С. 341–342.

3. *Ahrens G., Brunnbauer M., Goldschmidt R., Hofmeister M., Müller J., Paasch C*. Embedding of Power Semiconductor Devices – Challenges and Potential Solutions // Proceedings of the 17th European Microelectronics and Packaging Conference (EMPC), 2019. P. 1–6.

4. *Brizoux M., Grivon A., Maia Filho W.C., Monier-Vinard E., Stahr J., Morianz M.* Industrial PCB Development Using Embedded Passive & Active Discrete Chips Focused on Process and DfR // Electronics Packaging Society Technical Resource. Thales Corporate Services, Meudon-la-Forêt, France; AT&S, Leoben, Austria. 2021.

5. *Sun X., Chen M., Li J., Hou F.* A Novel Substrate-Embedded SiC Power Module With Integrated Liquid Cooling // IEEE Transactions on Power Electronics. 2025. – P. 1–13. DOI: 10.1109/TPEL.2025.3563077.

6. *Huo S., Sun B.* Two-Phase Boiling in a Replaceable Embedded Heat Sink for Ultra-High Heat Flux SiC Chip Cooling // arXiv preprint, Feb 25, 2025.

7. *Rangarajan S., Schiffres S., Sammakia B. A* Review of Recent Developments in “On-Chip” Embedded Cooling Technologies for Heterogeneous Integrated Applications // Engineering. 2023. Vol. 26, No. 7, P. 185–197. DOI: 10.1016/j.eng.2022.10.019.

WAYS TO PLACE COMPONENTS WITHIN A PRINTED CIRCUIT BOARD STRUCTURE

Tsepelev M.V.

Supervisor: Nasybullin A.R., Acting Head of Department, Full Professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The work considers modern methods of placing electronic components inside the structure of printed circuit boards. Design solutions, technological approaches, advantages and disadvantages of the given methods are analyzed.

УДК 535.417.2

МИКРОПОЛОСКОВЫЕ ДАТЧИКИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕМЕНТАРНОГО SRR РЕЗОНАТОРА С КВАДРАТНЫМ КОЛЬЦОМ

Чернов С.А., Куданкин Е.М.

Научный руководитель: Фархутдинов Р.В., доцент к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются микрополосковые датчики на основе комплементарных SRR-резонаторов (CSRR) с квадратным кольцом. Представлено моделирование таких устройств, проведена оценка влияния геометрических параметров. Особое внимание уделено оценке чувствительности CSRR-датчика с квадратным кольцом и построение функции преобразования на основе опорных материалов для датчика будем использовать циклогексан, метанол, 1-бутанол, воздух.

1. Актуальность

В последнее время развитие СВЧ технологий идет активно, открывая новые возможности применения для неинвазивного контроля и анализа материалов. Резонаторные способы измерения диэлектрической проницаемостей различных веществ на СВЧ широко используются для исследования материалов и их характеристик [1]. Взаимодействие электромагнитного излучения с образцом позволяет получить информацию о его составе и структуре, провести оценку качества и однородности материала, а также проводить исследование твердых материалов, жидкостей, газов под воздействием температуры, механических напряжений, электрических и магнитных полей. Особым интересом в данной обрасти являются микрополосковые датчики на основе комплементарных SRR-резонаторов. Разработка и проектирование микрополосковых датчиков на основе комплементарных SRR-резонаторов (CSRR) представляет собой научный и практический интерес в современных микроволновых технологиях, поскольку они обладают высокой чувствительностью, малыми габаритами и возможностью работы в широкой полосе частот [2]. При этом область их применения довольно обширна и позволяет использовать их для высокоскоростной связи, радиолокации, в биомедицинской диагностике, а также в промышленном контроле качества материалов.

2. Моделирование и оценка геометрических параметров на характеристики CSRR резонатора с квадратными кольцами

Рассмотрим проектирование комплементарного SRR с квадратным кольцом. Рабочий диапазон от 1 ГГц до 4,5 ГГц. Рассчитаем параметры возбуждающего полоска при требуемом сопротивлении полоска Z = 50 Ом.

Основываясь на полученных расчетах, собираем комплементарного SRR с квадратным кольцом с характеристиками, указанными в табл. 1, изображенный на рисунке 1(а).

Рассмотрим резонансы в диапазоне от 1 до 4,5 ГГц. Получив график коэффициента прохождения на рисунке 1(б), рассчитываем добротность по формуле [3]:

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f}, \tag{1}$$

где f_0 – частота резонанса, Гц;

Δf – диапазон частот по уровню половинной мощности, Гц.

Для вычисления уровня половинной мощности воспользуемся следующей формулой [3]:

$$A_0 = 10 \cdot log_{10}\left(\frac{10^{\frac{A_1}{10}} + 10^{\frac{A_2}{10}}}{2}\right), \tag{2}$$

где A_1 – верхний уровень резонанса;

A_2 – нижний уровень резонанса.

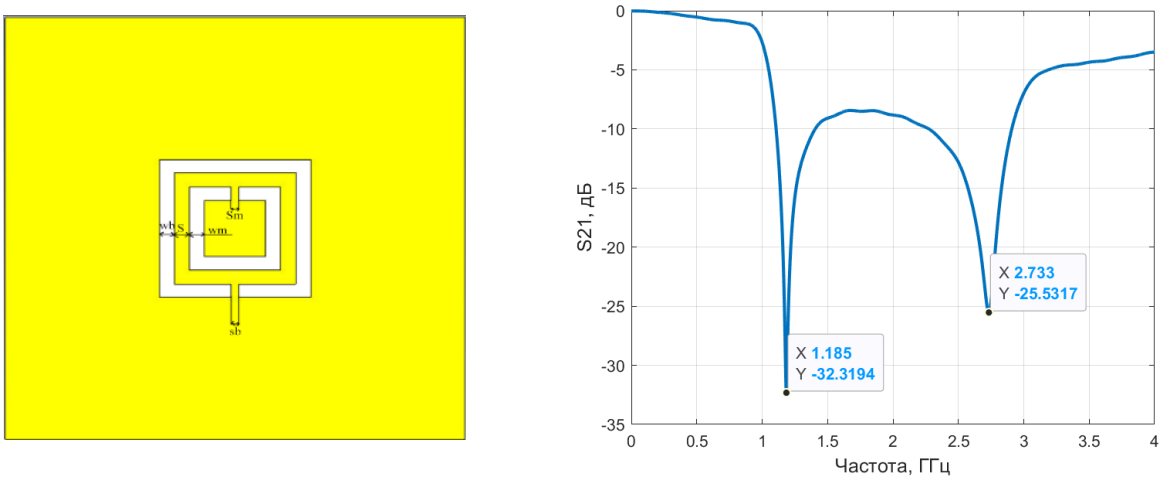
По графику коэффициента проводимости на рисунке 1(б), частота первого резонанса $f_1 = 1{,}185$ ГГц, нижний уровень $A_2 = -32{,}32$ дБ, верхний уровень $A_1 = -8{,}83$дБ. По формуле (2), получаем значение $A_0 = -11{,}43$ дБ. На данном уровне ширина диапазона $\Delta f = 0{,}227$ ГГц, и по формуле (1) получаем добротность $Q = 6{,}27$.

Частота второго резонанса $f_2 = 2{,}733$ ГГц, нижний уровень $A_2 = -26{,}773$ дБ, верхний уровень $A_1 = -7{,}83$дБ. По формуле (2), получаем значение $A_0 = -7{,}905$ дБ. На данном уровне ширина диапазона частот $\Delta f = 1{,}252$ ГГц, и по формуле (1) получаем добротность $Q = 1{,}4501$.

Таблица 1

Значения CSRR резонатора с квадратным кольцом

Обозначение	Название параметра	Значение, мм
Wb	Ширина внешней щели	1,91
Wm	Ширина внутренней щели	1,91
S	Ширина кольца	2
Sb	Ширина внешнего зазора	1
Sm	Ширина внутреннего зазора	1
H	Высота диэлектрической подложка (FR-4)	1
T	Толщина проводника (медь)	0,035



(а) (б)

Рис. 1. Вид CSRR с квадратным кольцом (а) и график коэффициента проводимости квадратного CSRR (б)

Рассмотрим влияние изменения геометрии CSRR с квадратным кольцом на его характеристики. При изменении параметров CSRR резонатора, изменяются емкость и индуктивность эквивалентной схемы. Мы рассмотрим изменения ширины зазора большого кольца, зазора малого кольца, ширины большого и малого полоска, и самого кольца.

В ходе электродинамического моделирования CSRR с квадратным кольцом с разными внешними щелями, был получен график, изображенный на рисунке 2(а), при изменении ширины внешнего зазора, амплитуда первого резонанса возрастает с -24,03 дБ до -31,08 дБ, а амплитуда второго равномерна и изменяется с -26,75 дБ до -26,78 дБ, по рисунку 2(б) при изменении ширины внутреннего зазора амплитуда первого резонанса возрастает с -27,57 дБ до значения -29,431 дБ при зазоре 2,16 мм, а затем спадает до значения -27,376 дБ. Амплитуда второго возрастает с -23,98 дБ до 30,09 дБ, по рисунку 2(в) при изменении ширины кольца, амплитуды первого резонанса увеличивается с -23,74 дБ до -29,429 дБ, амплитуда второго резонанса возрастает с -23,296 дБ до -26,77 дБ, по рисунку 2(г) при изменении ширины внутренней щели, амплитуда первого резонанса незначительно возрастает с -29,334 дБ до -30,214 дБ, амплитуда второго резонанса возрастает с -25,76 дБ до -27,95 дБ, по рисунку 2(д) при изменении ширины внутренней щели, амплитуда первого резонанса незначительно

возрастает с -29,334 дБ до -30,214 дБ, амплитуда второго резонанса возрастает с -25,76 дБ до -27,95 дБ.

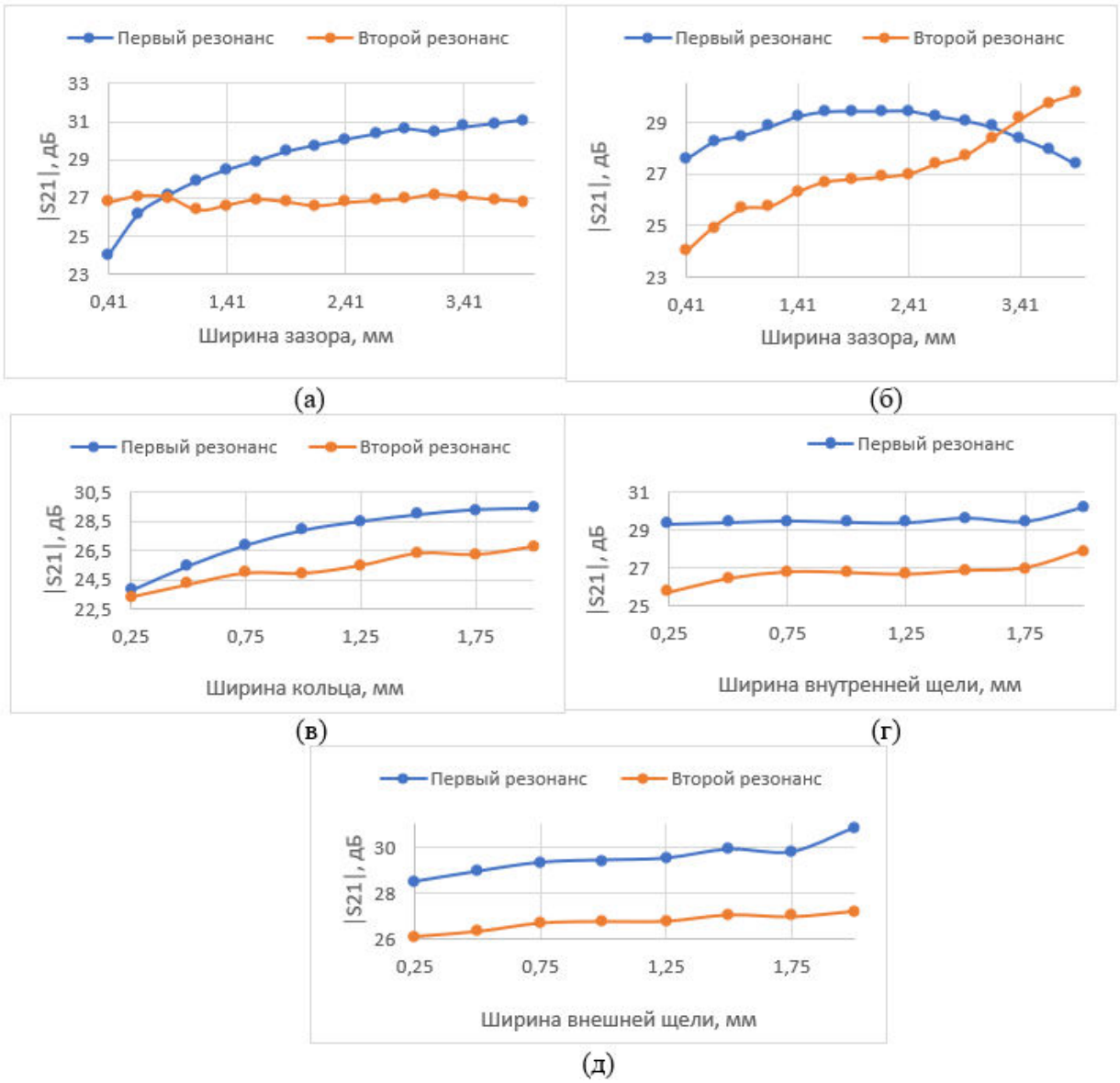


Рис. 2. Зависимость амплитуды CSRR с квадратным кольцом при изменении а) ширины внешнего зазора, б) ширины внутреннего зазора, в) ширины кольца, г) ширина внутренней щели, д) ширина внешней щели

Из анализа рассчитанных добротностей в ходе моделирования CSRR с квадратным кольцом, по графику на рисунке 3(а), при изменении ширины внешнего зазора кольца, добротность первого резонанса уменьшается с Q = 8,265 до Q = 5,31, добротность второго резонанса уменьшается с Q = 3,09 до Q = 1,478 при ширине внешнего зазора в 1,91 мм, затем незначительно спадает до Q = 1,46, по графику 3(б), при изменении ширины внутреннего зазора, добротность первого резонатора при увеличении зазора незначительно увеличивается с Q = 5,89 до Q = 6,62, а добротность второго резонанса незначительно уменьшается с Q = 1,527 до значения Q = 1,48 при ширине зазора в 1,91 мм, затем начинает увеличиваться до Q = 4,91. Частота первого и второго резонанса возрастает, по графику 3(в) , при изменении ширины кольца, добротность первого резонанса уменьшается с Q = 7,507 до Q = 6,239, добротность второго резонанса незначительно возрастает с Q = 1,356 до Q = 1,487, по графику 3(г) , при изменении ширины малого полоска, добротность первого резонанса незначительно убывает с Q = 6,775 до Q = 6,10. Добротность второго резонанса уменьшается с Q = 1,538 до

Q = 1,486 при ширине внутренней щели в 1,25 мм, затем начинает возрастать Q = 3,157, по графику 3(д) , при изменении ширины внешнего зазора, добротность первого резонанса незначительно уменьшается с Q = 6,26 до Q = 6,12, добротность второго резонанса незначительно возрастает с Q = 1,476 до Q = 1,4887.

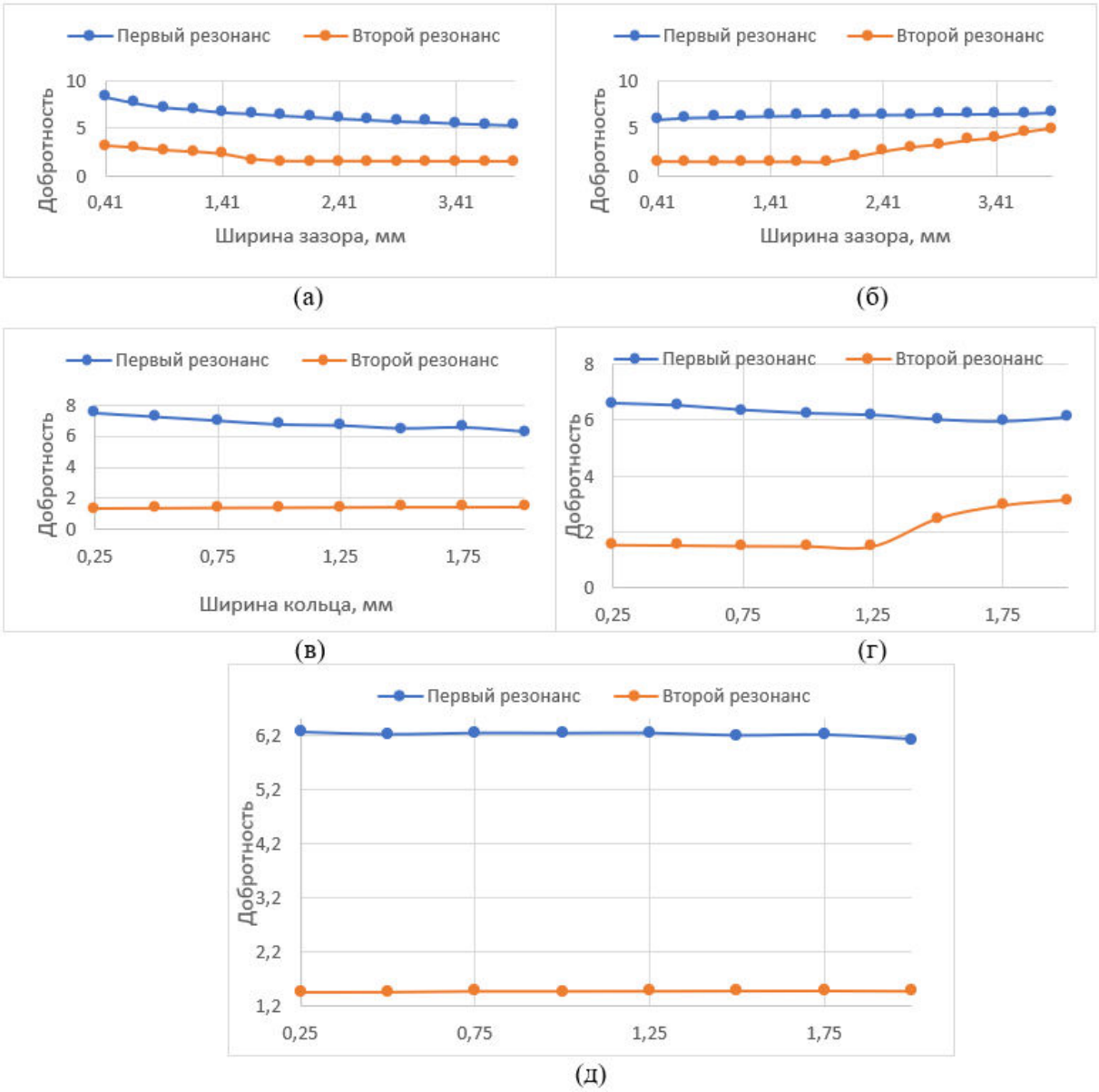


Рис. 3. Зависимость добротности CSRR с квадратным кольцом при изменении а) ширины внешнего зазора, б) ширины внутреннего зазора, в) ширины кольца, г) ширина внутренней щели, д) ширина внешней щели

3. Оптимизация и построение функций преобразований

Чувствительность – параметр, показывающий изменение частоты резонанса от изменения диэлектрической проницаемости ε. Данная характеристика определяется по следующей формуле [4]:

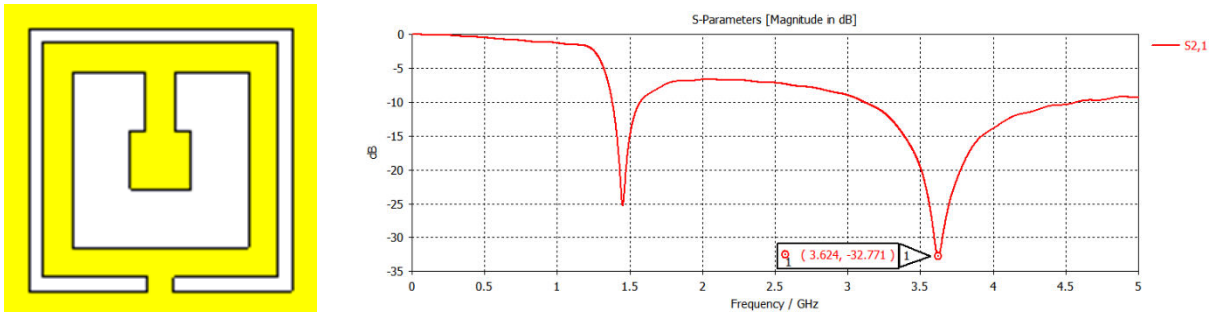
$$S = \frac{\Delta f}{\Delta \varepsilon}, \quad (3)$$

где Δf – разница между частотами, Гц;

$\Delta \varepsilon$ – разница между диэлектрической проницаемостью.

В ходе процесса оптимизации CSRR с квадратным кольцом по второму резонансу, было выявлено, что среди всех возможных вариантов, вариант, изображенный на рисунке 4(а),

частота резонанса которого равна f_2 = 3,624 ГГц, является резонатором, имеющий наибольшую амплитуду, равную -32,7918 дБ и наивысшую добротность, равную Q = 5,15, что на 355% больше исходной. на втором резонансе.



а) б)

Рис. 4. CSRR с квадратным кольцом с наибольшим значением амплитуды и добротности по второму резонансу (а) и график коэффициента прохождения данного резонатора (б)

Для изучения чувствительности на данном CSRR с квадратным кольцом расположим на нем материал, высотой 5h и диэлектрической проницаемостью ε = 5, 5,1.

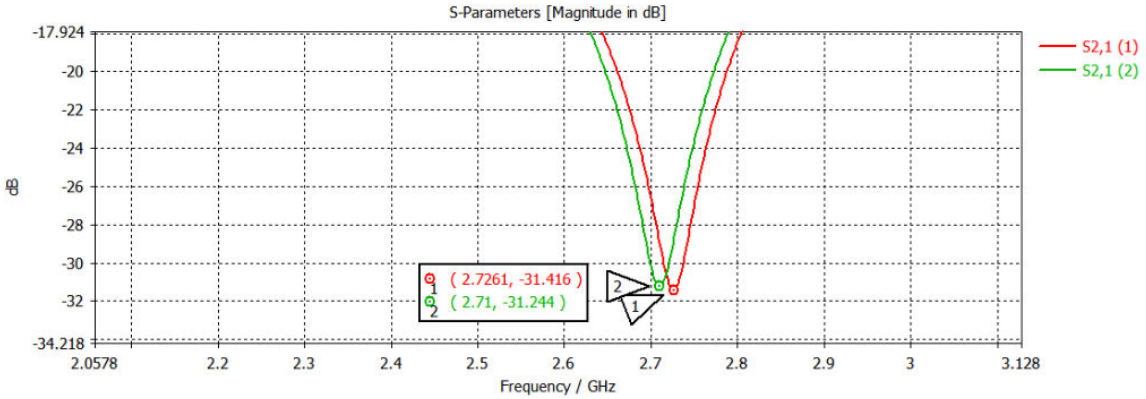


Рис. 5. Графики коэффициента прохождения CSRR с квадратным кольцом с наибольшей добротностью и наибольшей амплитудой по первому резонансу с материалом ε = 5, 5,1

На основе полученных результатов, отображенных на графике на рисунке 3.8, получаем чувствительность резонатора равную S=0,161 ГГц/ε на втором резонансе.

Функция преобразования представляет из себя график с зависимостями сдвига частоты Δf от диэлектрической проницаемости материала ε и сдвиг амплитуды $\Delta S21$ от тангенса угла потерь $tg\delta$. За датчики, которые мы возьмем для построения графиков, будут CSRR с квадратными кольцами, изображенный на рисунке 4(а), оптимизированные по второму резонансу. В качестве опорных материалов для датчика будем использовать циклогексан, метанол, 1-бутанол, воздух [5]. Материал располагается снизу, на всю поверхность датчика.

Результаты измерений датчиками вынесены в табл. 2. В ходе электродинамического моделирования CSRR с квадратным кольцом, были получен графики, изображенные на рисунках 6 и 3.24.

Таблица 2

Результаты измерений

Название материала	**CSRR с квадратными кольцами**	
	Амплитуда, дБ	**Частота резонанса, ГГц**
Воздух	-32,783	3,625
Циклогексан	-32,51	3,2781
1-бутанол	-29,211	1,748
Метанол	-30,958	1,324

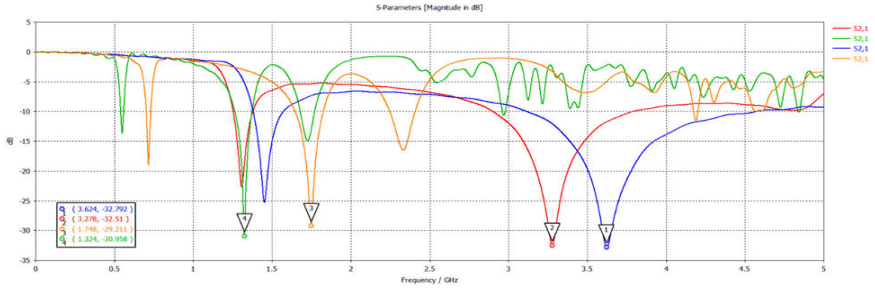


Рис. 6. Коэффициент передачи на квадратном CSRR-датчике от разных материалов: 1 – воздух, 2 – циклогексан, 3 – 1-бутанол, 4 - метанол

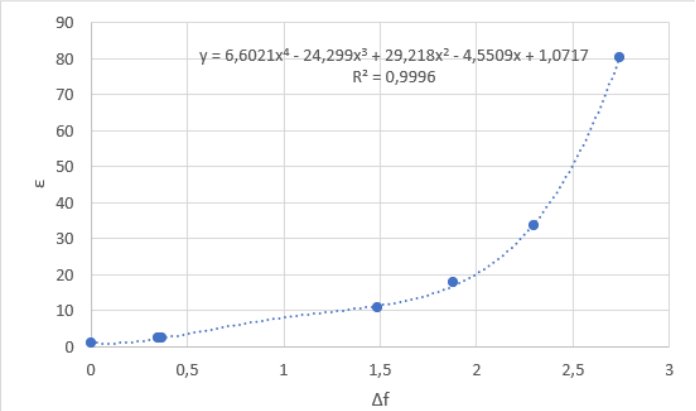


Рис. 7. Функция преобразования диэлектрической проницаемости CSRR-датчика с квадратными кольцам

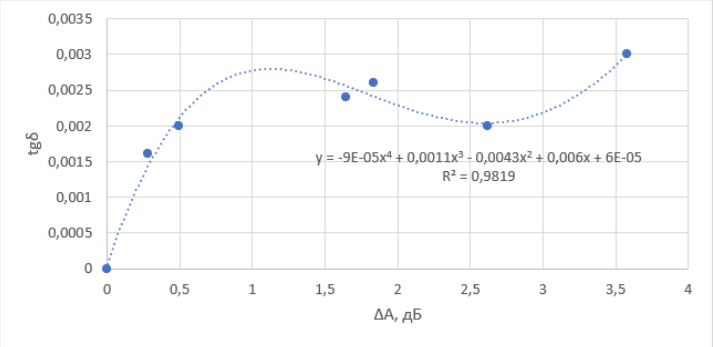


Рис. 8. Функция преобразования тангенса угла потерь CSRR-датчика с квадратными кольцами

4. Заключение

Было проведено моделирование CSRR-резонаторов с квадратной формой кольца и исследовано влияния геометрических параметров резонатора на величину коэффициента передачи и добротности резонансной характеристики

Проведена оптимизация датчика по величинам добротности, амплитуды резонанса, опираясь на данные, полученные в ходе исследования влияния геометрических параметров, и чувствительности преобразования, используя материалы с диэлектрической проницаемостью ε = 5, 5,1.

Проведен компьютерный эксперимент с датчиком с квадратной формой кольца, имеющий наибольшую чувствительность, расположив на поверхность компьютерные модели таких материалов как циклогексан, 1-бутанол, метанол и, опираясь на полученные данные, были построены графики функции преобразования диэлектрической проницаемости и функция преобразования тангенса угла потерь

Исследования проведены в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Универсальный метод измерения удельной плотности веществ и материалов на кольцевом резонаторе / А.А. Чесноков, А.Р. Насыбуллин, Т.М. Ишкаев [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2025. – № 7. – С. 306-310.

2. Multi-Band RF Planar Sensor Using Complementary Split Ring Resonator for Testing of Dielectric Materials // IEEE Sensors Journal. – 2018. – Vol. 18. – №. 16. – pp. 6596-6606.

3. *Сазонов Д.М*. Антенны и устройства СВЧ Учеб. для радиотехнич. спец. вузов / Сазонов Д.М и др./ — М.: Высш. шк, 1988. — 432 с.

4. *Гусев, А. В*. Комбинированная калибровка резонансных СВЧ-датчиков / А. В. Гусев, Т. М. Ишкаев // XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых) : Материалы Международной молодёжной научной конференции. Сборник докладов, Казань, 09–10 ноября 2023 года. – Казань: ИП Сагиев *А.Р., 2023. – С. 3704-3709.*

5. Maryott, A.A., Smith, E.R. / Table of dielectric constants of pure liquids // U.S. Government Printing Office, 1951, p. 1, 13G. Maenhout, T. Markovic, I. Ocket, B. Nauwelaers. Complementary Split-Ring Resonator With Improved Dielectric Spatial Resolution// IEEE Sensors Journal. — 2021. — Vol. 21, no. 4 — Pp. 4543-4552.

MICROSTRIP SENSORS BASED ON COMPLEMENTARY SQUARE RING SRR RESONATOR

Chernov S.E., Kudankin E.M.

Supervisor: Fakhrutdinhov R.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines microstrip sensors based on complementary square ring resonator (CSRR) structures. It presents the calculation and modeling of such devices and evaluates the influence of their geometric parameters. Particular attention is paid to assessing the sensitivity of the square ring CSRR sensor and constructing its transfer function. The reference materials used for the sensor are cyclohexane, methanol, 1-butanol, and air.

УДК 535.417.2

МИКРОПОЛОСКОВЫЕ ДАТЧИКИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕМЕНТАРНОГО SRR РЕЗОНАТОРА С КРУГЛЫМ КОЛЬЦОМ

Чернов С.А.

Научный руководитель: Фархутдинов Р.В., доцент к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В докладе рассматриваются микрополосковые датчики на основе комплементарных SRR-резонаторов (CSRR) с круглым кольцом. Было показано моделирование таких устройств, проведена оценка влияния геометрических параметров. Особое внимание уделено оценке чувствительности CSRR-датчика с круглым кольцом и построение функции преобразования на основе опорных материалов для датчика будем использовать циклогексан, метанол, 1-бутанол, воздух

В последнее время развитие СВЧ технологий идет активно, открывая новые возможности применения для неинвазивного контроля и анализа материалов. Резонаторные способы измерения диэлектрической проницаемостей различных веществ на СВЧ широко используются для исследования материалов и их характеристик [1]. Особым интересом в данной обрасти являются микрополосковые датчики на основе комплементарных SRR-резонаторов. Комплементарный SRR-резонатор представляет собой комплементарную (инверсную) версию классического Split-Ring Resonator (SRR), представляющая собой

щелевые резонаторы, вырезанные в металлическом слое микрополосковой линии. В отличие от SRR, который реагирует на магнитную составляющую поля, CSRR взаимодействует преимущественно с электрической компонентой электромагнитной волны, так как цели в металле создают области с высокой концентрацией электрического поля, что делает CSRR эффективным для управления электрическими потоками в СВЧ-цепях. CSRR ведет себя как резонансная система с распределенными параметрами, которую можно описать эквивалентной LC-цепью, где щелевые структуры формируют эквивалентную ёмкость, а металл вокруг создают эквивалентную индуктивность [2]. Область их применения довольно обширна и позволяет использовать их для высокоскоростной связи, радиолокации, в биомедицинской диагностике, а также в промышленном контроле качества материалов.

Рассмотрим проектирование комплементарного SRR с круглым кольцом. Рабочий диапазон от 1 ГГц до 4,5 ГГц. Рассчитаем параметры возбуждающего полоска при требуемом сопротивлении полоска Z = 50 Ом.

Основываясь на полученных расчетах, собираем комплементарного SRR с круглым кольцом с характеристиками, указанными в табл. 1, изображенный на рисунке 1(а).

Рассмотрим резонансы в диапазоне от 1 до 4,5 ГГц. Получив график коэффициента прохождения на рисунке 1(б), рассчитываем добротность по формуле [3]:

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f}, \tag{1}$$

где f_0 – частота резонанса, Гц;

Δf – диапазон частот по уровню половинной мощности, Гц.

Для вычисления уровня половинной мощности воспользуемся следующей формулой [3]:

$$A_0 = 10 \cdot log_{10}\left(\frac{10^{\frac{A_1}{10}} + 10^{\frac{A_2}{10}}}{2}\right), \tag{2}$$

где A_1 – верхний уровень резонанса;

A_2 – нижний уровень резонанса.

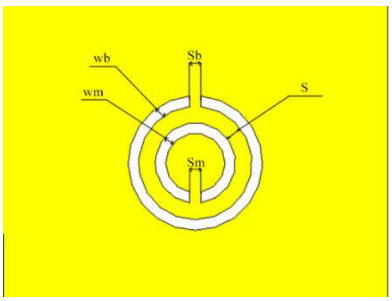
По графику коэффициента проводимости на рисунке 1(б), первого резонанса $f_1 = 1{,}279$ ГГц, нижний уровень $A_2 = -29{,}4288$ дБ, верхний уровень $A_1 = -8{,}3611$дБ. По формуле (2), получаем значение $A_0 = -11{,}43$ дБ. На данном уровне ширина диапазона $\Delta f = 0{,}217$ ГГц, и по формуле (1) получаем добротность $Q = 5{,}22$.

Частота второго резонанса $f_2 = 2{,}733$ ГГц, нижний уровень $A_2 = -26{,}773$ дБ,верхний уровень $A_1 = -7{,}83$дБ. По формуле (2), получаем значение $A_0 = -7{,}905$ дБ. На данном уровне ширина диапазона частот $\Delta f = 1{,}252$ ГГц, и по формуле (1) получаем добротность $Q = 1{,}4501$.

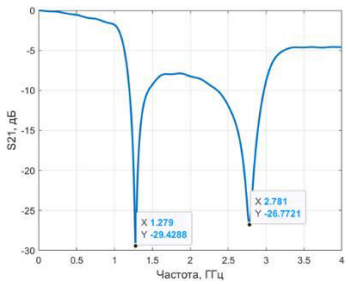
Таблица 1

Значения CSRR резонатора с круглым кольцом

Обозначение	Название параметра	Значение, мм
Wb	Ширина внешней щели	1,91
Wm	Ширина внутренней щели	1,91
S	Ширина кольца	2
Sb	Ширина внешнего зазора	1
Sm	Ширина внутреннего зазора	1
H	Высота диэлектрической подложка (FR-4)	1
T	Толщина проводника (медь)	0,035



а



б

Рис. 1. CSRR с круглым кольцом: а – электродинамическая модель; б – частотная зависимость модуля коэффициента передачи

Рассмотрим влияние изменения геометрии CSRR с круглым кольцом на его характеристики. При изменении параметров CSRR резонатора, изменяются емкость и индуктивность эквивалентной схемы. Мы рассмотрим изменения ширины зазора большого кольца, зазора малого кольца, ширины большого и малого полоска, и самого кольца. В ходе электродинамического моделирования CSRR с круглым кольцом, были выявлены следующие зависимости значений добротности и амплитуды от изменения геометрических характеристик резонатора, отображенные в таблице 2.

Таблица 2

Оценка влияния геометрических параметров на характеристики CSRR резонатора

Название параметра	CSRR с круглым кольцом
Ширина внешней щели (wb)	Добротность первого резонанса и второго резонанса уменьшается, амплитуда первого резонанса возрастает, амплитуда второго резонанса равномерна
Ширина внутренней щели (wm)	Добротность первого и второго резонанса незначительно изменяются. Амплитуды возрастают
Ширина кольца (s)	Добротность первого резонанса незначительно уменьшается, добротность второго резонанса равномерна, амплитуда первого и второго возрастает.
Ширина внутреннего зазора (sm)	Добротность первого и второго резонанса ведет себя равномерно, амплитуда первого резонанса равномерна, амплитуда ведет себя равномерно
	Продолжение таблицы
Ширина внешнего зазора (sb)	Добротность первого и второго резонанса равномерна, амплитуда первого резонанса незначительно возрастает, амплитуда второго резонанса незначительно убывает.

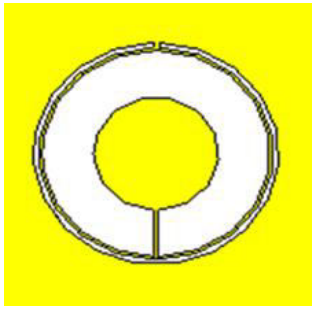
Чувствительность – параметр, показывающий изменение частоты резонанса от изменения диэлектрической проницаемости ε. Данная характеристика определяется по следующей формуле [4]:

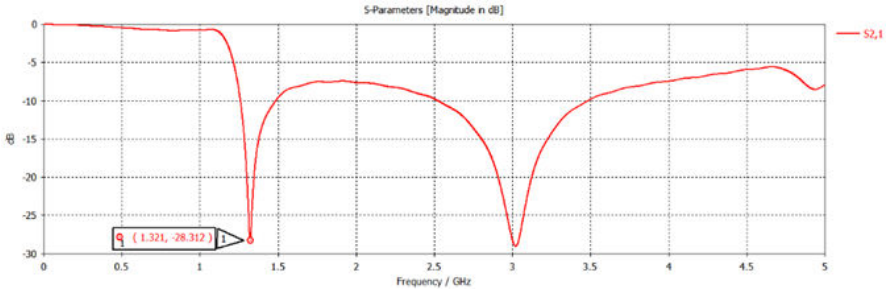
$$S = \frac{\Delta f}{\Delta \varepsilon}, \quad (3)$$

где Δf – разница между частотами, Гц;

$\Delta \varepsilon$ – разница между диэлектрической проницаемостью.

В ходе процесса оптимизации CSRR с круглым кольцом по первому и второму резонансу, было выявлено два CSRR датчика. Исследуем CSRR с круглым кольцом, имеющий среднюю амплитуду и добротность по первому резонансу, изображенный на рисунке 4(а). По графику коэффициента прохождения, приведенный на рисунке 4(б), данный резонатор на частоте $f1$ = 1,321 ГГц имеет амплитуду, равную -28,312 дБ. По формулам (1, 2), получаем значение добротности, равное Q = 6,3415, что больше исходной добротности на 21%.





а б

Рис. 4.Топология CSRR: а – оптимизированная электродинамическая модель по критерию максимальной добротности первого резонанса; б – частотная зависимость модуля коэффициента передачи

Для изучения чувствительности на данном CSRR с круглым кольцом расположим на нем материал, высотой 5h и диэлектрической проницаемостью ε = 5, 5,1.

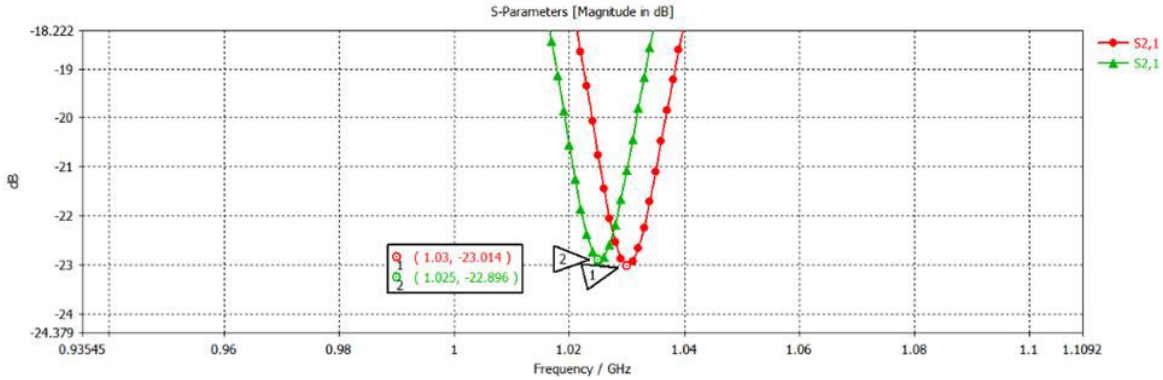
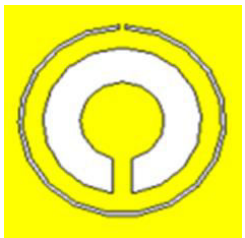
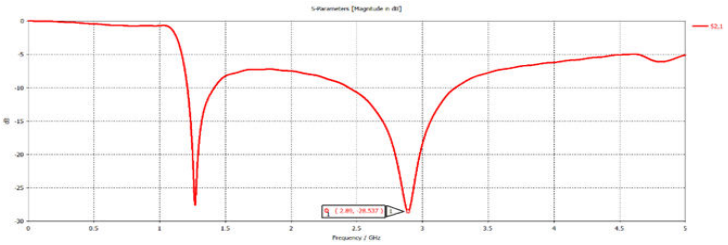


Рис. 5. Частотная зависимость модуля коэффициента передачи первого резонанса при вариации диэлектрической проницаемости MUT (ε = 5, 5,1) для модели показанной на рис. 4,а

На основе полученных результатов, отображенных на графике на рисунке 5, получаем чувствительность резонатора равную S=0,05 ГГц/ε на первом резонансе.

Далее исследуем CSRR с круглым кольцом, имеющий наибольшую амплитуду по второму резонансу, изображенный на рисунке 6(а). По графику коэффициента прохождения, приведенный на рисунке 6(б), данный резонатор на частоте f_2 = 2,89 ГГц имеет амплитуду, равную -28,537 дБ. По формулам (1, 2), получаем значение добротность, равное Q = 2,647, что больше исходной добротности в два раза.





а б

Рис. 6. Топология CSRR: а – оптимизированная электродинамическая модель по критерию максимальной амплитуды; б – частотная зависимость модуля коэффициента передачи

Для изучения чувствительности на данном CSRR с круглым кольцом расположим на нем материал, высотой 5h и диэлектрической проницаемостью ε = 5, 5,1.

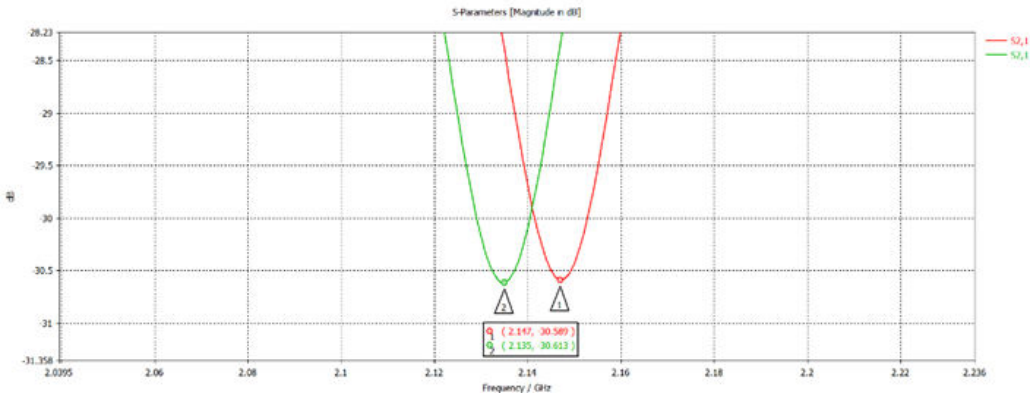


Рис. 7. Частотная зависимость модуля коэффициента передачи первого резонанса при вариации диэлектрической проницаемости MUT (ε = 5, 5,1) для модели показанной на рис. 6,а

На основе полученных результатов, отображенных на графике на рисунке 7, получаем чувствительность резонатора по формуле (3), равную S=0,12 ГГц/ε на первом резонансе.

Функция преобразования представляет из себя график с зависимостями сдвига частоты Δf от диэлектрической проницаемости материала ε и сдвиг амплитуды $\Delta S21$ от тангенса угла потерь $tg\delta$. За датчики, которые мы возьмем для построения графиков, будут CSRR с круглыми кольцами, изображенный на рисунке 6(а), оптимизированные по второму резонансу, так как по сравнению с датчиком, оптимизированным по первому резонансу, изображенный на рисунке 4(а), данный датчик имеет более высокую чувствительность. В качестве опорных материалов для датчика будем использовать циклогексан, метанол, 1-бутанол, воздух [5]. Материал располагается снизу, на всю поверхность датчика.

Результаты измерений датчиками вынесены в табл. 3. В ходе электродинамического моделирования CSRR с круглым кольцом, были получен графики, изображенные на рис. 8.

Таблица 3

Результаты измерений

Название материала	**CSRR с круглыми кольцами**	
	Амплитуда, дБ	**Частота резонанса, ГГц**
Воздух	-28,488	2,89
Циклогексан	-29,188	2,593
1-бутанол	-30,172	1,244
Метанол	-29,786	1,0221

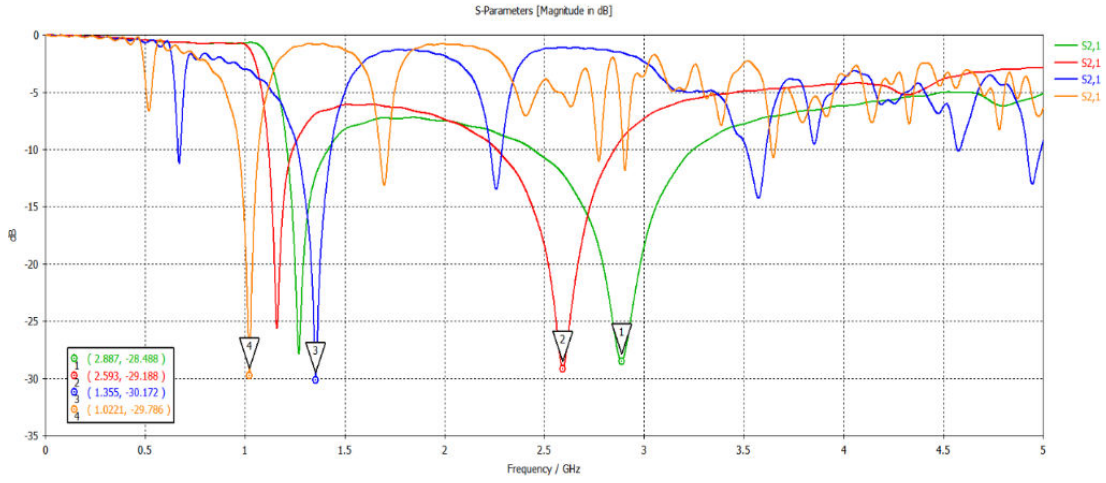


Рис. 8. Вариация параметров частотной зависимости модуля коэффициента передачи для разнообразных химических соединений: 1 – воздух, 2 – циклогексан, 3 – 1-бутанол, 4 - метанол

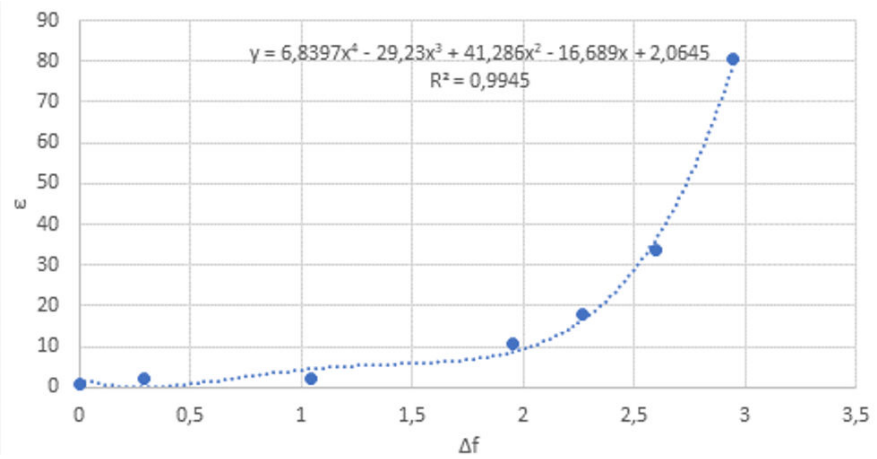


Рис. 9. Функция преобразования диэлектрической проницаемости CSRR-резонатора с круглыми кольцам

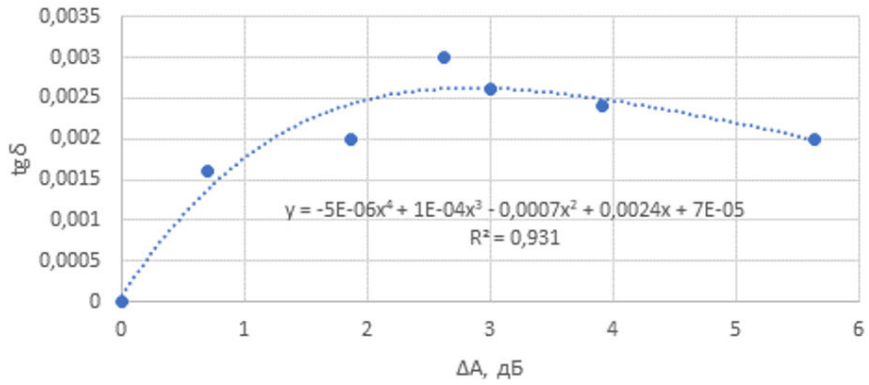


Рис. 10. Функция преобразования тангенса угла диэлектрических потерь CSRR-резонатора с круглыми кольцами

На основе полученных результатов в таблице 3 и значений диэлектрических проницаемостей и угла потерь из справочника [5], были построены функции преобразований по диэлектрической проницаемости и по тангенсу угла потерь, изображенные на рисунке 9 и 10.

Было проведено моделирование CSRR-резонаторов с круглой формой кольца и исследовано влияния геометрических параметров резонатора на величину коэффициента передачи и добротности резонансной характеристики

Проведена оптимизация датчика по величинам добротности, амплитуды резонанса, опираясь на данные, полученные в ходе исследования влияния геометрических параметров, и чувствительности преобразования, используя материалы с диэлектрической проницаемостью ε = 5, 5,1.

Проведен компьютерный эксперимент с датчиком с круглой формой кольца, имеющий наибольшую чувствительность, расположив на поверхность компьютерные модели таких материалов как циклогексан, 1-бутанол, метанол и, опираясь на полученные данные, были построены графики функции преобразования диэлектрической проницаемости и функция преобразования тангенса угла потерь

Исследования проведены в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Универсальный метод измерения удельной плотности веществ и материалов на кольцевом резонаторе / А.А. Чесноков, А.Р. Насыбуллин, Т.М. Ишкаев [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2025. – № 7. – С. 306-310.

2. Multi-Band RF Planar Sensor Using Complementary Split Ring Resonator for Testing of Dielectric Materials // IEEE Sensors Journal. – 2018. – Vol. 18. – №. 16. – pp. 6596-6606.

3. *Сазонов Д.М*. Антенны и устройства СВЧ Учеб. для радиотехнич. спец. вузов / Сазонов, Д.М и др./ — М.: Высш. шк., 1988. — 432 с.

4. *Гусев А.В*. Комбинированная калибровка резонансных СВЧ-датчиков / А.В. Гусев, Т.М. Ишкаев // XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых): Материалы Международной молодёжной научной конференции. Сборник докладов, Казань, 09–10 ноября 2023 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. – С. 3704-3709.

5. *Maryott, A.A., Smith, E.R*. / Table of dielectric constants of pure liquids // U.S. Government Printing Office, 1951, p. 1, 13G. Maenhout, T. Markovic, I. Ocket, B. Nauwelaers. Complementary Split-Ring Resonator With Improved Dielectric Spatial Resolution// IEEE Sensors Journal. — 2021. — Vol. 21, no. 4 — Pp. 4543-4552.

MICROSTRIP SENSORS BASED ON COMPLEMENTARY SQUARE RING SRR RESONATOR

Chernov S.E.

Supervisor: Fakhrutdinhov R.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines microstrip sensors based on complementary square ring resonator (CSRR) structures. It presents the calculation and modeling of such devices and evaluates the influence of their geometric parameters. Particular attention is paid to assessing the sensitivity of the square ring CSRR sensor and constructing its transfer function. The reference materials used for the sensor are cyclohexane, methanol, 1-butanol, and air.

УДК 681.586.57

СОЗДАНИЕ ПРОТОТИПА ЛАЗЕРНОГО МУЗЫКАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Чернова П.А., Загидуллин Р.М.

Научный руководитель: Насыбуллин А.Р., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Описываются процесс разработки и создания прототипа устройства лазерного музыкального инструмента с интерактивным управлением. Этот процесс можно разбить на 5 этапов, они кратко описаны в данном тексте.

Лазерный музыкальный инструмент – устройство, работающее на основе лазерного датчика расстояния. 8 лазерных лучей показывают, где необходимо перекрывать зону видимости датчика. Дальномер замеряет расстояние до момента прерывания луча, и в зависимости от него выдает звук, соответствующий частоте определённой ноты [1].

Разработка прототипа лазерного музыкального инструмента состояла в 5 этапах: создание блок-схемы, разработка схемы электрической принципиальной, топология печатной платы, проектирование корпуса и сборка устройства.

При разработке блок-схемы устройства, учитывался принцип работы лазерного музыкального инструмента, и в соответствии с ним добавлялись необходимые модули и микросхемы. Так в блок-схеме, приведенной на рисунке 1, присутствуют восемь лазерных модулей, микроконтроллер, модуль аудио-усилителя, цифро-аналоговый преобразователь, вывод аудио сигнала, динамик, датчик дальности, регулятор мощности, защита USB, и разъем питания.

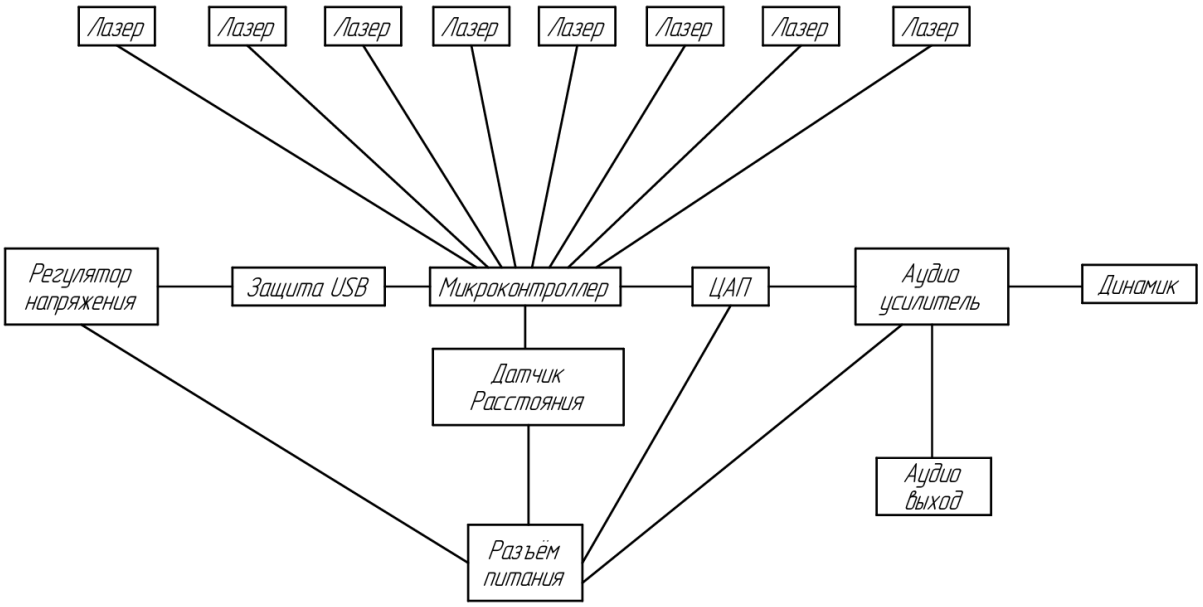


Рисунок 1. Блок-схема лазерного музыкального инструмента

После определения компонентов соответствующих модулей была спроектирована схема электрическая принципиальная, в которой были учтены все необходимые компоненты для ее производительности. Микроконтроллер был выбран STM32F103C8T6, датчик дальности выбирался от того же производителя, для лучшей конфигурации схемы. Выбор правильного датчика дальности является очень важным, так как он напрямую влияет на проектируемое устройство. Так, например, угол обора дальномера влияет на угол расположения лазерных модулей в корпусе, и если он будет превышать 90º, то устройство может получиться неудобным в использовании. Также, оказывает свое влияние такая характеристика датчика как многозонность. Зоны видимости в датчиках могут быть разными, она может быть одна, или может быть представлена сеткой, благодаря которой эти зоны можно ограничить в соответствии с требованиями к устройству. Если выбрать датчик дальности, у которого одна зона, например, 17º, как у датчика VL53L0X, то таких датчиков потребуется восемь, в соответствии с количеством лазерных лучей. Так как таких датчиков потребуется много, то корпус устройства может выйти больших размеров, вследствие чего, проектируемое устройство будет не эргономичным [2]. При выборе датчика дальности для лазерного музыкального инструмента, была составлена таблица 1.

Таблица 1

Сравнение датчиков дальности

Название	VL53L 0X	VL53L 1	VL53L 3CX	VL53L 4CD	VL53L 4CX	VL53L 4ED	VL53L 5CX	VL53L 7CH
Расстояние, мм	2000	2000	5000	1200	6000	1300	4000	3500
Угол обзора,º	25	15-27	25	18	18-25	18-25	65	90
Количество зон	2x2	2x2, 3x3, 4x4,	1	1	1	1	8x8, 4x4,	8x8

При анализе данных таблицы, был выбран датчик VL53L5CX, так как он имеет все необходимые и достаточные характеристики для разработанного устройства.

Для получения аудио сигнала и дальнейшего его усиления были выбраны микросхемы цифро-аналогового преобразователя MCP4725, и аудио-усилителя PAM8403. А для

обеспечения микроконтроллеру правильного питания были выбраны микросхемы USBLC6-2SC6 в качестве защиты разъёма питания от электростатических разрядов и стабилизатор AMS 1117 для защиты от перепадов напряжения.

При проектировании электрической принципиальной схемы были проанализированы технические описания выбранных микросхем, и выполнены соединения всех необходимых компонентов, которые нужны им для работы. Так, в схемы были добавлены, например, блокировочные конденсаторы, для дополнительной защиты микроконтроллера, кварцевый резонатор, необходимый для задания микроконтроллеру тактовой частоты, и кнопка перезапуска системы. В схему подключения питания был добавлен разъем, к которому в будущем, при сборке печатной платы была припаяна кнопка, для безопасного включения устройства.

После разработки схемы электрической принципиальной, было выполнено проектирование топологии и трассировки печатной платы. Центром композиции стал микроконтроллер. Разъем питания был расположен с краю печатной платы, по центру, с небольшим выступом, для того чтобы он устойчиво встал в корпус устройства. С того же края, был расположен аудио вывод, и переменный резистор, так как это удобно для будущей разработки конструкции корпуса лазерного музыкального инструмента. Все лазерные модули были расположены симметрично с другой стороны платы, так как там, их подключение не будет мешать другим компонентам. Для удобной сборки устройства в конце, на данном этапе в качестве разъемов были выбраны штыревые, все они находятся на краях платы, для практичного подключения выводных элементов. Результатом вышеуказанного процесса стала двусторонняя печатная плата, изображение топологии верхнего медного слоя которой приведено на рисунке 2.

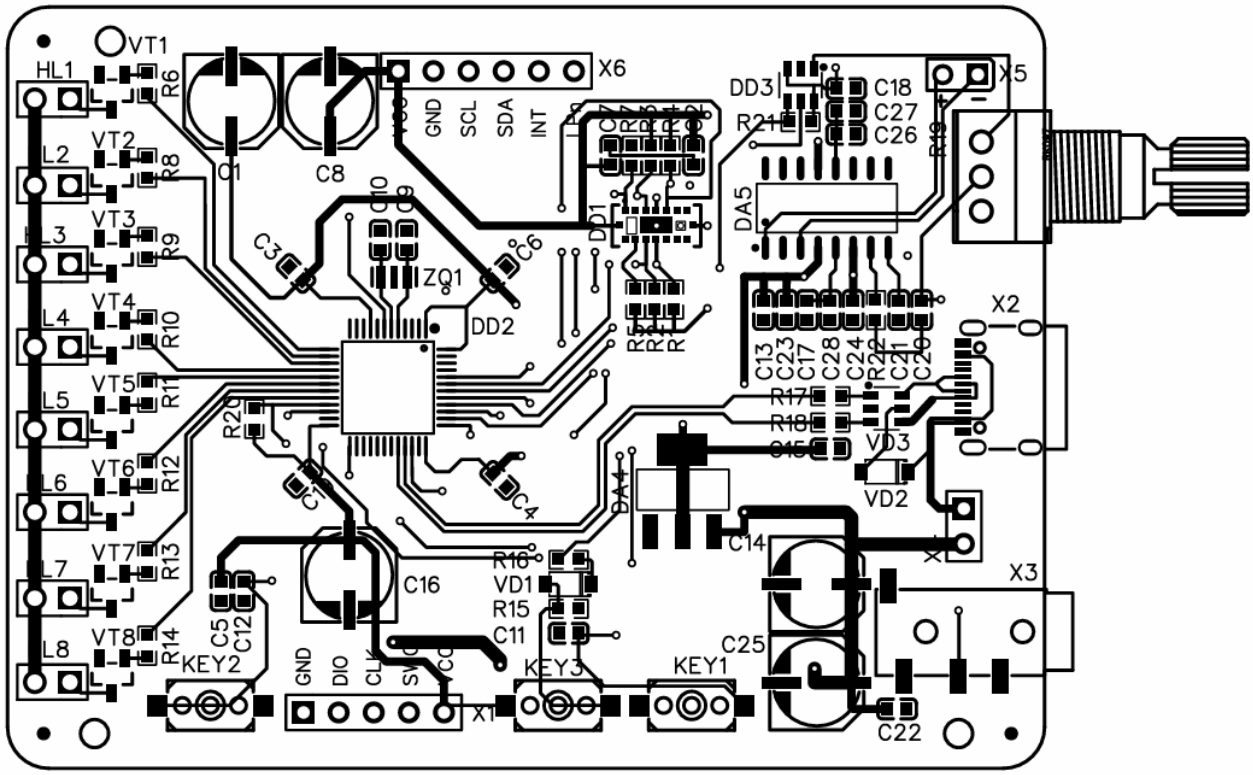


Рисунок 2. Верхний медный слой печатной платы

На рисунке 3 представлен нижний медный слой топологии печатной платы.

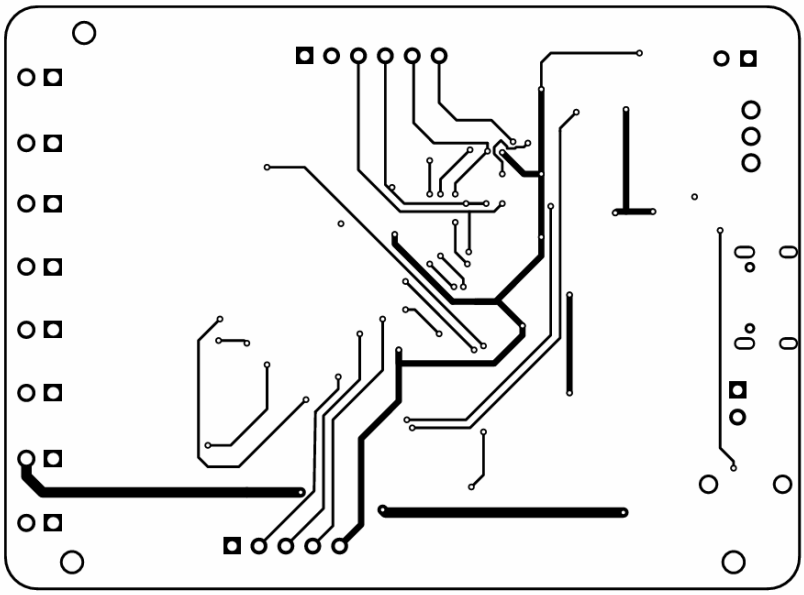


Рисунок 3 – Нижний медный слой печатной платы

Следующим этапом была разработка корпуса устройства. Она была выполнена в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3Д, в качестве базовой модели был взят образец из компьютерной видеоигры. Корпус устройства составной и представляет собой полусферу на подставке, с отсеченным углом. Соответственно нижняя часть корпуса является его основой, а верхняя его крышкой. Крышка и основа соединены специальной петлей, для свободного доступа к внутренностям устройства, для возможного ремонта или замены компонентов. Срезанный угол представляет собой плоскость, в которой расположен динамик, его закрывает защитная сетка, которая крепится к динамику на 4 винта, и к корпусу на 6 винтов, а потом стопорится гайкой. Внутри основы корпуса располагаются специальные опоры, на которые устанавливается печатная плата. Крышка корпуса имеет особенную выемку для установки датчика дальности, обеспечивая ему свободный обзор, а также позволяющая установить лазерные модули, каждый под своим определенным углом, не перекрывая обзор датчика. На рисунке 4 представлен спроектированный корпус устройства в сборке.

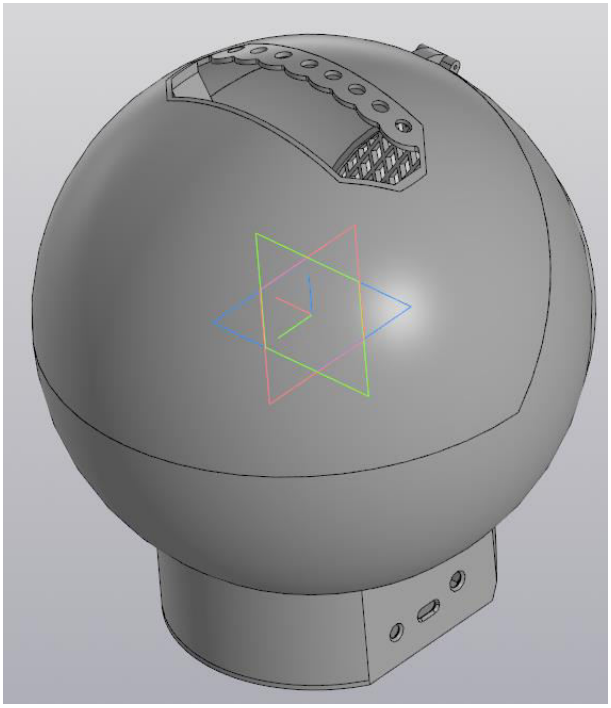


Рисунок 4. Корпус устройства

Сборка печатной платы была выполнена ручным монтажом. На поверхность нанесена паяльная паста, а затем установлены все поверхностно-монтируемые компоненты, включая разъем питания. Далее, печатная плата была оплавлена в печи и охлаждена. Затем, также, ручным монтажом на нее были установлены и припаяны выводные компоненты, а именно штыревые разъемы. После чего печатная платы была отмыта в ультразвуковой ванне с использованием специальных средств для устранения остатков процесса пайки.

После подтверждения отсутствия коротких замыканий на печатной плате, она была подключена к источнику питания для дальнейшего тестирования. В ходе проверки с использованием специализированного устройства, предназначенного для наблюдения за распределением температуры на плате не было обнаружено локальных перегревов микросхем, транзисторов и других элементов. Плата успешно оставалась в рабочем состоянии на протяжении двух часов, после чего повторно проверена тепловизором. В результате проверки, было установлено, что плата нагрелась из-за работы электронных компонентов, которые потребляли энергию и выделяли тепло, однако превышения допустимой температуры зафиксировано не было, что свидетельствует о стабильности и надежной работе платы.

Для того, чтобы установить печатную плату в корпус, его необходимо напечатать и собрать. Печатать нужно 3 элемента конструкции: основу, крышку и защитную сетку. Для эффектного распространения лазерных лучей рекомендовано печатать лазерный модуль прозрачным пластиком.

Следующим этапом было установление печатной платы в корпус. В основную ее часть, она была установлена с максимальной аккуратностью, чтобы обеспечить точное совпадение технологических отверстий и разъемов, предназначенных для питания и аудио выхода. Далее печатная плата была закреплена на опорных конструкциях винтами, что обеспечило ее устойчивое положение внутри корпуса, и предотвратило возможность смещения ее положения. Затем был установлен в корпус динамик. После чего была выполнена сборка корпуса, установлен лазерный модуль в крышку, и ее закрепление на основании корпуса.

Конструкция корпуса устройства была разработана с учетом полной ремонтопригодности. Кроме того, откидывающаяся крышка обеспечивает легкий доступ к каждому элементу устройства, что в свою очередь позволяет производить операции по замене или ремонту компонентов в случае необходимости.

Исследования проведены в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТУРАТУРЫ:

1. *Чернова П.А.,* Разработка лазерного ритмакона на основе многозонного лазерного датчика дальности//Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2024. – С.465-466.

2. *Чернова П.А.,* Исследование многозонных датчиков дальности для разработки интерактивного управления лазерного музыкального инструмента//Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2025. – С.315–316.

CREATION OF A PROTOTYPE OF A LASER MUSICAL INSTRUMENT

Chernova P.A., Zagidullin R.M.

Supervisor: Nasybullin A.R., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. The thesis describes the process of developing and prototyping a laser musical instrument device with interactive control. This process can be divided into five stages, which are briefly described in this thesis.

УДК 631.5

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ СРЕДЫ В ГИДРОПОННЫХ СИСТЕМАХ

Шахбанов Р.М.

Научный руководитель: Муратов Р.М., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В этой работе представлен обзор современных гидропонных систем, их типов и ключевых параметров, которые требуют настройки и мониторинга для достижения оптимального роста растений. Обсуждаются автоматизация систем и основные типы датчиков для обеспечения постоянной экологической стабильности. Также оцениваются такие параметры, как pH, EC, температура и интенсивность освещения.

Гидропоника - это метод культивирования растений, отличающегося от традиционного почвенного земледелия. В её основе лежит выращивание растений не в естественном почвенном субстрате, а в питательном водном растворе, содержащем все необходимые макроэлементы и микроэлементы, либо в искусственных субстратах таких как керамзит, минеральная вата или кокосовое волокно, которые выполняют лишь опорную функцию, а питание корневой системы обеспечивается циркулирующим раствором. Основная цель применения гидропонных технологий заключается в создании максимально контролируемых условий для корневой зоны растения, это позволяет достичь нескольких ключевых преимуществ. Во-первых, обеспечивается ускоренный рост и развитие растений за счёт прямой и легкодоступной подачи сбалансированного питания. Во-вторых, достигается значительная экономия водных ресурсов, минимизируя потери на испарение. В-третьих, существенно снижается риск возникновения заболеваний.

Для стабильной и эффективной работы любой гидропонной системы требуется постоянное и строгое наблюдение, а также точная регулировка ряда критически важных параметров окружающей и корневой среды. Ключевыми из них являются: уровень кислотности pH питательного раствора, который напрямую влияет на доступность элементов питания для растения; электропроводность EC раствора, отражающая общую концентрацию растворенных солей и позволяющая оценить его насыщенность питательными веществами и температуру как самого питательного раствора, так зону воздуха вокруг корневой системы, влияющая на скорость метаболических процессов, поглощение воды и растворённого кислорода и уровень освещённости надземной части растений, являющийся основным источником энергии для фотосинтеза. Необходимость постоянного мониторинга и корректировки этих параметров обусловлена их высокой динамичностью и прямым воздействием на физиологию растения и, как следствие, на продуктивность всей системы.

Автоматизация процессов управления гидропонными установками с использованием комплекса специализированных датчиков (pH-метров, кондуктометров, термодатчиков, люксметров) и систем контроля является важнейшим направлением развития данной технологии. Такая автоматизация позволяет непрерывно отслеживать состояние среды в режиме реального времени, оперативно вносить необходимые корректировки (добавление удобрений, кислоты/щелочи, воды, регулировка температуры, управление светом) и поддерживать параметры в заданных оптимальных диапазонах с минимальным вмешательством человека. Интеграция систем автоматизированного контроля и управления делает гидропонную технологию не только высокоэффективной и надёжной, но и удобной в эксплуатации. Так как в перспективе такие установки можно внедрить в крупные сельскохозяйственные производства для эффективного выращивания растений [1].

Гидропонные технологии реализуются через разнообразные инженерные системы, каждая из которых имеет уникальный принцип подачи питательного раствора к корням растений и особенности функционирования. Выбор конкретной системы зависит от масштаба производства, выращиваемой культуры, доступных ресурсов и требуемой степени автоматизации. Основные типы:

1. Система питательного слоя

Принцип работы: Растения закрепляются в каналах с минимальным использованием субстрата. Тонкая плёнка питательного раствора непрерывно циркулирует по дну канала, омывая корни. Излишки раствора стекают в резервуар для повторной циркуляции.

Преимущества: Эффективное использование воды и удобрений, хорошая аэрация корней за счёт тонкой плёнки, относительно простая конструкция, подходит для быстрорастущих зеленных культур с небольшой корневой системой.

Недостатки: Высокая чувствительность к перебоям в подаче электроэнергии или засорам насоса. Не подходит для крупных растений с развитой корневой системой, корни могут перекрыть канал. Требует точного контроля расхода и уровня раствора (рисунок 1).

Рисунок 1. Система питательного слоя

2. Глубоководная культура.

Принцип работы: Растения закрепляются на платформе, которая плавает на поверхности большого резервуара с аэрируемым питательным раствором. Корни погружены непосредственно в раствор. Аэрация осуществляется мощными воздушными компрессорами и аэрационными камнями, насыщающими раствор кислородом.

Преимущества: Простота конструкции, отличное обеспечение корней водой и кислородом, подходит для крупных, влаголюбивых растений.

Недостатки: Высокое потребление воды и удобрений, риск распространения корневых заболеваний по всему резервуару при заражении одного растения, критическая зависимость от бесперебойной работы аэрации (рисунок 2).

Рисунок 2. Глубоководная культура

3. Системы капельного полива

Принцип работы: Наиболее распространённый тип, особенно в промышленных

теплицах. Растения размещаются в отдельных контейнерах или желобах, заполненных инертным субстратом. Питательный раствор подаётся к основанию каждого растения через сеть трубок и капельниц или эмиттеров.

Преимущества: Высокая универсальность подходит для огромного спектра растений, от клубники до томатов и деревьев, возможность точной дозировки раствора под каждое растение, хорошо масштабируется, надёжность. Рециркуляционный вариант эффективен по ресурсам.

Недостатки: Риск засорения капельниц частицами субстрата или солями. Нерециркуляционный вариант менее ресурсоэффективен. Сложность равномерного распределения раствора в больших системах (рисунок 3).

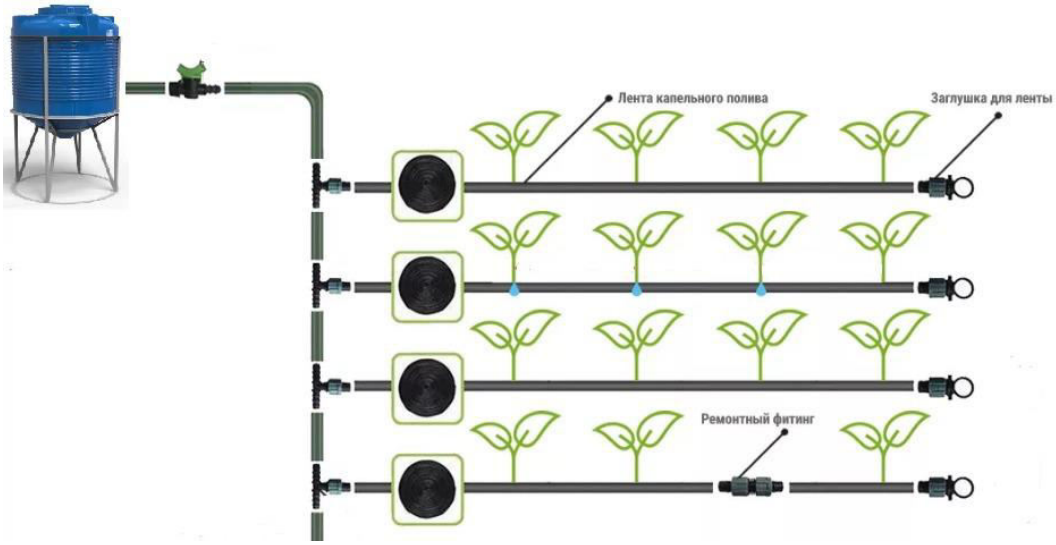


Рисунок 3. Системы капельного полива

4. Фитильные системы

Принцип работы: Растение в контейнере с субстратом соединено одним или несколькими фитилями с резервуаром питательного раствора, находящимся ниже. Раствор поднимается по фитилям за счёт капиллярных сил и увлажняет субстрат.

Преимущества: Крайняя простота, дешевизна, отсутствие потребности в насосах или электричестве, бесшумность. Подходит для небольших, не очень влаголюбивых растений.

Недостатки: Очень медленная подача раствора, ограниченная доступность кислорода к корням, не подходит для крупных или быстрорастущих растений, риск засоления субстрата из-за испарения воды без адекватного дренажа. Низкая эффективность (рисунок 4).

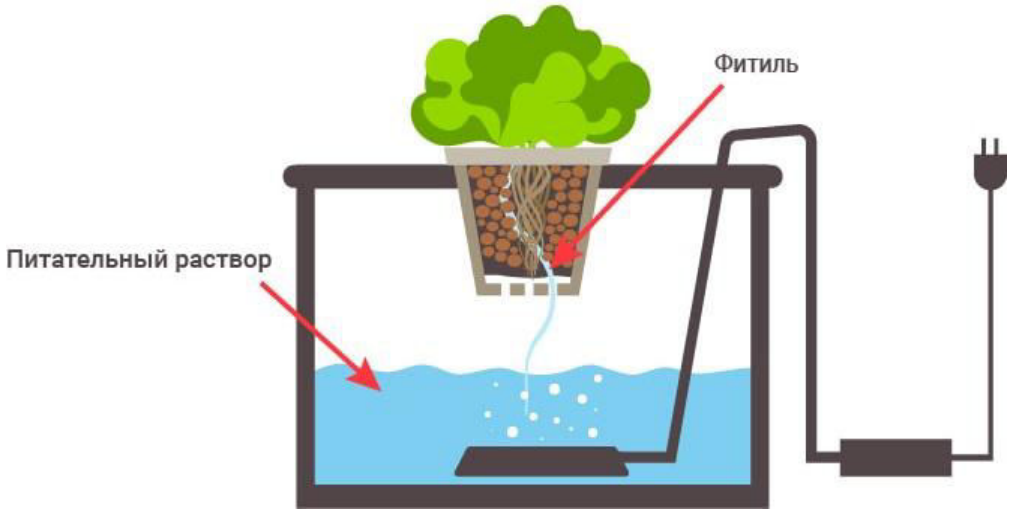


Рисунок 4. Фитильные системы

5. Системы периодического затопления

Принцип работы: Растения в контейнерах с субстратом размещаются на столе. Периодически по таймеру насос закачивает питательный раствор из резервуара, затопляя поддон до определённого уровня. Корни и субстрат насыщаются раствором. Через заданное время насос отключается, и раствор самотёком сливается обратно в резервуар, обеспечивая аэрацию корней.

Преимущества: Хорошая аэрация корней после слива, эффективное увлажнение субстрата, подходит для многих типов растений, относительно простота конструкции.

Недостатки: Зависимость от надёжности насоса и таймера. Риск распространения болезней через общий раствор при затоплении. Требуется точная настройка длительности циклов и уровня затопления (рисунок 5).

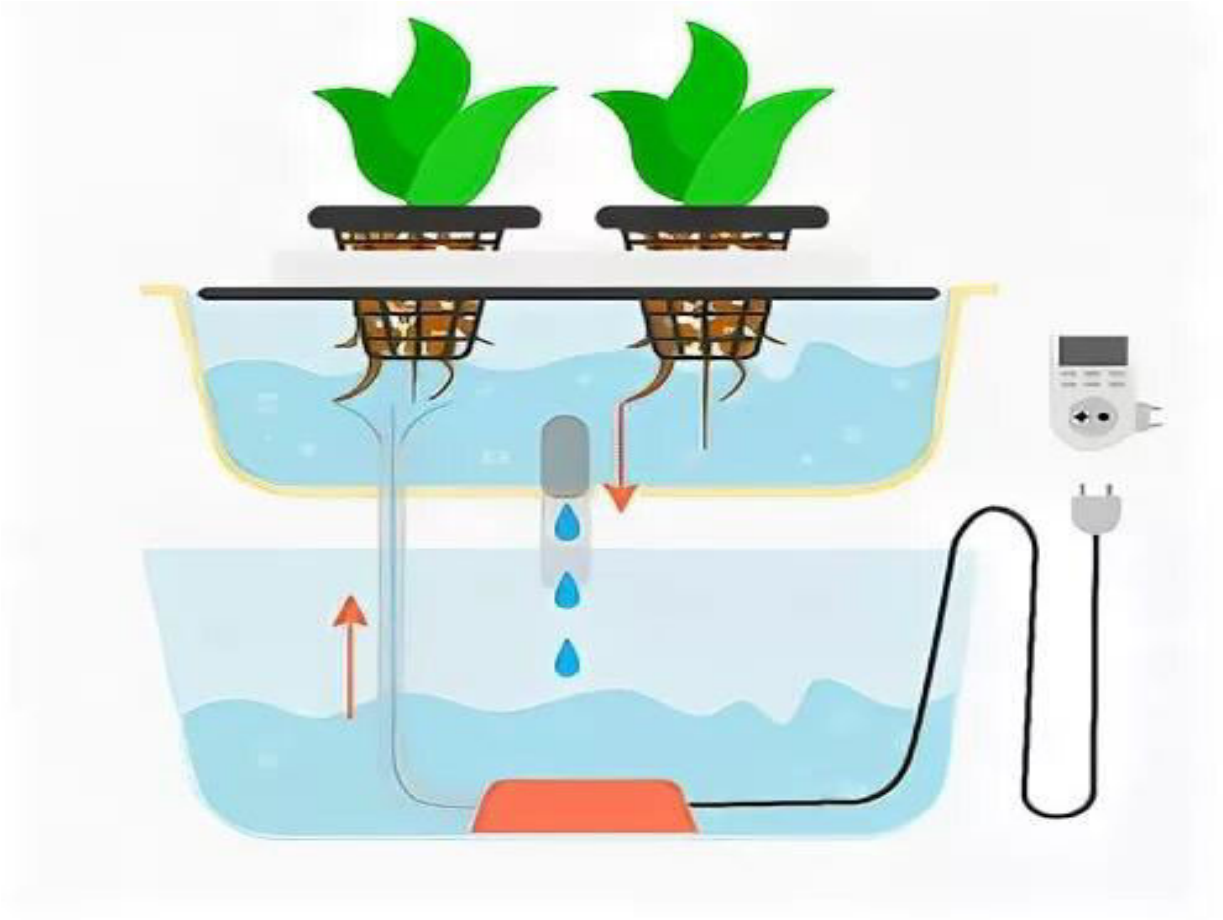


Рисунок 5. Системы периодического затопления

6. Аэропоника

Принцип работы: Растения закрепляются в специальных платформах так, что корни свободно свисают в воздухе внутри затемнённой камеры. Питательный раствор под высоким давлением подаётся через распылители в виде очень мелкого тумана, который оседает на корнях. Циклы распыления короткие с паузами для аэрации.

Преимущества: Максимальное насыщение корней кислородом, что потенциально даёт самый быстрый рост. Экономия воды и удобрений (раствор используется очень эффективно). Отсутствие субстрата снижает риск болезней и затраты.

Недостатки: Высокая сложность и стоимость системы (требуется мощные насосы высокого давления, надежные форсунки). Высокая чувствительность к сбоям: перебои в подаче тумана быстро приводят к высыханию и гибели корней. Риск засорения форсунок. Требует самого тщательного контроля и автоматизации (рисунок 6) [2].

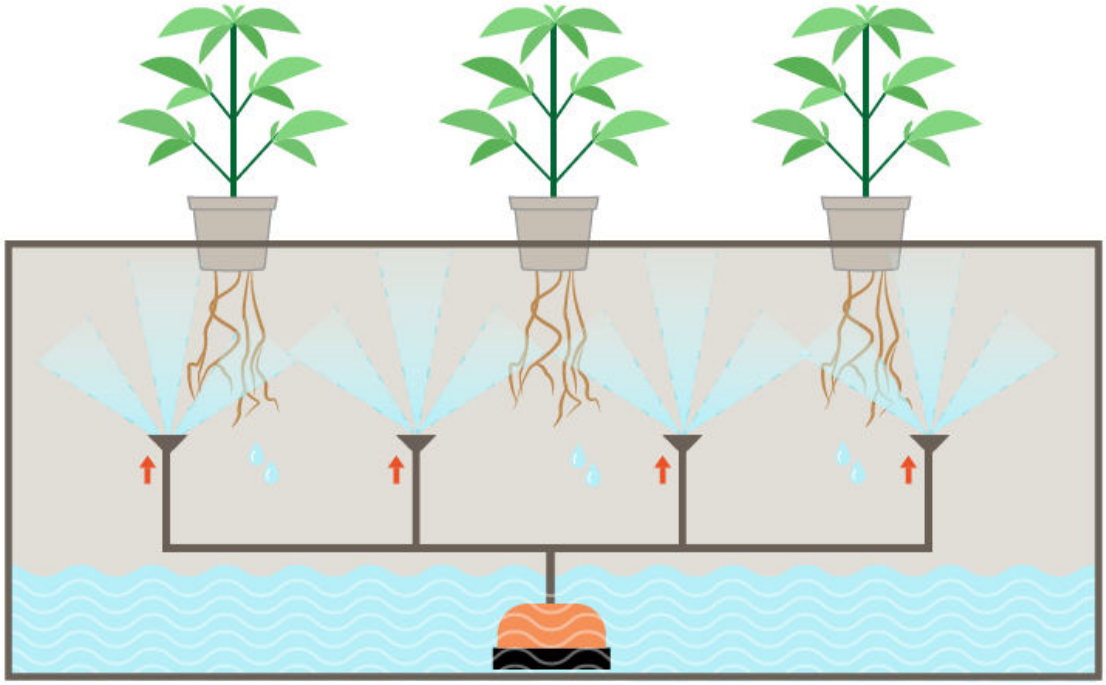


Рисунок 6. Аэропоника

Стабильность среды в гидропонике критична для успеха и требует постоянного контроля нескольких взаимосвязанных параметров.

pH (5.5-6.5): Определяет доступность питательных элементов. Отклонения блокируют усвоение веществ: низкий pH (<5.0) вызывает токсичность металлов и дефицит Ca/Mg/Mo; высокий pH (>7.0) осаждает Ca, Mg, P, Fe, вызывая их дефицит (хлороз). Корректируется кислотами/щелочами.

EC (Электропроводность): Отражает концентрацию солей (удобрений), влияя на осмотическое давление и поглощение воды/питания. Низкий EC ведёт к дефициту и слабому росту; высокий EC вызывает осмотический стресс, ожоги и остановку роста. Оптимум зависит от культуры и стадии роста. Корректируется разбавлением водой или добавлением удобрений. В рециркуляции важен контроль EC дренажа.

Температура раствора (18-22°C): Влияет на метаболизм корней, поглощение элементов и растворенный кислород (DO). Низкая температура (<16°C) замедляет рост и повышает риск гнилей; высокая (>25-28°C) резко снижает DO (гипоксия корней) и усиливает дыхание. Контроль требует термодатчиков, нагревателей.

Освещённость:

Интенсивность (PPFD): Должна соответствовать культуре и стадии (напр., салат: 150-300, томат: 400-600+ µmol/m²/s). Недостаток – слабый рост; избыток – ожоги.

Спектр: Синий свет (компактность), красный (фотосинтез, рост), дальний красный (цветение).

Фотопериод: Критичен для фотопериодических культур. Управляется LED с регулировкой.

Растворённый кислород (DO >6-8 мг/л): Жизненно важен для дыхания корней, особенно в DWC/NFT. Гипоксия (недостаток DO) угнетает рост, вызывает отмирание корней и увядание. Обеспечивается аэрацией (компрессоры), турбулентностью потока, контролем температуры.

Эти параметры динамичны и взаимосвязаны. Отклонение любого вызывает стресс, снижает урожайность и повышает риск болезней. Необходимость постоянного точного контроля множества факторов делает автоматизацию на основе датчиков pH, EC, температуры, освещённости, потока ключевым условием эффективной и устойчивой работы гидропонных систем [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Борисов Д.С.* Разработка и применение гидропонных установок / Д.С. Борисов // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2024 : Сборник тезисов докладов XI Международной молодёжной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, посвящённой 300-летию со дня основания Российской Академии наук, 90-летию со дня рождения первых космонавтов СССР Ю.А. Гагарина и А.А. Леонова, 90-летию первого выпуска КАИ, 65-летию начала регулярного телевизионного вещания в Республике Татарстан, Казань, 11–12 апреля 2024 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2024. – С. 271-272.

2. Методические рекомендации по созданию гидропонных установок / *В.А. Погорелова, Е.И. Сазонова* // Краснодар. – 2019.

3. *Чигрунов Д.Ф.* Разработка системы комнатного сада со встроенной гидропонной установкой и удаленным мониторингом по Wi-fi / Д. Ф. Чигрунов // XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых): Материалы Международной молодёжной научной конференции. Сборник докладов, Казань, 09–10 ноября 2023 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. – С. 3486-3490.

ENVIRONMENT PARAMETER MANAGEMENT IN HYDROPONIC SYSTEMS

Shakhbanov R.M.

Supervisor: Muratov R.M., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This work provides an overview of modern hydroponic systems, their types, and key parameters that require adjustment and monitoring to achieve optimal plant growth. The automation of systems and the main types of sensors are discussed to ensure consistent environmental stability. Parameters such as pH, EC, temperature, and light intensity are also evaluated.

УДК 681.786

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКИ

Шахтин К.А.

Научный руководитель: Виноградов В.Ю., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Волоконно-оптические датчики на основе брэгговских решеток (ВБР) обеспечивают высокоточные измерения температуры, деформации и других параметров благодаря своей устойчивости к помехам и возможности мультиплексирования. Они применяются в мониторинге конструкций, аэрокосмической и нефтегазовой отраслях, а также в медицине. Перспективы развития включают интеграцию с IoT и улучшение алгоритмов обработки сигналов.

Волоконно-оптические датчики различных физических величин на основе брэгговских решеток в настоящее время уже получили широкое распространение и активно применяются в различных областях промышленности, для решения целого ряда инженерных задач. Общий принцип работы таких датчиков основан на изменении брэгговской длины волны под действием внешних воздействий. Однако спектр возможных конструкций сенсорных элементов не ограничивается классическими брэгговскими структурами.

Особое место в линейке подобных устройств занимают брэгговские решетки с наклонными штрихами [1]. Благодаря наклонным штрихам в световоде на такой решетке

возбуждается дискретный набор оболочечных мод, который проявляется на спектре пропускания в виде череды спектральных провалов в широком диапазоне длин волн (рис. 1).

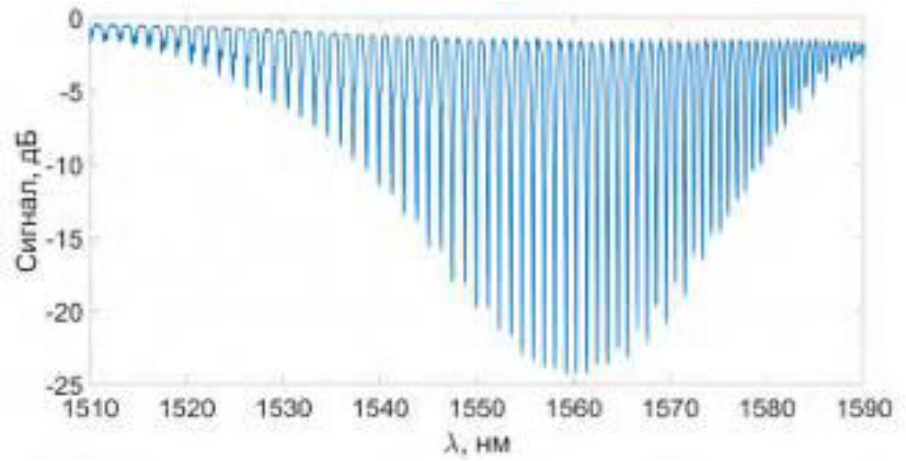


Рисунок 1. Спектр пропускания

Поскольку оболочечные моды излучения взаимодействуют с внешней поверхностью световода, данное свойство может быть использовано в сенсорных системах для измерения физических параметров внешней среды. Одним из возможных применений таких решеток в качестве сенсора является датчик показателя преломления, принцип действия которого основан на частичном вытекании некоторых оболочечных мод в зависимости от величины показателя преломления внешней среды, в которую погружен сенсор. Данный эффект находит отражения в спектре пропускания сенсора (рисунок 2).

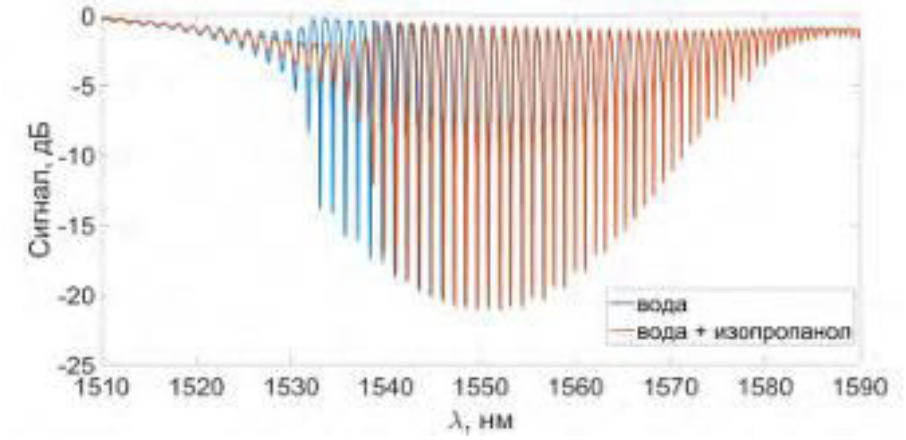


Рисунок 2. Эффект пропускания сенсора

Отдельный интерес брэгговские решетки с наклонными штрихами представляют в качестве основы перспективных плазмонных сенсоров, т.е. сенсоров, работающих на эффекте поверхностного плазмонного резонанса. Общий принцип работы таких систем основан на высокой степени зависимости дисперсионного соотношения поверхностных плазмонов от показателя преломления внешней среды, на границе с которой этот плазмон возбуждается. Любые изменения вблизи поверхности металла, будь то изменения в составе окружающей среды или модификация поверхности самого сенсора вследствие его взаимодействия с окружающей средой, немедленно найдут отражение в значении длины волны, на которой наблюдается плазмонный резонанс.

В классических, планарных схемах Кречмана и Отто поверхностные плазмоны возбуждаются оптическим излучением, падающим под некоторым углом к поверхности металла, при этом измеряется интенсивность отраженного сигнала в зависимости от угла падения. Минимум этой зависимости и определяет угол, соответствующий поверхностному

плазмонному резонасу. При изменении показателя преломления внешней среды меняется и характерный угол, что позволяет с высокой точностью отслеживать изменения в ближайшем окружении плазмонного сенсора. Волоконная оптика, по сравнению с планарными структурами, предоставляет целый ряд преимуществ, таких как мобильность, компактность, удобство работы с микрофлюидными системами, на их основе можно создавать перспективные высокочувствительные волоконные плазмонные сенсоры, в том числе и для биомедицинских применений.

Для создания условий генерации поверхностных плазмонов в световоде необходимо вывести часть оптического излучения к поверхности волокна, что и обеспечивает брэгговская решетка с наклонными штрихами. При нанесении на цилиндрическую поверхность волокна слоя золота толщиной порядка 40 нм создаются условия для возникновения поверхностного плазмонного резонанса (рисунок 3).

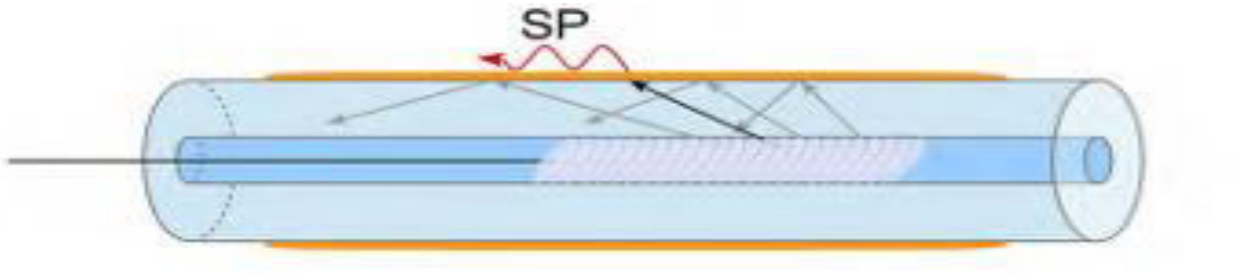


Рисунок 3. Плазменный резонанс

Как и в случае с классической схемой Кречманна, резонансное возбуждение происходит при совпадении проекции волнового вектора некоторых мод оболочки на боковую поверхность волокна с волновым вектором поверхностного плазмона [2]. В таком случае энергия эффективно передается от мод оболочки поверхностному плазмону. На спектре пропускания наклонной решетки подобный процесс отражается в виде характерной «перетяжки» – сужения картины пиков и провалов (рисунок 4).

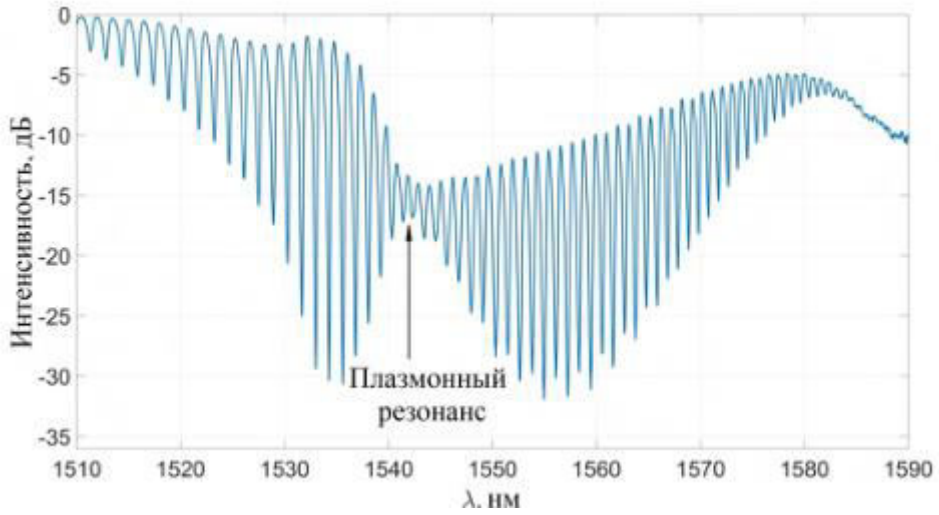


Рисунок 4. Спектр пропускания наклонной решетки

При изменении показателя преломления внешней среды изменяется и положение «перетяжки» на спектре, что позволяет проводить измерения с помощью подобного сенсора. На физическом уровне такой сенсор реагирует именно на изменения в показателе преломления внешней среды в непосредственной близости от цилиндрической поверхности волокна (на расстоянии порядка нескольких микрон). Однако, на практике такой сенсор может использоваться для определения изменений в составе, например, биологических растворов, таких как кровь или плазма. Адгезия частиц к поверхности сенсора значительно изменяет

показатель преломления ближайшего окружения, также приводя к изменению спектра пропускания датчика. Особый интерес представляют сенсоры, позволяющие определить концентрацию одного конкретного белка в многосоставном биологическом растворе.

Для этого металлическая поверхность может быть функционализирована антителами, обеспечивающими специфику связывания для детектируемого белка. Развитие подобных сенсоров и систем на их основе является крайне актуальной задачей, особенно для биомедицинских применений. На основе волоконных плазмонных сенсоров, в рамках набирающей обороты концепции «лаборатория на чипе», могут быть созданы перспективные портативные комплексы для иммунного анализа.

Развитие волоконно-оптических технологий началось с ограниченного применения оптических волокон в системах, требующих сверхвысокой производительности, в области телекоммуникаций. Первоначальное проникновение на рынок в период с 1980 по 1990 год в условиях постоянной конкуренции с традиционными технологиями датчиков происходило медленно в значительной степени из-за высокой стоимости и ограниченного количества подходящих компонент.

С переходом на массовое производство снизилась технических компонентов происходило совершенствование технологий, на рынке появились принципиально новые датчики, предоставлявшие не существовавшие ранее возможности. Первоначально проникновение волоконно-оптических датчиков на рынок было обусловлено их преимуществом по производительности. Элементы, используемые в волоконно-оптических датчиках, являются абсолютно пассивными по отношению к электричеству (не излучают и не проводят электрический ток), что часто оказывает решающее влияние на успешное применение их в некоторых областях. В медицине это позволяет изолировать пациентов от электрических приборов, в области высокого напряжения исключить проводящие пути, а при размещении обеспечивается совместимость с любыми материалами.

Такие датчики были невосприимчивы к электромагнитным помехам, в то время как традиционные электрические датчики часто приходилось размещать в тяжелой экранирующей оболочке, что значительно увеличивало их стоимость, размер и вес. Устойчивость к воздействиям внешней среды является определяющей при использовании волоконно-оптических датчиков в условиях высокой температуры, а твердотельная структура позволяет им выдерживать предельные уровни вибрационных и ударных нагрузок.

- Преимущества волоконно-оптических датчиков:
- Пассивность (датчики являются диэлектрическими)
- Малые габариты и легкость
- Невосприимчивость к электромагнитной интерференции
- Работоспособность при высоких температурах
- Широкая полоса пропускания
- Устойчивость к вибрации и ударам
- Высокая чувствительность
- Возможность уплотнения электрических и оптических сигналов (мультиплексирование)

Считается, что этот тип датчиков сформировался как одно из направлений техники только в начале 1980-х годов, тогда же появился и термин "волоконно-оптические датчики". Ранние работы по волоконно-оптическим датчикам, как правило, можно отнести к двум основным категориям. Относительно простые волоконно-оптические датчики быстро стали серийно выпускаемыми изделиями, часто благодаря небольшим начинающим фирмам, и сформировали специализированный рынок средств измерений. В качестве одного из первых таких примеров можно рассматривать измерение температуры в области высокого напряжения.

Более сложными волоконно-оптическими датчиками, такими как волоконно-оптические гироскопы или гидроакустические приемные антенные решетки, занимались

большие производственные фирмы при поддержке правительственных программ, стараясь выйти на потенциально большие высокоплатежеспособные рынки.

За базовыми элементами последовали более сложные устройства, такие как интегральные оптические модуляторы и волоконно-оптические гироскопы, к 1990 году эти изделия в небольших количествах появились на рынке, при этом стоимость каждого из них составляла несколько тысяч долларов [3]. При оказании воздействия можно наблюдать два различных эффекта. Первый из них – значительное падение уровня рассеиваемого сигнала непосредственно сразу за точкой приложения давления, что связано с высвечиванием из волоконного кабеля. Создаваемый микроизгиб влечет за собой изменения в апертуре части сигнала, при которых эта часть не может распространяться далее по данному оптическому волокну.

При значительном увеличении нагрузки падение сигнала выходит на постоянный уровень, что связано с конечной чувствительностью прибора. Второй эффект – отражение части сигнала от места нагрузки. Возникновение данного явления обусловлено слишком маленьким радиусом изгиба кабеля, что позволяет части передаваемого импульса отразиться в обратном направлении и внести свой вклад в принимаемую на фотоприемнике интенсивность. Этот эффект не наблюдается при небольших давлениях, когда радиус изгиба еще недостаточно мал, однако при значительной нагрузке именно его предполагается использовать для измерения магнитуды воздействия, так как чувствительность прибора не позволяет нам использовать более первый эффект. Данный тип датчиков может найти широкое применение прежде всего в нуждающейся в нем нефтяной промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Волоконно-оптические датчики температуры/ А. Галимова, Э. Галимуллина, Р. Голкова, Н. Усов // Научные исследования, 2017 [Электронный ресурс]. Режим доступа: - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/volokonno-opticheskie-datchiki-temperatury (дата обращения: 15.04.2022).

2. Волокно-оптический датчик измерения температуры/ Е.Ю. Кузнецова. О.В. Стукач [Электронный ресурс]. Режим доступа: - URL: https://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C04/V1/020.pdf (дата обращения: 15.04.2022).

3. Распределённые волоконно-оптические датчики давления для применения в нефтегазовой промышленности/ К.А. Томышев, В.А. Баган, В.А. Астапенко – М: МФТИ, 2012 - [Электронный ресурс]. Режим доступа: - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/raspredelyonnye-volokonno-opticheskie-datchiki-davleniya-dlya-primeneniya-v-neftegazovoy-promyshlennosti (дата обращения: 15.04.2022).

FIBER OPTIC SENSOR BASED ON FIBER BRAGG GRATING

Shakhtin K.A.

Supervisor: Vinogradov V.Yu., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Fiber optic sensors based on Bragg gratings (FBG) provide high-precision measurements of temperature, deformation, and other parameters due to their resistance to interference and multiplexing capabilities. They are used in structural monitoring, aerospace, oil and gas, and medicine. Future developments include integration with IoT and improved signal processing algorithms.

УДК 621.317.335.3

ПОЛУЧЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МАТЕРИАЛА ИССЛЕДУЕМОГО ПРИ ПОМОЩИ ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО КОАКСИАЛЬНОГО РЕЗОНАТОРА

Шулаев Е.О.

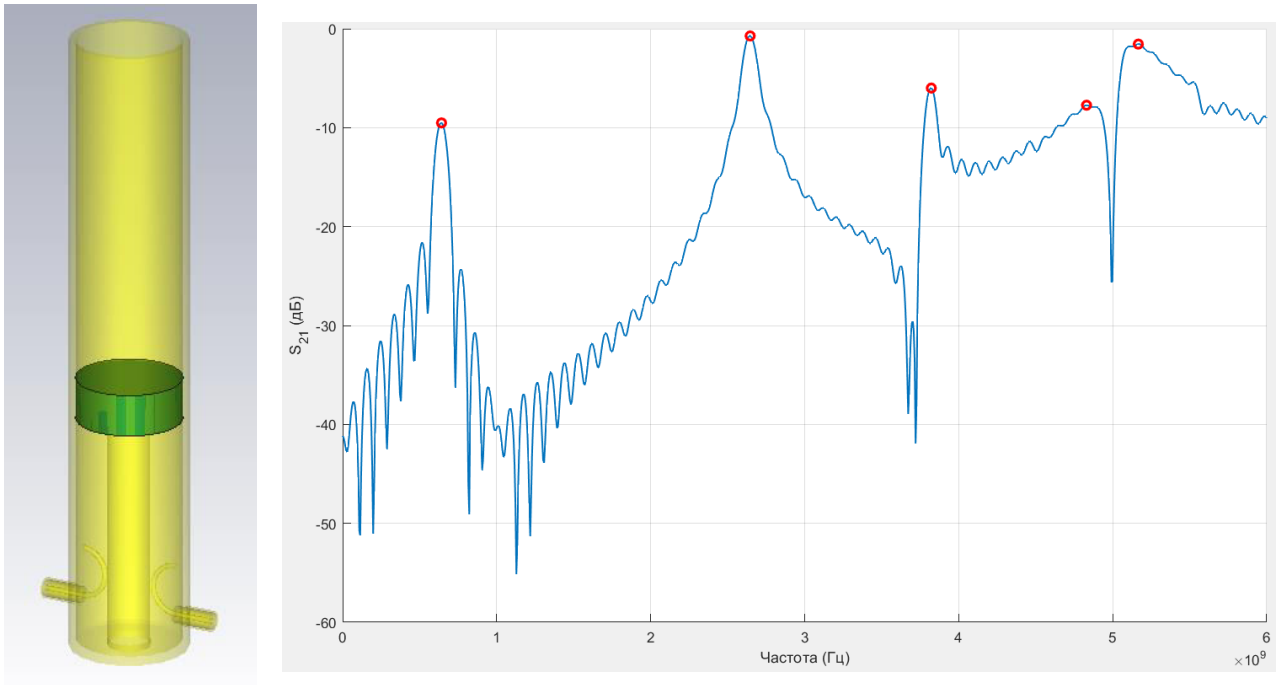
Научный руководитель: Насыбуллин А.Р., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе предложен комплекс действий для получения данных о комплексной диэлектрической проницаемости материала, изучение свойств которого происходит при помощи перестраиваемого коаксиального резонатора. Целью данной работы является исследование вопросов измерения резонансной частоты и добротности резонатора в случае множества резонансов, а также получения из этих данных значений диэлектрической проницаемости материала, помещенного в данный резонатор.

Введение

Для извлечения информации о диэлектрических характеристиках материала из данных частотной зависимости коэффициента передачи перестраиваемого коаксиального резонатора (ПКР) с помещенным в него материалом, необходимо решить две задачи: во-первых, решить проблему измерения частот и добротностей резонансных пиков, возникающих в резонаторе, а во-вторых, из полученных данных определить непосредственно диэлектрическую проницаемость и тангенс потерь образца. Для исследования данной тематики, связанной с обработкой результатов измерений, было создано программное обеспечение, разработанное в среде MATLAB. На рисунке 1,*а*) представлена электродинамическая модель ПКР [1,2] , а на рисунке 1,*б*) показан полученный с помощью модели график коэффициента передачи, по которому будет проводиться анализ. Следует отметить, что в рассматриваемом случае последние два резонансных пика не являются четко выраженными и искажены вследствие перехода резонатора в режим работы на высших типах колебаний.



а) б)

Рисунок 1.

Измерение частоты и добротности резонансных пиков ПКР

Микроволновые измерения диэлектрических свойств образцов в рассматриваемом методе проводятся с помощью измерений возмущений в ПКР. Этот метод требует точного определения добротности и резонансной частоты микроволновых резонаторов. В реальных условиях данные искажаются из-за перекрестных помех между линиями передачи и соединительными конструкциями, а также из-за шума, поэтому должно быть возможным точно определять f_0 и Q в данных условиях. Кратко рассмотрим методы, предложенные для решения данной задачи.

1) Метод 3 дБ

Данный метод использует зависимость модуля коэффициента передачи $|S_{21}|$ от частоты. Частота по максимальной амплитуде соответствующего пика используется в качестве резонансной частоты f_0. Точки, определяющие половину максимальной мощности резонанса ($\frac{1}{\sqrt{2}}|S_{max}|$) определяются по обе стороны от f_0 и разница между этими точками по частоте определяет полосу $\Delta f_{3\,дБ}$. Добротность резонанса затем считается по следующей формуле:

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f_{3\,дБ}} \tag{1}$$

Проблема метода в том, что он использует дискретные данные, что может сказаться на ухудшении результатов при снижении отношения сигнал/шум сигнала.

2) Метод кривых Лоренца [3]

В данном методе данные $|S_{21}(f)|$ подстраиваются под кривую Лоренца нелинейным методом наименьших квадратов.

Для подстройки модели используют индексы постоянного фона A_1, наклона фона A_2 и асимметрии пика A_3:

$$|S_{21}(f)| = A_1 + A_2 f + \frac{|S_{max}| + A_3 f}{\sqrt{1 + 4\left(\frac{f - f_0}{\Delta f_{Lorentz}}\right)^2}}, \tag{2}$$

где $\Delta f_{Lorentz}$ – ширина полосы резонанса, полученная аппроксимацией модели по Лоренцу.

Полученная модель для анализируемых данных представлена на рисунке 2.

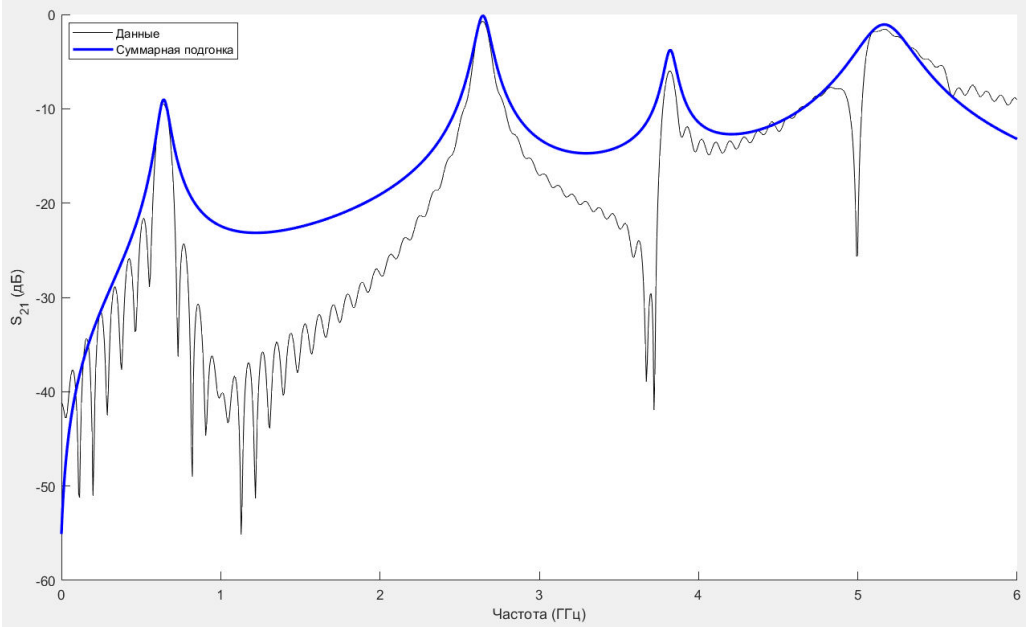


Рис. 2. Аппроксимация частотной зависимости коэффициента передачи ПКР методом подгонки кривыми Лоренца

Модель кривой Лоренца следует рассматривать в качестве модели независимого гармонического осциллятора, который описывает резонатор в виде схемы их сосредоточенных

элементов [4]. Это значит, что в случае множества резонансов при использовании данного метода мы предполагаем, что резонансные моды между собой никак не взаимодействуют. Как видим из графика, при предположении о слабой связи мод выражение (2) может удовлетворительно описывать и подгонять данные, но с увеличением частоты подгонка работает хуже, и кривая может уже не соответствовать реальным данным что возможно как раз связано с переходом резонатора на высшие типы колебаний. Следовательно, на частотах порядка >4 ГГц необходимо уже учитывать связь резонансных мод друг с другом.

3) Метод обратного отображения

Метод обратного отражения обычно применяется для выделения параметров одного резонанса, но для случая многомодового резонатора используется поэтапная обработка каждого резонанса отдельно. Данный метод использует комплексные данные S_{21} для подгонки их под окружность в пространстве $Im(S_{21})\big(Re(S_{21})\big)$ используя метод наименьших квадратов [5].

К точечным данным (x_i, y_i) применяется весовая функция $W_{map,i}$, придающая точкам, находящимся ближе к резонансу, больший вес, что позволяет точнее подогнать участок с резонансом:

$$W_{map,i} = \left[\left(x_{ref} - x_{i,}\right)^2 + \left(y_{ref} - y_i\right)^2\right], \tag{3}$$

где (x_i, y_i) – опорная точка.

Подгонка данных представлена на рисунке 3.

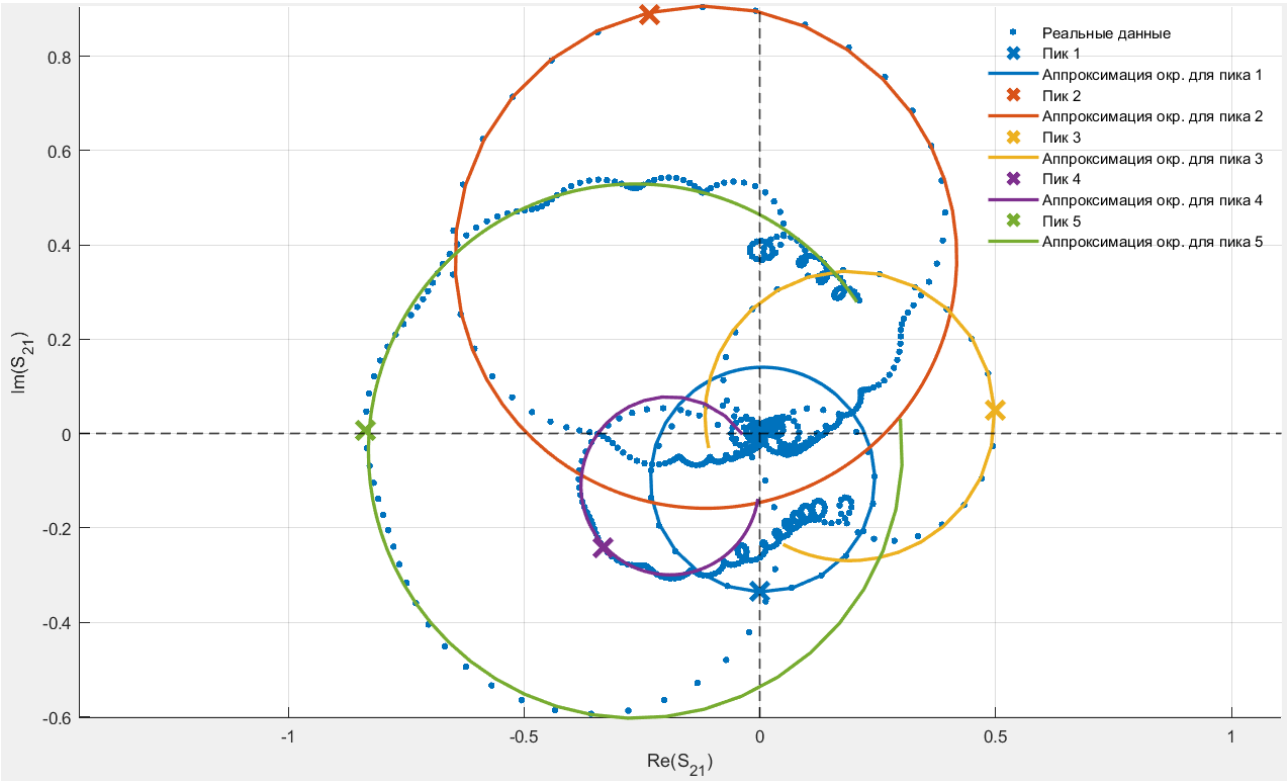


Рис. 3. График $Im(S_{21})\big(Re(S_{21})\big)$ комплексного коэффициента передачи для множества резонансов и подгонка данных каждого пика к окружностям

Далее используется угловая прогрессия измеренных точек по окружности как функция частоты для извлечения Q и f_0. На окружности выделяют 3 точки: f_2 – точка, случайно выбранная вблизи резонанса, f_1 и f_3 – случайные точки, выбранные на расстоянии не менее половины полосы резонансного пика. На рисунке 4 показана комплексная частотная плоскость с отмеченным полюсом интереса $if_0 - \Delta f_{0\text{тобр.}}/2$ для первого пика.

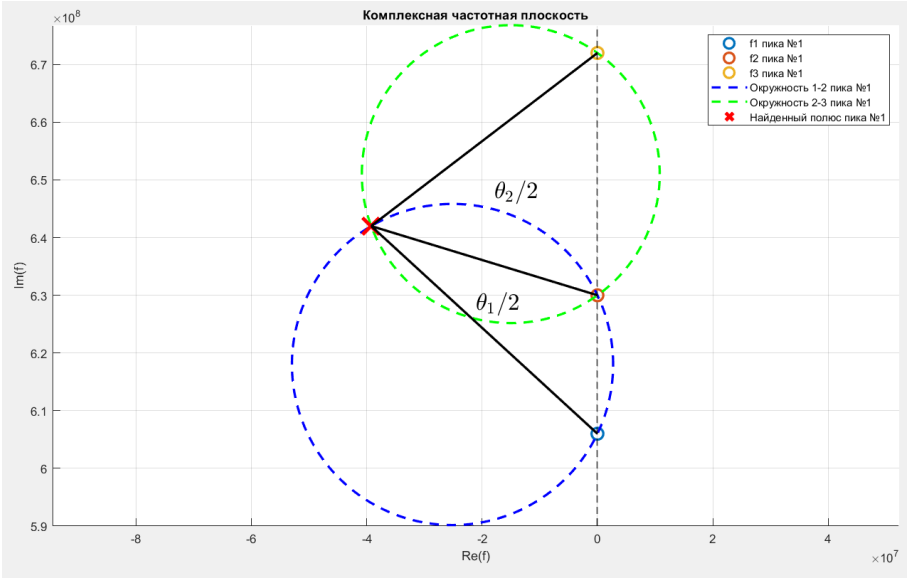


Рис. 4. График комплексной частотной плоскости для 1-го пика, представленный вместе с частотными точками f_1 , f_2 и f_3 на мнимой оси, и с отмеченным полюсом интереса.

Конформное преобразование, определяется выражением:

$$S_{21} = \frac{|S_{max}|\Delta f_{IMT}/2}{f - if_0 - \frac{\Delta f_{IMT}}{2}}, \quad (4)$$

где Δf_{IMT} – полоса резонансного пика, полученная методом обратного отображения.

Данное преобразование отображает комплексную частотную плоскость в окружность в каноническом положении в плоскости $Im(S_{21})\big(Re(S_{21})\big)$, что показано на рисунке 5. Углы между точками f_1 и f_2 (θ_1) и между точками f_2 и f_3 (θ_2) в этом пространстве такие же, какими они были в комплексной частотной плоскости. Углы, образованные этими тремя точками, определяют окружности в плоскости комплексных частот, пересечение которых дает информацию о возможном положении резонансного полюса Резонансная частота и добротность рассчитываются непосредственно по положению полюса как f_0 и $f_0/\Delta f_{IMT}$. Эта процедура повторяется несколько раз, и результаты усредняют.

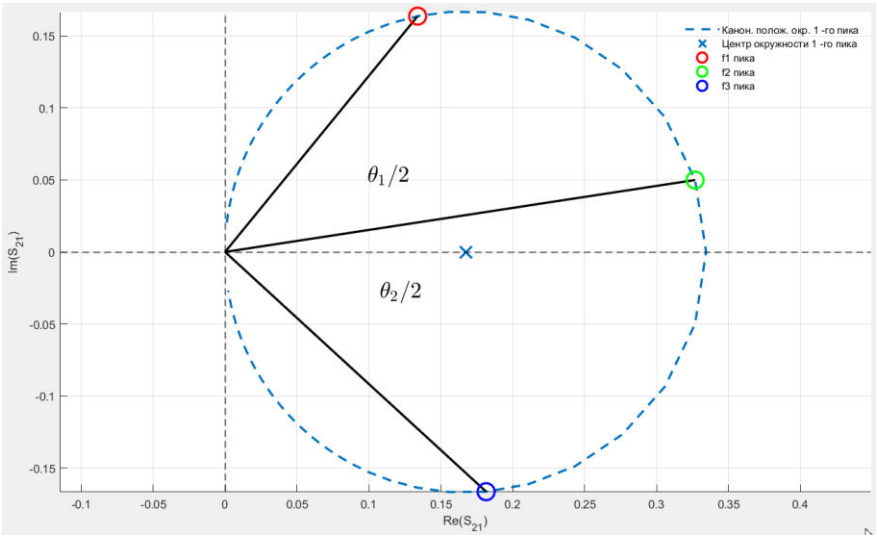


Рис. 5. Результат отображения комплексной частотной плоскости в комплексную плоскость S_{21} в виде окружности в каноническом положении с указанием положения соответствующих частотных точек

Данный алгоритм также требует расширения для учета наложения мод, что требует более сложных математических моделей и аппроксимаций. Наглядно проблему

демонстрирует рисунок 6, когда возникает проблема перекрытия окружностей в комплексной частотной плоскости для пиков №4 и №5.

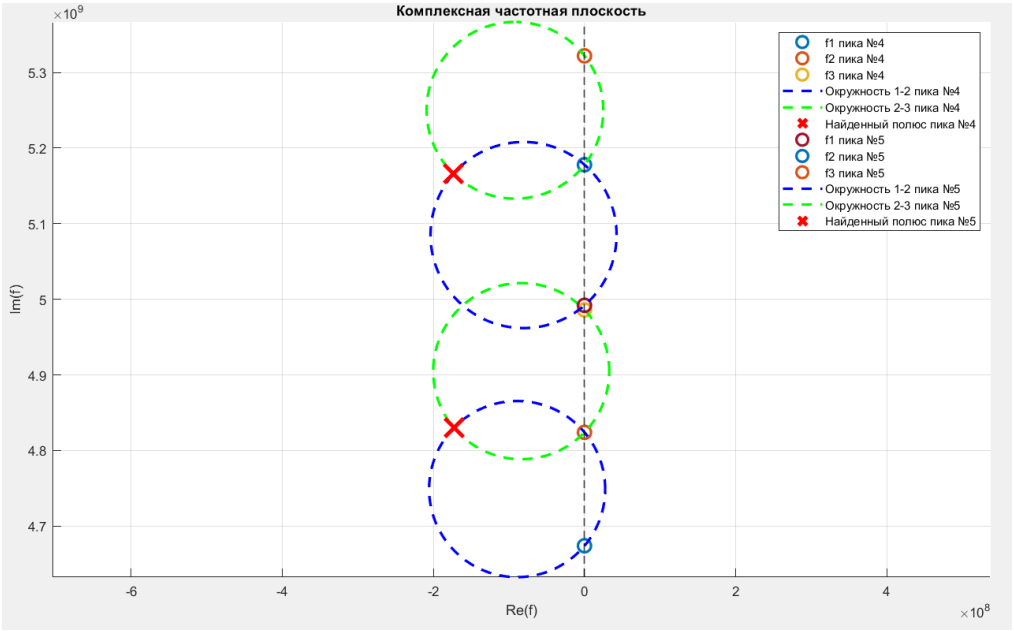


Рис. 6. График комплексного частотного пространства
для пика №4 (снизу) и пика №5 (сверху)

Значения f_0 и Q, полученные каждым методом используются для сравнения методов.

Определение диэлектрических характеристик материала

Задача определения диэлектрических характеристик материала формулируется как регрессионная задача. Обучающие данные представлены таблицей предикторов, включающей положение поршня ПКР, параметры материала и результаты электродинамического моделирования. Источником данных служат результаты электродинамического моделирования и экспериментальные измерения, полученные на измерительной установке с использованием калибровочных мер. Фрагмент таблицы данных приведен на рисунке 7.

	1 FileID	2 Lporsh	3 Eps	4 Tang	5 Hmat	6 Мода	7 Частота (ГГц)	8 Амплитуда_дБ	9 Ширина резонанса (ГГц)	10 Добротность
1	1	25	1	0	5	1	2.3868	-0.3098	0.1695	14.0798
2	1	25	1	0	5	2	5.0376	-0.0320	0.6068	8.3013
3	3	25	1	0.0050	5	1	2.3856	-0.4391	0.1724	13.8379
4	3	25	1	0.0050	5	2	5.0370	-0.0518	0.5991	8.4071
5	4	25	1	0.0100	5	1	2.3844	-0.5612	0.1744	13.6755
6	4	25	1	0.0100	5	2	5.0364	-0.0693	0.5966	8.4415
7	5	25	1	0.0500	5	1	2.3754	-1.5160	0.1943	12.2282
8	5	25	1	0.0500	5	2	5.0328	-0.2158	0.6132	8.2072
9	6	25	2	0	5	1	2.1786	-0.4458	0.1486	14.6571
10	6	25	2	0	5	2	4.9206	-0.0304	0.5668	8.6818
11	8	25	2	0.0050	5	1	2.1768	-0.6461	0.1517	14.3493
12	8	25	2	0.0050	5	2	4.9212	-0.0936	0.5757	8.5485
13	9	25	2	0.0100	5	1	2.1744	-0.8447	0.1549	14.0363
14	9	25	2	0.0100	5	2	4.9212	-0.1401	0.5806	8.4767
15	10	25	2	0.0500	5	1	2.1600	-2.3622	0.1824	11.8406
16	10	25	2	0.0500	5	2	4.9152	-0.5782	0.6144	7.9994
17	11	25	5	0	5	1	1.7838	-1.0021	0.1227	14.5387
18	11	25	5	0	5	2	4.3644	-0.0801	0.2813	15.5136
19	11	25	5	0	5	3	5.2848	-0.0868	0.3262	16.2029
20	13	25	5	0.0050	5	1	1.7808	-1.3290	0.1265	14.0770
21	13	25	5	0.0050	5	2	4.3608	-0.3916	0.2925	14.9112
22	13	25	5	0.0050	5	3	5.2836	-0.3070	0.3348	15.7817
23	14	25	5	0.0100	5	1	1.7778	-1.6353	0.1303	13.6402

Рис. 7. Фрагмент таблицы обучающих данных

По полученным данным осуществляется обучение предсказательной модели (ПМ). На данный момент для обучения ПМ используются исключительно данные электродинамического моделирования, а в качестве самой модели применяется гауссовский процесс с линейной базисной функцией. ПМ разделены на две группы: модели для прогнозирования диэлектрической проницаемости и модели для предсказания тангенса угла диэлектрических потерь образца. Каждая группа включает несколько моделей, каждая из которых отвечает за предсказание в определённом диапазоне измеряемого параметра. Кроме того, разделение моделей должно осуществляться с учётом используемой дисперсионной модели исследуемого материала, что на текущий момент ещё не реализовано. Валидация моделей проводится с помощью метода кросс-валидации. По завершении обучения валидационные характеристики отображаются в окне управляющего программного обеспечения. В качестве примера на рисунке 8 представлены результаты работы предсказательной модели для диапазона $\varepsilon' = 1–20$ при исследовании образца с $\varepsilon' = 10$ в среде электродинамического моделирования, не обладающего дисперсной моделью изменения его параметров.

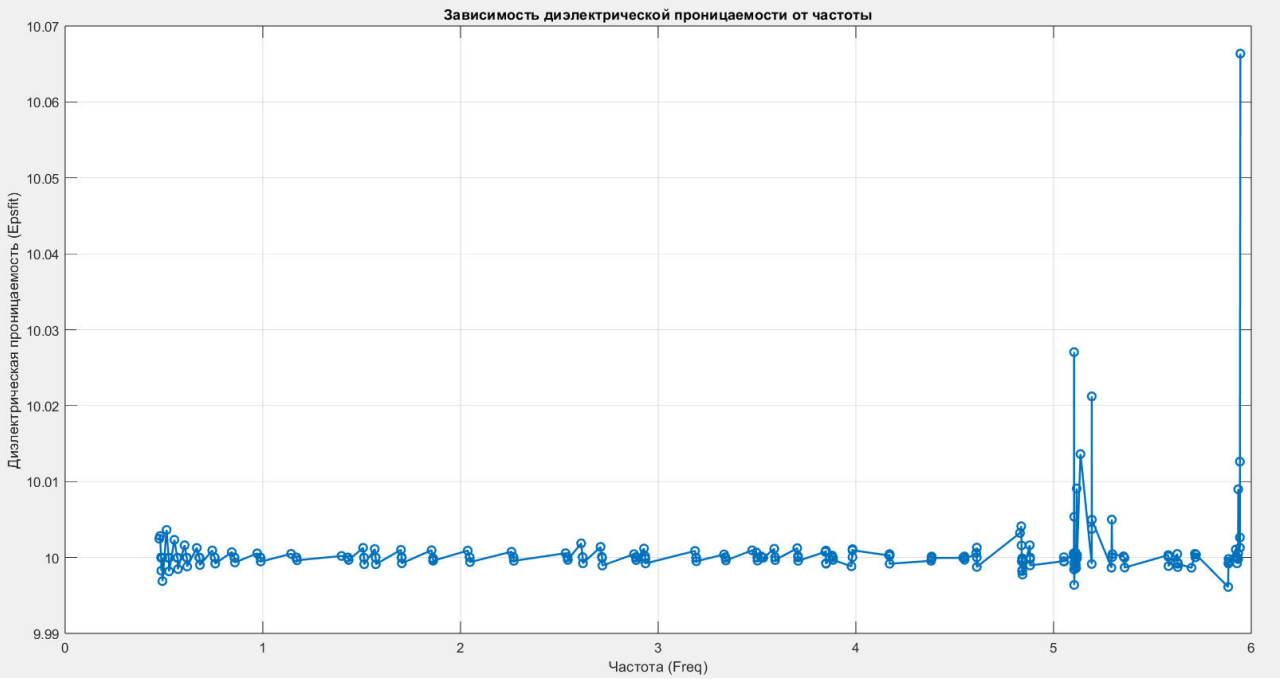


Рис. 8. График зависимости диэлектрической проницаемости исследуемого образца с $\varepsilon' = 10$ полученный при использовании обученной регрессионной модели для диапазона $\varepsilon' = 1 - 20$

Выводы

В работе исследован процесс определения диэлектрических характеристик материала по данным, полученным с помощью ПКР. Разработаны и реализованы в среде MATLAB методы определения резонансной частоты и добротности пиков на графиках коэффициента передачи от частоты, а также программные инструменты для количественной оценки диэлектрических свойств материала на основе обучаемых регрессионных моделей.

Текущие результаты показывают, что для многомодовых резонаторов требуется расширение методики с учётом наложения мод, что предполагает применение более сложных математических моделей и аппроксимаций. Особое внимание следует уделить вопросам объединения результатов электродинамического моделирования и данных, полученных с использованием калибровочных мер для создания общей таблицы обучающих данных, и созданию обучающих моделей, учитывающих дисперсионные изменения диэлектрических параметров материала.

Исследования проведены в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Насыбуллин А.Р.* Коаксиальный перестраиваемый резонатор для измерения комплексной диэлектрической проницаемости твердых материалов / А.Р. Насыбуллин, Е.О. Шулаев, Т.М. Ишкаев // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики (АНТЭ-2024): материалы IX Всероссийской научно-технической конференции, Казань, 03–04 октября 2024 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2024. – С. 357-358.

2. Коаксиальный перестраиваемый резонатор для измерения комплексной диэлектрической проницаемости твердых материалов / А.Р. Насыбуллин, Е.О. Шулаев, Р.В. Фархутдинов, М.Э. Вальяров // Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами: Сборник статей одиннадцатой Всероссийской научной школы-семинара, Саратов, 22 мая 2024 года. – Саратов: "Саратовский источник", 2024. – С. 363-366.

3. *Гусев А.В*. Калибровка СВЧ датчиков с применением аппроксимирующей функции / А.В. Гусев, Т.М. Ишкаев, А.Р. Насыбуллин // Нигматуллинские чтения - 2023: Сборник докладов Международной научной конференции, Казань, 09–12 октября 2023 года. – Казань: Академия наук Республики Татарстан, 2023. – С. 195-197.

4. *Feng Gao* Mode coupling in superconducting parallel plate resonator in a cavity with outer conductive enclosure / Feng Gao, M. V. Klein, J. Kruse and Milton Feng // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 1996. Т. 44. С. 944-952.

5. *Petersan Paul* Measurement of Resonant Frequency and Quality Factor of Microwave Resonators: Comparison of Methods / Petersan Paul and Anlage Steven // Journal of Applied Physics. 1998. Т 84.

RECEIVING VALUES OF THE DIELECTRIC PERMITTIVITY OF THE MATERIAL UNDER STUDY USING A RECONFIGURABLE COAXIAL RESONATOR

Shulaev E.O.

Supervisor: Nasibullin A.R., Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This work presents a set of actions to obtain data on the complex dielectric permittivity of a material, the properties of which are studied using a reconfigurable coaxial resonator. The objective of this work is to investigate the issues of measuring the resonance frequency and quality factor of the resonator in the case of multiple resonances, as well as to derive from this data the values of the dielectric permittivity of the material placed in this resonator.

УДК 623.618.7

ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ НАШЛЕМНЫЙ РЕГИСТРАТОР С РЕЧЕВЫМ ОПОВЕЩАТЕЛЕМ О ПРИБЛИЖЕНИИ БПЛА, В ТОМ ЧИСЛЕ БПЛА «КАМИКАДЗЕ»

Юсупов И.В.

Научный руководитель: Козин К.В., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Данная статья посвящена созданию нашлемного регистратора, который будет оповещать о приближении беспилотника в первую очередь для военной необходимости. Рассмотрены наиболее оптимальные технические характеристики, которые будут пригодны для будущего использования в реальном времени.

Современные боевые действия характеризуются применением беспилотников, представляющие серьезную угрозу для личного состава, где скорость обнаружения и

оповещения критически важна. Актуальной задачей является разработка нашлемного регистратора с оповещателем о приближении беспилотника, способного автономно обнаруживать угрозу и оперативно информировать бойца через звуковые и голосовые сигналы.

Беспилотный летательный аппарат или БПЛА возможно обнаружить различными средствами радиолокаций, так как станция, которая обменивается данными с беспилотником и БПЛА обмениваются данными, как при критических ситуации, так и при обычной разведки и это является настолько важным, что при ошибке обмена данными между наземной станцией и БПЛА происходят такие действия как: потеря связи между элементами БПЛА или прерывание полетного задания. Основной технической характеристикой, которой соответствуют современные регистраторы является расширенная функциональность за счет объединения параметрических функций, функций регистрации речи и решения задач расчета технических ограничений полета в одной системе.

Кроме мощности устройства детекции БПЛА, который влияет на дальность обнаружения беспилотника, существуют такие факторы для опознавания БПЛА, которые необходимо учитывать: открытость рельефа в месте установки; уровня помех в районе мониторинга; степени усиления сигнала, направленности антенны; типа протокола передачи данных, используемого беспилотным воздушным судном; расстояние между БПЛА и станцией управления [1].

Для акустического обнаружения существуют несколько признаков, которые позволят определить, что данный объект, является БПЛА: звуковые колебания двигателей; вращение лопастей пропеллеров, зависящее от скорости полета БПЛА; турбулентные завихрения; механические компоненты создают колебания, позволяющее определить тип и класс БПЛА; аэродинамические процессы, которое создает вокруг БПЛА акустическое поле.

Практическое применение акустических детекторов подтверждает их высокую эффективность в системах безопасности [2].

Минимальная эффективная дальность обнаружения видеосигналов БПЛА составляет 400 метров. Высота установки приемных антенн системы обнаружения и высота полета беспилотника обычно не оказывают влияния.

Эффективная дальность обнаружения видеопередачи БПЛА может снижаться в следующих случаях:

— работа в диапазоне частот 5.8 ГГц;

— чувствительность приемника ниже -110 дБм;

— эксплуатация в условиях городской застройки или сложной радиоэлектронной борьбы РЭБ;

— низковысотные полеты БПЛА.

При этом, дальность обнаружения видеопередачи БПЛА возрастает при: переходе на низкочастотные диапазоны (ниже 2.4 ГГц) и при использовании передатчиков с повышенной мощностью (до 100 мВт).

Благодаря фиксированной частоте передачи видеоданных, сигналы БПЛА могут быть обнаружены даже базовыми средствами радиоконтроля, поддерживающими отображение обычных спектрограмм. Пример таких спектрограмм указан на рисунке 1 [12].

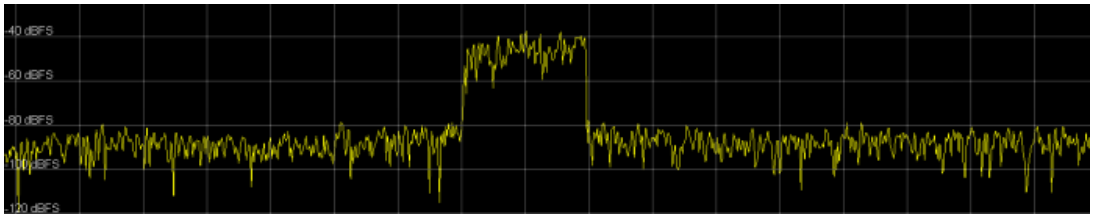


Рисунок 1. Спектрограмма канала передачи видеоданных

Задача обнаружения и классификации БПЛА сопряжена с многочисленными

серьёзными трудностями. Некоторые из этих трудностей включают:

1) широкий диапазон характеристик;
2) сложности идентификации из-за особенностей полета;
3) разнообразие эксплуатационных характеристик БПЛА;
4) влияние внешних факторов на детектирование БПЛА;
5) проблема энергообеспечения БПЛА [4].

Преобразователь сигналов гарантирует параллельное увеличение соотношения сигнал/помеха, восприимчивости и стойкости к механическим воздействиям звукового сенсора скорости частиц в диапазоне аудиочастот. За счет исключения движущихся сенсорных компонентов устройство также имеет увеличенный рабочий диапазон.

Технической целью данной разработки служит совмещенное уменьшение вероятности пропуска объектов и сокращение частоты ошибочных срабатываний при круглосуточном выявлении компактных БПЛА, выполняющих полеты на небольших высотах с малой скоростью [5].

Для реализации данной технической задачи предложен метод выявления малогабаритных дронов, при котором улавливаются электромагнитные колебания, отражённые от беспилотного летательного аппарата, идентифицирующие радиолокационные признаки дрона, и регистрируются звуковые волны, генерируемые винтами беспилотного летательного аппарата, определяющие акустические характеристики дрона.

Основными компонентами для нашлемного регистратора обнаружения БПЛА можно будет считать: микроконтроллер, в задачи которого будут входить: обработка сигналов с датчиков, управление индикацией и оповещением [32]; датчики обнаружения БПЛА, состоящие из радиочастотного модуля для детектирования сигналов управления БПЛА (2,4 ГГц, 5,8 ГГц) и акустического датчика для улавливания звуковых сигналов БПЛА; модуль памяти для записи времени и параметров обнаружения; аудиовыход для речевого оповещения.

Система голосового оповещения содержит следующие компоненты: модули голосового оповещения; расширительные модули, голосовые; извещатели; вспомогательные приборы (программирующее устройство).

Устройство должно обладать миниатюрным корпусом для обеспечения защиты от воздействия жидкости (мелкие брызги) и загрязнений, а также вынесенными наружу антенными элементами. В частности, сенсор выявления дронов применяет пространственную антенную систему, спектральный анализатор с мгновенной обработкой и специализированное расширение для ПО. Комбинация перечисленных компонентов дает возможность осуществлять мониторинг и производить фиксацию данных круглосуточно благодаря непрерывной передаче информации. Данная разработка сокращает существенные временные затраты на проведение замеров и сочетает в себе компактность с адаптивностью [4]. Вариант исполнения данного устройства показан на рисунке 2 [6].

Рисунок 2. Вариант исполнения нашлемного регистратора с речевым оповещением о приближении БПЛА

Общие технические характеристики, должны быть следующими: рабочая температура: -60 ºС – 55 ºС; рабочая влажность: 90% или менее; питание: 24 В/Пост, 120 Вт; защита от удара с высоты до 2,2 м;

Нашлемный регистратор с оповещателем о приближении БПЛА, должен состоять и таких элементов как: радиомодуль в экранированном отсеке, необходимый для минимизации помех и акустический датчик, где будет находится из микрофона с ветрозащитой для снижения шума.

Процедура обработки включает две последовательные фазы: выявление объекта и мониторинг объекта. Система идентификации генерирует потенциальные точки-мишени, соответствующие предполагаемым объектам, посредством выявления зон с локальной динамикой и визуальными характеристиками, соответствующими летающим беспилотникам.

Следует принимать во внимание применение в проектируемой системе следующих характеристик:

— круговой охват 360° в горизонтальной плоскости и 180° в вертикальной плоскости, одновременное функционирование в визуальном, акустическом и радиолокационном спектрах электромагнитного излучения;

— способность установки на подвижные платформы и формирования достоверного трехмерного объемного представления;

— пространственная визуализация дрона;

— прогнозирование траектории полета БПЛА для точного наведения [7].

Современные радиолокационные станции применяют два принципиально различающихся метода выявления беспилотников: активное либо пассивное радиолокационное наблюдение. Оба подхода обладают уникальными достоинствами и сферами использования. При определении оптимальной методики следует принимать во внимание особенности охраняемого объекта и специфику возможных опасностей. Активные радиолокационные системы гарантируют повышенную точность определения характеристик объектов, однако раскрывают свою позицию. Пассивные системы функционируют скрытно, но нуждаются в усложнённых алгоритмах анализа радиосигналов [8].

Оптимально устройство обладает четырьмя функциональными состояниями:

1) исходное состояние – звуковое сопровождение отключено, аудиооповещения не производятся, режим энергосбережения;

2) пониженная восприимчивость – прибор слабо улавливает радиотрансляции, энергосберегающий режим;

3) повышенная восприимчивость – устройство фиксирует излучения в частотных диапазонах 2,4-2,52 ГГц и 5,7-5,9 ГГц;

4) адаптивное состояние – детектор изменяет частотные характеристики и интенсивность генерируемого звукового предупреждения при выявлении беспилотника [9].

Формируемый передатчиком радиолокационной установки с постоянным излучением и испускаемый на протяжении заданного интервала зондирования Т сигнал характеризуется уравнением:

$$S_{\text{ПуД}}(t) = A_0 \cos\left[2\pi \cdot f_0 \cdot t + \left(\frac{b}{2}\right) t^2 + \Psi_0\right], \quad (1)$$

где A_0– амплитуда зондирующего сигнала;

f_0 – начальная частота;

Ψ_0 – начальная фаза;

b – скорость изменения частоты, который вычисляется по формуле [46]:

$$b = \frac{2 \cdot \pi \cdot \Delta f_c}{T}, \quad (2)$$

где Δf_c – ширина спектра сигнала.

Главным преимуществом зондирующих импульсов с линейно-частотной модуляцией считается легкость их генерации и обработки, при этом спектральная полоса способна достигать сотен мегагерц и даже нескольких гигагерц, а после обработки - остается в пределах

десятков мегагерц. На практике нашли применение сигналы с симметричной и несимметричной ЛЧМ-модуляцией, характеризуемые периодом модуляции $T_{\text{м}}$, начальной частотой f_0 и шириной спектра (девиацией) Δf_c.

При использовании сигналов с ЛЧМ-модуляцией дальность до цели связана с разностной частотой $f_{\text{р}}$ её эхосигнала соотношением:

$$R_{\text{Ц}} = \frac{c \cdot \tau_{\text{з}}}{2}, \quad (3)$$

где $\tau_{\text{з}}$ – время задержки эхосигнала.

Период повторения $T_{\text{п}}$ определяется из условия обеспечения однозначности измерения доплеровских частот в пределах зоны обзора:

$$\text{Т}_{\text{п}} = \text{Т}_{\text{м}} + \text{Т}_{\text{пп}} = \frac{1}{2f_{Д_{max}}} = \frac{\lambda}{4 \cdot V_{R_{max}}} = \frac{\lambda}{4 \cdot V_{\text{н}} \sin(0{,}5 \cdot \Theta_{\text{АЗ}} + \varphi_{\text{ДН}})}, \quad (4)$$

где $\text{Т}_{\text{пп}}$– время переходных процессов;

$f_{Д_{max}}$ – максимальный доплеровский сдвиг эхосигнала отражателя с угловым смещением, равным половине ширины диаграммы направленности антенны (ДНА) по азимуту $\Theta_{\text{АЗ}}$;

$V_{R_{max}}$ – максимальная радиальная скорость;

$V_{\text{н}}$– скорость полета носителя;

$\varphi_{\text{ДН}}$ – азимутальное смещение оси ДНА относительно перпендикуляра к вектору скорости носителя [7].

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была достигнута поставленная цель - разработана концепция индивидуального нашлемного регистратора с речевым оповещателем для обнаружения приближения БПЛА, включая ударные БПЛА типа «камикадзе». Основное преимущество разработанного решения заключается в компактности и возможности интеграции в стандартную экипировку и в автономности работы. Практическая значимость работы заключалась в возможности внедрения разработанных решений для повышения защищенности военнослужащих от угрозы со стороны БПЛА. Реализация проекта позволит существенно снизить потери личного состава от атак беспилотных средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Aeroscope, обнаружение и контроль за действиями беспилотников DJI: сайт - URL: https://habr.com/ru/articles/657997/ (дата обращения: 12.06.2025). Текст: электронный.

2. Акустическое обнаружение БПЛА / [Электронный ресурс] // [сайт]. — URL: https://www.rub-in.ru/news/akusticheskoe-obnaruzhenie-bpla/?ysclid=mbax6sbdef299516994 (дата обращения: 13.06.2025).

3. Специфика обнаружения сигналов летательного аппарата / [Электронный ресурс] // [сайт]. — URL: http://specintek.ru/media/uav/uav_videolink/?ysclid=mbb2bjm3lo448816583 (дата обращения: 14.06.2025).

4. Advances and Challenges in Drone Detection and Classification Techniques: A State-of-the-Art Review / U. Seidaliyeva, L. Ilipbayeva, K. Taissariyeva [et al.] // Sensors. – 2024. – Vol. 24, No. 1. – P. 125.

5. Патент № 2697518 C1 Российская Федерация, МПК G01F 1/688, G01F 1/684, G01H 3/12. Измерительный преобразователь акустической скорости частиц: № 2018142667: заявл. 03.12.2018: опубл. 15.08.2019 / П.Ю. Деркачев, А.А. Косогор, Ю.И. Тихов; заявитель Федеральное государственное унитарное предприятие «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи» (ФГУП «РНИИРС»).

6. «Антенна на голове». Ростовское КБ разработало портативный акустический обнаружитель БПЛА / [Электронный ресурс] // Деловая газета. Юг: [сайт]. — URL: https://www.dg-yug.ru/news/20135510.html (дата обращения: 14.06.2025).

7. Алгоритм распознавания летающих объектов в оптическом видеопотоке в условиях динамически изменяющегося фона / Н. А. Гришин, А. Ф. Баззаев, М. А. Кудров [и др.] // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». – 2022. – № 3. – С. 92-106.

8. Радиолокационные системы (РЛС) для обнаружения БПЛА / [Электронный ресурс] // [сайт]. — URL: https://www.rub-in.ru/news/rol-rls-v-obnaruzhenii-bpla/ (дата обращения: 14.06.2025).
9. Патент на полезную модель № 224577 U1 Российская Федерация, МПК G01R 23/00. детектор беспилотных летательных аппаратов: № 2024103046: заявл. 07.02.2024: опубл. 28.03.2024 / Е.Н. Грушичев, Д.Ю. Садовник, В.А. Марценюк; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «ТРЕЙД-ИСТ».

INDIVIDUAL HELMET-MOUNTED RECORDER WITH VOICE ALERT FOR APPROACHING UAVS, INCLUDING «KAMIKAZE» UAVS

Yusupov I.V.
Supervisor: Kozin K.V., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article is devoted to the creation of a helmet-mounted recorder that will notify of the approach of a drone primarily for military necessity. The most optimal technical characteristics that will be suitable for future use in real time are considered.

УДК 544.536.2

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОЙ ДЕМЕТАЛЛИЗАЦИИ ТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК НА КЕРАМИЧЕСКИХ ПОДЛОЖКАХ СТ32-1

Ягудина Э.Р., Голованов М.С., Соколов В.С.
Научный руководитель: Ишкаев Т.М., доцент, к. т. н
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе исследуются этапы селективной лазерной деметаллизации тонких металлических покрытий, нанесённых на кремнеземные подложки СТ32-1. Целью исследования стало определение оптимальных параметров лазерной обработки, обеспечивающих полное удаление проводящего слоя без повреждения подложки. Применялся ультрафиолетовый лазер JPT Seal с настройкой ключевых параметров: мощности, частоты, скорости и диаметра пятна. Представлены результаты экспериментальных серий с оценкой влияния каждого параметра на качество обработки. Установлена зависимость между режимами лазера и характером дефектов (мусор, филаменты, утолщения краёв), определены рабочие диапазоны настроек, обеспечивающие чистую, точную и воспроизводимую деметаллизацию. Работа служит основой для дальнейшей интеграции лазерной обработки в технологический цикл создания тонкоплёночных интегральных схем [1].

С развитием технологий тонкоплёночной электроники возрастают требования к точности и селективности процессов удаления проводящих слоёв с подложек. Одним из наиболее перспективных методов является лазерная деметаллизация, позволяющая выборочно удалять металл без использования химических реагентов. Однако эффективность лазерной обработки напрямую зависит от правильно подобранных параметров экспозиции, таких как мощность, длительность импульса, частота и скорость сканирования. Особенно это актуально при работе с хрупкими керамическими подложками, где важно избежать перегрева и механических повреждений [2].

Настоящая работа направлена на разработку и экспериментальное обоснование оптимальной методики лазерной деметаллизации металлических покрытий (Cr, Cu, Ti), нанесённых на керамические подложки СТ32-1, с использованием ультрафиолетового импульсного лазера. Полученные результаты важны для дальнейшего внедрения данной технологии при создании прототипов тонкоплёночных интегральных схем [3].

Деметаллизация проводилась с использованием лазерного маркера Expert UV JPT Seal – 355 – 3/5/10 Вт, являющийся ультрафиолетовым излучателем с возможностью регулировки импульса от 30 до 150 кГц [1].

Перед началом процесса деметаллизации подложка с заранее нанесенным тонким слоем металла надежно устанавливается на рабочей платформе, поверхность проверяется на чистоту и отсутствие посторонних частиц способных повлиять на качество обработки, рассчитывалось и устанавливалось фокусное расстояние работы лазера.

В программной среде EzCad создается шаблон будущего рисунка с учетом требуемой геометрии исследования, для оценки влияния параметров при создании каждого элемента шаблона задаются разные параметры функционирования лазера, такие как мощность излучения, скорость сканирования, частота следования импульсов, диаметр пятна и направление прохода лазерного луча.

Перед включением лазера оценивается положение подложки относительно размещению шаблона с помощью функции «Red light preview» проекции контура шаблона. Перед запуском лазера надеваются специальные защитные очки, а также опускается защитное стекло для обеспечения безопасности эксперимента.

После проверки всех параметров осуществляется запуск программы лазерной обработки, в процессе обязательно контролируется стабильность излучения, отсутствие сбоев, а также реакция металла на перегрев, в случае каких-либо отклонений процесс принудительно останавливается. По завершении лазерной экспозиции проводится визуальный и инструментальный контроль полученной топологии, оценивается точность, полнота удаления металлического слоя и соответствие технологическим требованиям, при необходимости процедура повторяется [4].

В данной работе описываются и анализируются результаты 4-х экспериментов, в каждом из которых изменялось от 5-ти разных параметров настроек лазера, по оценкам полученных результатов делались выводы о влиянии параметров настройки на результат деметаллизации, а также разрешающую способность лазера. Эксперимент носил оценивающий характер.

В первом эксперименте на подложку наносились 5 квадратов размером 5×5 мм, с изменяющимся расстоянием между ними от 400 до 100 мкм, что дало фактические зазоры между квадратами 355,58 мкм, 251,66 мкм, 142,91 мкм и 42,98 мкм и мощностью от 20 % до 100 %. Результаты эксперимента представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1

Результаты первого эксперимента

№	Мощность, %	Мусор / недоудаленные частицы	Филаменты	Утолщение краев	Шероховатость средняя, мкм
1	20	Да, сильно выражено	Нет	Да, сильно выражено	5,94
2	40	Да, уменьшилось	Да	Да, сильно выражено	6,81
3	60	Почти нет	Нет	Да, уменьшилось	3,9
4	80	Почти нет	Да	Да	5,33
5	100	Нет	Да	Да	3,09

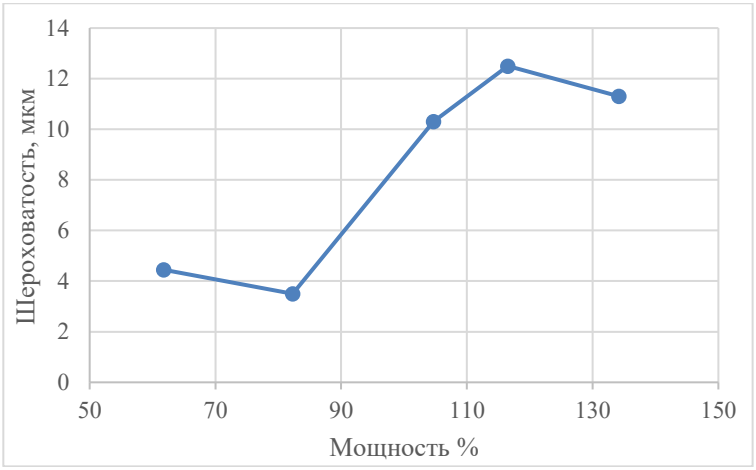


Рисунок 1. Графическое представление полученных данных первого эксперимента [3]

Исходя из данных, представленных в таблице 1, можно сделать вывод что при низких мощностях, ниже 40% лазер не доходит до полного удаления металла, появляются филаменты (остатками проводящего материала, возникающие из-за слабого импульса или высокой скорости перемещения сканирующей головки), мусор и сильно размываются края. В диапазоне $60\% - 80\%$ мощности достигаются оптимальные параметры деметаллизации: мусора практически нет, утолщение краев минимально и «зубья» относительно малы. При мощности в 100% металл удаляется полностью, но из-за резкого перегрева по краям формируются филаменты и возникают утолщения и неровности. Оптическая оценка сформированных конструкций на подложке проводилась с применением оптического микроскопа Leika представлены на рисунке 2.

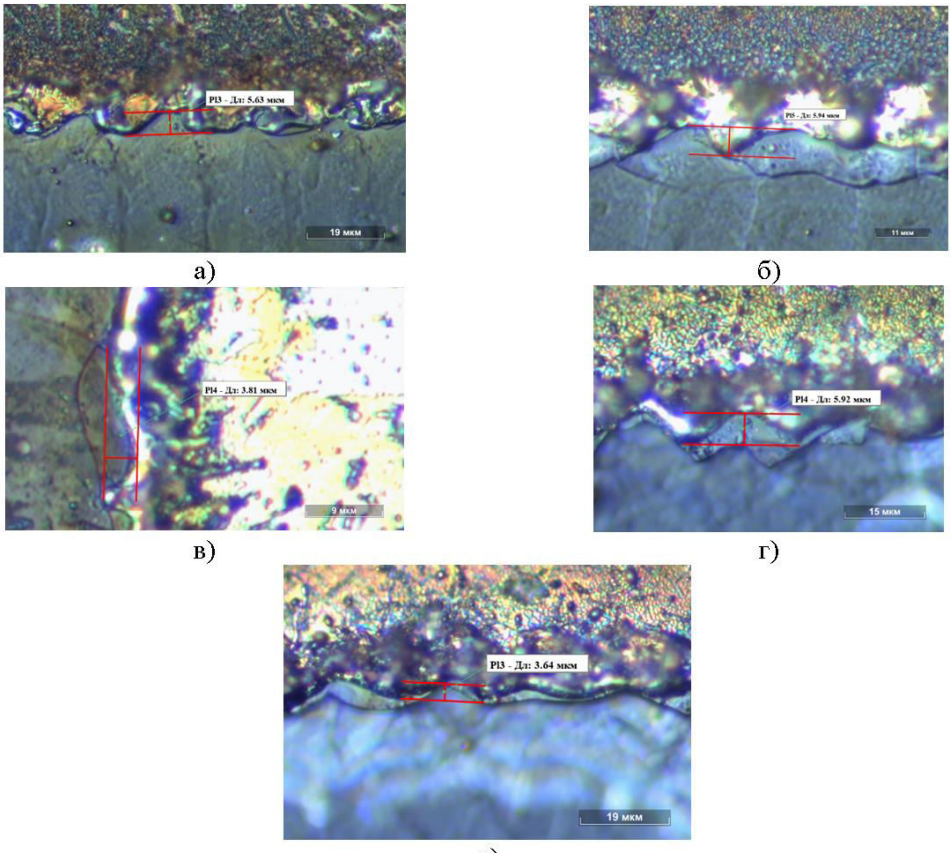


Рисунок 2. Первый эксперимент. Лазерная деметаллизация с вариацией зазоров между фигурами и мощности источника: а) – первого, б) – второго, в) – третьего, г) – четвертого, д) – пятого [3]

Во втором эксперименте на подложку наносились 5 квадратов размером 5 × 5 мм, с изменяющимся расстоянием между ними от 0,08 мм до 0,02 мм, что дало фактические зазоры между квадратами 47,17 мкм, 37 мкм, 12,87 мкм и 7,38 мкм и мощностью от 1 % до 20 % с шагом в 5%. Результаты эксперимента представлены в таблице 2 и на рисунке 3.

Таблица 2

Результаты второго эксперимента

№	Мощность, %	Мусор / недоудаленные частицы	Филаменты	Утолщение краев	Шероховатость средняя, мкм
1	1	Почти нет	Нет	Да, сильно выражено	2,45
2	5	Да, уменьшилось	Да	Да, сильно выражено	10,01
3	10	Да, сильно выражено	Нет	Да, сильно выражено	9,05
4	15	Почти нет	Нет	Да, уменьшилось	6,17
5	20	Нет	Да	Да, сильно выражено	6,05

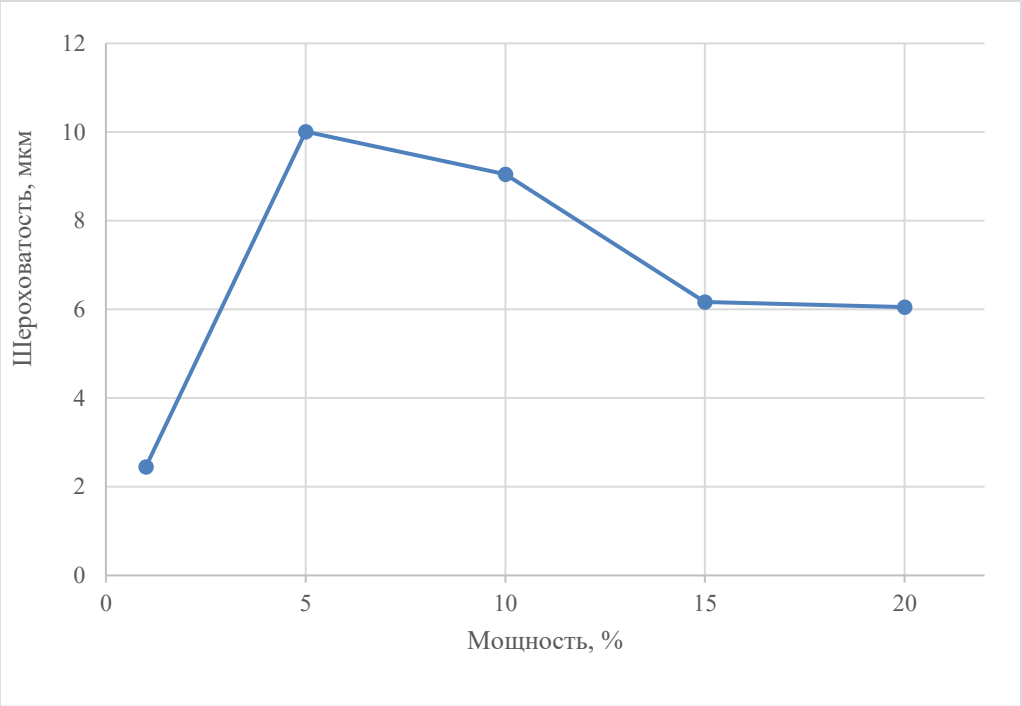


Рисунок 3. Графическое представление полученных данных второго эксперимента [3]

Анализируя данные из таблицы 2, можно сделать вывод что, при небольшой мощности, ниже 10% лазер не прожигает, а плавит металл, конденсируется в виде осадков и скапливается в углах квадратов в больших количествах (рисунок 4, *е*). повышение мощности до 15%-20% позволяет практически полностью избавиться от мусора, но появляются филаменты из-за локального перегрева, соотнося полученные данные с первым экспериментом делаем вывод что оптимальную мощность стоит рассчитывать в пределах 60%. Уменьшение зазора требует более точной фокусировки, при 20 мкм разрыв между квадратами слишком мал, чтобы тепло распределилось равномерно, в следствии этого срезается лишний металл и расстояние уменьшается до 7,38 мкм. Результаты, снятые с помощью микроскопа Leika представлены на рисунке 4.

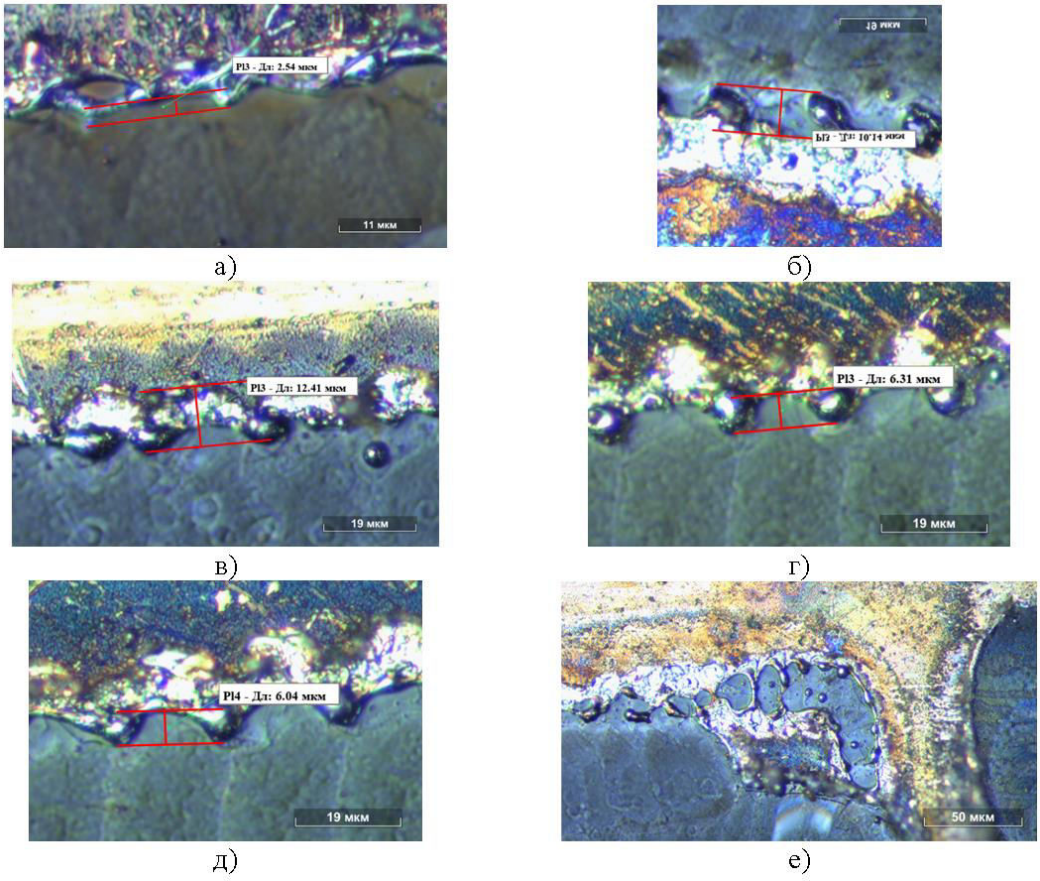


Рисунок 4. Второй эксперимент. Лазерная деметаллизация
с вариаций зазоров между фигурами и мощностью источника
в нижней области динамического диапазона установки: а) – первого, б) – второго,
в) – третьего, г) – четвертого, д) – пятого, е) качество отчистки подложки [3]

В третьем эксперименте мощность и расстояние между квадратами не менялось, проводилось исследование влияния расстояния между линиями траектории лазерного луча от $0{,}1 \cdot 10^{-5}$ до $0{,}1 \cdot 10^{-9}$, однако эксперимент пришлось принудительно остановить из-за сильного перегрева подложки. По результатам получилось деметаллизировать только один квадрат, визуально подложка стала выглядеть чище чем раньше (рисунок 5), однако из-за перегрева нужно проводить эксперимент с перерывами, для остывания подложки.

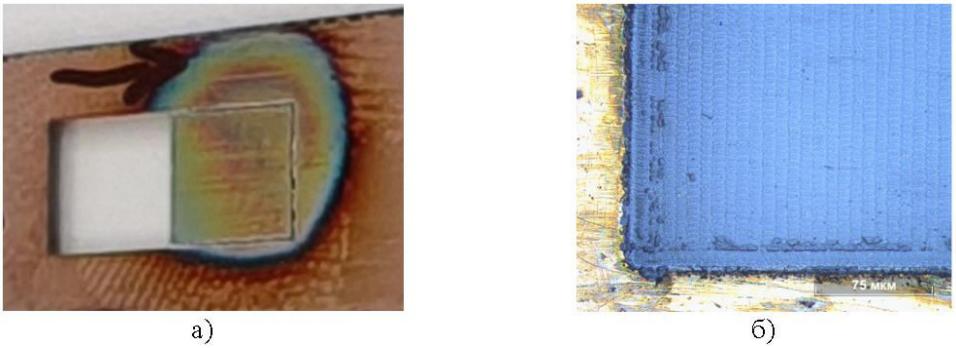


Рисунок 5. Деметаллизация третьего эксперимента: а) – вид на подложке,
б) вид под микроскопом [3]

В четвертом эксперименте на подложку наносились 6 прямых линий каждая разной ширины от 20 мкм до 120 мкм, что дало фактические размеры линий 61,8 мкм, 82,3 мкм, 104,7 мкм, 116,5 мкм, 134,2 мкм и 203 мкм и постоянной мощностью 40 %. Результаты

эксперимента представлены в таблице 3 и на рисунке 6. Результаты, снятые с помощью микроскопа Leika представлены на рисунке 7.

Таблица 3

Результаты четвертого эксперимента

№	Толщина линий, мкм	Мусор / недоудаленные частицы	Филаменты	Утолщение краев	Шероховатость средняя, мкм
1	61,78	Почти нет	Да, сильно выражено	Да, сильно выражено	4,45
2	82,28	Почти нет	Почти нет	Да, сильно выражено	3,5
3	104,69	Почти нет	Да	Почти нет	10,3
4	116,5	Почти нет	Да	Да, уменьшилось	12,5
5	134,15	Да	Да	Почти нет	11,3
6	203	Да, сильно выражено	Да, сильно выражено	Да, сильно выражено	19,3

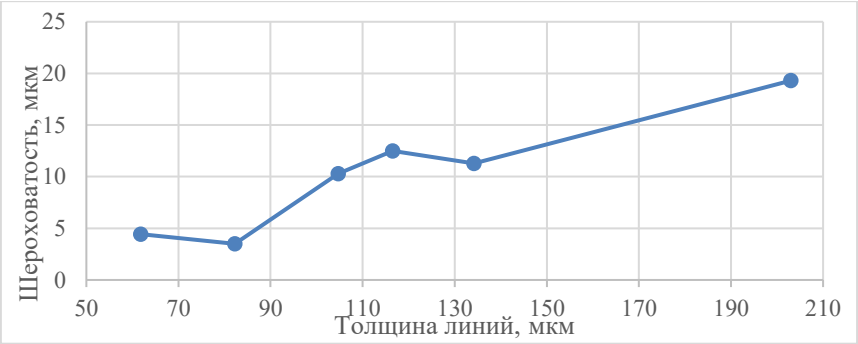


Рисунок 6. Графическое представление полученных данных четвертого эксперимента

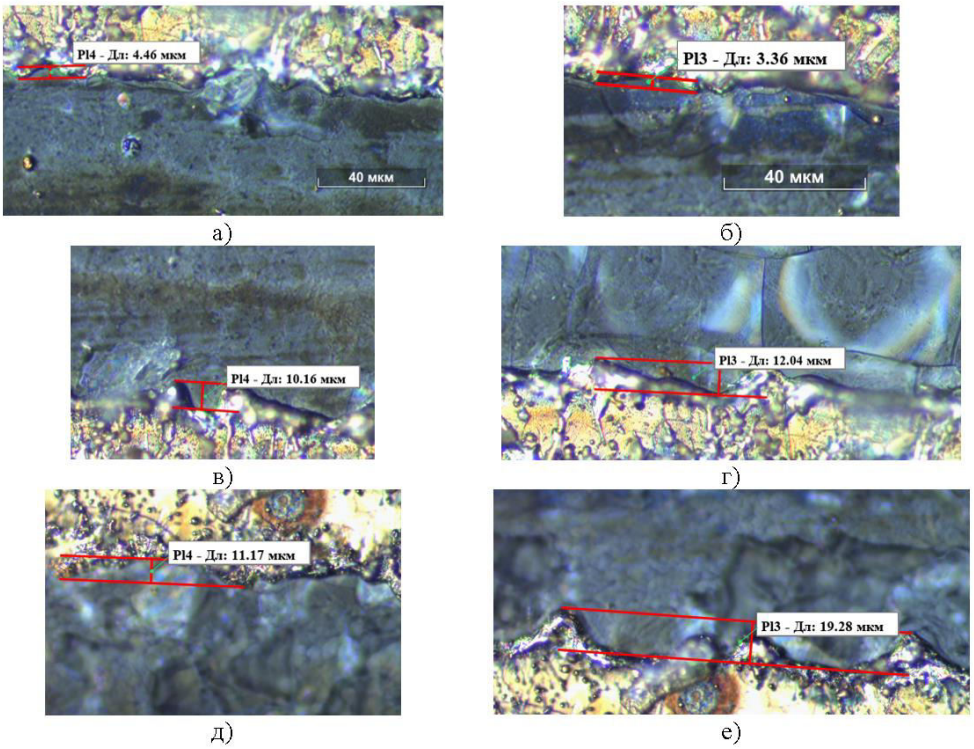


Рисунок 7. Четвертый эксперимент. Лазерная деметаллизация с вариацией ширины конструкции с неизменной мощностью: а) – первого, б) – второго, в) – третьего, г) – четвертого, д) – пятого, е) шестого [3]

По результатам эксперимента представленных в таблице 3 видно, что оптимальное соотношение параметров наблюдалось у второй линии, отсутствие мусора и филаментов, а также минимальный размер «зубьев» указывает на наиболее стабильный режим абляции при данной ширине линии. Однако отразить заданные размеры линий не получилось, ширина каждой линии увеличена в $2-3$ раза.

В ходе исследования были определены оптимальные параметры лазерной деметаллизации тонких металлических покрытий на керамических подложках СТ32-1, обеспечивающие минимальные дефекты (мусор, филаменты, утолщения краёв) при мощности 60–80% и скорости сканирования 500 мм/с. Эксперименты показали, что низкая мощность приводит к неполному удалению металла и образованию филаментов, а чрезмерный нагрев подложки требует регулирования режимов работы. Наиболее точная абляция достигнута при ширине линий 82,28 мкм, однако точное соответствие заданным размерам остаётся проблемой. Полученные данные подтверждают перспективность лазерной деметаллизации для создания тонкоплёночных интегральных схем, но требуют дальнейшей оптимизации теплоотвода и фокусировки.

Исследования проведены в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Надежные лазерные маркеры по металлу: сайт. – URL: https://xn----8sbncjoj3akfcp1l.xn--p1ai/ (дата обращения 25.05.2025). – Текст: электронный.

2. *Крючатов В.И.* Проектирование тонкопленочных интегральных схем с повышенной надежностью // –1–е изд. – Казань: НИЦ ИНФРА–М, – 2025. – 184 с.

3. *Ягудина Э.Р.* Исследование технологии лазерной деметаллизации в производстве прототипов плёночных интегральных схем// Выпускная квалификационная работа, КНИТУ-КАИ, Казань, 2025 – 77 с.

4. Программа EzCad Руководство пользователя: Инструкция к программному обеспечению EzCad – 2025. – 142 с.

OPTIMISATION OF PARAMETERS OF LASER DEMETALLISATION OF THIN METAL FILMS ON CERAMIC SUBSTRATES ST32-1

Yagudina E.R., Golovanov M.S., Sokolov V.S.

Supervisor: Ishkaev T.M., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)*)

Abstract. The paper investigates the stages of selective laser demetallization of thin metal coatings deposited on silica substrates ST32-1. The purpose of the study was to determine the optimal parameters of laser processing, providing complete removal of the conductive layer without damaging the substrate. UV laser JPT Seal with tuning of key parameters: power, frequency, speed and spot diameter was used. The results of the experimental series are presented, evaluating the influence of each parameter on the processing quality. The dependence between laser modes and the nature of defects (debris, filaments, edge thickenings) is established, and the operating ranges of settings providing clean, accurate and reproducible demetallization are determined. The work serves as a basis for further integration of laser processing into the technological cycle of thin-film integrated circuits [1].

УДК 621.793.1

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК СТ32-1 И ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКИХ ПЛЁНОК В МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ ВАКУУМНОЙ УСТАНОВКЕ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ УРМ3.279.011–М4

Ягудина Э.Р., Голованов М.С., Соколов В.С.

Научный руководитель: Ишкаев Т.М., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе исследована технология подготовки керамических подложек СТ32-1 и осаждения тонких металлических покрытий (Cr, Cu, Ti) для изготовления прототипов тонкоплёночных интегральных схем. Разработана двухэтапная процедура очистки подложек: ультразвуковая обработка с моющим средством и последующая химическая очистка хромовой смесью и перекисно-аммиачным раствором. Напыление осуществлялось методом магнетронного распыления в модернизированной вакуумной установке УРМ3.279.011–М4. Разработанная методика создания покрытий служит основой для дальнейшей селективной лазерной обработки [1].

Тонкой плёнкой называют слой вещества толщиной не более 1 мкм, нанесённый на поверхность подложки. Несмотря на малую толщину, такие покрытия играют важную роль в современной электронике. Их свойства могут существенно отличаться от свойств объемного материала из-за условий осаждения и взаимодействия с подложкой. Надёжность тонкоплёночных интегральных схем напрямую связана с оптимизацией технологических параметров при формировании резистивных и проводящих слоёв [2].

Качество напыления тонкопленочных металлических покрытий зависит от состояния поверхности подложки, в связи с этим особое значение имеет правильная подготовка и очистка, которая осуществлялась по двухэтапной системе [3].

Для формирования контактов и межсоединений в тонкоплёночной электронике широко применяются вакуумные методы осаждения металлических плёнок, обеспечивающие высокую точность и равномерность покрытия. В этой работе в качестве подложки использовался кремнеземный ситалл СТ32-1. Он характеризуется умеренной диэлектрической проницаемостью на СВЧ-частотах и низким тангенсом угла диэлектрических потерь (около 0,0005), а также высокой механической прочностью и низким коэффициентом теплового расширения. Эти свойства гарантируют сохранение геометрии тонких металлических дорожек и эффективный отвод тепла при плотном монтаже компонентов [4].

Основной целью исследования было создание технологии нанесения тонких металлических покрытий на подготовленные подложки с минимальными дефектами. Для этого была разработана методика очистки и напыления, проверенная на материалах СТ32-1 и металлах Cr, Cu, Ti.

Ситалловая подложка СТ32-1 предназначена для изготовления толсто– и тонкопленочных интегральных схем, в том числе работающих в СВЧ–диапазоне. Выбор пал на нее из-за ее умеренной диэлектрической проницаемости $\varepsilon \approx 9{,}7 - 10$ на частоте 10 ГГц и низкими коэффициентом тангенса угла диэлектрических потерь 0,0005. При этом подложка имеет высокую механическую прочность, $\sim$100 МПа на сгибе и невысокий коэффициент теплового расширения, благодаря чему на подобном материале тонкие металлические дорожки сохраняют заданные геометрические размеры и надежно отводят тепло при плотном монтаже компонентов [5,6].

Качество напыления тонкопленочных металлических покрытий зависит от состояния поверхности подложки, в связи с этим особое значение имеет правильная подготовка и очистка, которая осуществлялась по двухэтапной системе [2].

Первый этап заключается в механическом удалении крупных загрязнений с помощью ультразвуковой ванны, при частоте 40 кГц и температуре $35°C$. Подложки опускаются в

раствор слабо концентрированного моющего средства на 50 минут с последующем перемещением в ванночку с дистиллированной водой на 10 минут, по окончании промывки подложки сушатся в печи при температуре $200°C$ в течение 10 минут [7-8].

На втором этапе подложки обрабатываются раствором хромовой смеси (хромпик) $K_2Cr_2O_7$ в течении 10 минут, которая при комнатной температуре обладает очень высокой окислительной активностью. За это время все органические загрязнения, такие как масла, жиры и т.п. окисляются и превращаются в растворимые соли, которые промываются дистиллированной водой после чего наступает окончательный этап, очистка в перекисно-аммиачной смеси, состоящей из воды с добавлением $\sim 28\%\ NH_4OH$ и $\sim 10\%\ H_2O_2$. Например, в 426 мл воды добавляли 172 мл перекиси водорода и $1{,}72$ мл аммиака, после чего подложки опускаются в кипящий раствор на 20 минут. В такой среде остаточные органические пленки легко распадаются, перекись окисляет органику, а аммиак стабилизирует раствор и снижает поверхностное натяжение пленки. После чего подложки проходят заключительную промывку в дистиллированной воде и сушку в печи [9].

Таким образом, комбинированная схема отчистки обеспечивает практически полное удаление любых видов загрязнений, сохраняя при этом структуру самой подложки. Проверку качества отчистки проводили с использованием водного теста, суть которого заключается в том, что подложку кратковременно окунают в дистиллированную воду и вынимают вертикально, держа за края либо пинцетом, либо в перчатках затем оценивают распределение воды по поверхности и засекают контрольный промежуток времени. При отсутствии гидрофобных загрязнений вода покрывает поверхность тонким, равномерным сплошным слоем (рисунок 1) [10,11].

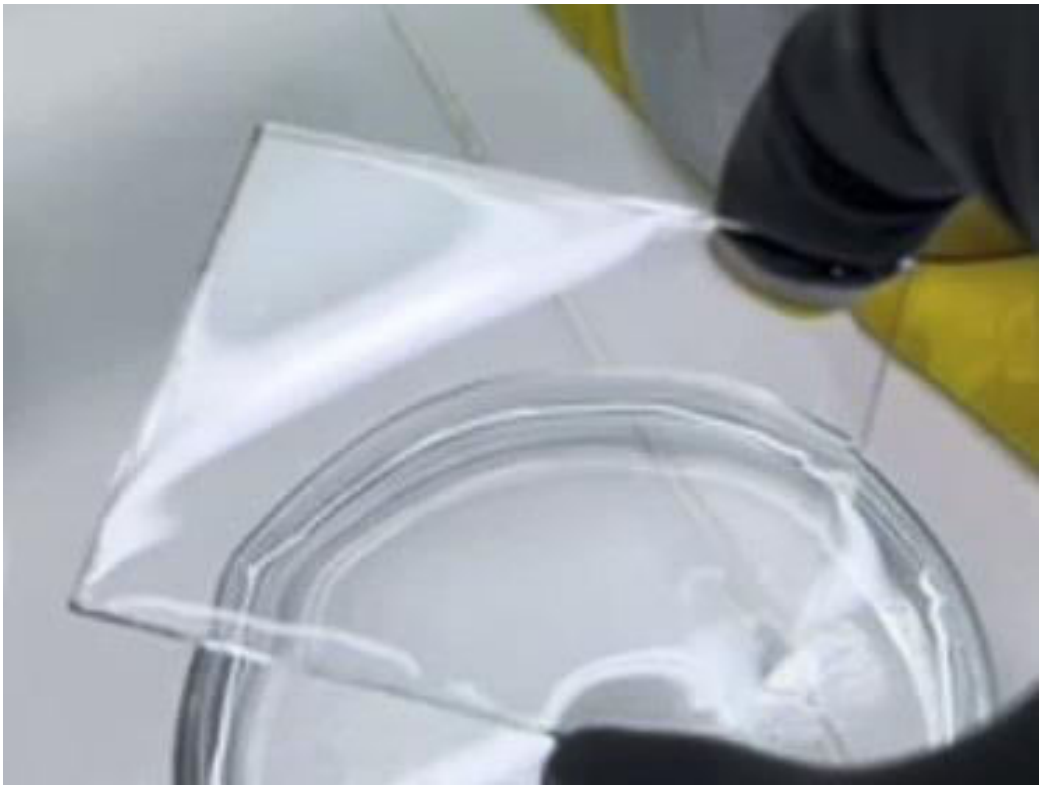


Рисунок 1.Тест степени частоты после технологического этапа подготовки подложек

Создание тонких металлических слоев производилось с помощью модернизированной вакуумной установки магнетронного распыления УРМ3.279.011 – М4 (рисунок 2), которая представляет из себя комплекс с четырьмя магнетронами с мишенями размером $300 \times 85 \times 10$ мм. Вакуумная камера разработана на базе установки УРМ3.279.011 с заменой электронно – лучевого испарения на магнетронное.

Рисунок 2. Вакуумная установка магнетронного распыления УРМ3.279.011 – М4

Система откачки, состоящая из диффузионного паромасляного насоса и механического пластинчато – роторного насоса, байпосного и форвакуумного клапанов, затвора и натекателя воздуха в камеру, обеспечивает вакуум в камере порядка $54 \cdot 10^{-0}$ Па.

Выбор магнетронного напыления среди прочих обусловлен: точным контролем толщины осаждаемого слоя, которая регулируется временем и мощностью распыления, плотной структурой покрытия, а также равномерностью и скоростью осаждения [12].

Для формирования контактных площадок, проводников и пассивных элементов интегральных схем используют многослойные металлические структуры, к основным комбинациям пленок относят хром (Cr) или титан (Ti) выступающие в роли подслоя толщиной $\sim 0{,}01 - 0{,}02$ мкм, образующие прочное соединение меди (Cu) с ситалловой подложкой и повышающие коррозионную стойкость контактов, медь на прослойке хрома или титана является основным проводником дорожек и контактных площадок толщина которого составляет $0{,}5 - 1{,}0$ мкм, в аппаратуре с повышенными требованиями надежности используют золото вместо меди. Рекомендовано поверх наносить тонкий слой никеля или золота для предотвращения окисления и улучшения условий пайки [13].

Работа с вакуумной установкой ведется с помощью программы автоматизированной системы управления (АСУ) ModbusRTU, представляющее собой программное обеспечение (ПО) с графическим интерфейсом пользователя и предназначена для управления технологическим комплексом по получению тонкопленочных покрытий различного назначения в режиме реального времени, на рисунке 3 представлена схема программно-аппаратного комплекса [11].

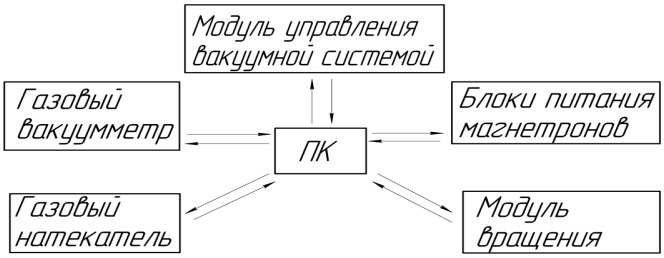


Рисунок 3. Структурная электрическая схема программно-аппаратного комплекса [14]

Процесс напыления начинается с загрузки в установку подложкодержателей, всего их возможно установить 14 и один подложкодержатель с датчиком температуры Pt100, на каждом подложкодержателе возможна установка 5-ти подложек стандартного размера 60×48 мм. После чего установка герметизируется и начинается процесс создания начального вакуума с запуска форвакуумного насоса и открытия пневматического клапана, соединяющего его с рабочим объемом камеры. Давление начинает быстро снижаться и обычно достигает порядка $15 \cdot 10^{-1}$ Па, этого достаточно, чтобы подготовить систему к включению высоковакуумного оборудования.

С достижением начального вакуума открывается подача воды на паромасляный насос (ПМН) и начинается его прогрев, длящийся 45 минут, это время необходимо для разогрева вакуумного масла и доведения его до кипения, разогретое вакуумное масло нельзя подвергать воздействию воздуха так как это может привести к деградации всей системы, с этой целью в АСУ установлено ограничение, препятствующее преждевременное открытию затвора или подаче газа [14].

Следующим этапом, после завершения прогрева ПМН является достижение рабочего вакуума. Откачка продолжается с подключением ПМН, и давление в камере постепенно снижается до уровня порядка $4 \cdot 10^{-5}$ Па, этот процесс занимает около 40 минут и требует стабильной работы всей системы. Достигнув порогового значения, установка готова к началу осаждения. На этом этапе формируется рабочее газовое окружение, через газовый тракт включается подача аргона в камеру, который из-за своей инертности необходим для образования тлеющего разряда.

Вместе с подачей газа включается система водяного охлаждения магнетронов, циркуляция воды по каналам мишеней и анодов поддерживает стабильный тепловой режим, необходимый для равномерного распыления материала и продления скора службы оборудования. После полной стабилизации параметров: давление, температура, подача аргона и охлаждение, переходим к основному этапу, а именно формированию тонкопленочного покрытия. В магнетроне возбуждается тлеющий разряд, в результате которого ионы аргона (Ar^+), ускоренные приложенным электрическим полем начинают интенсивно бомбардировать поверхность мишени, под их действием атомы материала выбиваются из мишени и направляются в сторону подложек, осаждаясь на их поверхности.

Перед основным напылением в зону напротив активного магнетрона сначала устанавливается так называемая «жертвенная подложка», она служит для предварительной очистки поверхности мишени от загрязнений, окислов и технологических следов, что крайне важно для обеспечения чистоты будущего покрытия. Процесс очистки начинается с включения магнетрона и выставления рабочих параметров напряжения, составляющие примерно 200-320 Вт, необходимые для образования тока в 1 А, очистка длится до тех пор, пока не исчезают микродуги – характерные вспышки, свидетельствующие о нестабильности плазмы и наличии загрязнений. Обычно этот этап занимает 5-10 минут, в зависимости от состояния мишени.

После стабилизации разряда, не прерывая работу магнетрона, устанавливается рабочий подложкодержатель и начинается этап основного напыления, длящийся 10 минут. Благодаря неподвижному положению подложек толщина пленки формируется строго в соответствии с направлением и плотностью потока атомов от мишени, что особенно важно для воспроизводимости результатов при калибровочных и исследовательских операциях.

По достижении 10 минут вновь выставляется «жертвенная подложка» и постепенно выключается магнетрон, это делается для того, чтобы процесс выключения не сказывался на результатах напыления. Далее последовательно закрываются затвор распылительной зоны и подача аргона, затем выключается система охлаждения магнетронов и купола, а вентиль подачи газа перекрывается. Запускается процесс охлаждения форвакуумного насоса, таже длящийся 45 минут, все это время продолжается циркуляция воды по охлаждающим контурам, чтобы избежать перегрева насоса, после охлаждения можно перекрыть и подачу воды.

Перед открытием купола необходимо выровнять давление воздуха в рабочем объеме, чтобы избежать резких перепадов давления и снизить риск образования конденсата влаги на

поверхности пленки. После стабилизации и открытия купола подложкодержатель извлекается и визуально оцениваются полученные покрытия (рисунок 4) для дальнейшей работы с ними.

а) б) в)

Рисунок 4. Подложки после напыления а) медное покрытие, б) хромовое покрытие, в) титановое покрытие

Для оценки зависимости толщины получаемого покрытия от времени напыления был проведен эксперимент, в котором магнетронное осаждение проводилось при фиксированных параметрах мощности и давления. В качестве изменяемой переменной выступало только время напыления, которое варьировалось от 2 до 10 минут с шагом в 2 минуты. Для каждого временного интервала использовалась отдельная подложка из одной партии, размещенная в одинаковом положении относительно мишени. Напыление проводилось с использованием стандартной процедуры очистки магнетрона с использованием «жертвенной подложки». Толщина пленки измерялась с помощью микроинтерферометра МИИ – 4, однако полученное покрытие оказалась недостаточным для возможности проведения измерений, поэтому подложки переданы в Наноцентр КАИ для измерения на атомно-силовом микроскопе (АСМ).

Исследования проведены в рамках Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение 075-15-2025-129).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ягудина Э.Р.* Исследование технологии лазерной деметаллизации в производстве прототипов плёночных интегральных схем// Выпускная квалификационная работа, КНИТУ-КАИ, Казань, 2025 – 77 с.

2. *Третьяков С.Д.* Современные технологии производства радиоэлектронной аппаратуры: учебное пособие / С.Д. Третьяков. — Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2016. — 102 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/91347 (дата обращения: 04.04.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. *Крючатов В.И.* Проектирование тонкопленочных интегральных схем с повышенной надежностью // –1–е изд. – Казань: НИЦ ИНФРА–М, – 2025. – 184 с.

4. *Романов А.Л.* Особенности формирования многослойных структур методом магнетронного распыления / А.Л. Романов, Д.Е. Шашин, А.Д. Дьячков, К.А. Волков // Вестник РВО. – 2024. – № 2(4).

5. Ситалловая подложка СТ-32-1: сайт. – URL: https://zapadpribor.com/st-32-1-podlozhka-sitallovaya/ (дата обращения 20.05.2025). – Текст: электронный.

6. СТ32-1 (60х48х0,5мм) подложка ситалловая: сайт. – URL: https://radiokomponent.com.ua/product/st-32-1-60kh48kh05mm-podlozhka-sitallovaya/(дата обращения 20.05.2025). – Текст: электронный.

7. . *Ягудина Э.Р., Голованов М.С.,* Методика подготовки керамических подложек и магнетронного осаждения металлических покрытий с контролируемыми свойствами// Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2025: материалы XII Молодежной

международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов – Казань, 2025.

8. *Данилина Т.И.,* Технология тонкопленочных микросхем: учебное пособие. — Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2006. — 164 с.

9. Silicon Wafer Cleaning: сайт. – URL: https://www.inrf.uci.edu/wordpress/wp-content/uploads/sop-wet-silicon-rca-1.pdf (дата обращения 20.05.2025). – Текст: электронный.

10. The Water Break Test as a Surface Measurement Gauge: сайт. – URL: https://www.brighton-science.com/blog/the-water-break-test-as-a-surface-measurement-gauge (дата обращения 21.05.2025). – Текст: электронный.

11. Установка магнетронного распыления: паспорт и техническое описание / Йошкар – Ола, 2023 – 12 с.

12. В чем разница между ионным распылением и магнетронным распылением: сайт. – URL: https://www.vpi2004.com/ru/faq/what-is-difference-between-ion-sputtering-coating-%26-magnetron-sputtering (дата обращения 21.05.2025). – Текст: электронный.

13. *Ильина Э.М.*, Изучение технологии изготовления тонкопленочных гибридных интегральных схем: методические указания к лабораторному практикуму по курсу ТИКИМС / Э.М. Ильина. – Москва: Московский государственный институт электронной техники (Технический университет), 2011 – 46 с.

14. *Волков К.А.* Программно-аппаратный механизм управления вакуумной установкой магнетронного распыления для получения тонкопленочных покрытий / К. А. Волков // Наукосфера. – 2023. – № 10-1. – С. 69-74.

COMPLEX METHODOLOGY OF PROCESSING CERAMIC SUBSTRATES ST32-1 AND FORMATION OF THIN FILMS IN THE MODERNISED VACUUM MAGNETRON SPUTTERING UNIT URM3.279.011-M4

Yagudina E.R., Golovanov M.S., Sokolov V.S.

Supervisor: Ishkaev T.M., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)*)

Abstract. In this paper, the technology of preparation of ceramic substrates ST32-1 and deposition of thin metal coatings (Cr, Cu, Ti) for manufacturing prototypes of thin-film integrated circuits is investigated. A two-stage procedure of substrates cleaning was developed: ultrasonic treatment with detergent and subsequent chemical cleaning with chromium mixture and peroxide-ammonia solution. The sputtering was carried out by magnetron sputtering in a modernised vacuum unit URM3.279.011-M4. The developed technique of coatings creation serves as a basis for further selective laser processing.

УДК 681.586.5

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ОБХОДА ПРЕПЯТСТВИЙ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ ДЛЯ СЛАБОВИДЯЩИХ ПАЦИЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ GPS НАВИГАЦИИ И МНОГОЗОННОГО ОПТИЧЕСКОГО ДАЛЬНОМЕРА

Ялуков Д.Д.

Научный руководитель: Муратов Р.М., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье представлена разработка устройства обхода препятствий с искусственным интеллектом для слабовидящих пациентов с помощью GPS навигации и многозонного оптического дальномера. Цель данного проекта является создание удобного устройства, способного помочь людям с нарушениями зрения в независимом передвижении. Были выявлены проблемы этой темы, а также представлены преимущества и недостатки данного инновационного устройства.

Для людей с ограниченными возможностями современные технологии открывают возможность самостоятельной жизни. В частности, для слабовидящих и незрячих пациентов разрабатываются средства навигации в пространстве, которые позволят им перемещаться без сопровождения, не боясь столкновений с неожиданными препятствиями. Существуют традиционные средства помощи, например, белая трость или собака-поводырь, они остаются востребованными, несмотря на то, что имеют ряд недостатков, в первую очередь связанные с ограниченной функциональностью и неудобством использования. В связи с этим разработка электронных устройств, выполняющих роль ассистента для людей с ограниченными возможностями, становится все более актуальной [1].

В повседневной жизни слабовидящие пациенты сталкиваются с множеством трудностей, о которых среднестатистический человек не подозревает, например, обход препятствий и ориентирование в незнакомой обстановке. В области медицинской техники важной задачей является разработка устройств, которые будут решением многих проблем незрячих [2].

Ключевыми проблемами незрячих является навигация в пространстве и обход препятствий, которые появляются и пропадают на привычном маршруте пользователя. Такие проблемы появляются из-за ряда физиологических, психологических и социальных факторов [3].

Современные устройства для помощи слабовидящим, способные заменить традиционные средства, имеют ряд недостатков, например, использование ультразвуковых датчиков, которые имеют ограниченную точность и не могут распознать мелкие объекты;

Данные ограничения влекут за собой социальную изоляцию незрячих пациентов, т.к. из-за страха падений, потери в пространстве и необходимость в сопровождении пациенты ограничивают свои выходы из дома [4].

Для решения всех проблем необходимо разрабатывать обширную стратегию развития среды для людей с ограниченными способностями, в которую необходимо будет включить следующие направления работы:

- Разработка специализированных устройств, которые заменят традиционные, будут работать на основе оптических датчиков и смогут поддерживать звуковое оповещение пользователя.
- Работа по адаптации окружающей среды под нужды всех групп людей с ограниченными способностями, например, улучшать освещение тротуаров и устанавливать тактильные указатели и знаки.
- Обучение пациентов использованию современных технологий и оповещение пользователей о новых разработках.

Таким образом, навигация в пространстве остается ключевой проблемой слабовидящих пациентов, которая обусловлена совокупностью физиологических, психологических и социальных факторов [5].

Схема, представленная на рисунке 1, является частью специализированного устройства, предназначенного для помощи слабовидящим и незрячим людям в независимом передвижении. Для обнаружения препятствий на пути пользователя используется оптический дальномер, который анализирует расстояние до объекта и передает данные в микроконтроллер, где, в свою очередь, производится обработка данных и решение многих алгоритмических задач, в том числе, и задача звукового оповещения.

Датчик VL53L5CXV0GC/1 имеет вертикально – излучающий лазер, который испускает короткие импульсы. Длина волны данного лазера 940 нм.

Для формирования квадратного поля зрения в датчик встроена дифракционная оптика. Луч разделяется на несколько зон.

ИК-импульс, который испускает лазер, доходит до объекта, попадает на него и частично отражается обратно к датчику. Отраженный свет оказывается в матрице лавинных фотодиодов, разделенной на 64 или 16 независимых зон.

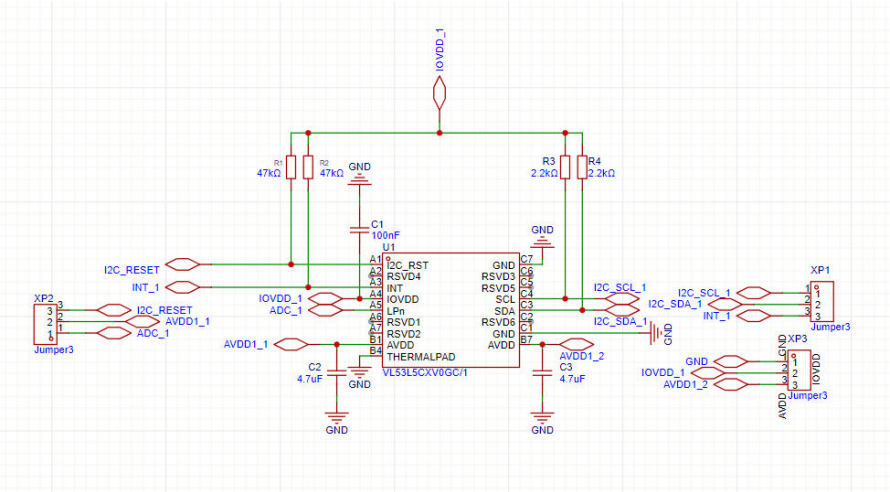


Рисунок 1. Схема электрическая принципиальная устройства обхода препятствий с оптическим дальномером и звуковым оповещением

Оптический дальномер содержит в себе внутренний процессор, который определяет расстояние до объекта. Он устанавливает истинное время между отправкой импульса и приемом отраженного сигнала.

Все данные, снятые с датчика, передаются в микроконтроллер STM32F407VGT6 по интерфейсу I2C. В микроконтроллере производится обработка данных, фильтрация шумов, изменение формата данных о расстоянии до препятствия, а также определяется необходимость голосового оповещения при приближении к препятствию [6].

На основе технологии GPS навигации, оптических дальномеров, микроконтроллеров, средств дистанционной передачи данных Bluetooth была разработана управляющая схема устройства. На рисунке 2 представлена электрическая принципиальная схема устройства обхода препятствий для слабовидящих пациентов с помощью GPS навигации и многозонного оптического дальномера.

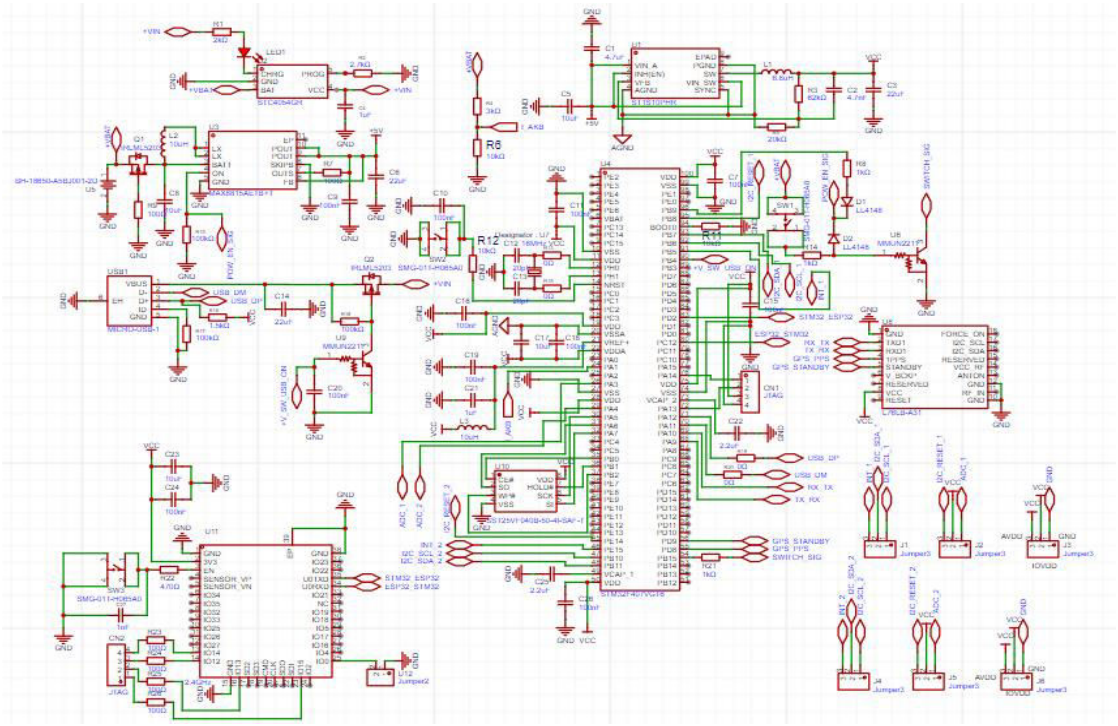


Рисунок 2. Электрическая принципиальная схема устройства обхода препятствий для слабовидящих пациентов с помощью GPS навигации и многозонного оптического дальномера

Таким образом, основной принцип работы устройства заключается в измерении расстояния датчиком до объекта, передачи информации микроконтроллеру, обработке и выдаче информации пользователю в виде голосового сообщения.

Корпус имеет важную роль в надежности, удобстве и функциональности устройства. Он должен быть прочным и устойчивым к ударам, вибрациям и другим механическим воздействиям, так как трость используется в активных условиях. Устройство может эксплуатироваться в условиях повышенной влажности или запыленности, поэтому корпус должен иметь защиту от брызг воды и пыли. Для защиты от влаги, воды, пыли и снега будет использоваться защитное олеофобное покрытие на сенсоре датчика. Так как оптический датчик очень чувствительный, ему необходимо защитное покрытие. Например, капли дождя могут привести к меньшей точности измерений и ложным срабатываниям. На рисунке 3 представлено защитное покрытие для многозонного оптического датчика VL53L5CXV0GC/1.

Рисунок 3 – Защитное покрытие для многозонного оптического датчика VL53L5CXV0GC/1

Корпусом для печатной платы оптического датчика расстояния выступает крышка, которая обеспечивает защиту платы от внешних воздействий. Крышка выполнена из PETG пластика, так как она должна быть компактной и легкой, чтобы не утяжелять трость, тем самым не создавать дискомфорт при использовании.

Основные требования к корпусу для печатной платы оптического дальномера:

- Прочность и защищенность от внешних факторов
- Компактность и легкость.
- Эргономичность и удобство в использовании.
- Обеспечение беспрепятственной работы дальномера.
- Простота конструкции для сборки и обслуживания.

На рисунке 4 представлена лицевая сторона 3D модели корпуса для печатной платы оптического датчика расстояния VL53L5CXV0GC/1.

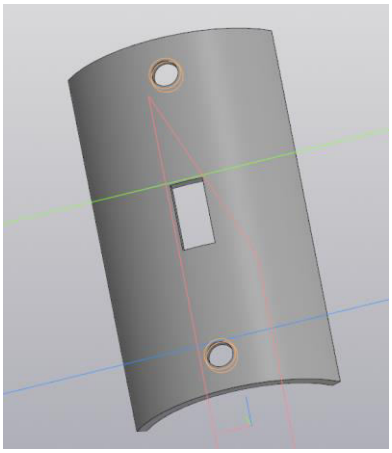


Рисунок 4. Лицевая сторона 3D модели корпуса для печатной платы оптического датчика расстояния VL53L5CXV0GC/1

Отверстие посередине – это отверстие для датчика расстояния с соблюдением габаритных размеров дальномера.

Круглые винтовые отверстия предназначены для крепления крышки и печатной платы к трости.

На рисунке 5 представлена задняя сторона 3D модели корпуса для печатной платы оптического датчика расстояния VL53L5CXV0GC/1.

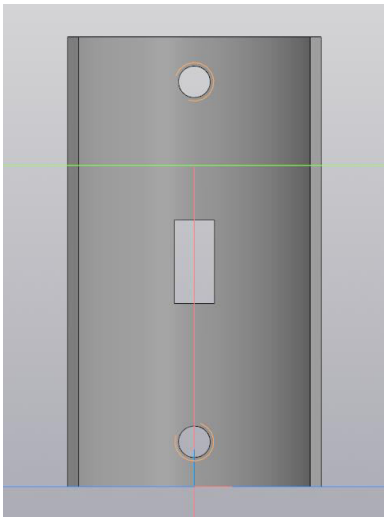


Рисунок 5. Задняя сторона 3D модели корпуса для печатной платы оптического датчика расстояния VL53L5CXV0GC/1

Деталь выполнена цилиндрической формы под размер трости. Это сделано для удобства и простоты сборки конструкции.

Разработанное устройство на основе оптического дальномера, звукового оповещения и GPS навигации способно значительно улучшить качество жизни слабовидящих людей, обеспечивая им безопасность и независимость при передвижении. Несмотря на некоторые ограничения, такие системы имеют большой потенциал для дальнейшего развития за счёт интеграции с искусственным интеллектом, улучшенными датчиками и беспроводными технологиями [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. World Health Organization: сайт. – URL: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment (дата обращения: 16.04.2025). – Текст: электронный.

2. *Loomis J.M., Golledge R.G., Klatzky R.L.* Navigation System for the Blind: Auditory Display Modes and Guidance / J.M. Loomis, R.G. Golledge, R.L. Klatzky // Presence Teleoperators & Virtual Environments. – 1998. – № 7. – С. 193-203.

3. *Pelli D., Robson J., Wilkins A.J.* Designing a new letter chart for measuring contrast sensitivity / D. Pelli, J. Robson, A. J. Wilkins // Clinical Vision Sciences. – 1987. – № 2. – С. 187-199.

4. *Reinhardt J.P.* The importance of friendship and family support in adaptation to chronic vision impairment / J.P. Reinhardt // Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences. – 1996. – № 51. – С. 268-278.

5. *Watson G.R., Berg R.V.* Rehabilitation of visually impaired older adults/ G.R. Watson, R.V. Berg // Journal of Visual Impairment & Blindness. – 1983. – № 77 – С. 97-101.

6. High-performance foundation line, Arm Cortex-M4 core with DSP and FPU, 1 Mbyte of Flash memory, 168 MHz CPU, ART Accelerator, Ethernet, FSMC: сайт. – URL: https://www.st.com/en/microcontrollersmicroprocessors/stm32f407vg.html (дата обращения: 17.04.2025). – Текст: электронный.

7. A. Ben Atitallah et al. "Embedded implementation of an obstacle detection system for blind and visually impaired persons' assistance navigation."Measurement, Vol. 201, 2023.

DEVELOPMENT OF AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE OBSTACLE AVOIDANCE DEVICE FOR VISUALLY IMPAIRED PATIENTS USING GPS NAVIGATION AND A MULTI-ZONE OPTICAL RANGEFINDER

Yalukov D.D.

Supervisor: Muratov R.M., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article presents the development of an artificial intelligence obstacle avoidance device for visually impaired patients using GPS navigation and a multi-zone optical rangefinder. The goal of this project is to create a convenient device that can help people with visual impairments to move independently. The problems of this topic were identified, as well as the advantages and disadvantages of this innovative device were presented.

УДК 681.518.5

ПЕРЕХОДНАЯ ПЛАТА ТЕСТЕРА МИКРОСХЕМ ДЛЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЯ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕРИИ CD40XX

Яппаров И.А.

Научный руководитель: Ишкаев Т.М., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлена разработка переходной платы для тестера микросхем серии CD40XX, предназначенной для контроля логических элементов. Плата обеспечивает удобное и надёжное подключение микросхем к тестирующему оборудованию, упрощая процесс диагностики и проверки их работоспособности.

Современные достижения в области микроэлектроники и автоматизированных систем тестирования открывают новые возможности для контроля качества и диагностики интегральных микросхем. Особое значение это приобретает при работе с КМОП-микросхемами серии CD40XX, которые находят широкое применение в промышленной автоматике, медицинском оборудовании и бытовой электронике благодаря своей надежности и энергоэффективности. Однако сложность проверки этих компонентов, обусловленная особенностями их работы и разнообразием типов корпусов, создает существенные трудности при обслуживании и ремонте электронной аппаратуры.

Существующие решения для тестирования микросхем CD40XX обладают рядом ограничений. Тестеры часто не поддерживают полный перечень компонентов этой серии, а самодельные адаптеры обычно не обеспечивают необходимой точности измерений. Кроме того, большинство доступных решений не учитывают особенностей КМОП-логики.

Работа направлена на разработку универсальной переходной платы для тестера микросхем MST14, которая позволит решить эти проблемы.

С увеличением требований к тестовой инженерии в области разработки и производства электронных, и, в частности, микроэлектронных схем и систем, необходимость использования правильной процедуры тестирования является критически важной для успеха разработанного продукта [1]. Тестирование и оценка предоставляют важную информацию для разработки продукта на различных этапах процесса, включая:

• Понимание процесса проектирования от концепции до реализации для обеспечения надлежащего тестирования после производства.

• Предотвращение ошибочного принятия устройств с неисправностями в цепи за функциональные устройства.

• Оценка эффективности конструкции в различных условиях эксплуатации при ее окончательном применении.

• Определение и обеспечение эксплуатационных характеристик, требуемых конечными пользователями.

• Возможность выявления неисправностей и доведения их до сведения проектировщиков и производителей, чтобы можно было принять соответствующие меры по устранению основных причин неполадок и снизить риск изготовления неисправных устройств.

Важная роль тестирования в настоящее время широко признана, так что процесс разработки процедуры тестирования (программы) считается не менее важным, чем процесс проектирования. Требования к тестированию являются необходимым условием процесса проектирования, а тестирование - его активной частью, начиная с определения концепции и спецификации, заканчивая массовым производством конечного продукта [2]. Это связано с несколькими факторами, в том числе:

• Усложнение конструкции устройств, особенно для цифровых систем.

• Использование новых технологических процессов изготовления, которые позволяют создавать устройства меньшего размера, но также могут привести к проблемам, связанным с изменением технологического процесса изготовления и возникновением новых видов отказов устройств, а также к увеличению вариативности параметров изготовленных устройств.

• Повышение производительности конструкции за счет более высоких рабочих частот и повышенных требований к техническим характеристикам конструкции.

• Потребность в более конкурентоспособных продуктах, обусловленная потребителями, которым нужны устройства с превосходной производительностью при меньших затратах.

• Необходимость экономически эффективного тестирования работы готовых устройств с использованием доступного испытательного оборудования без необходимости приобретения непомерно дорогого испытательного оборудования.

• Устройство должно быть способно выполнять алгоритмы самотестирования в готовом приложении, используя дополнительные схемы, встроенные в конструкцию. Этот тип самотестирования не должен зависеть от внешних схем.

Тестирование проводится по разным причинам и на разных этапах процесса разработки, начиная с первоначальной концепции проектирования и заканчивая окончательным изготовлением устройства.

Тестовые программы выполняются на автоматическом тестовом оборудовании, которое требует как аппаратных, так и программных компонентов для настройки и контроля выполнения тестовой программы. Как правило, потребуется различное тестовое оборудование, специфика которого будет зависеть от требований к генерации сигнала, захвату и анализу результатов [3].

Современные тестеры интегральных микросхем представляют собой устройства, предназначенные для автоматизированного или ручного анализа работоспособности электронных компонентов, включая цифровые, аналоговые и смешанные ИС. Принцип их работы заключается в подаче на входы микросхемы последовательности тестовых сигналов, соответствующих её функциональной схеме, с последующим считыванием выходных сигналов и сравнением их с эталонными значениями. В случае расхождения фиксируются ошибки, позволяющие определить неисправность микросхемы либо её отказ. Существуют различные типы тестеров микросхем, в зависимости от функциональности, точности и уровня автоматизации:

• Ручные тестеры: простые устройства, которые позволяют быстро проверить логические ИС на базовые функции: соответствие логическим таблицам, наличие коротких замыканий, пробоев и разрывов.

• Автоматизированные тестеры: промышленные системы, обеспечивающие автоматическую подачу тестовых сигналов и сбор результатов для анализа. Поддерживают массовое тестирование микросхем на производственных линиях. Позволяют выполнять как функциональное, так и параметрическое тестирование с высокой точностью.

• Многофункциональные лабораторные комплексы: оснащаются интерфейсами программного управления, позволяют настраивать условия тестирования под конкретные задачи.

• Программные симуляторы и отладочные стенды: в условиях, когда физическое тестирование невозможно или нецелесообразно, используются программные средства, моделирующие работу микросхем и контролирующие выходные сигналы. Такие средства могут быть встроены в системы САПР.

Переходные платы занимают важное место в системе контроля интегральных схем, поскольку они служат универсальным интерфейсом между микросхемой и тестирующим оборудованием [4]. Благодаря им становится возможным адаптировать различные корпуса ИС, например, DIP, SOIC, TSSOP и другие, к стандартным разъёмам или контактным панелям тестеров. Это особенно актуально для логических элементов серии CD40XX, которые выпускаются в разных корпусах и широко применяются в цифровой электронике.

Использование переходной платы позволяет избежать проблем, связанных с нестабильными соединениями при непосредственном подключении проводов или временных контактов. Она обеспечивает надёжный и повторяемый контакт, минимизируя паразитные сопротивления и емкости, которые могут искажать сигналы и влиять на точность тестирования. Кроме того, переходная плата существенно снижает риск механических повреждений выводов микросхем, которые могут возникнуть при частой пайке и распайке, особенно если она оборудована разъёмами ZIF.

Переходные платы также упрощают процесс замены тестируемых компонентов и позволяют ускорить диагностику, что особенно важно при массовом тестировании или в производственных условиях, где требуется высокая скорость и точность. Они могут включать дополнительные элементы, например, подтягивающие резисторы или переключатели, которые расширяют функциональные возможности тестера и позволяют более гибко проводить испытания. Контроль переходных плат включает визуальный осмотр на наличие дефектов, проверку электрических соединений, функциональные испытания с подачей питания и анализом выходных сигналов, но наиболее важными являются параметрическое и функциональное тестирование.

Параметрическое тестирование интегральных микросхем – это процесс измерения и анализа электрических параметров микросхемы для проверки её соответствия заданным техническим характеристикам, указанным в даташитах и спецификациях. В отличие от функционального тестирования, которое фокусируется на логической корректности работы схемы, параметрическое тестирование направлено на количественную оценку электрических свойств ИС: напряжений, токов, сопротивлений, временных задержек, частот и других аналоговых характеристик. Оно используется как на этапе разработки, так и в процессе производства, и особенно важно для оценки качества и стабильности микросхем, предназначенных для работы в критических условиях.

Основными измеряемыми параметрами при параметрическом тестировании являются уровни логических напряжений, потребляемый ток в различных режимах (статическом, динамическом, спящем), утечка тока на входах и выходах, сопротивление вывода, переходное время сигнала, пороговое напряжение транзисторов, а также параметры времени нарастания и спада импульса. Эти измерения позволяют подтвердить, что микросхема будет работать корректно при подключении к другим компонентам системы, не создавая опасных режимов для себя или окружающей логики. К примеру, если логический уровень “1” на выходе микросхемы недостаточно высок, это может привести к тому, что следующая по цепочке микросхема не распознает его как “1”, что вызовет логическую ошибку в системе [5].

Параметрическое тестирование требует высокой точности и стабильности измерительного оборудования, поскольку измеряемые значения могут быть очень малы (порядка наноампер или микровольт) или, наоборот, критичны с точки зрения превышения допустимых значений. Для этого применяются специализированные автоматизированные установки, такие как Source Measurement Units (SMU), измерители времени (time interval

analyzers), и высокоточные цифровые мультиметры, встраиваемые в состав комплексных тестеров. Тесты могут проводиться как при стандартных условиях (комнатной температуре и номинальном напряжении питания), так и при экстремальных температурах и напряжениях, что позволяет оценить температурную и электрическую стабильность устройства.

Важно, что параметры микросхемы могут варьироваться от партии к партии и даже от кристалла к кристаллу в одной партии, что связано с технологическими допусками производства. Параметрическое тестирование позволяет производителю контролировать уровень разброса характеристик и обеспечивать соответствие продукции стандартам (например, JEDEC или MIL-STD). Оно также критически важно при сертификации ИС для применения в медицине, обороне, автомобильной и аэрокосмической отраслях, где допустимы крайне узкие диапазоны параметров и высокая надёжность [6].

Кроме того, параметрические тесты могут выявить скрытые дефекты. Например, если транзистор внутри ИС имеет повышенное сопротивление открытого состояния, схема может работать в тестовой последовательности, но выходить из строя при реальной нагрузке или длительной эксплуатации. Также параметрическое тестирование используется для выявления деградации компонентов в процессе так называемого "burn-in" — тестирования при повышенной температуре и напряжении, имитирующего старение микросхемы.

Функциональное тестирование интегральных микросхем (ИС) представляет собой важнейший этап контроля качества и надёжности микросхем, на котором проверяется, выполняет ли устройство все заложенные в него логические и функциональные операции в соответствии со своей спецификацией.

Целью функционального тестирования является выявление дефектов, которые невозможно обнаружить с помощью только визуального контроля, параметрических или электрических проверок. Это могут быть ошибки проектирования, сбои логических цепей, проблемы с переключением состояний, ошибочная работа арифметико-логических блоков, нарушения в передаче и приеме данных по интерфейсам, а также сбои в работе внутренних регистров, триггеров или управляющих сигналов.

При функциональном тестировании моделируются реальные условия эксплуатации микросхемы. На входы ИС подаются определенные комбинации сигналов (тестовые векторы), а затем анализируется реакция на выходах. Если выходные данные не совпадают с ожидаемыми, то микросхема признаётся неисправной или нестабильной. Тестовые векторы могут быть разработаны вручную на основе логической схемы устройства или автоматически сгенерированы программным обеспечением для верификации. Также возможна автоматизация процесса с использованием специального оборудования — автоматических тестеров, которые способны проверять ИС с высокой скоростью, обрабатывая десятки и сотни тысяч тестов в секунду, что особенно важно при массовом производстве. Для функционального тестирования часто применяются и методы симуляции с помощью CAD-программ, которые позволяют протестировать схему ещё до её физического изготовления.

Функциональное тестирование также может проводиться в различных условиях: при изменении температуры, напряжения питания, частоты сигнала и других параметров, чтобы проверить стабильность работы схемы во всем диапазоне допустимых условий эксплуатации. Особенно важно это для микросхем, применяемых в авиации, медицине, автомобильной и военной промышленности. Помимо всего прочего, функциональные тесты позволяют выявить такие неисправности, как ошибки в маршрутизации сигналов, задержки в передаче, кросс-ток между линиями, а также нарушения в логических временных диаграммах.

Тестовые векторы при тестировании интегральных микросхем представляют собой заранее подготовленные последовательности входных сигналов, которые подаются на тестируемую схему с целью проверки её корректной работы в соответствии с заданной функциональностью. Они являются одним из ключевых инструментов в процессе верификации и тестирования цифровых устройств, позволяя выявлять ошибки проектирования на ранних этапах, а также производственные дефекты после изготовления микросхем.

Тестовые векторы включают в себя не только входные сигналы, но и ожидаемые значения на выходах схемы, а также контрольные сигналы (такие как тактовые импульсы, сигналы сброса, разрешения и пр.) и временные параметры, указывающие, когда должны подаваться сигналы и когда производится сравнение фактических выходов с эталонными. Использование временных характеристик особенно важно в случае синхронных цифровых схем, где правильная работа зависит от фронтов и периодов тактового сигнала.

На этапе разработки микросхем тестовые векторы применяются в среде симуляции для проверки логики описания. Эти тесты позволяют убедиться, что схема выполняет все необходимые функции до её физического изготовления. После синтеза и размещения схемы на кристалле те же или модифицированные векторы используются для проверки уже реального устройства при помощи автоматизированного тестового оборудования. Здесь тестовые векторы необходимы для обнаружения таких дефектов, как короткие замыкания, обрывы, сбои в логике или производственные дефекты.

Существует несколько способов генерации тестовых векторов. При простой логике возможна ручная разработка векторов, но чаще всего они создаются автоматически с помощью специализированного программного обеспечения. Инструменты автоматической генерации тестов анализируют структуру схемы и формируют минимально необходимое множество векторов, обеспечивающее максимально возможное покрытие логических элементов схемы. Также часто используется подход с использованием тестбенчей, в которых описывается поведение входных сигналов и анализируются выходы, что позволяет проводить функциональную симуляцию и верификацию.

Форматы представления тестовых векторов различаются в зависимости от этапа тестирования и применяемых инструментов. В симуляции используются форматы VCD (Value Change Dump) или простые текстовые таблицы с временными метками, тогда как для автоматического тестирования на оборудовании используются форматы STIL, WGL и другие, содержащие полное описание сигналов, временных диаграмм и ожиданий.

Применение тестовых векторов критически важно не только на этапе проектирования, но и на этапе массового производства, поскольку позволяет быстро и надёжно проверять каждый произведённый экземпляр ИС. Благодаря систематическому подходу к тестированию и использованию векторов обеспечивается высокое качество и надёжность конечного изделия, снижается процент брака и упрощается процесс отладки. В условиях современной микроэлектроники, с её высокой плотностью компонентов и сложной логикой, тестовые векторы являются незаменимым инструментом, обеспечивающим эффективность и достоверность процесса тестирования [7].

Разработанная принципиальная схема представлена на рисунке 1. Для стабильной работы используются опорные напряжения. Они задают опорные уровни усилителям и компараторам, а также позволяют компенсировать падение напряжения на sense–выводах. Операционные усилители AD8515ARTZ используются в роли буферов или усилителей сигнала. Эта часть предназначена для подготовки сигналов к аналоговому контролю и измерениям. Для ручной настройки необходимы DIP-переключатели. Они используются для выбора режима загрузки, активации определённых функций, выбора интерфейса, адресации и других параметров. Для подключения высокочастотных сигналов, таких как тактовые импульсы или RF-сигналы необходимо использовать SMA-разъёмы. Эти разъёмы обеспечивают минимальные потери на высоких частотах и высокую стабильность соединения. Они часто применяются при подаче внешнего тактового сигнала, измерениях с помощью генераторов и анализаторов спектра. Переходная плата предусматривает проверку логических элементов серии CD40XX в различных исполнениях корпусов (SOIC8, SOP8, DIP8, SOP16, SOIC16, DIP16). Для этого необходимо использовать разъёмы ZIF (Zero Insertion Force), которые предотвращают риск повредить соединяемые элементы из-за чрезмерных усилий при вставлении детали в разъём. Предполагается наличие 4 ZIF разъемов.

Результаты анализа показывают, что только комплексное применение функционального и параметрического тестирования обеспечивает надёжную фильтрацию как

функционально неисправных, так и технологически нестабильных изделий. Автоматизация данных видов тестирования с использованием современных ATE-платформ позволяет не только повысить точность измерений, но и значительно сократить общее время тестирования. Это, в свою очередь, улучшает экономические показатели производства и способствует повышению уровня качества выпускаемой продукции.

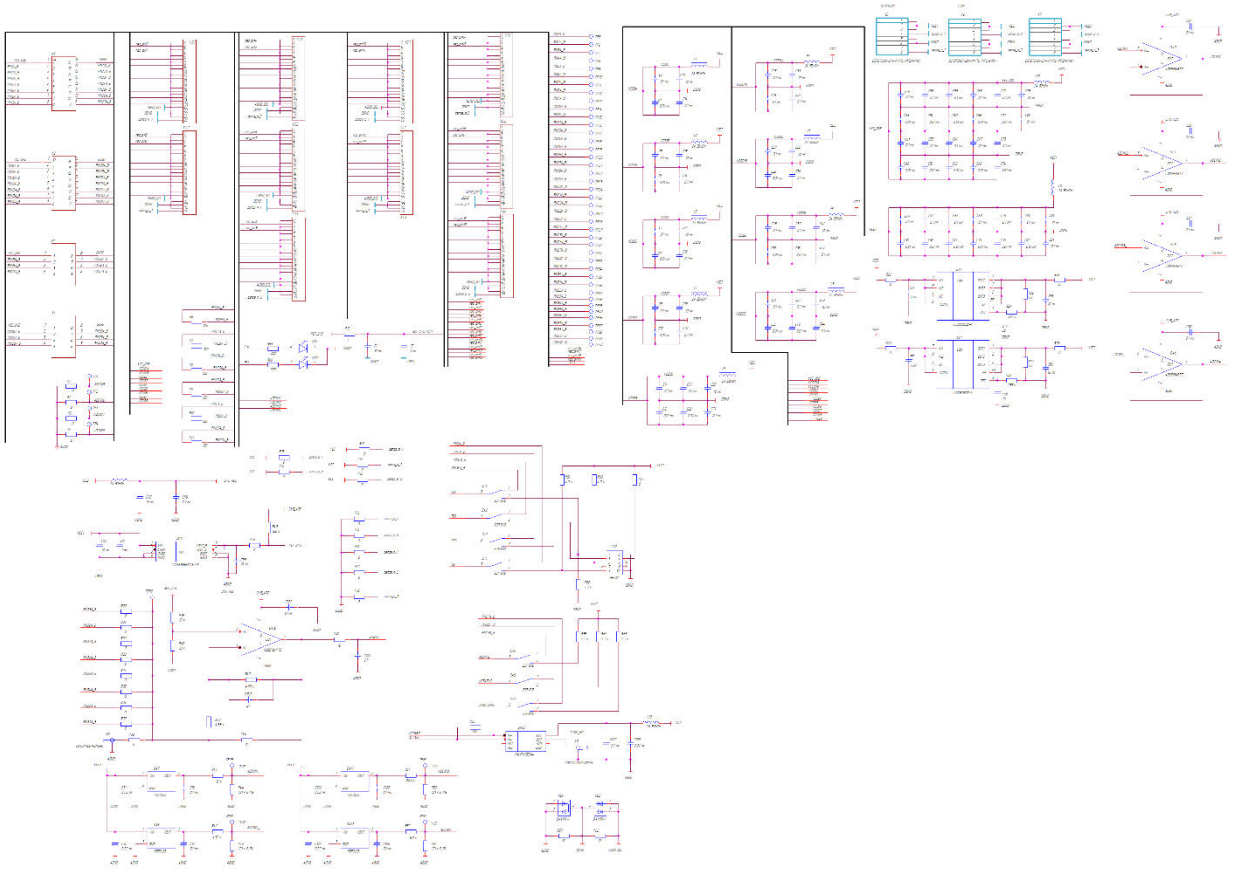


Рис. 1. Принципиальная схема переходной платы

Печатная плата имеет размеры 240±0,2мм×240±0,2мм×2±0,2мм, способна работать в диапазон температур от -55°C до +125°C, а также поддерживает установку 4 микросхем. 3D модель печатной платы показана на рисунке 2.

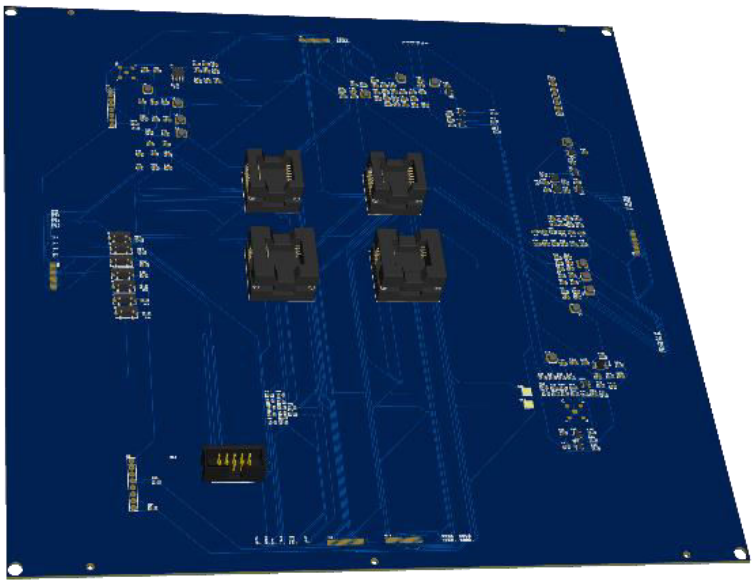


Рис. 2. 3D модель печатной платы

В результате проведённой работы была разработана универсальная переходная плата для тестирования микросхем серии CD40XX, обеспечивающая надёжное, стабильное и повторяемое подключение компонентов к тестирующему оборудованию. Переходная плата может применяться как в лабораторных условиях, так и в рамках автоматизированных производственных процессов, способствуя повышению качества и эффективности тестирования электронных компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Smith M.*, Application Specific Integrated Circuits // Addison-Wesley, 1999. – P. 15.

2. *Bushnell M.*, Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory & Mixed-Signal VLSI Circuits // Kluwer Academic Publishers, 2000. – P. 62.

3. *Pennino T.P.*, Design for Manufacture // IEEE Spectrum, 1993. – P. 51–53.

4. *Rajsuman, R.*, System-on-a-Chip Design and Test// USA: Artech House Publishers, 2000. – P. 48.

5. *Yazdani M.*, Microprocessor Pin Predicting // IEEE Circuits and Devices Magazine, 1997. – Vol. 13, No. 2. – P. 28–31.

6. *Kang S.*, CMOS Digital Integrated Circuits Analysis and Design // Singapore: McGraw-Hill International Editions, 1996. – P. 73.

7. *Needham W.*, Designer's Guide to Testable ASIC Devices // Van Nostrand Reinhold, 1991. – P. 75–81.

CHIP TESTER ADAPTER BOARD FOR CONTROL TASKS OF CD40XX SERIES LOGIC ELEMENTS

Yapparov I.A.

Supervisor: Ishkaev T.M., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences,

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents the development of a transition board for the CD40XX series chip tester, designed for the control of logic elements. The board provides convenient and reliable connection of microchips to the testing equipment, simplifying the process of diagnostics and checking their performance.

СЕКЦИЯ 21
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

УДК 621.3.084

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Батманов Р.А.

Научный руководитель: Денисов Е.С., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе проводится разработка автоматизированной системы для измерения автоматизированной системы для измерения и накопления данных об эксплуатационных характеристиках электрохимических источников энергии. Предложенная система найдет свое применение в системах контроля и диагностики электрохимических источников энергии.

В работе представления разработка автоматизированной системы для измерения эксплуатационных характеристик электрохимических источников энергии, что в дальнейшем может послужить основой для создания систем оперативного контроля и диагностики, с возможностью отслеживания процессов старения и прогнозирования преждевременного выхода из строя из-за неправильных режимов эксплуатации.

С развитием технологий и увеличением разнообразия электронной техники электрохимические источники энергии (ЭХИЭ) представляют всю большую значимость. ЭХИЭ широко используются в таких устройствах как портативная электроника, автомобили, самокаты, резервные источники питания и многое другое. На данном этапе развития, одним из самых распространенных и эффективных видов ЭХИЭ является литий-ионный аккумулятор (ЛИА).

ЛИА состоит из электродов, разделённых пористым сепаратором, пропитанным электролитом. Переносчиком заряда в ЛИА является ион лития, способный внедряться (интеркалироваться) в кристаллическую решётку других материалов. У ЛИА есть существенные недостатки: саморазряд, деградация различных частей функциональных элементов и другие. Поэтому актуальной является задача диагностики технического состояния и составление моделей деградации этих элементов, в том числе на основе новых методов, использующих релаксации, вызванные изменением рабочего режима ЭХИТ [1-3]. При неправильной эксплуатации аккумулятор потребует замены уже через 2 – 3 года эксплуатации в зависимости от интенсивности её использования [4]. Этому состоянию подвержены многие аккумуляторы, но литий-ионные делают это особенно быстро примерно на 2-3% в месяц. Получается, что за год такой аккумулятор потеряет треть своей емкости, а через три годя и вовсе уменьшится до нуля. Поэтому, для таких аккумуляторов предлагается использование устройства способное «отслеживать» их состояние. Для этой цели была предложена специализированная система для ресурсных испытаний ЛИА, которая позволяет по результатам измерений электрического тока, напряжения и температуры накапливать статистические данные по электрическим режимам работы, уровню заряда и оценивать динамику процессов деградации.

Структурная схема (рис. 1) предложенной автоматизированной системы оценки емкости и эксплуатационных характеристик литиевых источников энергии состоит из следующих основных элементов:

1. Электрохимический источник тока (ЭХИТ) в форме литиевого аккумулятора в качестве исследуемого объекта.
2. Датчик тока (ДТ) для измерения электрического тока, формируемого ЭХИТ в процессе функционирования.
3. Коммутатор нагрузки (КН), позволяющий управлять состоянием включения и отключения электрической нагрузки.

4. Электрическая нагрузка (ЭН), определяющая электрический режим работы ЭХИТ.

5. Датчик напряжения (ДН), позволяющий измерять электрическое напряжения на электродах ЭХИТ и обладающий большим входным сопротивлением.

6. Унифицирующие измерительные преобразователи (УИП), позволяющие осуществлять функцию масштабирования сигналов для обеспечения высокой точности работы АЦП.

7. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) используется для преобразования аналогово сигнала датчиков в цифровой сигнал, для дальнейшей обработки в микропроцессоре.

8. Микропроцессорная система (МПС) выполняет алгоритмическую обработку данных и управляет другими компонентами системы.

9. Датчик температуры (ДТемп) отслеживает изменение температуры ЭХИТ во избежание перегрева.

10. Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) необходимо для накопления данных, а также последующей их обработки.

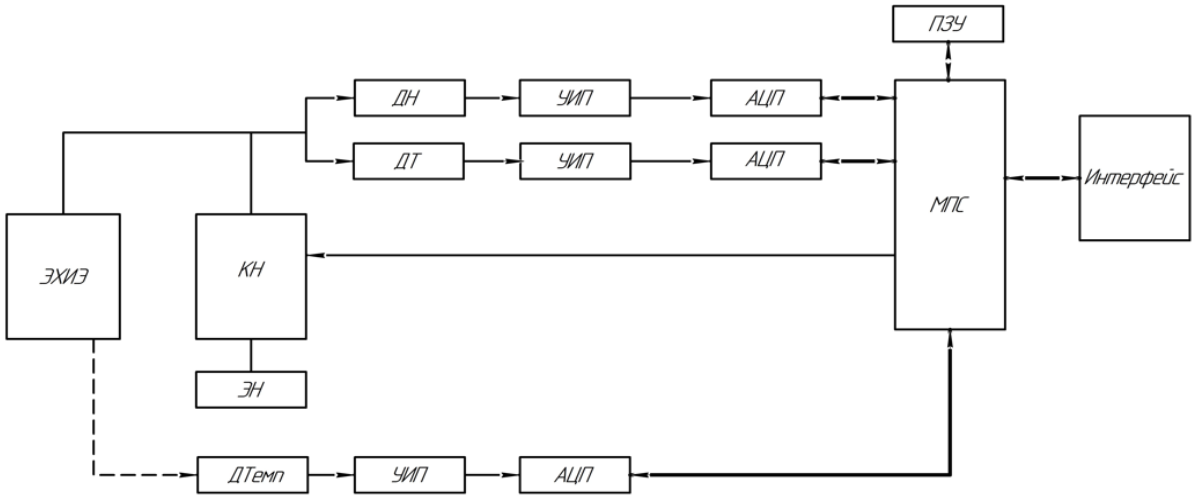


Рис. 1. Структурная схема устройства для ресурсных испытаний ЭХИТ

Предложенная система работает следующим образом. При подключение испытуемого аккумулятора (ЭХИТ) микропроцессорная система (МПС) дает сигнал на включение нагрузки посредством коммутатора (КН). Унифицирующие измерительные преобразователи (УИП) масштабируют выходные сигналы датчиков тока (ДТ) и напряжения (ДН) для обеспечения высокой точности работы аналогово-цифрового преобразователя (АЦП). Оцифрованный АЦП сигнал поступает в микропроцессорную систему (МПС) для дальнейшей обработки. Результаты измерений могут записываться на постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) или передаваться по телекоммуникационным сетям передачи данных. Для наблюдения результатов в реальном времени используется пользовательский интерфейс на основе LCD экрана 1602.

Для защиты исследуемого ЭХИТ система осуществляет постоянный мониторинг формируемого тока и напряжения и при выходе их величин за допустимые диапазоны осуществляет отключения ЭН от ЭХИТ.

Для реализации функциональных возможностей предложенного устройства была разработана принципиальная электрическая схема, представленная на рис. 2.

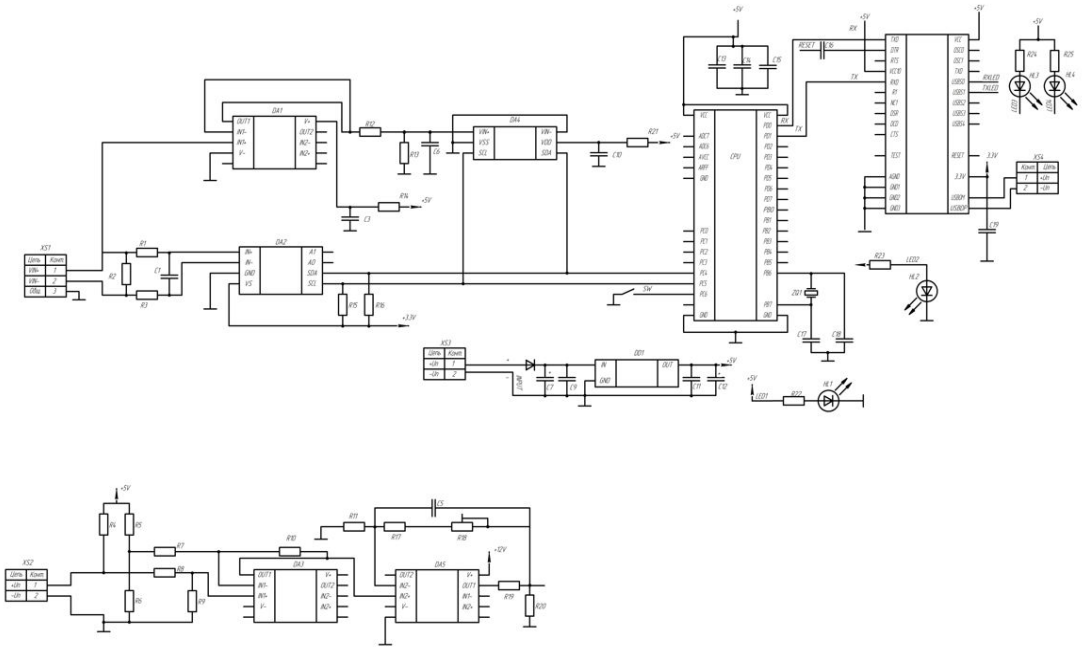


Рис. 2. Принципиальная схема устройства для ресурсных испытаний ЭХИЭ.

При подключении испытуемой батареи начинается процесс управления нагрузкой и определения испытуемых параметров. Операционный усилитель DA1 используется для дублирования напряжения батареи, затем благодаря делителю внешний аналого-цифровой преобразователь (DA4) получает напряжение, соответствующее своему рабочему диапазону. Датчик определения силы тока представлен на схеме как DA2. Это датчик INA219 измеряющий силы тока путем падения напряжения на шунте. Так же представлена принципиальная схема терморезистора PT100. Он необходим для отслеживания параметров температуры при разрядке испытуемого аккумулятора. Терморезистор работает по принципу измерения электрического сопротивления платины в зависимости от температуры. Внутри данного датчика находится тонкая платиновая проволока или плёнка, которая создает сопротивления пропорциональное температуре. Когда температура повышается, сопротивление платины увеличивается, а при понижении уменьшается. Данные изменения фиксируются электронной схемой, которая преобразует эти значения в температуру. Затем полученные данные отправляются на МПС где происходит обработка данных.

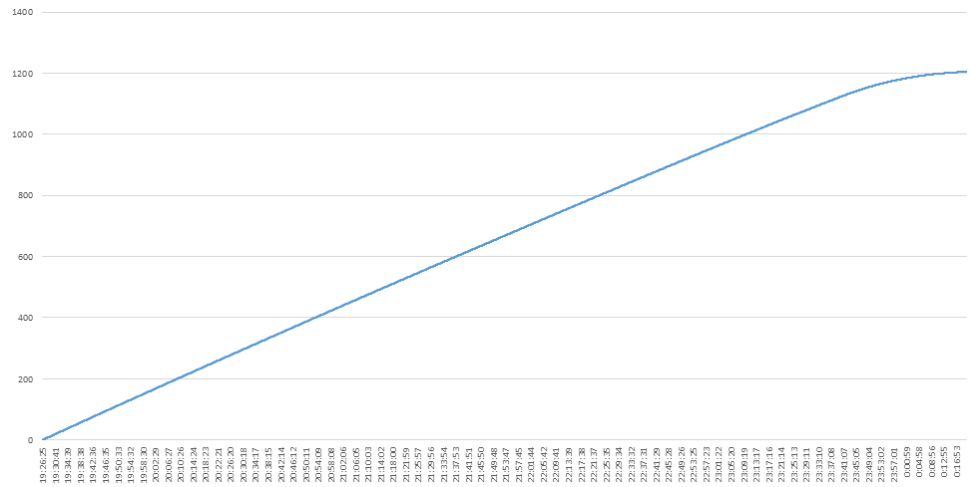


Рис. 3. Измерение электрического заряда, отдаваемого ЭХИЭ при разряде

Пример оценки отданного ЛИА электрического заряда, оцениваемого путем интегрирования протекающего через нагрузку электрического тока, представлен на рис. 3.

Конечная величина этого заряда соответствует емкости ЛИА. Осуществляя процесс измерения емкости ЛИА при повторных циклах заряда разряда, можно оценивать процессы деградации характеристик таких элементов. Накопление такой статистики позволит повысить точность существующих подходов к контролю и диагностики ЭХИТ. Введение данного устройства, позволит повысить уровень надежности и обеспечить оптимизацию режимов эксплуатации

Предложенная система позволит проводить циклические испытания ЛИА с контролем разрядных характеристик, а также оценивать эффективность зарядки и наблюдать процессы деградации ёмкости.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А.Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Особенности реализации метода контроля технического состояния литиевых источников тока на основе анализа релаксационных процессов, вызванных изменением нагрузки / Е.С. Денисов, Г.В. Никишина, Р.Р. Енилиев, Т.П. Никишин // Контроль. Диагностика. – 2023. – Т. 26, № 7(301). – С. 36-43.

2. *Denisov E*. Electrochemical Power Sources Relaxations Related with Step-like Load Variation / E. Denisov, G. Nikishina, A. Demidov // Proceedings - 2020 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBEREIT 2020, Yekaterinburg, 14–15 мая 2020 года. – Yekaterinburg, 2020. – P. 230-233.

3. Контроль и прогнозирование критических режимов работы водородных топливных элементов в процессе эксплуатации на основе искусственных нейронных сетей / Е.С. Денисов, Н.Р. Гайсин, Т.П. Никишин, Н.А. Адъютантов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 12. – С. 11-16.

4. *Тихомиров В.П*. Методы диагностики литий-ионных аккумуляторов // Электрохимия. – 2022. – Т.58, №4. – С. 412–420.

AUTOMATED SYSTEM FOR MEASURING THE CAPACITY AND PERFORMANCE OF ELECTROCHEMICAL ENERGY SOURCES

Batmanov R.A.

Supervisor: Denisov E.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In this work, an automated system for measuring the automated system for measuring and accumulating data on the operational characteristics of electrochemical energy sources is developed. The proposed system will find its application in control and diagnostic systems for electrochemical energy sources.

УДК 004.7

РАЗРАБОТКА АППАРАТНОГО МУЛЬТИЗАДАЧНОГО ТОКЕНА

Белый Д. А.

Научный руководитель: Изосимова Т. А., доцент, к. т. н.

(Московский гуманитарно-технологический университет – Московский архитектурно-строительный институт, г. Москва)

Аннотация. В статье представлена разработка аппаратно-программного комплекса, являющегося устройством АМТ (Аппаратный мультизадачный токен), которое представляет новые подходы к решению задачи обеспечения информационной безопасности. Главная ценность АМТ заключается в его способности обеспечивать принципиально иной уровень

безопасности по сравнению с программными решениями. В отличие от виртуальных токенов или SMS-аутентификации, AMT хранит все криптографические ключи и выполняет операции внутри защищённого аппаратного модуля, что исключает возможность их перехвата даже при компрометации основной системы. Это особенно важно для финансовых операций, работы с конфиденциальными документами и доступа к корпоративным ресурсам, а также при работе с распределенными измерительными системами для критической инфраструктуры.

В современном цифровом мире, где киберугрозы становятся всё более изощрёнными, аппаратные мультизадачные токены представляют собой один из наиболее надёжных способов защиты конфиденциальных данных и обеспечения безопасного доступа к информационным системам, в том числе в системах измерения, контроля и управления, построенных по принципу интернета вещей [1].

Аппаратный мультизадачный токен представляет собой компактное устройство, оснащённое специализированным криптографическим процессором и защищённой памятью. Его ключевая особенность заключается в том, что все криптографические операции выполняются внутри токена, без передачи конфиденциальных данных во внешнюю среду. Это обеспечивает принципиально иной уровень безопасности по сравнению с программными решениями, где ключи могут быть перехвачены вредоносным ПО.

На рисунке 1 представлена структурная схема разрабатываемого устройства (AMT).

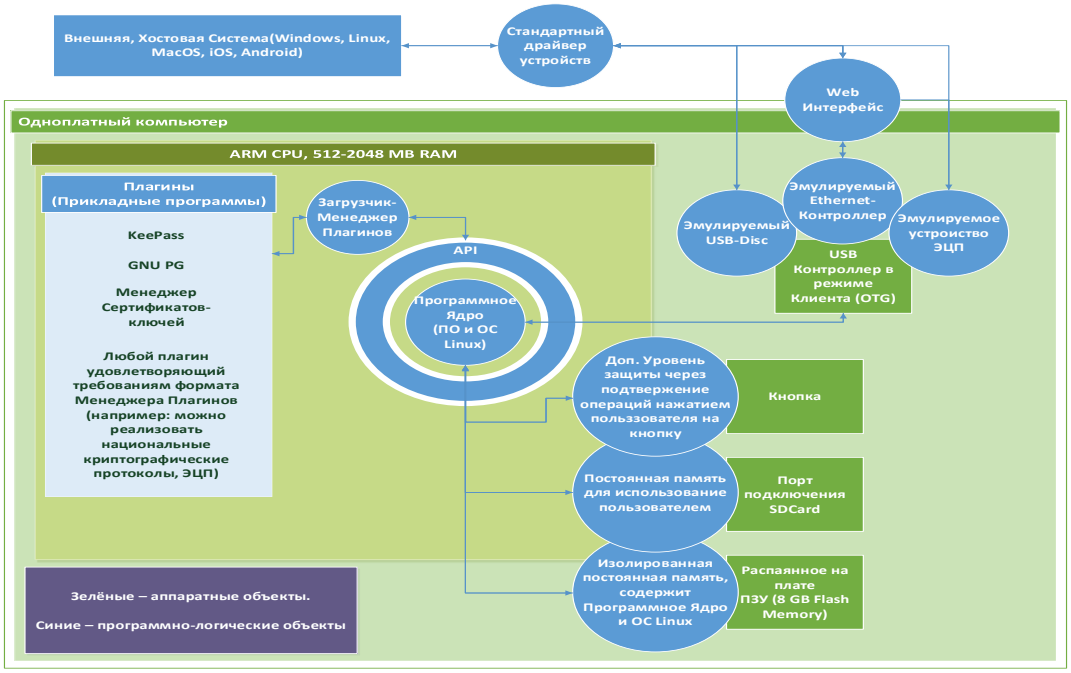


Рисунок 1. Структурная схема разрабатываемого устройства (AMT)

Ключевой особенностью данного AMT является высокий уровень безопасности. AMT представляет собой внешнее выделенное устройство, подключаемое исключительно локально, и поэтому риск его взлома меньше, чем у сетевого решения. Кроме того, при заражении вредоносным ПО или перехвате доступа к рабочему месту злоумышленником будут получены только те данные, которые пользователь передал в хост систему (т.к. для кражи остальных данных необходим физический доступ к устройству для аппаратного подтверждения действия).

AMT оснащён защищённым чипом (например, EAL5+/SE), поддерживающим аппаратное шифрование данных (AES-256, RSA-4096).

Информация хранится локально, и поскольку данные не передаются в облако, любой риск внешней атаки исключен.

Устройство АМТ имеет Многоуровневую(n-уровневую) архитектуру.

Суть данной архитектуры в том, что каждый Уровень\Слой имеет зависимости только от самого себя, и от нижестоящего слоя, к примеру, архитектура MVC (Model – View – Controller), или клиент-серверная, являются частным случаем Многоуровневой Архитектуры.

Так же, многоуровневая архитектура очень распространена среди клиент серверных приложений. Несмотря на то, что АМТ сервер располагается на одноплатном компьютере, принцип его работа остается прежним. Составными частями являются:

−плагин – Программа, хранимая в постоянной памяти АМТ, и запускаемая на АМТ. Реализует функционал Менеджера паролей, СКУД, файлового хранилища и т.д.

−хост система – устройство, к которому подключено АМТ.

−программное Ядро, или просто Ядро – ПО АМТ, которое управляет всеми аппаратными ресурсами, занимается криптографией, контролирует безопасность и корректную работу Плагинов. Является сетевым сервером, что обрабатывает запросы.

−клиент – сетевой клиент по отношению к Ядру АМТ. Плагины тоже являются Клиентами, и обращаются к Ядру. Как для обеспечение больше безопасности, так и по техническим причинам.

−агент – программа, запушенная на Хост системе, с целью автоматизации задач, для реализации которых может потребоваться функционал безопасности АМТ. Агент является клиентом. Поэтому, как и Плагин, Агент может запросить выделить у Ядра ему аппаратные ресурсы на АМТ, и передать\запросить конфиденциальную информацию на сохранение.

На рисунке 2 представлена системная архитектура АТМ, которая представляет собой многоуровневую систему, где каждый слой выполняет строго определённые функции, обеспечивая безопасное и эффективное взаимодействие между пользователем и аппаратной частью устройства.

Уровни архитектуры включают:

1. Интерфейс пользователя(браузер); Агенты
2. Сетевой мост (через OTG USB) в хост систему. Осуществляет как связь между бекендом Плагинов и Фронтендом Плагинов для Пользователя в хост системе, так и открывает доступ Агентам к API ядра.
3. Виртуальная среда АМТ (контейнеры и виртуальная сеть): здесь существую Клиенты и Плагины.
4. API ядра, он же Сетевой Интерфейс Ядра
5. Бизнес-логика
6. Аппаратные модули ядра, Сервисные модули ядра, БД
7. Аппаратные хранилища данных: SDcard, ПЗУ Одноплатника.

По выполняемым ролям уровни подразделяются на:

−1-й уровень - фронтенд.

−2-й и 3-й - транспортная среда.

−4-й, 5-й, 6-й уровни являются программным ядром, бекендом.

−7-й аппаратной платформой.

Управление устройством происходит от верхних уровней к нижним – Пользователь взаимодействует с веб интерфейсом, веб интерфейс, через сетевой мост попадает в виртуальную сеть, там пакет маршрутизируется к плагину, он его обрабатывает, делает запрос к ядру, ядро выполняет запрос, возвращает плагину ответ, плагин возвращает ответ пользователю в веб интерфейс по виртуальной сети и сетевому мосту. Если при запросе к ядру было запрошено чтение\запись конфиденциальной информации, ядро уведомит на мини дисплее устройства о необходимости подтвердить операцию нажатием кнопки на устройстве.

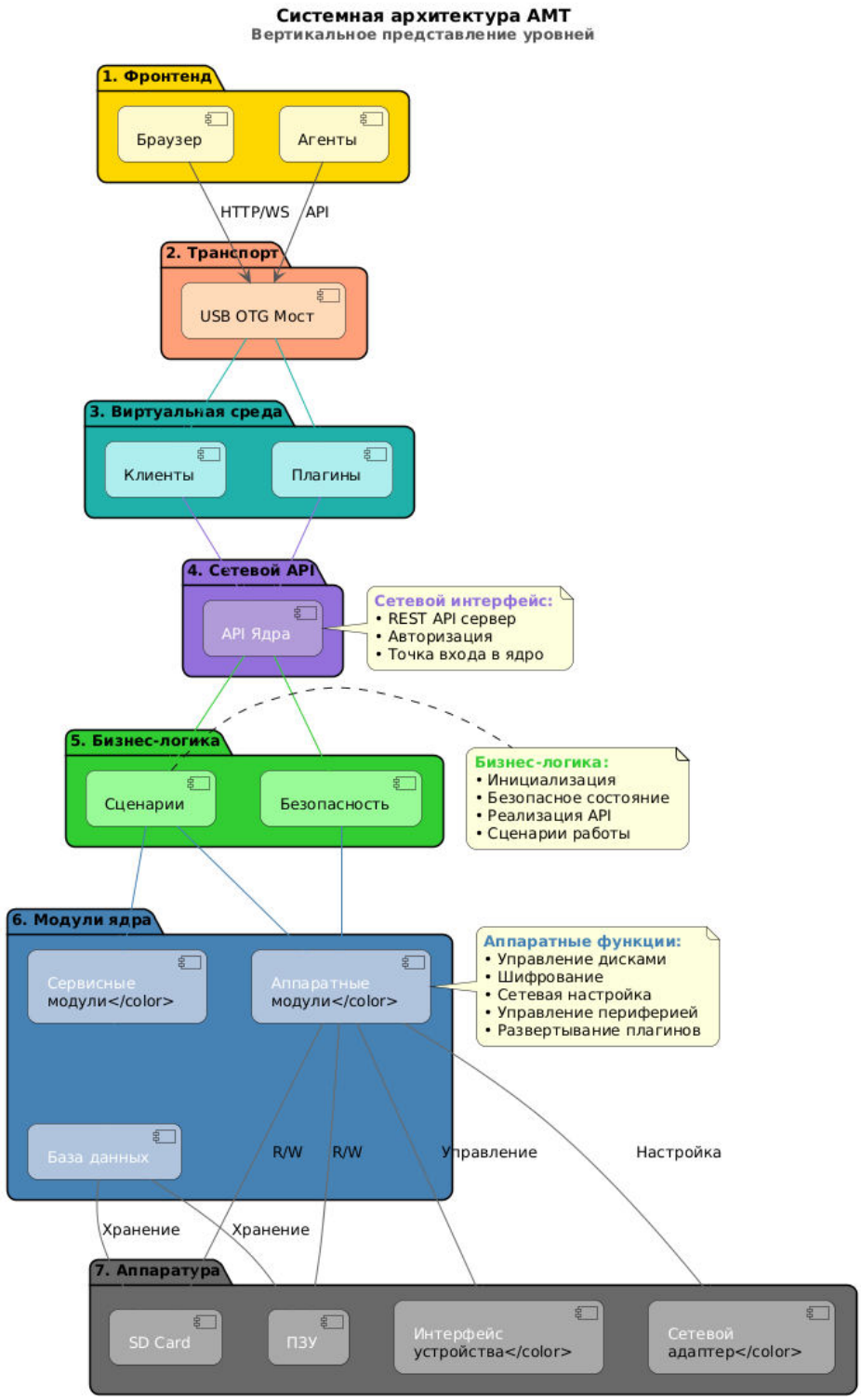


Рисунок 2. Системная архитектура АТМ

Устройство Ядра.

В ядре по функционалу можно выделить следующие модули:

– аппаратное Модули ядра;
– сервисные модули;
– бизнес-логика;
– сетевой API или Сетевой Интерфейс.

Аппаратное Модули ядра:

1. Занимаются управлением и шифровкой физических дисков.

2. Настройкой сетевого адаптера.
3. Управление светодиодами, кнопками, дисплеями на AMT.
4. Развёртка\удаление плагинов AMT.

Сервисные модули ведут себя как библиотеки, обслуживают бизнес-логику.

Бизнес-логика (функции):

- написание сценария, вызывая остальные модули как библиотеки
- инициализация оборудования
- поддержку безопасного состояния системы
- реализация методов API.
- сетевой Интерфейс (API):
- выступает «точкой входа», для доступа к Бизнес-логике.
- является интерфейсом для ядра для клиентов. Плагин или Агент становятся полностью легитимны, как только авторизуются через API
- поднимает сервер и оборачивает методы бизнес-логики в REST запросы.

Принцип работы системы

1. Начало работы: пользовательский интерфейс. Всё начинается с фронтенд-уровня, где пользователь взаимодействует с системой через веб-браузер или специализированных агентов. Браузер отправляет HTTP/WebSocket-запросы, а агенты могут напрямую обращаться к API. Эти запросы попадают в сетевой мост (USB OTG), который выступает шлюзом между внешним миром и внутренней средой системы.

2. Транспортный уровень: маршрутизация и виртуальная среда Сетевой мост перенаправляет запросы в виртуальную среду AMT [2], где работают клиенты и плагины. Здесь происходит предварительная обработка:

- Клиенты могут быть служебными процессами, управляющими сессиями;
- Плагины расширяют функционал системы, обрабатывая специфические задачи.

Если запрос требует доступа к ядру, он передаётся дальше — на уровень сетевого API.

3. Ядро системы: API, бизнес-логика и модули Сетевой API — это «дверь» в ядро. Он:

- Проверяет авторизацию (легитимность клиента или плагина).
- Преобразует внешние REST-запросы во внутренние вызовы.
- Защищает систему от недопустимых операций.

После успешной проверки запрос попадает в бизнес-логику, которая определяет, какие действия нужно выполнить. Здесь работают:

- Сценарии— последовательности операций (например, настройка устройства).
- Механизмы безопасности — контроль доступа, подтверждение операций (например, запрос нажатия кнопки для критичных действий).
- Бизнес-логика обращается к модулям ядра:
- Аппаратные модули управляют «железом» (дисками, сетью, дисплеем).
- Сервисные модули обеспечивают работу БД, фоновых задач и других служб.

4. Аппаратный уровень: работа с физическим устройством.

Когда ядру нужно прочитать/записать данные или изменить состояние устройства, оно обращается к:

- Постоянной памяти (ПЗУ/SD-карта) — хранилище конфигураций и данных.
- Сетевому адаптеру — для настройки подключений.
- Интерфейсу устройства (кнопки, дисплей) — для взаимодействия с пользователем «на месте».

5. Обратная связь и завершение операции
Результат выполнения цепочки возвращается обратно:

- Данные с аппаратного уровня → модули ядра → бизнес-логика → API.
- API формирует ответ и отправляет его через виртуальную среду и мост обратно в браузер или агенту.

Если операция затрагивает критичные данные (например, изменение шифрования), ядро может потребовать физического подтверждения (нажатие кнопки на устройстве), что исключает удалённые атаки.

Система обеспечивает:

– чёткое разделение уровней для безопасности и масштабируемости;
– гибкость за счёт плагинов и виртуальной среды;
– контроль над аппаратной частью через строгую бизнес-логику;
– двухфакторную аутентификацию для критичных операций.

Такая архитектура подходит для IoT-устройств, защищённых шлюзов и систем, где важны и удобство управления, и безопасность.

Если углубится в вопрос, то хоть AMT в контексте пользователя и плагинов ведёт себя как классическое Многоуровневое или MVC приложение, то ядро, в связи с спецификой решаемой им задаче в самом аппаратно-программном комплексе AMT, имеет луковую архитектуру (Onion Architecture).

Сама база данных находится на ПЗУ AMT.

Бизнес-логике же, находящийся в центре луковичной архитектуры, остаётся командовать все остальными плагинами, и управлять классами сущностей Client (Клиент) и AllocatedResources.

К одному из вспомогательных модулей бизнес логики, так называемым сервисам бизнес логики, относится модуль VerificationCertificate. Его задача провыть подлинность сертификатов и цифровых подписей.

База данных в архитектуре аппаратного мультизадачного токена выполняет критически важную функцию централизованного управления двумя ключевыми сущностями системы: клиентами и выделенными ресурсами. Такой подход обеспечивает безопасное и эффективное функционирование всего комплекса.

База данных AMT призвана хранит 2 сущности: Client (Клиент) и AllocatedResources (Выделенные Ресурсы) [3]. На рисунке 3 представлена ER диаграмма БД.

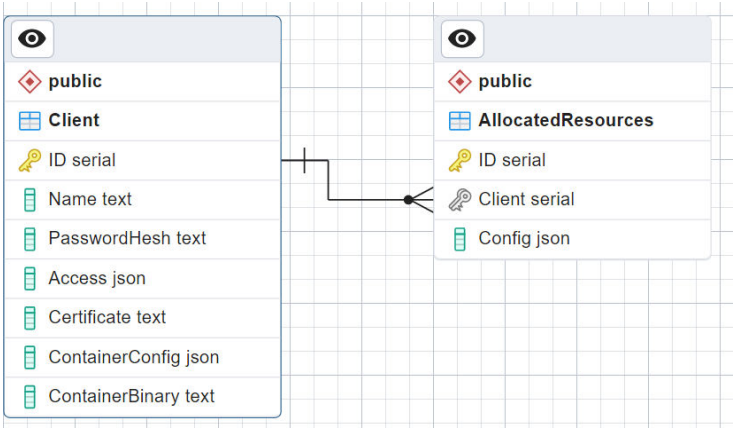


Рисунок 3. ER Диаграмма БД

Сущность Client (Клиент)

В Клиенте хранится вся учётная информация, которая необходима для однозначной аутентификации и подтверждение подлинности Клиента. Хранение информации о клиентах позволяет реализовать:

– персонифицированный доступ к функционалу токена;
– учет и аудит действий пользователей;
– гибкую систему авторизации и аутентификации;
– управление правами доступа к криптографическим операциям.

В структуре клиентских данных обычно содержатся:

–Уникальные идентификаторы пользователей;

−данные для аутентификации (хеши PIN-кодов);

−привязка к цифровым сертификатам;

−история обращений к устройству;

−текущий статус и уровень доступа.

В Клиенте хранится вся учётная информация, которая необходима для однозначной аутентификации и подтверждение подлинности Клиента.

Представленное Устройство выполняет несколько ключевых функций одновременно, заменяя собой целый набор специализированных инструментов. Оно может служить одновременно:

- защищённым хранилищем паролей и ключей шифрования,
- генератором одноразовых кодов для аутентификации,
- средством электронной подписи документов,
- контроллером доступа к физическим и виртуальным ресурсам.

Особенностью АМТ является его автономность– токен сохраняет работоспособность даже без подключения к интернету, что делает его незаменимым для работы с особо важными системами в изолированных средах. При этом устройство поддерживает современные криптографические стандарты, включая российские алгоритмы шифрования, что позволяет использовать его в государственных информационных системах и банковской сфере, а также распределенных системах измерения, контроля и управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ (ред. от 12.12.2023) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» // Официальный интернет-портал правовой информации.

2. OpenAPI Specification. URL: — Режим доступа: https://swagger.io/specification/ (дата обращения: 03.06.2025).

3. OAuth 2.0 Authorization Framework. — URL: https://tools.ietf.org/html/rfc6749 (дата обращения: 03.06.2025).

DEVELOPMENT OF A HARDWARE MULTITASKING TOKEN

Belyy D.A.

Supervisor: Izosimova T.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Moscow Humanitarian and Technological University

- Moscow Architectural and Construction Institute, Moscow)

Abstract. This article presents the development of a hardware-software complex, which is an HMT (Hardware Multitasking Token) device. This device introduces new approaches to solving the problem of ensuring information security. The main value of the HMT lies in its ability to provide a fundamentally different level of security compared to software solutions. Unlike virtual tokens or SMS authentication, the HMT stores all cryptographic keys and performs operations inside a secure hardware module, eliminating the possibility of their interception even if the main system is compromised. This is especially important for financial transactions, working with confidential documents, and accessing corporate resources.

УДК 004.896

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Гайфуллин Н.М.

Научный руководитель: Денисов Е.С., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева, Казань)

Аннотация. В работе представлена разработка автоматизированной системы контроля установки радиоэлементов на печатных платах с использованием технологии компьютерного зрения. Система реализована на базе одноплатного компьютера Raspberry Pi и включает адаптивную подсветку, цифровую камеру и модуль обработки изображений, обеспечивая контроль монтажа в реальном времени.

Автоматизация технического контроля в электронной промышленности позволяет существенно повысить стабильность качества продукции при уменьшении доли ручных операций. Среди наиболее значимых этапов — проверка правильности установки радиоэлементов на печатные платы (ПП), где даже небольшое отклонение может привести к отказу всего устройства. Существующие решения, основанные на автоматических оптических инспекциях (AOI), зачастую предполагают высокую стоимость и недоступны для мелкосерийного производства. В данной работе предлагается система, реализующая автоматизированную проверку монтажа элементов на ПП, основанная на применении алгоритмов нейросетевых архитектур [1-3] и адаптивного управления подсветкой.

Система реализована с использованием одноплатного компьютера Raspberry Pi и цифровой камеры. Информация с камеры поступает в блок обработки изображений, в котором реализован алгоритм обнаружения установленных компонентов. Для минимизации влияния внешней освещённости используется датчик освещённости и программное управление яркостью светодиодной кольцевой подсветки. Вся логика функционирования построена на базе библиотек OpenCV и предварительно обученной нейросетевой модели YoloV11, адаптированной для задач реального времени [4]. Структура построенной системы показана на рисунке 1.

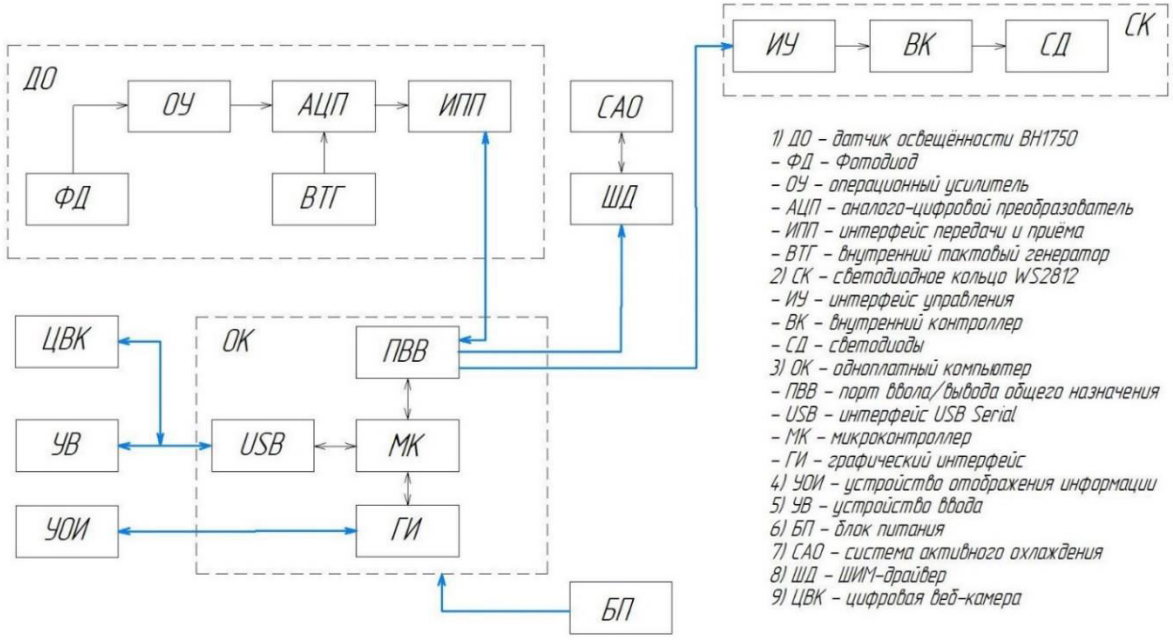


Рисунок 1. Структурная схема системы

Система состоит из модулей: видеозахвата, адаптивного освещения, управления, обработки изображений и внешней индикации. Устройство обеспечивает контроль платы, находящейся в зоне съёмки, с последующим выводом информации о соответствии реального монтажа эталонной модели. Учитывая низкий уровень вычислительных ресурсов и ограниченность оптики, были проведены оптимизации алгоритма на уровне параметров выборки и архитектуры модели. Обработка производится в разрешении 960×540 с возможностью масштабирования.

Алгоритм работы, показанный на рисунке 2, реализован по блочному принципу. После инициализации происходит считывание уровня освещённости и установка соответствующего режима подсветки. Далее поступающее изображение подвергается обработке, производится детекция и сравнение координат обнаруженных компонентов с эталоном. При наличии несоответствий формируется отчёт.

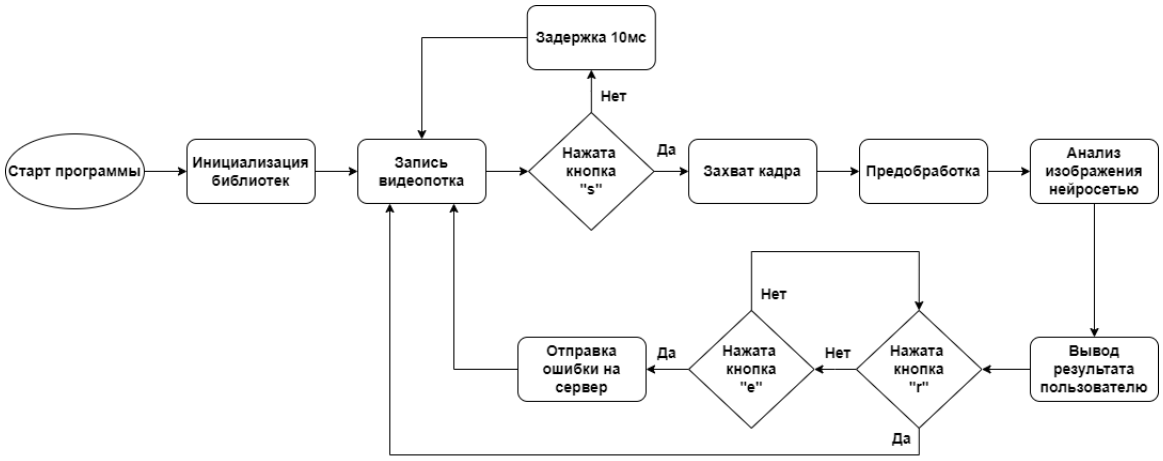


Рисунок 2. Блок схема алгоритма распознавания

Особое внимание в процессе тестирования уделялось устойчивости системы к внешним воздействиям: изменение яркости, тени, наклоны платы, различное количество и плотность элементов. На рисунке 3 представлена зависимость точности обнаружения от уровня внешней освещённости. Эксперименты показали, что при освещённости менее 100 лк точность начинает резко снижаться, тогда как при значениях 300–500 лк достигается стабильная работа системы.

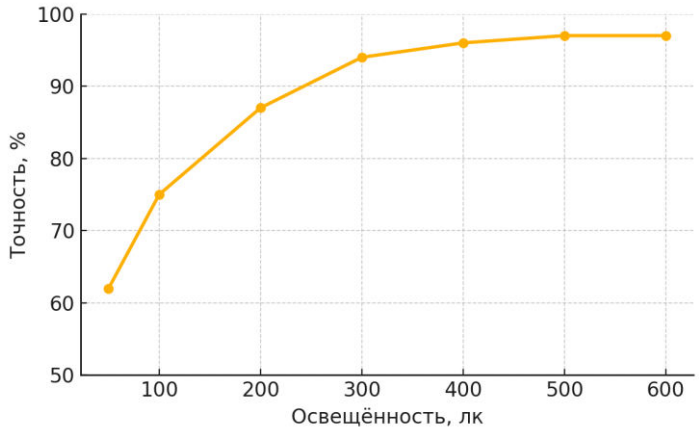


Рисунок 3. График зависимости точности обнаружения от уровня внешней освещённости

Проверка работоспособности производилась на платах различной сложности — от простых односторонних до многослойных модулей с комбинированной установкой. В таблице 1 приведены результаты, полученные на трёх типах тестовых образцов. Отмечено,

что даже при плотной упаковке компонентов, точность сохраняется на приемлемом уровне без использования дополнительных источников данных.

Таблица 1

Результаты тестирования системы на различных типах плат и наклонов

Тип платы	Кол-во элементов	Плотность монтажа	Точность (%)	При наклоне 3° (%)	При наклоне 5° (%)	При наклоне 10° (%)
Простая макетная	22	Низкая	100	100	98	91
Промежуточная	68	Средняя	96	96	94	86
Высокой плотности	142	Высокая	92	90	88	77

Последующие эксперименты также показали, что при увеличении угла наклона платы свыше 10° точность начинает снижаться. Это связано с геометрическими искажениями изображения и уменьшением видимой области полезных элементов. Для повышения устойчивости работы в подобных условиях перспективным является использование алгоритмов коррекции перспективы и применение систем с несколькими камерами. При этом даже на платах с высокой плотностью монтажа удаётся достичь приемлемого уровня точности без применения сложных и дорогостоящих систем автоматической оптической инспекции.

Дополнительно для анализа производительности системы была проведена серия экспериментов с различным разрешением входных изображений. На рисунке 4 представлена зависимость частоты кадров и точности распознавания от изменения разрешения.

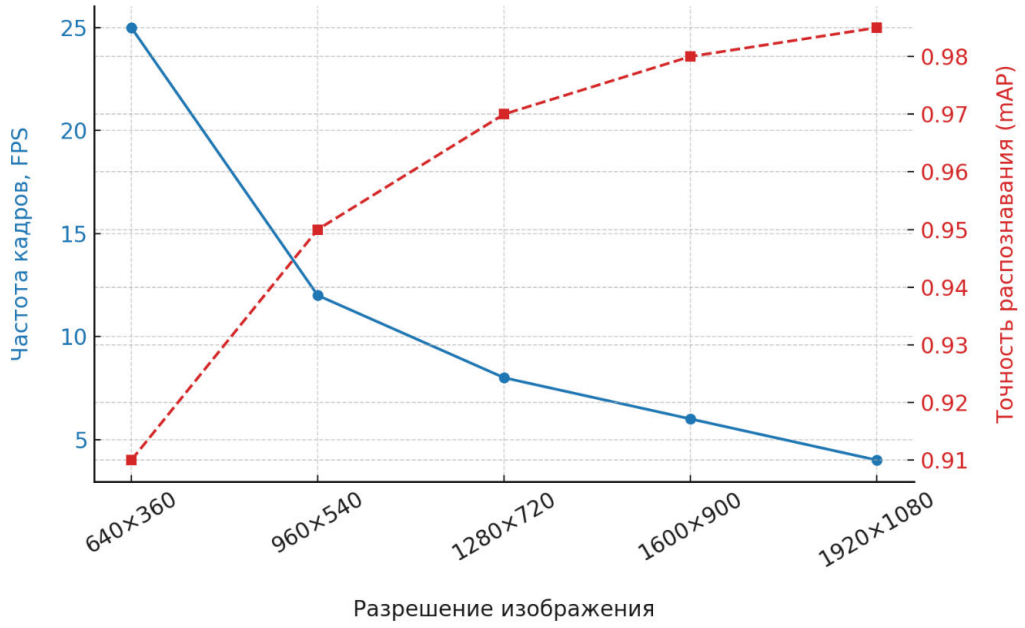


Рисунок 4. График зависимости частоты кадров
и точности распознавания от разрешения изображения

Как видно из графика, при уменьшении разрешения достигается значительный рост скорости работы: при 640×360 система обеспечивает до 25 кадров в секунду, тогда как при 1280×720 частота падает до 8 кадров в секунду, а при 1920×1080 — до 4 кадров в секунду. Одновременно с этим наблюдается обратная тенденция в точности: более высокое разрешение даёт прирост до 98–99 %, в то время как при низком разрешении точность снижается до 91 %. Оптимальным режимом работы является использование разрешения 960×540, которое обеспечивает баланс между скоростью (около 12 кадров в секунду) и стабильной точностью распознавания (95 %).

В работе предложена и экспериментально проверена система контроля правильности установки радиоэлементов на печатных платах, построенная на базе доступных аппаратных средств и открытых программных библиотек. Полученные результаты подтверждают возможность её использования в условиях учебных лабораторий, малых производственных предприятий и для разработки мобильных стендов технического контроля. В дальнейшем предполагается расширение функционала за счёт внедрения алгоритмов классификации дефектов и интеграции методов прогнозирования отказов. Перспективным направлением также является адаптация системы для работы в условиях серийного производства с возможностью оптимизации параметров инспекции, что соответствует современным тенденциям развития автоматизированного контроля качества [5].

Таким образом, предложенная система подтверждает применимость недорогих вычислительных платформ и открытых алгоритмов для построения эффективных решений в области технического контроля. Полученные результаты указывают на возможность интеграции разработанной системы в производственные процессы малых предприятий, учебные лаборатории и мобильные станции проверки.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Контроль и прогнозирование критических режимов работы водородных топливных элементов в процессе эксплуатации на основе искусственных нейронных сетей / Е.С. Денисов, Н.Р. Гайсин, Т.П. Никишин, Н.А. Адъютантов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 12. – С. 11-16. – DOI 10.25791/pribor.12.2021.1308. – EDN ZWNFWW.

2. *Ляшева М.М.* Обнаружение пешеходов на изображениях на основе модели глубокого обучения / М.М. Ляшева, С.А. Ляшева, М.П. Шлеймович // Электроника, фотоника и киберфизические системы. – 2023. – Т. 3, № 4. – С. 7-18.

3. *Гизатуллин З.М.* Прогнозирование кондуктивных помех от преобразователя электроэнергии с использованием искусственной нейронной сети / З.М. Гизатуллин, Р.Р. Мубараков // Журнал радиоэлектроники. – 2025. – № 4.

4. *Адамова А.А., Зайкин В.А., Гордеев Д.В.* Методы и технологии машинного обучения и нейросетевых технологий в задачах компьютерного зрения // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2021. – Т. 23. – № 4. – С. 25–39.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING THE LOCATION OF PRINTED BOARD COMPONENTS BASED ON COMPUTER VISION TECHNOLOGY

Gaifullin N.M.

Supervisor: Denisov E.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents the development of an automated system for monitoring the installation of radio elements on printed circuit boards using computer vision technology. The system is based on a Raspberry Pi single-board computer and includes an adaptive lighting system, a digital camera, and an image processing module, providing real-time monitoring of the installation process.

УДК 681.518.5

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Галиева К.Р.

Научный руководитель: Сойко А.И., доцент, к т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье предложена интегрированная модель системы контроля качества вала, основанная на концепции цифрового двойника и современных цифровых измерительных технологиях. Модель включает проектирование 3D CAD-модели вала с внедрением геометрических допусков, автоматизацию измерительного процесса с использованием координатно-измерительных машин (КИМ), лазерных и оптических систем, а также интеграцию результатов измерений в информационные системы управления производством (ERP/MES). Реализован алгоритм сбора, анализа и статистической обработки данных, позволяющий выявлять отклонения и формировать корректирующие решения в реальном времени. Применение данной модели обеспечивает высокую точность, воспроизводимость и объективность контроля, а также создает условия для перехода к интеллектуальному управлению качеством в машиностроительном производстве.

Современное производство требует внедрения цифровых технологий на всех этапах жизненного цикла изделия, включая контроль качества. В данной статье представлена модель интегрированной цифровой системы метрологического контроля с использованием цифрового двойника. Подход базируется на принципах цифровой метрологии, виртуального моделирования и управляемых производственных решений.

В области геометрического контроля машиностроительных компонентов, таких как валы, цифровые измерительные технологии начали активно внедряться с конца XX века, однако только в последние десятилетия сформировался полноценный подход к созданию цифровых измерительных систем, в которых основное внимание уделяется не только точности измерений, но и обработке, хранению и интерпретации цифровых результатов. Современные координатно-измерительные машины (КИМ), оптические и лазерные системы формируют результат в цифровом виде, и лишь часть общего процесса можно отнести к непосредственному измерению. Главная нагрузка ложится на этапы обработки, интерпретации и анализа данных, что особенно важно при контроле параметров валов, таких как диаметр, соосность, овальность, прямолинейность и шероховатость.

В цифровых измерительных системах (ЦИС), которые применяются для контроля качества валов, измерительные, вычислительные и управляющие функции интегрированы в единый технологический цикл. На выходе системы формируется цифровой результат, однако возникает вопрос, сколько в его точности и достоверности. Современная метрология цифровых измерений предполагает отделение измерительных компонентов (КИМ, датчиков) от вспомогательных: программных интерфейсов, модулей хранения, обработки и визуализации данных [1].

В сложных цифровых системах контроля качества, например, при массовом производстве валов, цифровые измерительные каналы (ЦИК) выполняют непосредственное измерение, а цифровые платформы (контроллеры, ERP-системы, статистические модули) реализуют вторичную обработку.

При разработке модели системы контроля качества вала необходимо определить ключевые параметры, влияющие на его эксплуатационные характеристики. На основе анализа нормативных документов [2, 3] и условий эксплуатации выделены следующие основные параметры:

Диаметр - один из наиболее критичных параметров, влияющий на совместимость вала с подшипниками и другими соединяемыми элементами. Для валов, участвующих в передаче крутящего момента, требуется точность измерения диаметра в пределах 0,01-0,05 мм.

Длина - важна для обеспечения правильной установки и функционирования механизма в целом. Измерения длины должны проводиться с учетом возможных температурных расширений материала.

Соосность - обеспечивает равномерное распределение нагрузки и уменьшает износ подшипников. Отклонения от соосности могут привести к вибрациям и преждевременному выходу из строя.

Овальность - отклонение от идеальной цилиндрической формы, которое может вызвать неустойчивую работу механизма и повышенные вибрации. Требуется контроль с точностью до 10 мкм.

Шероховатость поверхности - влияет на трение в подшипниках и других соединительных узлах. Для разных условий эксплуатации требуются различные уровни шероховатости.

При определении параметров необходимо учитывать условия эксплуатации вала: рабочие нагрузки - для валов, подвергающихся высоким нагрузкам (более 2000 Н), требуются более жесткие требования к материалам и геометрической точности; скорость вращения - валы, работающие на высоких оборотах (более 3000 об/мин), требуют особого контроля соосности и шероховатости; условия окружающей среды - температурные колебания, влажность и наличие агрессивных веществ могут влиять на выбор параметров и методов контроля. Для экспериментальной апробации методики выбран ступенчатый вал из стали 40Х, обладающей высокой прочностью и износостойкостью, что делает её идеальной для деталей, подверженных высоким нагрузкам.

Для контроля геометрических параметров вала целесообразно использовать следующие средства цифровых измерений: цифровые штангенциркули (ШЦЦ) - для измерения линейных размеров, обладающие преимуществами доступности, простоты использования, высокой точности (до 0,01 мм) и возможности прямого получения цифровых данных без погрешностей считывания; цифровые микрометры (МКЦ-25, МКЦ-50, МКЦ-75) - для прецизионных измерений диаметров с точностью до 0,001 мм, обеспечивающие высокую повторяемость результатов и минимальное влияние оператора; координатно-измерительные машины (КИМ) - для многокоординатных измерений с точностью до 1 мкм, позволяющие проводить комплексный контроль геометрии вала, включая отклонения формы и расположения поверхностей, с программируемым процессом измерения, снижающим влияние человеческого фактора; концевые меры длины - применяемые для калибровки измерительных приборов и контроля небольших размеров с высокой точностью.

Выбор конкретных средств измерений для каждого параметра вала представлен в таблице 1.

Если цифровая система обработки результатов снижает точность, достигнутую на этапе измерений (например, вследствие округлений, потерь значности, ошибок передачи или ограниченной разрядности), возникает погрешность, способная нивелировать преимущества высокоточного оборудования. Чтобы этого избежать, в архитектуру цифровой метрологической системы внедряются методы повышения точности: от увеличения разрядности чисел в статистических вычислениях до использования алгоритмов компенсации ошибок. Например, если измерение овальности вала проведено с точностью ±2 мкм, то система обработки должна иметь точность не хуже ±0,5 мкм на выходе всех программных преобразований.

Таким образом, цифровая система контроля качества вала состоит из:

1. измерительных компонентов (ЦИК) - обеспечивающих сбор параметров;

2. не измерительных компонентов - обеспечивающих анализ, визуализацию и хранение результатов;

3. алгоритмов контроля, связывающих цифровой двойник с измеренными данными.

Методология цифровых измерений позволяет формализовать требования ко всем этапам работы системы с момента получения информации до формирования управленческого решения. Метрология цифровых измерений обеспечивает прослеживаемость и достоверность результатов контроля, а точность характеристики цифровых компонентов гарантируют их сохранность на всех этапах жизненного цикла продукции.

Таблица 1

Выбор средств измерений для контроля параметров вала

Параметр	Диапазон размеров	Средство измерения
Диаметр	26,5-66 мм	Микрометр цифровой МКЦ-25, МКЦ-50, МКЦ-75, Штангенциркуль цифровой ШЦЦ
Длина	3-90 мм	Штангенциркуль цифровой ШЦЦ, Микрометр цифровой МКЦ-25, Концевые меры длины
Соосность	-	Координатно-измерительная машина
Овальность	-	Координатно-измерительная машина, Микрометр цифровой
Шероховатость	-	Профилометр цифровой

Внедрение такой системы в машиностроительное производство не только повышает точность измерений валов, но и создаёт предпосылки для интеллектуального управления качеством продукции, перехода к самонастраивающимся производственным ячейкам и полной интеграции с цифровыми платформами, на рисунке 1 представлена функциональная схема контроля геометрических параметров изделия с использованием нотации IDEF0.

1. Проектирование и создание цифрового двойника

Первым этапом является создание трехмерной CAD-модели изделия (вала), в которой указываются все критические геометрические параметры, допуски и условия эксплуатации. Эта модель становится основой цифрового двойника, способного не только описывать геометрию, но и служить базой для дальнейшего метрологического анализа.

2. Формирование виртуальной метрологической модели (ВММ)

На основе цифрового двойника формируется виртуальная метрологическая модель - программно-математический блок, имитирующий работу координатно-измерительной машины и цифровых средств измерений. Модель позволяет прогнозировать поведение измерительной системы, рассчитывать неопределенность и обеспечивать метрологическую верификацию.

3. Интеграция с цифровыми средствами измерений

CAD-модель и ВММ интегрируются с физическими измерительными устройствами через интерфейсы обмена данными. Координатно-измерительные машины (КИМ), цифровые штангенциркули и микрометры получают управляющие данные, а затем возвращают измеренные значения в цифровом виде. Процесс измерений автоматизирован и минимизирует влияние человеческого фактора.

4. Выгрузка и хранение результатов измерений

Полученные данные автоматически структурируются и выгружаются в протоколы. Каждому измерению присваиваются метки: дата, оператор, номер СИ, партия изделия. Протоколы формируются в форматах CSV, XML или Excel и передаются в базу данных цифрового паспорта изделия.

5. Статистическая обработка и контроль стабильности

Система производит автоматический расчет средних значений, отклонений, дисперсий, строит контрольные карты и гистограммы. Методы статистического управления процессом (SPC) позволяют отслеживать тренды и прогнозировать отказы.

6. Формирование управленческих решений

На основе анализа система передаёт управляющий сигнал: корректировку оборудования, смену инструмента или останов линии. Эти данные передаются в ERP/MES системы предприятия. Таким образом, реализуется замкнутый цифровой контур контроля качества.

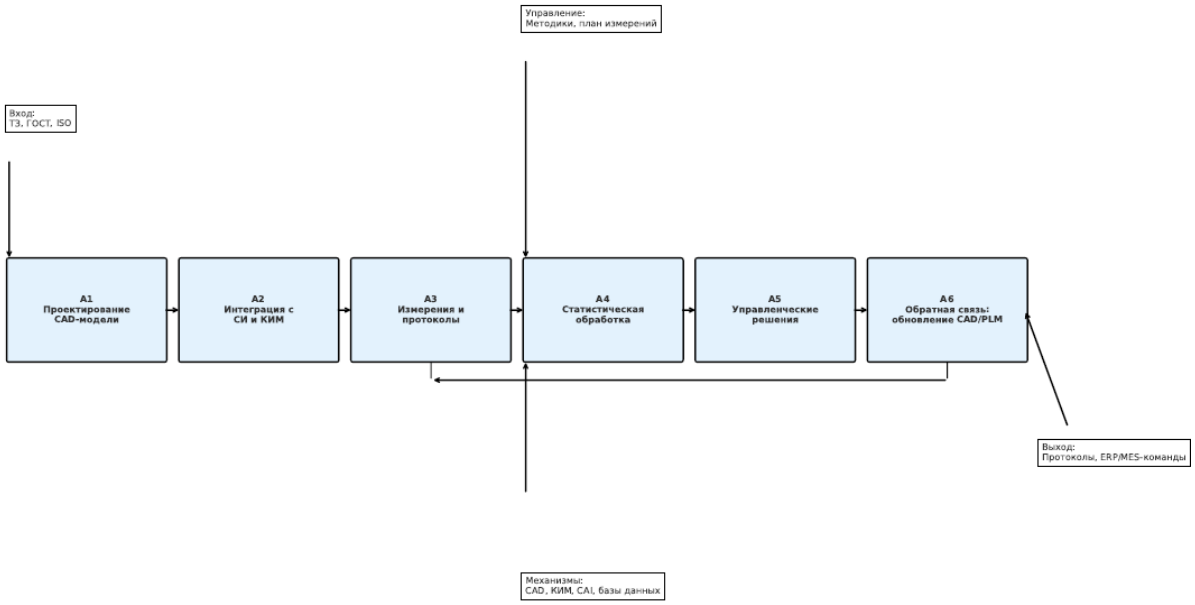


Рисунок 1. Функциональная схема контроля геометрических параметров изделия с использованием нотации IDEF0.

Предложенная модель объединяет CAD-проектирование, виртуальное моделирование, цифровую метрологию и автоматическое управление. Она, обеспечивая полный цикл контроля: от виртуального проектирования до принятия решения - и может быть применена в машиностроении, приборостроении и других отраслях промышленности в рамках концепции Индустрии 4.0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гуртовцев А*. Метрология цифровых измерений. Часть 2 / Гуртовцев А. – Текст: электронный // СТА - 2008. -№ 2. -URL: https://www.cta.ru/articles/cta/spravochnik/standartizatsiya-i-sertifikatsiya/125029/ (дата обращения: 06.07.2025).

2. ГОСТ 25347-2013 Система допусков на линейные размеры. Ряды допусков, предельные отклонения отверстий и валов = Basic norms of interchangeability. Geometrical product specifications. System for tolerances on linear sizes. Series of tolerances, limit deviations for holes and shafts: международный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 14 ноября 2013 г. № 44-ст.: 2021-01-01 / разработан Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский и конструкторский институт средств измерений в машиностроении» (ОАО «НИИизмерения») - Москва: Стандартинформ, 2014 - № 2. - 44 с. - Текст : непосредственный.

3. ISO 1101:2015 Геометрические характеристики изделий (GPS). Установление геометрических допусков. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения = Geometrical product specifications (GPS). Geometrical tolerancing. Tolerances of form, orientation, location and run-out: международный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие от 15.04.2015 г. № 5. - Женева: ISO, 2015. - № 5. - 29 с. - Текст: непосредственный.

AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING GEOMETRIC PARAMETERS OF A PRODUCT BASED ON DIGITAL DOUBLETS

Galieva K.R.
Supervisor: Soyko A.I., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article proposes an integrated model of the shaft quality control system based on the concept of a digital twin and modern digital measurement technologies. The model includes the design of a 3D CAD model of the shaft with the implementation of geometric tolerances, the automation of the measurement process using coordinate measuring machines (CMMs), laser and optical systems, and the integration of measurement results into production management information systems (ERP/MES). An algorithm for collecting, analyzing, and statistically processing data has been implemented, allowing for the detection of deviations and the generation of corrective solutions in real time. The use of this model ensures high accuracy, reproducibility, and objectivity of control, as well as creates conditions for the transition to intelligent quality management in mechanical engineering.

УДК 007.5

ОБЗОР И АНАЛИЗ РОССИЙСКИХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ И БИЗНЕС-АНАЛИТИКИ НА ПРИМЕРЕ ВНЕДРЕНИЯ PIX ROBOTICS

Давыдов Н.В.
Научный руководитель: Володин С.М., доцент, к. т. н.
(Московский гуманитарно-технологический университет - Московский архитектурно-строительный институт, г. Москва)

Аннотация. В статье проводится обзор и сравнительный анализ ведущих российских программных продуктов для автоматизации бизнес-процессов и аналитики в контексте импортозамещения. На практическом примере внедрения платформы PIX Robotics в ритейле подробно разбираются ключевые этапы проекта и демонстрируются конкурентные преимущества отечественных решений, такие как глубокая интеграция с 1С.

Эффективное управление бизнес-процессами – основа конкурентоспособности современной компании. В условиях высокой динамики рынка, особенно в розничной торговле, руководству необходимы оперативные и обоснованные данные для принятия решений. Традиционные методы управления и отчетности, завязанные на ручном сборе данных в Excel, становятся тормозом для развития, порождая ошибки, задержки и не позволяя проводить глубокий анализ [1].

Исторически сложилось, что для решения этих задач предприятия обращались к зарубежным программным продуктам. Однако в текущих реалиях активного импортозамещения и санкционного давления акцент смещается в сторону отечественного производителя. Российский рынок программного обеспечения предлагает множество решений — от классических систем бизнес-моделирования до комплексных платформ, объединяющих управление процессами, их роботизацию и продвинутую аналитику [2].

Данная статья преследует две цели, заключающиеся в проведении обзора ключевых российских программных продуктов для управления бизнес-процессами и внедрения на конкретном примере платформы PIX Robotics в ООО «Оффпрайс» [3] для демонстрации возможности этапов использования современного отечественного ПО для построения автоматизированного рабочего места (АРМ) руководителя (таблица 1).

Таблица 1

Сравнительный анализ классических BPM-решений

Сравнительная характеристика	«Business Studio»	«ELMA BPM»	«ПитерСофт»
Проектирование (моделирование)	Да	Да	Да
Формирование регламентов	Да	Нет	Да
Исполнение модели (внедрение)	Да/Нет	Да	Да
Мониторинг и контроль	Да	Да	Да
Совместимость с 1С	Ограниченная	Ограниченная	Полная
KPI	Да	Да	Да

К классическим технологиям управления бизнес-процессами можно отнести:

–«Business Studio» — система бизнес-моделирования, позволяющая создать эффективную организацию путем автоматизации и формализации процессов. Ее преимуществами являются простота, удобство и высокая скорость освоения. В продукте используются общеизвестные нотации моделирования (IDEF0, BPMN 2.0, EPC), интегрированы востребованные методики (BSC/KPI, имитационное моделирование, ФСА). Результатом работы являются регламентирующие документы, не требующие доработки [5].

–«ELMA BPM» – система, реализующая концепцию BPM (Business Process Management). Она позволяет не только моделировать, но и автоматически исполнять и контролировать процессы, строя гибкие адаптивные информационные системы. Функционал ELMA охватывает полный жизненный цикл процесса по циклу PDCA: проектирование, исполнение, контроль и оптимизация [4].

–«ПитерСофт» – решение, сфокусированное на электронном документообороте и процессном управлении на базе платформы «1С: Предприятие 8». Его ключевое преимущество — глубокая интеграция с экосистемой 1С, что позволяет оптимизировать оперативный, управленческий и бухгалтерский учет в процессной парадигме [6].

Однако современные вызовы требуют не только описания и исполнения процессов, но и их глубокой аналитики в реальном времени. Это привело к появлению на рынке нового класса решений — платформ бизнес-аналитики (BI) и роботизации (RPA).

Анализ, проведенный в выпускной квалификационной работе, показал, что для таких динамичных отраслей, как off-price ритейл, где важны скорость оборачиваемости товара, динамическое ценообразование и оперативное принятие решений, необходимы системы, способные [3]:

–Автоматически агрегировать данные из разных источников (1С, CRM, Excel).

–Обеспечивать визуализацию и глубокую аналитику в режиме реального времени.

–Автоматизировать рутинные операции по сбору и подготовке отчетности.

Среди рассмотренных российских BI-платформ (Visiology, Yandex DataLens, Modus BI, Форсайт) наилучшим образом специфике ООО «Оффпрайс» соответствовала платформа PIX Robotics, а точнее — ее продукт PIX BI [7].

PIX Robotics – это экосистема, включающая:

–PIX RPA – для роботизации бизнес-процессов.

–PIX BI – система умного бизнес-анализа.

–PIX Процессы – платформа для процессного управления.

Ключевые преимущества PIX Robotics для ритейла:

–Глубокая интеграция с 1С: Прямое подключение к базе 1С без ручного экспорта данных, что исключает ошибки и задержки.

–Автоматизация отчетности: Время формирования отчетов сокращается с 2-3 часов до 15-20 минут.

–Динамические дашборды: Интерактивные панели с сквозной фильтрацией, показывающие KPI в реальном времени (объем продаж, средний чек, оборачиваемость, остатки).

–Встроенные алгоритмы AI: Машинное обучение для прогнозирования продаж с учетом сезонности.

–Локальное размещение: Данные хранятся на серверах компании, что соответствует требованиям безопасности и 152-ФЗ. Как пример, на Рисунке 1 представлен дашборд, разработанный в PIX BI, который консолидирует ключевые показатели эффективности отдела продаж в реальном времени.

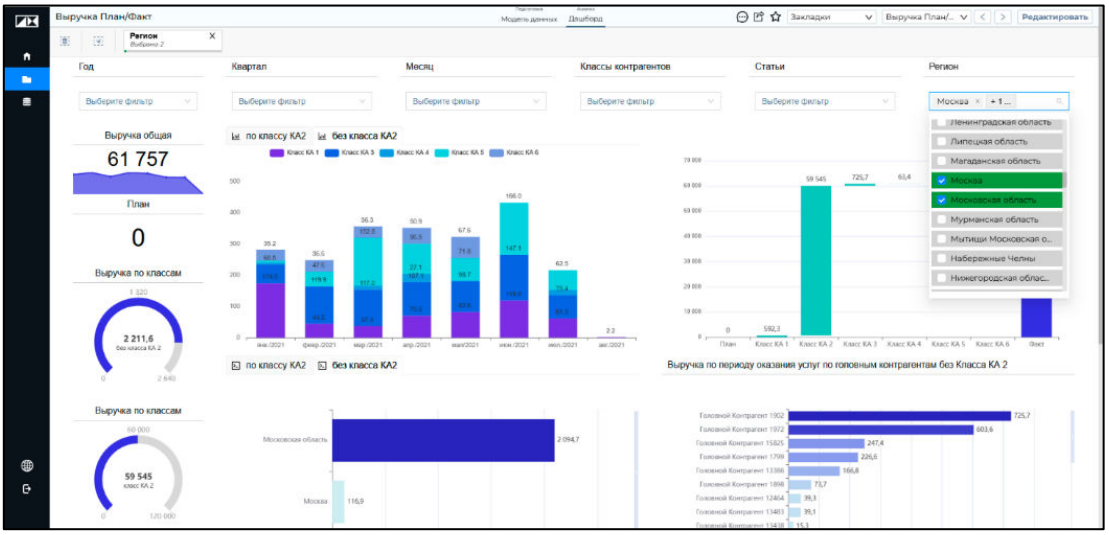


Рисунок 1. Анализ продаж

Сравнительный анализ платформ показал, что PIX Robotics обладает наивысшей степенью соответствия требованиям российского ритейла по сравнению с другими отечественными и даже некоторыми зарубежными аналогами. ООО «Оффпрайс» – компания, работающая в сегменте off-price ритейла. Аудит выявил ключевые проблемы отдела продаж:

–Трудоемкость отчетности: До 3 часов в день тратилось на ручной перенос данных из 1С в Excel.

–Высокая ошибкоемкость: Значительный процент отчетов содержал неточности.

–Неоперативность данных: Отсутствие данных об остатках в реальном времени вело к затовариванию складов и недовольству клиентов.

–Ограниченность анализа: Невозможность проводить глубокую аналитику (до товара, до клиента) и выявлять тренды.

Для формализации требований была разработана функциональная модель системы учета продаж в нотации IDEF0 (Контекстная диаграмма и диаграмма декомпозиции), а также детализированы процессы в нотации BPMN (напр., процесс «Контроль оплаты»). Моделирование наглядно показало точки возникновения данных и узкие места, подлежащие автоматизации.

На платформе PIX BI было разработано автоматизированное рабочее место (АРМ) руководителя отдела продаж, включающее:

–Дашборды: Визуализация ключевых показателей (продажи, прибыль, средний чек, конверсия).

–Отчеты: Детализированные отчеты в разрезе товаров, категорий, менеджеров, магазинов.

–Систему оповещений: Уведомления о критических отклонениях от плана.

Интеграция с 1С была выполнена нативными средствами PIX Robotics, что обеспечило бесперебойную синхронизацию данных.

На Рисунке 2 показан один из отчетов, входящих в состав АРМ, позволяющий руководителю анализировать наиболее возвращаемую продукцию.

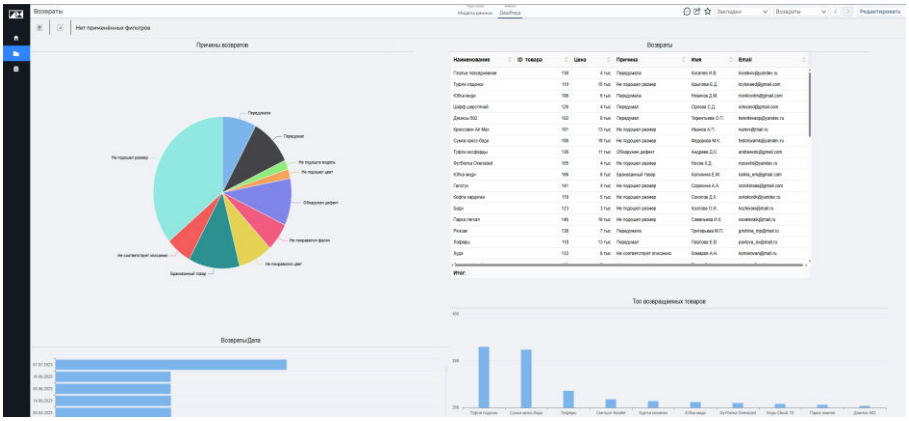


Рисунок 2. Отчет о возврате продукции

Внедрение решения позволило перейти от рутинного ручного труда к автоматизированному анализу, значительно повысив скорость и качество принимаемых управленческих решений.

Проведенное исследование и успешный кейс внедрения позволяют сделать следующие выводы:

–Российский рынок ПО предлагает зрелые и конкурентоспособные решения для управления и аналитики бизнес-процессов, которые полностью покрывают потребности современных компаний.

–Эволюция решений движется от классических систем моделирования (Business Studio, ELMA BPM) к комплексным платформам, объединяющим BI, RPA и управление процессами (PIX Robotics), что позволяет не только описывать, но и автоматически исполнять, анализировать и непрерывно улучшать бизнес-процессы.

–Внедрение PIX Robotics в ООО «Оффпрайс» доказало операционную целесообразность использования отечественных BI-решений. Проект позволил устранить ключевые операционные недостатки и создать современную систему поддержки принятия решений.

–Ключевым преимуществом таких решений, как PIX Robotics, является их глубокая и бесшовная интеграция с массово распространенной в России платформой 1С, что значительно снижает сложность внедрения по сравнению с зарубежными аналогами.

Таким образом, современные российские программные продукты для управления бизнес-процессами и бизнес-аналитики являются не просто адекватной заменой ушедшим с рынка зарубежным решениям, но во многих аспектах (интеграция, адаптивность, поддержка) предлагают более выгодные и адаптированные под специфику российского бизнеса условия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Стрельчук А.* Оптимизация бизнес-процессов управления задачами с использованием low-code платформ / А. Стрельчук, С.М. Володин, Е.А. Черенкова // Современные и информационные технологии в социальной сфере: Сборник научных трудов V Всероссийской технической научно-практической конференции, Чебоксары, 25 апреля 2025 г. – Чебоксары: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2025. – С. 100-104. – EDN FXDKDR.

2. *Белугин А.А.* Связь и различие между управлением бизнес-процессами и реинжинирингом бизнес-процессов / А.А. Белугин, С.М. Володин // Современные и информационные технологии в социальной сфере: материалы IV Всероссийской технической научно-практической конференции, Чебоксары, 25 апреля 2024 года. – Чебоксары: ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 2024. – С. 19-24. – EDN YMDFZV.

3. *Давыдов Н.В.* Разработка автоматизированного рабочего места для руководителя отдела продаж ООО «Оффпрайс» на платформе PIX Robotics. Выпускная квалификационная работа. – 2025.

4. Как работает BPM-система: ELMA BMP. – Текст: электронный. URL: http://www.elma-bpm.ru/product/bpm/system_work.html (дата обращения: 23.08.2025).

5. «Business Studio». – Текст: электронный. URL: http://www.businessstudio.ru/ (дата обращения: 23.08.2025).

6. «ПитерСоф» – Текст: электронный. URL: http://piter-soft.ru/index.php (дата обращения: 23.08.2025)

7. «PIX Robotics». – Текст: электронный. URL: https://pix.ru/ (дата обращения: 23.08.2025)

REVIEW AND ANALYSIS OF RUSSIAN SOFTWARE PRODUCTS FOR AUTOMATION OF BUSINESS PROCESSES AND BUSINESS ANALYTICS ON THE EXAMPLE OF IMPLEMENTATION OF PIX ROBOTICS

Davydov N.V.

Supervisor: Volodin S.M., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Moscow Humanitarian and Technological University

- Moscow Institute of Architecture and Civil Engineering, Moscow)

Abstract. The article provides a review and comparative analysis of leading Russian software products for business process automation and analytics in the context of import substitution. Using the practical example of implementing the PIX Robotics platform in retail, it details the key stages of the project and demonstrates the competitive advantages of domestic solutions, such as deep integration with 1C.

УДК 681.518

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ И БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ

Егоров Г.И., Юртунбаев Д.Р.

Научный руководитель: Денисов Е.С. доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья представляет концепцию и реализацию интегрированной платформы мониторинга, предназначенной для робототехнических и беспилотных систем. Основное внимание уделяется архитектуре платформы, посредством которой устройства устанавливают связь с центральным сервером, данные преобразуются в формат JSON и сохраняются в SQL-базе, а затем посредством интеграции с BI-системой Superset обеспечивается визуализация и автоматизация аналитических процессов.

Робототехнические и беспилотные системы играют все более значимую роль в современных технологических и производственных процессах. Эффективное управление такими системами требует не только оперативного обмена данными между устройствами и центральными модулями управления, но и возможности их визуального представления для дальнейшего анализа и принятия решений. В современных условиях значительное внимание уделяется построению единой платформы мониторинга, способной обрабатывать информацию от разнородной аппаратуры. Актуальность создания такой платформы обусловлена необходимостью снизить временные задержки при передаче критически важной информации, обеспечить высокую надежность доставки данных и предоставить конечному пользователю возможность гибкой настройки аналитических дашбордов.

Разрабатываемая платформа мониторинга основана на принципе последовательной обработки данных, получаемых с устройств робототехнических и беспилотных систем [1]. На начальном этапе устройство устанавливает связь с центральным сервером платформы посредством выбранного протокола: UDP или HTTP. После установления соединения сервер преобразует поступившие данные в стандартный формат JSON, что позволяет унифицировать информацию, независимо от аппаратной специфики передающих модулей.

Рис. 1. Схема потока данных, реализованная в платформе

Устройство отправляет данные в формате JSON. Центральный сервер платформы принимает эти данные, выполняет их преобразование и передаёт их далее в SQL-базу. SQL-База данных обеспечивает централизованное хранение информации, из которой по API данные подтягиваются в инструмент визуализации Superset, позволяющий пользователю формировать интерактивные дашборды и настраивать автоматизацию.

Приведённый на рисунке 1 алгоритм работы платформы демонстрирует, как данные в формате JSON поступают в реляционную SQL-базу. Централизованное хранение информации в SQL позволяет обеспечивать оперативный доступ к данным, проводить их агрегацию, фильтрацию и анализ. Далее, посредством API, база данных интегрируется с платформой визуализации Superset, что позволяет формировать интерактивные дашборды и настраивать автоматизацию управления робототехническими и беспилотными системами. В этой архитектуре аналитическая система Superset становится интерфейсом, через который пользователь получает возможность мониторинга в реальном времени, корректировки параметров работы устройств и построения отчетов, основанных на актуальных данных.

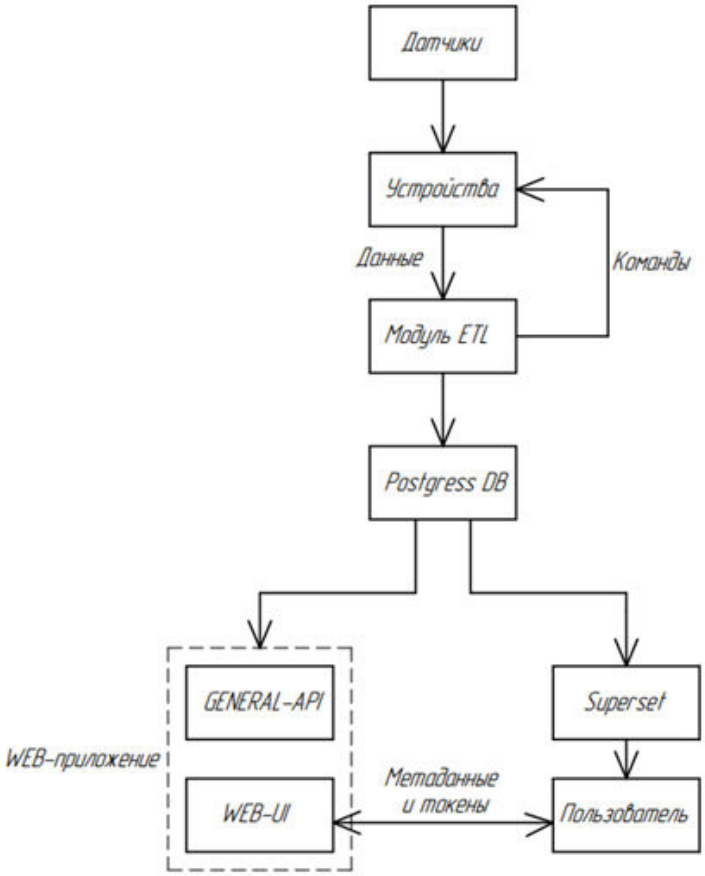


Рис. 2. Структурная схема модулей разработанной платформы

Схема разработанной системы представляет собой иерархически организованную архитектуру, реализующую сквозную обработку данных от их получения на уровне физических устройств до визуального представления в пользовательском интерфейсе. В основу схемы положен модульный принцип, обеспечивающий независимость компонентов и возможность масштабирования как в сторону увеличения количества устройств, так и в сторону расширения аналитических возможностей системы.

На верхнем уровне схемы располагаются полевые устройства, представляющие собой аппаратные модули, взаимодействующие с набором сенсоров различной природы (ультразвуковых, визуальных, инерциальных и др.). Эти устройства осуществляют непрерывный сбор телеметрических данных и, при необходимости, получение управляющих команд с последующим локальным выполнением действий. Передача данных осуществляется в центральную систему посредством сетевых протоколов.

Следующий уровень функциональной схемы занимает сервер приёма и предобработки (модуль ETL), выполняющий промежуточную фильтрацию, агрегацию и маршрутизацию входящих данных. Этот модуль обеспечивает унификацию входных потоков, устранение выбросов, проверку целостности и формирование пакетов, пригодных для хранения и дальнейшей обработки. Кроме того, на данном этапе реализуется логика формирования управляющих команд, которые в обратном направлении направляются к полевым устройствам.

Центральным элементом системы является хранилище данных, реализованное на базе реляционной СУБД с поддержкой хранения временных рядов. Оно служит как для долговременного хранения «сырых» и агрегированных измерений, так и для хранения метаданных , описаний устройств, пользователей, их прав доступа и параметров визуализации. Такая структура обеспечивает высокую степень согласованности данных и оптимальные условия для выполнения аналитических запросов.

На верхнем уровне схемы располагается пользовательский интерфейс, включающий веб-интерфейс, REST-ориентированный API и модуль визуализации. Веб-интерфейс обеспечивает доступ пользователей к функциональности системы в режиме реального времени, в том числе отображение текущих показателей, историю измерений, добавление новых устройств и настройку их параметров. Визуализация осуществляется с использованием BI-платформы, подключённой к основному хранилищу, что позволяет формировать конфигурируемые дашборды и отчёты. Кроме того, REST-API обеспечивает программный доступ к данным и управление системой, включая интеграцию со сторонними сервисами и приложениями.

Таким образом, представленная функциональная схема демонстрирует чётко организованный цикл: от поступления первичных данных до их интерпретации пользователем, с возможностью активного управления инфраструктурой сбора и обработки в режиме реального времени. Это обеспечивает высокую степень автоматизации процессов мониторинга, аналитики и принятия решений.

Особое внимание уделяется выбору транспортных протоколов. Протокол UDP позволяет обеспечить минимальные задержки, что критически важно для мониторинга систем, где время реакции играет ключевую роль. В случае передачи менее чувствительной к скорости передачи информации, например, исторических данных или отчетов, предпочтение отдается HTTP, гарантирующему надежность и целостность данных. Такая гибридная стратегия обеспечивает баланс между скоростью и надежностью передачи, что является основополагающим требованием для современных систем мониторинга [2-3].

Реализованная платформа мониторинга демонстрирует значительный потенциал в интеграции данных с робототехнических и беспилотных устройств в единую информационную систему. Последовательное преобразование информации – от установления связи с сервером до преобразования данных в формат JSON, сохранения их в SQL-базе и последующей визуализации в Superset – позволяет достичь высокой оперативности и надежности систематизированного анализа. Применение гибридных

протоколов связи, таких как UDP и HTTP, обеспечивает оптимальное сочетание скорости и качества передачи данных, что критически важно для оперативного управления и диагностики сложных технологических систем.

Предложенная архитектура демонстрирует полный цикл обработки информации: от поступления первичных данных до их интерпретации пользователем, включая возможность активного управления инфраструктурой в режиме реального времени. Это обеспечивает высокий уровень автоматизации процессов мониторинга, аналитики и поддержки принятия решений.

Особое значение в системе имеет выбор транспортных протоколов. Использование UDP позволяет минимизировать задержки при передаче данных, что критически важно для задач мониторинга с жёсткими требованиями к времени реакции. Для передачи менее чувствительной информации (например, исторических данных или отчётных пакетов) применяется протокол HTTP, обеспечивающий надёжность и целостность передачи. Такая гибридная стратегия обеспечивает баланс между скоростью и надёжностью, что соответствует современным требованиям к системам мониторинга.

Перспективным направлением развития платформы является интеграция модулей интеллектуальной аналитики, основанных на методах машинного обучения. Встраивание таких модулей в цепочку обработки данных позволит реализовать прогнозирование состояния оборудования, выявление аномалий в телеметрических потоках и автоматическую генерацию предупреждений. Это создаёт предпосылки для перехода от реактивного мониторинга к проактивному управлению, что повышает надёжность и снижает эксплуатационные затраты.

Кроме того, архитектура предусматривает возможность распределённого развертывания компонентов в облачной среде. Такой подход обеспечивает гибкость масштабирования, отказоустойчивость и доступ к данным из различных географических точек. Применение технологий контейнеризации и оркестрации сервисов упрощает процесс обновления и сопровождения платформы, а также гарантирует её адаптивность к изменяющимся требованиям пользователей и развитию технологической инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Егоров Г.И.* Разработка платформы для организации работы систем Интернета вещей / Г.И. Егоров, Е.С. Денисов, Б.Р. Шайхразиев // Нигматуллинские чтения - 2023: Сборник докладов Международной научной конференции, Казань, 09–12 октября 2023 года. – Казань: Академия наук Республики Татарстан, 2023. – С. 435-437.

2. *Егоров Г.И.* Исследование временных задержек при передаче посредством протокола HTTP в системах интернета вещей / Г. И. Егоров, Е. С. Денисов // VI Научный форум "Телекоммуникации: теория и технологии" ТТТ-2023: Материалы XXV Международной научно-технической конференции, Казань, 22–24 ноября 2023 года. – Казань: Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, 2023. – С. 162-163.

3. *Денисов Е.С.* Оценка возможности реализации распределенных систем диагностики водородных топливных элементов с использованием локальных и глобальных телекоммуникационных сетей / Е.С. Денисов, Р.Р. Енилиев, Н.Р. Гайсин, И.Д. Шафигуллин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2024. – Т. 22, № 1. – С. 4-10.

MONITORING SYSTEM FOR ROBOTIC AND UNMANNED SYSTEMS

Egorov G.I., Yurtunbaev D.R.

Supervisor: Denisov E.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The article presents the concept and implementation of an integrated monitoring platform designed for robotic and unmanned systems. The main focus is on the architecture of the

platform, through which devices communicate with a central server, data is converted to JSON format and stored in an SQL database, and then visualization and automation of analytical processes are provided through integration with the Superset BI system.

УДК 681.518.5

ПРОГРАММНАЯ ОБРАБОТКА РЕЛАКСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ НА ИХ ОСНОВЕ

Енилиев Р.Р.

Научный руководитель: Денисов Е.С., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Аннотация. В данной работе изложена методика программной обработки релаксационных характеристик водородного топливного элемента, представляющая собой аппроксимацию искомых характеристик. Приведены графики характеристик, измеренных с помощью одноканального потенциостата – гальваностата Р-40Х с встроенным модулем импеданса и соответствующих аппроксимированных кривых. Программная обработка выполнена с использованием возможностей языка программирования Python.

Водородные топливные элементы занимают ключевое место в развитии современной энергетической и транспортной промышленности. Их успешное применение в транспорте и энергетике требует обеспечения высокой надёжности и долговечности. Важнейшей задачей является разработка методов экспресс-диагностики, позволяющих оценивать внутренние процессы без разборки или разрушения ячейки. В настоящее время имеется большое количество различных методов диагностики и контроля технического состояния данных электрохимических источников тока. В их числе методы электрохимической импедансной спектроскопии [1-2], методы на основе анализа электрических шумов и флуктуаций [3], а также анализа релаксационных характеристик [4-5] являются наиболее перспективными и информативными. Прямые методы оценки деградации водородных топливных элементов (например, измерение площади активного катализатора или толщины мембраны) требуют инвазивных процедур. Преимуществами импедансных методов диагностики топливных элементов являются высокая чувствительность к различным механизмам деградации, возможность выделить омические, кинетические и диффузионные потери. Однако вместе с тем накладываются ограничения в виде необходимости использования специализированного оборудования, интерпретация спектров сложна - требуются эквивалентные электрические схемы для корректной идентификации процессов. К достоинствам метода на основе анализа электрических шумов и флуктуаций относится его реализация непосредственно во время работы топливного элемента (онлайн – диагностика) а также полная неинвазивность. Среди ограничений выделяют: сложность в интерпретации сигналов, наличие возможной высокой зашумленности измерений. Также использование данного метода требует накопления статистики. Метод, основанный на анализе релаксационных характеристик привлекателен благодаря возможности его реализации на простом и недорогом оборудовании без использования высокоточных генераторов сигналов. Основное ограничение – необходимость выполнения сложной цифровой обработки данных, которую целесообразно производить на удаленных серверных системах [6].

В приведенной же статье показана процедура программной обработки релаксационных характеристик водородного топливного элемента. Обработка осуществляется посредством использования возможностей языка программирования Python, а именно библиотек и функций, выполняющих аппроксимацию, т.е. подгонку искомых характеристик. Ниже приведены этапы обработки данных релаксационных характеристик: 1

- запуск измерительного оборудования (потенциостат) и соответствующего ПО; 2 - выбор режима измерения: скачок тока ТЭ от -100 до -50 мА; 3 - установка значений тока электролизера: 670 мА, 340 мА, 150 мА, 200 мА; 4. - непосредственно измерение и сохранение данных в файл; 5. - разработка и запуск python - программы для построения графиков измеренных релаксационных характеристик и их аппроксимирования. Блок – схема алгоритма аппроксимирования, реализованного в данной программе представлена на рисунке 1.

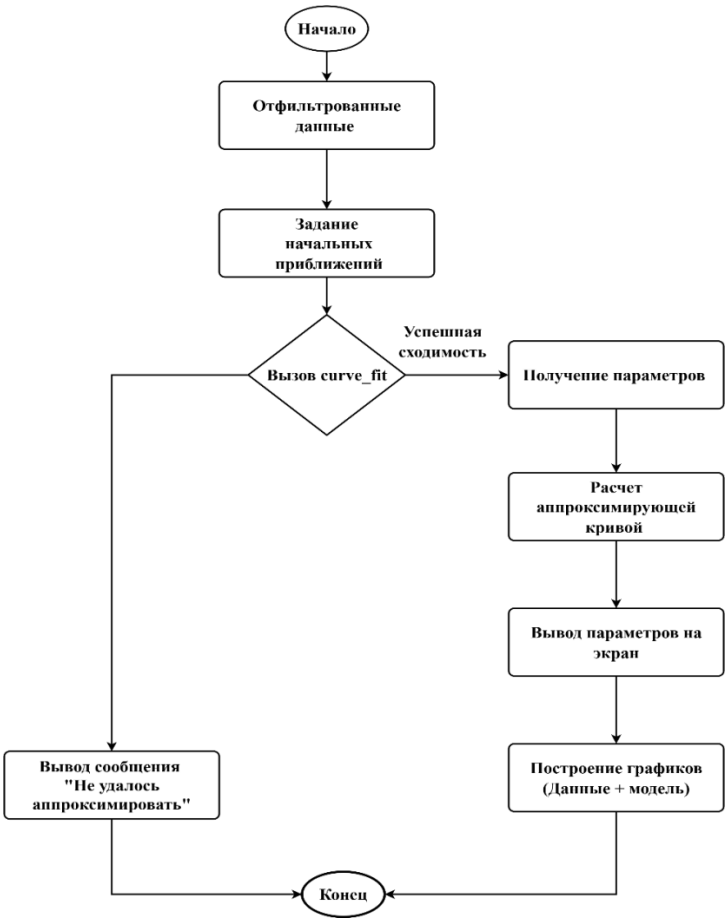


Рисунок 1. Блок – схема алгоритма аппроксимирования

На рисунке 2 представлены релаксационные характеристики топливного элемента для различных значений тока электролизера, упомянутых выше.

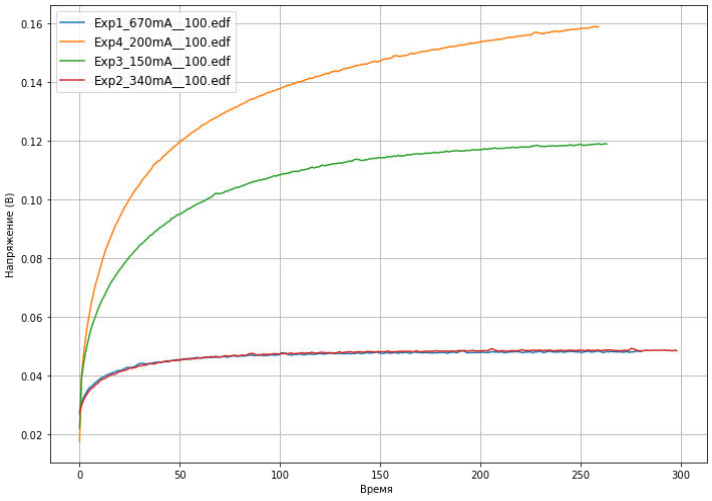


Рисунок 2. Релаксационные характеристики топливного элемента

Процесс аппроксимирования (рисунок 3) или подгонки модели релаксационных характеристик топливного элемента заключается в следующем. Используется функция (1):

$$U(t) = U_\infty - A_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}} \quad (1)$$

где U_∞ - стационарное значение напряжения элемента после завершения процесса, A_1 - амплитуда экспоненты; τ_1 – характерное время релаксации. Такая модель является стандартным способом описания релаксационных процессов. Функция curve_fit модуля scipy.optimize в Python подбирает параметры A_i, τ_i, минимизируя разницу между экспериментальной кривой и моделью по методу наименьших квадратов.

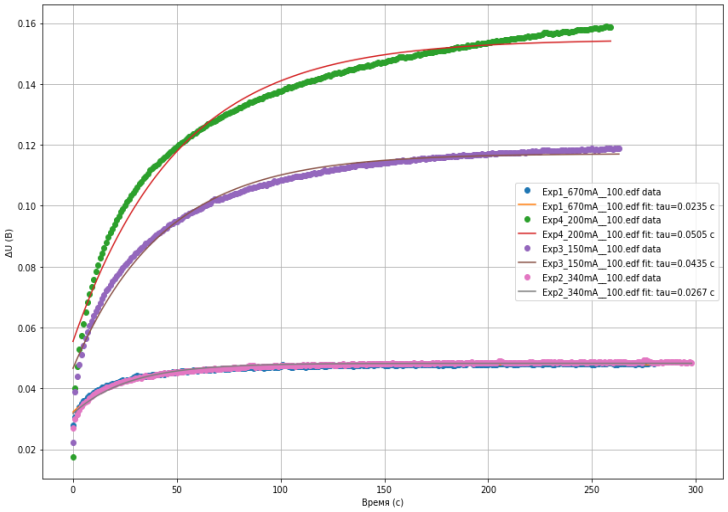


Рисунок 3. Аппроксимирование релаксационных характеристик

В реальных топливных элементах (и других электрохимических системах) процессы релаксации (затухания напряжения/тока после возмущения) часто описываются не одной, а несколькими экспонентами. Каждая экспонента соответствует разным физическим процессам (например: зарядка двойного электрического слоя, перенос ионов, диффузия газов).

Результатом исполнения python - программы, помимо построения аппроксимированных кривых, является вычисление амплитуды экспоненты и времени релаксации. При токах электролизера 670 мА, 340 мА, 150 мА, 200 мА значения U_∞ , амплитуд экспонент и времен релаксаций составили: 1) U_∞ = 0.047 , $A_1 = 0.29$, $\tau_1 = 0.023$; 2) U_∞ = 0.048, $A_1 = 0.11$, $\tau_1 = 0.026$; 3) U_∞ = 0.117 , $A_1 = 0.51$, $\tau_1 = 0.043$; 4) U_∞ = 0.154, $A_1 = 0.59$, $\tau_1 = 0.05$ соответственно. Резкое увеличение амплитуды релаксационного процесса при токе электролизера 150 и 200 мА объясняется возможной нехваткой водорода в исследуемом топливном элементе. С целью оценки точности вычисления параметров, также была вычислена матрица квадратичных ошибок для каждого параметра в каждом случае: 1 - 670 мА: [$3.82 \cdot 10^{-5}$, $2.093 \cdot 10^{-2}$, $5.08 \cdot 10^{-4}$]; 2 - 340 мА: [$3.79 \cdot 10^{-5}$, $5.05 \cdot 10^{-3}$, $5.16 \cdot 10^{-4}$]; 3 - 150 мА: [$0.22 \cdot 10^{-3}$, 0.021, $0.79 \cdot 10^{-3}$]; 4 – 200 мА: [$0.47 \cdot 10^{-3}$, 0.028 , $1.21 \cdot 10^{-3}$].

Анализ полученных результатов измерения амплитуд экспонент и времен релаксаций позволяет осуществить объективную оценку текущего технического состояния водородных топливных элементов, обосновать целесообразность его дальнейшей эксплуатации либо временного вывода из работы, а также сформировать прогноз его последующего функционирования. Такой подход к оценке технического состояния топливного элемента делает возможным построение соответствующих систем неразрушающего контроля и диагностики, которые в свою очередь найдут активное применение в быстроразвивающейся водородной энергетике и транспортной промышленности.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева-КАИ («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Денисов Е.С.* Нелинейная и линейная электрические модели водородного топливного элемента, и идентификация его параметров //Нелинейный мир. – 2008. – Т. 6. – №. 8. – С. 81-8

2. *Денисов Е.С.* Система измерения электрохимического импеданса водородных топливных элементов на основе широкополосных зондирующих сигналов //Вестник Казанского государственного технического университета им. АН Туполева. – 2022. – Т. 78. – №. 1. – С. 92-98.

3. *Denisov E.* Spectral method for PEMFC operation mode monitoring based on electrical fluctuation analysis / E. Denisov, Y.K. Evdokimov, R.R. Nigmatullin [et al.] // Scientia Iranica. – 2017. – Vol. 24, No. 3. – P. 1437-1447.

4. *Енилиев Р.Р.* Особенности реализации метода контроля технического состояния литиевых источников тока на основе анализа релаксационных процессов, вызванных изменением нагрузки / Е.С. Денисов, Г.В. Никишина, Р.Р. Енилиев, Т.П. Никишин // Контроль. Диагностика. – 2023. – Т. 26, № 7(301). – С.36-43.

5. *Никишина, Г.В.* Диагностика электрохимических источников тока на основе анализа переходных процессов, вызванных изменениями нагрузки / Г.В. Никишина, Е.С. Денисов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2021. – Т. 77, № 2. – С. 74-81.

6. *Енилиев Р.Р.* Оценка возможности реализации распределенных систем диагностики водородных топливных элементов с использованием локальных и глобальных телекоммуникационных сетей / Е.С. Денисов, Р.Р. Енилиев, Н.Р. Гайсин, И.Д. Шафигуллин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2024. – Т. 22, № 1. – С. 4-10.

SOFTWARE PROCESSING OF HYDROGEN FUEL CELLS RELAXATION CHARACTERISTICS FOR CONSTRUCTING DIAGNOSTIC SYSTEMS BASED ON THEM

Eniliev R.R.

Supervisor: Denisov E.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.

(*Kazan national research technical university named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. This paper presents a method for software processing of hydrogen fuel cell relaxation characteristics, which approximates the desired characteristics. The graphs of the characteristics measured using a single-channel potentiostat - galvanostat P-40X with a built-in impedance module and the corresponding approximated curves are presented. Software processing is performed using the capabilities of the Python programming language.

УДК 681.518.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЛС ОЛП «АЛЬКОР»

Жемаева Д.А., Кулешов Д.А.

Научный руководитель: Гевак Н.В., доцент, к. т. н.

(*Московский государственный технический университет гражданской авиации, г. Москва*)

Аннотация. В докладе рассмотрен алгоритм распознавания на основе метода планирования эксперимента, при решении задач диагностирования радиолокационной станции обзора летного поля (РЛС ОЛП) «Алькор». На основе найденного вектора

коэффициентов корреляции сформирована математическая модель РЛС ОЛП «Алькор» в виде алгебраического полинома и построена матрица плана эксперимента.

В процессе обслуживания и эксплуатации радиоэлектронного оборудования (РЭО) важно контролировать работоспособность оборудования. Это необходимо для своевременного планирования мероприятий по техническому обслуживанию (ТО) и формирования управляющих воздействий по поддержанию работоспособного состояния. В основе процесса технической диагностики выступает определение комплекса показателей, позволяющих объективно оценивать техническое состояние (ТС) диагностируемого оборудования. Такие показатели получили название диагностических параметров (ДП).

Анализ работоспособности РЭО производится посредством изучения информации о величинах ДП. Для эффективной диагностики требуется установить чёткую корреляцию между набором этих параметров и возможными ТС диагностируемого объекта. Данная задача решается путём создания специализированных диагностических моделей (ДМ).

В процессе разработки системы технического диагностирования необходимо последовательно решить три задачи:

- сформировать алфавит отказов, подлежащих диагностированию;
- разработать диагностическую модель и проверить ее адекватность;
- разработать алгоритм распознавания, обеспечивающий распознавания ТС с достоверностью не ниже заданной.

Основой для решения ключевых задач диагностики служат различные методы математического и дискретного анализа, теории оптимизации, математического программирования, статистической динамики, а также эвристического моделирования. В предыдущих исследованиях в качестве математического инструмента применялась теория графов. Этот подход позволяет анализировать взаимосвязи как между различными характеристиками функционирования диагностируемого объекта, так и между его параметрами или функциональными составляющими.

При помощи граф-моделей становится возможным исследовать структурные особенности объекта диагностики, выявлять причинно-следственные связи между его элементами и оценивать влияние различных факторов на общую работоспособность системы.

Такой метод анализа обеспечивает целостное представление о состоянии объекта и позволяет эффективно формализовать процессы диагностирования на различных уровнях детализации. В качестве ОД выбран импульсный усилительный модуль (УМИ 9000-600) выступающий в роли передатчика РЛС ОЛП «Алькор». В данной работе использован результат построения диагностической граф-модели ОД и сформированное эффективное множество диагностических параметров и алфавит отказов [1, 2].

Основной целью данной работы является обоснование и выбор алгоритма распознавания при решении задач диагностирования по сформированной граф-модели РЛС ОЛП «Алькор». Процесс технического диагностирования можно отнести к сфере более широкой научной дисциплины — теории распознавания образов. Следует отметить, что решение задачи технического диагностирования включает два последовательных этапа: сначала определяется общая работоспособность оборудования, а затем происходит распознавания и локализации неисправностей.

Решение задачи распознавания базируется на анализе косвенной информации и установленных алгоритмах. Система анализирует текущие характеристики объекта и сопоставляет их с определёнными набором признаков – образом объекта, тем самым, выявляя соответствующее состояние. В контексте решения задачи диагностирования каждому из выявленных состояний может ставиться в соответствие отказ или их комбинация. Таким образом, важнейшим этапом при разработке системы диагностирования является описание классов технических состояний РЭО в пространстве информативных признаков через призму наблюдаемых диагностических параметров.

Пространство технических состояний РЭО включает в себя два подмножества: классы работоспособных и неработоспособных состояний. Определение ТС осуществляется посредством его классификации в каждый момент работы. При этом система относится к одному из классов, которые формируются на основе анализа наличия или отсутствия одного либо нескольких отказов. В таком случае необходимо знать границы классов в пространстве информационных признаков этих сигналов.

Можно выделить два подхода при решении задачи классификации с точки зрения характера границы, разделяющей классы технических состояний [3]:

Допусковый подход. Построение классов ТС основывается на установлении предельных значений информативных признаков в рамках известных границ работоспособности объекта в пространстве его собственных параметров. Указанный подход достаточно сложен и в ряде случаев неприменим ввиду отсутствия аналитических зависимостей между значениями информативных признаков и показателями качества или собственными параметрами РЭО. Кроме того, применение для этих целей допусковых методов контроля приводит к увеличению ошибок диагностирования, обусловленных ошибками линейной аппроксимации границ области работоспособности, которые, как правило, нелинейны.

Нелинейный подход. Подход к построению области работоспособности предполагает преобразование границ классов из пространства определяющих параметров в пространство информативных признаков ДП на основе некоторой сформированной нелинейной функциональной зависимости, что обеспечивает более точную классификацию состояний оборудования, поэтому рассмотрен данный подход с использованием методов планирования эксперимента (ПЭ).

Из теории [4] ПЭ представляет собой совокупность действий по формированию оптимальной стратегии проведения опытов реализуемое в условиях неполного знания механизма изучаемого объекта. Этот процесс охватывает весь цикл работы — от сбора предварительных данных до создания функциональной математической модели или выявления наилучших рабочих параметров.

Одной из задач ПЭ является интерполяция – установления функциональной зависимости между параметрами. Для ее получения рассмотрим следующую схему (рис. 1).

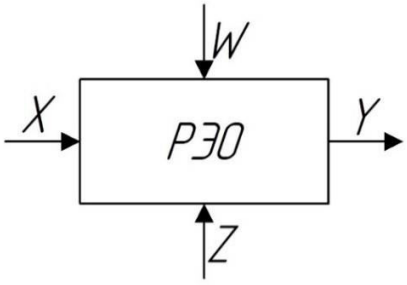


Рисунок 1. Структурная схема объекта исследования

Вся совокупность параметров, определяющих состояние объекта, разбиты на следующие группы:

1. Входные переменные $X = (x_1, x_2, \ldots, x_k)$. В эту группу объединены управляемые параметры объекта. Значения входных переменных заключены в определенном интервале, задаваемом технологическим регламентом процесса или техническими ограничениями $x_{i\min} \le x_i \le x_{i\max}, i = \overline{1,k}$.

2. Выходные величины $Y = (y_1, y_2, \ldots, y_r)$ содержат сведения о количественных и качественных характеристиках объекта. В качестве выходной величины обычно выбирается некоторый обобщенный технико-экономический показатель, оценивающий качество и эффективность функционирования объекта.

3. Контролируемые, но неуправляемые параметры $Z = (z_1, z_2, \ldots, z_q)$. В эту группу входят те параметры объекта, целенаправленное изменение которых невозможно.

4. Неконтролируемые параметры $W = (w_1, w_2, \ldots, w_l)$. В эту группу входят возмущающие воздействия, характеристики которых носят случайный характер и не поддаются определению.

Задачей эксперимента по поиску математического описания исследуемого объекта является отыскание функций вида

$$Y = \varphi(X, Z). \quad (1)$$

В случае активного эксперимента все неуправляемые и неконтролируемые параметры представляются в виде эквивалентного аддитивного шума η, уравнение примет вид

$$Y = f(X, \eta). \quad (2)$$

В терминах теории ПЭ вектор **Y** носит название функции отклика, а **X** - матрицы плана.

Построение модели с помощью методов теории планирования эксперимента предусматривает выполнение следующих этапов:

- выбор факторов эксперимента;
- построение плана эксперимента;
- проведение натурного эксперимента;
- решение уравнения регрессии;
- оценку значимости коэффициентов уравнения регрессии;
- оценку адекватности модели.

Целесообразно проводить испытания не в произвольных точках факторного пространства, а в соответствии с планом факторного эксперимента. Фактор - это независимая переменная, влияющая на функцию отклика. В качестве факторов при построении плана используются параметры объекта РЭО.

После построения матрицы плана эксперимента, проведения натурного испытания и нахождения вектора коэффициентов корреляции можно записать математическую модель объекта РЭО в виде алгебраического полинома

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{k} b_i x_i + \sum_{i,j=1;i\le j}^{k} b_{ij} x_i x_j + \cdots + \sum_{i_1, i_2, \ldots, i_k;\left(\sum i_j = p\right)}^{k} b_{i_1, i_2, \ldots, i_k} x_1^{i_1} x_2^{i_2} \ldots x_k^{i_k}. \quad (3)$$

Полученная зависимость используется для решения задачи классификации. Область ограничений на определяющие параметры задается в виде неравенства

$$y_{iн} \le y_i \le y_{iв}, \quad (4)$$

где $y_{iн}$ и $y_{iв}$ – соответственно нижняя и верхняя границы изменения i-го определяющего параметра y_i. С математической точки зрения это выглядит как наложение системы ограничений на значения функции отклика **Y**.

Решение этого неравенства относительно компонент вектора параметров РЭО, учитывающего эффекты взаимодействия и эффекты высших порядков, даст область работоспособности в пространстве диагностических параметров.

Область работоспособности будет сформирована в результате решения системы неравенств относительно определяющих параметров РЭО.

Предложенная методика распространяется на любую размерность факторного пространства, ограниченную лишь требуемым объемом вычислительных затрат при повышении степени аппроксимирующего полинома p≥2, а также необходимостью использования различных математических и алгоритмических методов решения системы при каждом конкретном значении p [4, 5].

Начальным этапом составления полинома является анализ ранее сформированного алфавита отказов для РЛС ОЛП «Алькор». В документации [6] определены 4 критерия отказа:

1) отказ системы автоматического функционального контроля;

2) уменьшение дальности обнаружения воздушного объекта (ВО) первичного радиолокатора (ПРЛ) более чем на 15%;

3) увеличение среднеквадратических ошибок измерения координат ПРЛ более чем на 15 %;

4) прекращение выдачи информации о воздушной обстановке потребителям на время, более чем на 30 с.

Основой при обеспечении безопасности в зоне аэродрома является определение параметров движения воздушных судов и спецтранспорта (координат и скоростей). В этом случае предлагается рассмотреть 3 критерий отказа. Рассмотрим характеристики точности РЛС при измерении (расчете) местоположения цели в пространстве.

В процессе функционирования радиолокационных систем, все компоненты системы оказывают непосредственное воздействие на итоговую точность измерений, характеризуемую индивидуальным значением среднеквадратичного отклонения (СКО) σ_i. для каждого элемента. При определении координат объекта посредством метода пересечения линий положения необходимо учитывать, как конфигурацию поверхностей положения, так и специфику геометрического взаиморасположения между отслеживаемым объектом и измерительной аппаратурой радиолокационной системы.

Для количественной оценки данного влияния вводится специальный параметр — геометрический фактор Г. Он представляет собой коэффициент пропорциональности, устанавливающий взаимосвязь между СКП определения местоположения объекта $\sigma_{мп}$, и со СКП измерения σ_W .

$$\sigma_{мп} = \Gamma \sigma_W . \tag{5}$$

Если раскрыть СКП измерения σ_W , то $\sigma_{\text{мп}}$ может быть найдена по следующей формуле:

$$\sigma_{мп} = \sqrt{\Gamma^2 (\text{M}^2 (\sigma_{прд}^2 + \sigma_{ср}^2 + \sigma_{изм}^2) + \sigma_{гэ}^2) + \sigma_{вмп}^2} , \tag{6}$$

где М – масштабный коэффициент;

Г – геометрический фактор;

$\sigma_{прд}$ – СКП формирования и генерирования сигнала в передатчике;

$\sigma_{ср}$ – СКП распространения сигнала в среде;

$\sigma_{изм}$ – СКП измерения параметра сигнала;

$\sigma_{гэ}$ – СКП расчета геометрического элемента;

$\sigma_{вмп}$ – СКП вычисления местоположения.

Также среднеквадратическую погрешность будет вносить код азимута формируемый в азимутальных датчиках.

Для РЛС ОЛП, использующей угломерно-дальномерный метод определения положения объектов, выражение для погрешности местоположения имеет вид (7):

$$\sigma_{мп} = \sqrt{\sigma_R^2 + (R_0 \cdot \sigma_\theta)^2} , \tag{7}$$

где σ_R – СКП дальномерного канала, R_0 - определяемая дальность до цели, σ_θ – СКП угломерного канала. Геометрия системы остается неизменной, линии положения угломерного канала пересекаются под прямым углом, линии равной точности системы представляет окружность [7].

Исходя из анализа сформированного алфавита отказов [1] и зависимостей (6,7), в качестве факторов эксперимента были выбраны: среднеквадратическая погрешность определения местоположения $\sigma_{мп}$, определение абсолютного отклонения траектории движения средств от линии разметки Δ_l, дальность обнаружения минимального перемещения цели в зоне обзора $d_{V_{\min}}$.

Варьирование факторов проводилось на трех уровнях. Общее количество опытов N=27.

Для каждого фактора определены верхний и нижний уровни варьирования (таблица 1).

Функциями чувствительности в данном случае являются определяемые координаты подвижных объектов относительно места установки антенны $X_{мп}$ и $Y_{мп}$ и скорости движения объектов $V_д$.

Таблица 1

Уровни факторов и интервалы варьирования

Наименование фактора	Обозначение	Уровни варьирования		
		-1	0	1
СКП определения местоположения $\sigma_{мп}$, м	X_1	10	7,5	5
Абсолютное отклонение от траектории движения Δ_l, м	X_2	7,5	3,5	0,35
Дальность обнаружения минимального перемещения $d_{V_{min}}$, м	X_3	8	5	0,35

В качестве искомой модели получен полином второй степени:

$$y = a_0 + a_1\sigma_{мп} + a_2\Delta_l + a_3 d_{V_{\min}} + a_4\sigma_{мп}^2 + a_5\Delta_l^2 + a_6 d_{V_{\min}}^2 + a_7\sigma_{мп}\Delta_l + a_8\sigma_{мп} d_{V_{\min}} + a_9\Delta_l d_{V_{\min}} \quad (8)$$

Матрица планирования приведена в таблице 2.

Таблица 2

Матрица плана эксперимента

№ опыта	Уровни факторов			Группировка факторов					
	X_1	X_2	X_3	X_1 X_2		X_1 X_3		X_2 X_3	
1	-1	-1	-1	1	75	1	80	1	60
2	0	-1	-1	0	56,25	0	60	1	60
3	1	-1	-1	-1	37,5	-1	40	1	60
4	-1	0	-1	0	35	1	80	0	28
5	0	0	-1	0	26,25	0	60	0	28
6	1	0	-1	0	12,5	-1	40	0	28
7	-1	1	-1	-1	3,5	1	80	-1	2,8
8	0	1	-1	0	2,625	0	60	-1	2,8
9	1	1	-1	1	1,75	-1	40	-1	2,8
10	-1	-1	0	1	75	0	50	0	37,5
11	0	-1	0	0	56,25	0	37,5	0	37,5
12	1	-1	0	-1	37,5	0	25	0	37,5
13	-1	0	0	0	35	0	50	0	17,5
14	0	0	0	0	26,25	0	37,5	0	17,5
15	1	0	0	0	12,5	0	25	0	17,5
16	-1	1	0	-1	3,5	0	50	0	1,75
17	0	1	0	0	2,625	0	37,5	0	1,75
18	1	1	0	1	1,75	0	25	0	1,75
19	-1	-1	1	1	75	-1	3,5	-1	2,8
20	0	-1	1	0	56,25	0	2,625	-1	2,8
21	1	-1	1	-1	37,5	1	1,75	-1	2,8
22	-1	0	1	0	35	-1	3,5	0	1,225
23	0	0	1	0	26,25	0	2,625	0	1,225
24	1	0	1	0	12,5	1	1,75	0	1,225
25	-1	1	1	-1	3,5	-1	3,5	1	0,1225
26	0	1	1	0	2,625	0	2,625	1	0,1225

№ опыта	Уровни факторов			Группировка факторов					
	X_1	X_2	X_3	X_1 X_2		X_1 X_3		X_2 X_3	
27	1	1	1	1	1,75	1	1,75	1	0,1225

Дальнейшими шагами исследования является:

- составление имитационной модели работы РЛС ОЛП «Алькор» с целью формирования результатов эксперимента;
- оценка 9 коэффициентов регрессии;
- статистический анализ полученной зависимости (проверка значимости коэффициентов регрессии и адекватности математической модели).

В большинстве случаев процесс распознавания существенно усложняется из-за избыточного объёма исходных данных, которые изначально плохо поддаются классификации и требуют сложной вычислительной обработки. Наибольшую эффективность в решении задач диагностики демонстрируют непараметрические подходы, использующие исключительно данные из обучающей выборки без привлечения дополнительных параметров.

В рамках данного исследования применяется непараметрический метод классификации с предварительным выбором дискриминантной функции. Этот метод представляет собой один из алгебраических подходов, основанных на дискретном анализе логических данных. Процесс обучения заключается в подборе таких весовых коэффициентов, которые обеспечивают соответствие выделенной функции критериям дискриминантной функции.

Используемые алгоритмы демонстрируют хорошую согласованность с результатами моделирования на граф-моделях, отличаются высокой скоростью работы и надёжностью в процессе классификации. Они позволяют эффективно обрабатывать логическую информацию и обеспечивают точное распознавание объектов, при минимальной выборке.

В данном случае предлагается следующая методика определения параметров алгоритма распознавания, основанная на определении весовых коэффициентов дискриминантной функции априорно заданного вида, при которых гарантированная достоверность распознавания по всем классам технических состояний, подразумевает выполнение следующих этапов:

- составление эталонных таблиц классов ТС РЭО на основе верифицированных наборов значений бинарных информативных признаков диагностических параметров;
- определение количества и состава тупиковых тестов;
- расчет весов признаков (весовых коэффициентов дискриминантной функции);
- оценка гарантированной достоверности распознавания.

Этапы 1, 2 и 3 отражают процесс обучения, а этап 4 - проведение теста на классификацию и оценку эффективности алгоритма распознавания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Формирование алфавита отказов для РЛС ОЛП «Алькор» / Д.А. Жемаева, Д.А. Кулешов // Сборник лучших докладов студенческой научно-технической конференции МГТУ ГА: Материалы конференции, Москва, 16 апреля 2024 года. – Москва: Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2024. – С. 87-94.

2. Граф-модель импульсного усилительного модуля радиолокационной станции обзора лётного поля «Алькор» / Д.А. Жемаева, Д.А. Кулешов // К.Э. Циолковский: ключевые идеи и современные достижения космонавтики : Материалы 59-х Научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского, Калуга, 17–19 сентября 2024 года. – Калуга: Эйдос, 2024. – С. 398-400.

3. Диагностирование на граф-моделях: На примерах авиационной и автомобильной техники/Я.Я. Осис, Я.А. Гельфандбейн, З.П. Маркович, Н.В. Новожилова. - М.: Транспорт, 1991. - 244 с.

4. Липин В.А. Л 612 Методы оптимизации: учебное пособие / В.А. Липин. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. — 47 с. ISBN 978-5-91646-310-1.

5. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Учебное пособие / Н.А. Спирин, В.В. Лав ров, Л.А. Зайнуллин, А.Р. Бондин, А.А. Бурыкин; Под общ. ред. Н.А. Спирина. — Екатеринбург: ООО «УИНЦ», 2015. — 290 с. ISBN 978-5-9904848-4-9.

6. Радиолокационная станция обзора летного поля РЛС ОЛП «Алькор». Руководство по эксплуатации. Часть 1 Общие сведения. ЦИВР.462414.012 РЭ.

7. *Бакулев П.А.* Радиолокационные системы. Учебник для вузов. – М.: Радиотехника, 2004. - 320 с. ISBN 5-93108-027-9.

USE OF THE EXPERIMENT PLANNING METHOD WHEN RECOGNIZING THE TECHNICAL STATE OF THE SMR «ALKOR»

Zhemaeva D.A., Kuleshov D.A.

Supervisor: Gevak N.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow)*

Abstract. The report discusses the recognition algorithm based on the experimental planning method when solving the problems of diagnosing of the surface movement radar (SMR) «Alkor». Based on the found vector of correlation coefficients, a mathematical model of the SMR «Alkor» is formed in the form of an algebraic polynomial and an experimental plan matrix is constructed.

УДК 621.3

ОЦЕНКА ШУМОВЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПОМЕЩЕНИЯ

Залялов Н.И.

Научный руководитель: Петровский В.В., доцент, к. т. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань*)

Аннотация. В работе представлены результаты исследования шумового загрязнения жилых помещений. Инструментальные измерения проведены в дневное и в ночное время суток в различных зонах помещений.

В качестве основного оборудования для измерения шумовых загрязнений используется шумомер «GM1351» с диапазоном измерении 30 – 130 дБ и точностью ±1,5 дБ. Он предназначен для измерения уровня шумов в жилых и производственных помещениях, а также вне помещений. Используется для определения источников шума в местах нахождения людей, при исследовании и испытании механизмов и автомобилей. В домашних условиях замеряет уровень шума любой бытовой техники.

Основные сферы применения:

1) Строительство.
2) Сфера охраны труда и техники безопасности.
3) Здравоохранение.
4) Автомобилестроение.
5) ЖКХ.

Анализ существующих методов оценки уровня шума - это широкая область исследования, охватывающая множество разнообразных методик и подходов, применяемых для измерения и изучения шумового загрязнения в различных условиях и ситуациях.

В этой области используются как инструментальные методы, основанные на применении специализированного измерительного оборудования, такого как шумомеры,

анализаторы частотного спектра и направленные микрофоны, так и расчетные методы, включающие математическое моделирование распространения шума и компьютерное акустическое моделирование.

Кроме того, широко применяются натурные обследования помещений с инструментальными измерениями уровней шума, идентификацией источников шумового загрязнения и анализом факторов, влияющих на его распространение.

Нормативные подходы, основанные на действующих санитарных нормах, строительных нормах и правилах, а также стандартах, определяют критерии допустимых уровней шума для различных типов помещений и методики проведения измерений.

Нормативный подход базируется на использовании действующих стандартов, санитарных норм, строительных норм и правил, а также методических рекомендаций, регламентирующих допустимые уровни шума в различных типах помещений и порядок проведения измерений и расчетов [1-5].

1. Санитарные нормы и правила:

- Устанавливают предельно допустимые уровни шума на рабочих местах, в жилых и общественных зданиях.

- Регламентируют гигиенические требования по ограничению воздействия шума на здоровье человека.

- Определяют методы измерения и нормируемые показатели шума (эквивалентные и максимальные уровни звукового давления и т.д.)

2. Строительные нормы и правила (СНиП):

- Содержат нормативы допустимых уровней шума в помещениях различного назначения (жилые, офисные, производственные и др.).

- Устанавливают требования к звукоизоляции ограждающих конструкций зданий.

- Определяют методики расчета ожидаемых уровней шума и звукоизоляционных характеристик.

3. ГОСТы и технические регламенты:

- Детализируют методики проведения измерений параметров шума (ГОСТ 31296.2).

- Регламентируют требования к шумомерам и другому измерительному оборудованию (ГОСТ 17187).

Устанавливают классификацию шумовых характеристик и терминологию.

В ходе исследования были проведены инструментальные измерения уровней шумового загрязнения в изучаемых помещениях с использованием шумомера "GM1351". В частности, определялись такие показатели, как эквивалентный уровень шума, отражающий средний уровень за определенный период времени, а также максимальный уровень шума, соответствующий пиковым значениям шумового воздействия.

В качестве объектов исследования было выбрано три различных жилых помещения. Исследование проводилось в дневной и ночное время суток. Полученные в результате экспериментальных измерений данные представлены в виде трех таблиц (табл. 1-3): таблица 1 для первой квартиры, таблица 2 для второй квартиры и таблица 3 для третьей квартиры. Таблицы содержат количественные показатели, характеризующие уровни шумового загрязнения в исследуемых квартирах, обусловленные фоновыми источниками шума, присутствующими в жилых помещениях в период проведения измерений.

Все три исследуемые квартиры имеют примерно одинаковую площадь около 63 квадратных метров. Важной особенностью данных жилых помещений является наличие в них достаточного количества элементов, обладающих звукопоглощающими свойствами, таких как мягкая мебель, шторы, ковровые покрытия и так далее.

Таблица 1

Исследование шумового загрязнения первой квартиры

Время суток	Зона исследования		Акустические параметры	
			Эквивалентный уровень звука LAэкв, дБ (А)	Максимальный уровень звука LAmax, дБ (А)
Дневное	Холодильник		39,2	60,6
	Коридор		38,7	59,5
	Балкон	Открытое окно	49	67,2
		Закрытое окно	40,2	61,5
Ночное	Холодильник		39,1	60,3
	Коридор		39,3	60,3
	Балкон	Открытое окно	43	64,4
		Закрытое окно	39,6	64

Присутствие звукопоглощающих материалов внутри квартир оказывает положительное влияние на акустическую обстановку, способствуя снижению уровней шумового загрязнения за счет поглощения части звуковой энергии. Это особенно важно для помещений небольшого размера, где возникает эффект многократных отражений звуковых волн от ограждающих поверхностей.

Таким образом, схожая площадь около 63 квадратных метров в сочетании с наличием мягкой обстановки и звукопоглощающей отделки создает в исследуемых квартирах сопоставимые условия для распространения шума внутри помещений. Данный факт позволяет более корректно анализировать влияние внешних источников шумового загрязнения на акустический режим в этих жилых объектах.

При всем этом исследуемые квартиры находятся в зоне, подверженной прямому воздействию транспортного шума от проезжающих неподалеку автомобилей. Расстояние от квартир до ближайшей проезжей части составляет от 150 до 250 метров. В этом районе присутствуют декоративные кустарники и отдельно стоящие деревья, которые, однако, не образуют сплошного массива, способного существенно защитить от шума автомобильной дороги.

Таблица 2

Исследование шумового загрязнения второй квартиры

Время суток	Зона исследования		Акустические параметры	
			Эквивалентный уровень звука LAэкв, дБ (А)	Максимальный уровень звука LAmax, дБ (А)
Дневное	Холодильник		46,1	67,7
	Коридор		40,7	60,8
	Балкон	Открытое окно	52,6	73,6
		Закрытое окно	43,7	67,9
Ночное	Холодильник		44,6	65,5
	Коридор		39,1	59,8
	Балкон	Открытое окно	46,3	66,8
		Закрытое окно	42,6	63,9

Таблица 3

Исследование шумового загрязнения третьей квартиры

Время суток	Зона исследования		Акустические параметры	
			Эквивалентный уровень звука LAэкв, дБ (А)	Максимальный уровень звука LAmax, дБ (А)
Дневное	Холодильник		38,2	60,1
	Коридор		38	59,6
	Балкон	Открытое окно	48,7	66,7
		Закрытое окно	40,1	62
Ночное	Холодильник		38,1	60
	Коридор		38,3	59,5
	Балкон	Открытое окно	43,1	64,3
		Закрытое окно	39,7	63,8

Анализируя результаты измерений, можно сделать следующие выводы:

1. Вторая и третья исследуемые квартиры расположены на втором этаже жилого дома, а первая же на первом этаже. Во всех трех жилых помещениях наблюдаются превышения предельно допустимого уровня шума. В дневное время: при открытых окнах на 8,7-2,6 дБА, а при закрытых окнах на 0,1-3,7 дБА. В ночное время: при открытых окнах на 13-16,3 дБА, а при закрытых окнах на 9,67-12,6 дБА.

2. Более высокие уровни шумового загрязнения, зафиксированные во второй квартире по сравнению с первой и третьей, могут быть обусловлены несколькими факторами, связанными с ее расположением:

- Во-первых, несмотря на наличие парковой зоны в 15 метрах от квартиры, эта зеленая зона служит местом постоянного пребывания людей, гуляющих там практически в течение всего дня. Шумовое воздействие от присутствия и деятельности людей в парке может частично нивелировать положительный защищающий эффект зеленых насаждений [6].

- Во-вторых, на некотором удалении от второй квартиры расположен торговый комплекс. Данный объекта также является источником дополнительного шумового загрязнения окружающей территории из-за постоянного потока автомобилей, подъезжающих и покидающих торговый комплекс.

- В-третьих, превышение предельно допустимого уровня шума в коридоре и вблизи холодильника во второй квартире обусловлено наличием устаревшей бытовой техники, в частности холодильника, а также его расположением рядом с окном, через которое проникает внешний шум.

В соответствии с действующими санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [2], для помещений жилых зданий, эквивалентный уровень звука должен составлять 40 дБА днем и не более 30 дБА ночью. Результаты проведенных измерений показали, что во всех трех исследуемых квартирах наблюдается превышение указанных нормативов по уровням шумового загрязнения вне зависимости от того, открыты окна или закрыты. Таким образом, во всех обследованных жилых помещениях зафиксированы недопустимо высокие уровни шума, не соответствующие санитарным требованиям, как в дневные, так и в ночные часы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. СНиП 23-03-2003. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Защита от шума. – Введ. 2004-01-01. – ФГУП ЦПП, 2004.

2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – Введ. 1996-10-31. – Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997.

3. ГОСТ 31296.2-2006. Шум. Описание, измерение и оценка шума на местности. Часть 2. Определение уровней звукового давления. – Введ. 2008-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2008.

4. ГОСТ 17187-2010 (IEC 61672-1:2002). Шумомеры. Часть 1. Технические требования. – Введ. 2012-11-01. – Москва Стандартинформ, 2012.

5. МУК 4.3.2194-07. Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях. – Введ. 2007-07-01. – Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2007.

6. *Коростелева, Н.В*. Оценка шумового режима при магистральных территориях г. Волгограда и разработка рекомендаций по созданию оптимальных условий проживания населения / Н.В. Коростелева // Вестник Волгоградского государственного архитектурно строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2011. – № 23. – С. 168- 172.

ASSESSMENT OF ROOM NOISE POLLUTION

Zalyalov N.I.

Supervisor: Petrovskiy V.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents the results of a study of noise pollution in residential premises. Instrumental measurements were taken during the day and at night in various areas of the premises.

УДК 681.2

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ С АВТОНОМНЫМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ ДАТЧИКОВ

Кадырова А.Ф.

Научный руководитель: Денисов Е.С., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлена разработка автоматизированной системы измерения влажности почвы с автономным электропитанием датчиков. Система предназначена для непрерывного мониторинга влажности грунта в сельском хозяйстве, экологическом наблюдении и умных теплицах. Описаны принципы работы датчиков, алгоритмы обработки сигналов и архитектура системы.

Экспериментальная оценка увлажненности почвы является важной научно-технической задачей [1,2], решение которой позволит увеличить урожайность выращиваемых растений. Современные технологии позволяют оптимизировать процессы управления орошением, что особенно актуально для владельцев огородов, стремящихся к эффективному использованию воды и повышению урожайности в условиях ограниченности ресурсов и времени. Одним из ключевых элементов таких систем являются датчики влажности почвы, которые позволяют осуществлять постоянный мониторинг потребности растений в поливе и формировать управляющие сигналы для садовода или автоматических систем капельного или объемного полива.

Датчики влажности почвы измеряют количество воды в почве, используя различные методы, такие как измерение электрического сопротивления, емкости или диэлектрической проницаемости. Наиболее распространенным методом является измерение электрического сопротивления, которое изменяется в зависимости от состояния увлажненности почвы. Как правило, соответствующий датчик обычно состоит из двух электродов, погруженных в почву. Однако, применение таких датчиков приводит к их ускоренной коррозии и сильно влияет на состояние почвы.

Различия между емкостным и резистивным датчиком влажности почвы:

1) Емкостной датчик состоит из двух электродов, образующих конденсатор: при увеличении влажности ёмкость возрастает. Резистивный датчик измеряет электрическое сопротивление почвы между двумя электродами: чем выше влажность, тем ниже сопротивление.

2) Емкостной датчик более точен и меньше подвержен влиянию засоленности почвы и коррозии электродов. Резистивный датчик может давать погрешности из-за электрохимических процессов (окисление контактов, влияние минеральных солей).

3) Емкостной датчик долговечнее, так как электроды не контактируют напрямую с почвой (изолированы защитным слоем). Резистивный датчик быстрее изнашивается из-за коррозии электродов. Поэтому для данной работы используем емкостной датчик влажности почвы

В условиях огорода, где доступ к централизованному электроснабжению может быть ограничен, становится необходимо использование автономных источников энергии. Одним из экологически чистых и экономически выгодных решений для обеспечения энергией датчиков и системы управления являются источники питания на основе солнечных батарей. Даже небольшие панели таких батарей способны генерировать достаточное количество энергии. Устройства измерения влажности почвы с автономным питанием позволяют автоматизировать процесс полива, оптимизировать использование водных ресурсов и снизить затраты на электроэнергию. В сочетании с аккумулятором, появляется способность устройства накапливать энергию и обеспечивать работу системы в ночное время или в пасмурную погоду.

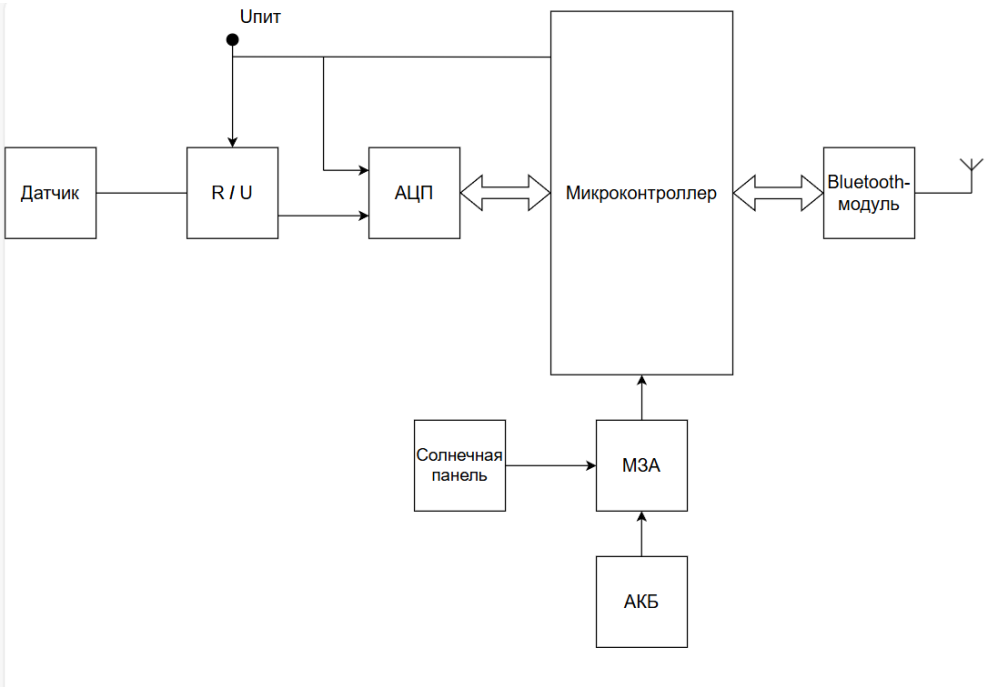


Рис. 1. Структура автономного измерительного модуля

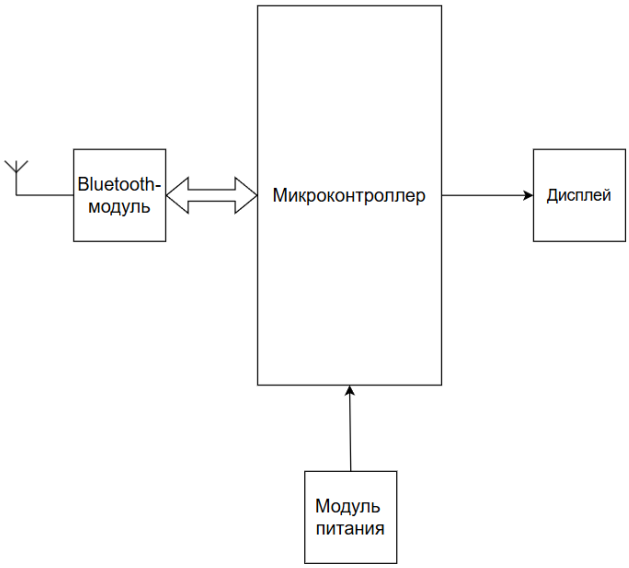


Рис. 2. Структура модуля управления и индикации

Разрабатываемая система состоит из автономного измерительного модуля (рис. 1) и модуля управления и индикации (рис. 2). Автономный измерительный модуль включает в себя: емкостной датчик влажности почвы, преобразователь емкости в постоянную времени схемы на операционном усилителе, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), микроконтроллер и беспроводной приемо-передатчик, а также систему электропитания на основе солнечной батареи и аккумуляторной батареи. Модуль управления включает в себя: микроконтроллер, беспроводной приемо-передатчик, модуль электропитания и сенсорный дисплей.

В процессе работы микроконтроллер автономного измерительного модуля запрашивает информацию с АЦП, который последовательно измеряет сигнал изменения напряжения на выходе измерительного преобразователя с целью определения микроконтроллером постоянной времени, соответствующей текущему значению влажности почвы. Измерение напряжения питания требуется для исключения его влияния на результаты оценки влажности почвы. Энергия солнечной батареи подается на модуль зарядки аккумулятора, питающего микроконтроллер, что обеспечивает автономную работу устройства. Микроконтроллер обрабатывает данные датчика и передает их на модуль управления и индикации через беспроводной Bluetooth приемопередатчик. Все компоненты устройства помещаются в специальный корпус для защиты от внешних воздействий.

Потенциал, подаваемый на емкостной датчик влажности почвы не должен быть постоянным, так как в случае нарушения изоляции — это может приводить к перераспределению ионов в почве и ухудшению ее состояния. Поэтому напряжение питания резистивного делителя берется от вывода микроконтроллера, который может переводится в состояние с высоким импедансом. Возможное непостоянство уровня этого напряжения учитывается путем его измерения посредством АЦП.

Для создания прототипа разрабатываемой измерительной системы были выбраны следующие основные компоненты:

1. Сенсор влажности – AMP-B182
2. Микропроцессорная система Arduino Nano.
3. Солнечная батарея – RUICHI 2В, 1Вт;
4. Литий-ионный аккумулятор – Robiton 14500/900, 3.7В;
5. Модуль зарядки аккумулятора – TP4056;
6. Передатчик данных - Bluetooth-модуль HC-05;
7. Корпус для защиты компонентов от влаги и пыли;
8. ЖК-экран.

Созданный прототип измерительной системы работает следующим образом. Каждый

час передатчик пробуждается и измеряет значение влажности с сенсора влажности, затем передает эти данные на модуль управления и индикации. После уходит в режим сна на час, для экономии энергии. Аккумулятор тратит энергию на пробуждение, сбор данных с сенсора, передачу данных. Возможна интеграция с солнечными панелями для организации полностью автономных систем.

Модуль управления и индикации отображает данные влажности почвы, состояние почвы и время последнего обновления данных. Алгоритм работы на ESP8266 с датчиком влажности почвы:

1. Пользователь подключается к Wi-Fi сети ESP_Soil_Sensor.
2. В браузере открывает http://192.168.4.1.
3. ESP: Читает аналоговый сигнал с датчика. Конвертирует его в проценты. Генерирует HTML-страницу с актуальными данными. Отправляет страницу браузеру. Страница автоматически обновляется каждую секунду, показывая новые данные.

Заключение

Датчики влажности почвы, с автономным электропитанием на основе солнечных батарей, представляют собой эффективное и экологичное решение для мониторинга и управления поливом. Оно также позволяет следить за состоянием почвы в различных местах земельного участка, посредством подключения нескольких датчиков к одному модулю управления и индикации. Их автономность, экономичность и удобство делают их незаменимыми инструментами в современном сельском хозяйстве и садоводстве.

В данной работе предложена структура системы измерения влажности почвы на основе емкостного датчика с возможностью передачи данных на удаленное устройства мониторинга и анализа. Емкость датчика измеряется на основе оценки постоянной времени измерительной схемы на основе операционного усилителя. Результаты измерений могут быть представлены пользователю в графическом виде на дисплее.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Перспективы оперативной пространственной оценки водообеспеченности сельскохозяйственных территорий на основе сопряженного использования математических моделей, дистанционных и наземных измерений / В.П. Якушев, В.В. Якушев, С.Ю. Блохина [и др.] // Плодородие. – 2021. – № 3(120). – С. 108-116.

2. *Музалевский К.В.* Дистанционное измерение влажности в поверхностном слое минеральной почвы на двух частотах / К.В. Музалевский // Журнал радиоэлектроники. – 2020. – № 1. – С. 3.

AUTOMATED SOIL MOISTURE MEASUREMENT SYSTEM WITH AUTONOMOUS SENSOR POWER SUPPLY

Kadyrova A.F.

Supervisor: Denisov E.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents the development of an automated soil moisture measurement system with autonomous sensor power supply. The system is designed for continuous monitoring of soil moisture in agriculture, environmental monitoring and smart greenhouses. The principles of sensor operation, signal processing algorithms, and system architecture are described.

УДК 62-791.2

ОСОБЕННОСТИ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ СТАНКОВ С ЧПУ

Калашников Д.С.

Научный руководитель: Денисов Е.С., доцент, к. т. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Аннотация. В статье рассматриваются особенности вибродиагностики шпиндельных узлов станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Проанализированы сложности интерпретации вибросигналов, обусловленные конструктивными и эксплуатационными факторами. Представлены рекомендации по организации системы вибродиагностики в условиях промышленной эксплуатации.

Шпиндельный узел является одним из ключевых элементов металлорежущих станков с ЧПУ, от состояния которого напрямую зависит точность, производительность и надёжность обработки. Вибродиагностика, как метод технической диагностики, позволяет выявлять скрытые дефекты на ранней стадии, снижая риск аварийных отказов и простоев оборудования. Вибрационные сигналы можно во многих случаях рассматривать как случайный сигнал и применять для его анализа соответствующие методы обработки [1-4].

Однако применение вибродиагностики к шпиндельным узлам имеет ряд особенностей, обусловленных как конструкцией узла, так и характером вибрационных сигналов. Эти особенности целесообразно рассматривать по следующим направлениям: Конструктивные особенности шпиндельного узла, влияющие на параметры вибрации; Обработка вибросигналов и сложности их интерпретации; Режимные факторы, связанные с динамикой работы станка; Размещение и калибровка датчиков, влияющие на точность диагностики;

Конструкция шпиндельного узла оказывает существенное влияние на параметры и интерпретацию вибрационных сигналов. В современных станках с ЧПУ широко применяются высокоскоростные шпиндели с интегрированными приводами, гибридными подшипниками (керамика/сталь), системой охлаждения и датчиками положения [1].

С диагностической точки зрения важны следующие аспекты:

1. Тип и расположение подшипников. Различные конфигурации (например, передний подшипник повышенной жёсткости и задний — компенсирующий тепловое удлинение) формируют различную амплитудно-частотную картину вибраций. Кроме того, использование керамических тел качения снижает уровень высокочастотных шумов, но увеличивает чувствительность к перекосам и микродефектам дорожек качения.

2. Масса и жесткость ротора. Большие массы и повышенная жёсткость обеспечивают устойчивость на рабочих частотах, но при этом могут скрывать мелкие дефекты, особенно на начальных стадиях. Балансировка ротора — ключевой фактор, влияющий на уровни вибрации.

3. Жесткость крепления корпуса шпинделя. Слабо закреплённый корпус или недостаточная демпфирующая способность узла повышают уровень резонансных явлений, которые могут маскировать диагностические признаки на определённых частотах.

4.Система охлаждения. Неравномерное охлаждение или его недостаточность может вызывать тепловое расширение, приводящее к осевым усилиям и росту вибраций. Особенно это критично при длительной работе на высоких оборотах.

Таким образом, конструктивные особенности шпиндельного узла формируют специфическую вибрационную картину, требующую индивидуального подхода к выбору методов и параметров диагностики. Универсальные шаблоны здесь неприменимы — необходимо учитывать технические характеристики конкретного узла.

Анализ вибрационных сигналов шпиндельного узла сопряжён с рядом методических и технических сложностей. Эти сложности обусловлены как режимами работы станка, так и характеристиками измерительного оборудования и конструкции шпинделя.

Шпиндельные узлы станков с ЧПУ работают на высоких частотах вращения, что вызывает генерацию вибраций в широком спектральном диапазоне. Особенно это касается высокочастотных компонент, связанных с дефектами подшипников (контакт качения, микропиттинг, локальные повреждения). При недостаточной частоте дискретизации или узком частотном диапазоне измерительного тракта возникает искажения спектра из-за наложения высокочастотных компонент на более низкие [2].

Экспериментально установлено, что при регистрации сигналов с частотой возбуждения выше полосы пропускания датчика (или выше половины частоты дискретизации), в спектре появляются ложные пики, не соответствующие реальным физическим процессам. Это может привести к ошибочной диагностике. Для исключения данной ошибки необходимо:

- использовать датчики с широким частотным диапазоном;
- применять фильтры, отсекающие частоты выше, чем верхняя граница измерительного прибора;
- выбирать частоту дискретизации как минимум в 2,5 раза выше максимально интересующей диагностической частоты.

Анализ вибрационных сигналов шпиндельного узла также должен учитывать режим работы оборудования в момент измерения. Принципиально различают два типа режимов: стационарные, при которых параметры вращения и нагружения постоянны во времени, и переходные — характеризующиеся быстрыми изменениями скорости, момента или нагрузки. Каждый из них требует специфического подхода к обработке сигнала.

К стационарным процессам относятся: равномерное вращение на постоянных оборотах (холостой ход или резание при постоянной подаче). Для таких условий применяются:

1) Спектральный анализ — позволяет выявлять гармоники, характерные для дисбаланса, биения, дефектов подшипников, электромагнитных возбуждений.

2) Анализ огибающей сигнала (Envelope detection) — эффективен при поиске импульсных колебаний от локальных повреждений тел качения.

3) Статистические показатели — среднеквадратичное значение (СКО), пиковый фактор, асимметрия — позволяют отслеживать долгосрочные тенденции деградации [5].

К переходным режимам работы можно отнести: пуск и останов шпинделя, резкая смена оборотов, включение/отключение подачи или охлаждения. Эти процессы сопровождаются нестационарными колебаниями, и их анализ требует иных методов:

1) Временной анализ — отслеживание осциллограммы ускорения во времени, позволяет фиксировать аномальные всплески.

2) Временная спектрограмма (Short-Time FFT) — отображает, как спектр изменяется по времени, выявляя кратковременные явления.

3) Вейвлет-анализ — применим при наличии слабовыраженных дефектов, проявляющихся на локальных частотных участках.

Организация эффективной системы вибродиагностики шпиндельных узлов в условиях промышленной эксплуатации требует комплексного подхода, охватывающего выбор оборудования, режимы измерений, методы обработки данных и интеграцию с производственной инфраструктурой.

На первом этапе особое внимание следует уделить выбору и размещению датчиков. Для диагностики шпиндельных узлов наиболее предпочтительны датчики виброускорения с широким частотным диапазоном — не менее 30 кГц. Их установка должна быть жёсткой и надёжной, с минимальным демпфированием. Оптимально размещать датчики вблизи подшипниковых опор шпинделя, а также на корпусе шпиндельного узла и на станине — это позволяет сравнивать локальные и передающиеся вибрации. Наилучшие результаты

достигаются при использовании трехосевых датчиков, либо систем из нескольких одноосевых, ориентированных по взаимно перпендикулярным осям.

Перед началом эксплуатации система должна быть откалибрована. Проводится проверка чувствительности датчиков, фазового сдвига и шумового уровня. Использование вибростендов и контрольных сигналов позволяет обеспечить достоверность калибровки. Температурная стабильность датчиков также критична, особенно в условиях нагрева шпиндельного узла, поэтому предпочтение следует отдавать термокомпенсированным датчикам или использовать программную корректировку.

Сбор данных необходимо проводить в различных режимах работы шпинделя: на холостом ходу, при резании, в момент пуска и останова. Это позволяет выявлять как стационарные, так и переходные вибрационные эффекты. Рекомендуется вести сбор данных циклически — например, в начале каждой смены или после определённого количества часов работы, а также при смене инструмента. Наличие эталонных записей исправного состояния значительно облегчает выявление отклонений [6].

Анализ полученных данных должен включать как спектральные, так и временные методы. Для автоматизации диагностики применяются алгоритмы распознавания характерных признаков, таких как дисбаланс, биение, дефекты подшипников и осевые колебания. Дополнительно используются интегральные показатели — среднеквадратичное значение, пиковый фактор, векторный модуль ускорения, — которые позволяют упростить интерпретацию и реализовать адаптивные пороговые значения для сигналов тревоги.

Предлагаемая схема процесса сбора и анализа вибрационных сигналов (рис. 1):

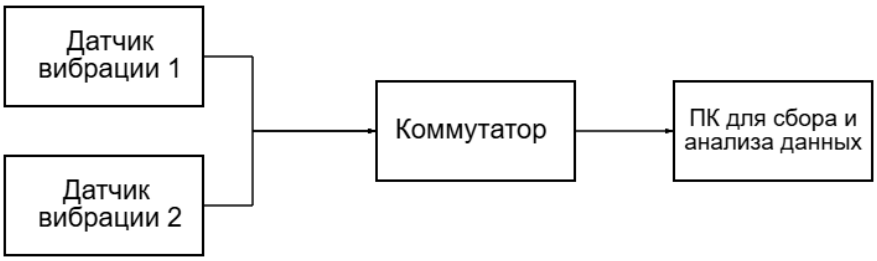


Рис.1. Структурная схема алгоритма сбора и анализа вибрационных сигналов

Система вибродиагностики функционирует следующим образом: датчики вибрации, установленные на узлах оборудования, фиксируют механические колебания и преобразуют их в электрические сигналы, пропорциональные ускорению. Эти сигналы преобразуются в цифровую форму встроенными средствами датчиков и далее передаются по интерфейсу Ethernet в виде UDP-пакетов. Потоки данных от нескольких датчиков объединяются коммутатором, который обеспечивает их маршрутизацию и синхронную доставку на персональный компьютер. Такая архитектура позволяет использовать стандартные сетевые решения, обеспечивая высокую скорость передачи, устойчивость к потерям данных и возможность масштабирования системы за счёт добавления дополнительных датчиков.

На стороне ПК осуществляется приём, временная синхронизация и предобработка поступающих данных: фильтрация шумов, нормализация амплитудных характеристик, выделение рабочих диапазонов частот. Далее применяются методы временного и частотного анализа (в частности, быстрое преобразование Фурье), позволяющие идентифицировать характерные признаки неисправностей — от дисбаланса ротора и резонансных явлений до повреждений подшипников. Результаты визуализируются в виде временных графиков, спектров и трендов, что обеспечивает как оперативный контроль состояния оборудования, так и возможность прогнозирования его ресурса в рамках концепции предиктивного обслуживания.

Полученные результаты могут найти свое применение в системах вибродиагностики станков с числовым программным управлением, электрических двигателей и других объектов.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А.Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Петрухин В.В.* Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации : учебное пособие / В. В. Петрухин, С. В. Петрухин. — Тюмень: ТИУ, 2009. — 170 с.

2. *Левин В.Е.* Вибродиагностика машин и механизмов: учебное пособие: [16+] / В.Е.Левин, Л.Н. Патрикеев; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2010. – 108 с.

3. Spectral method for PEMFC operation mode monitoring based on electrical fluctuation analysis / E. Denisov, Y.K. Evdokimov, R.R. Nigmatullin [et al.] // Scientia Iranica. – 2017. – Vol. 24, No. 3. – P. 1437-1447. – DOI 10.24200/sci.2017.4125.

4. New methods of complex systems inspection: Comparison of the ADC device in different operating modes / R.R. Nigmatullin, Y.K. Evdokimov, E.S. Denisov, W. Zhang // Lecture Notes in Electrical Engineering. – 2015. – Vol. 343. – P. 187-204.

5. *Шиндор О.В.* Исследование диагностических возможностей вейвлет-преобразования для анализа электрических флуктуаций водородного топливного элемента / О.В. Шиндор, Е.С. Денисов, Ю.К. Евдокимов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2013. – № 4. – С. 120-124..

6. *Сабиров Ф.С.* Датчики пространственных вибраций и диагностика процесса обработки на станках // Датчики и системы. – 2017. – № 3(212). – С. 55-61

FEATURES OF VIBRATION DIAGNOSTICS OF CNC MACHINE TOOL SPINDLE UNITS

Kalashnikov D.S.

Supervisor: Denisov E.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the features of vibration diagnostics of spindle units of machines with numerical control (CNC). The difficulties of interpreting vibration signals due to design and operational factors are analyzed. Recommendations for organizing a vibration diagnostics system in industrial operation conditions are presented.

УДК 681.586.5: 615.471:535.92

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЁТОК В МАЛОИНВАЗИВНОЙ ХИРУРГИИ

Камалеева А.А.

Научный руководитель: Сахабутдинов А.Ж., профессор, д. т. н.,

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлены перспективные разработки устройств для малоинвазивной хирургии с использованием волоконных брэгговских решёток такие, как трехгранная игла, датчик силы для пальпации тканей и датчик давления в межпозвоночном диске. Сделан вывод о том, что тактильные датчики и устройства с использованием волоконных брэгговских решёток, благодаря высокой чувствительности, малым размерам и

высокой скорости передачи информации, повышают безопасность, точность и эффективность хирургических вмешательств.

Введение

В последнее время наблюдается быстрое развитие малоинвазивной хирургии (МИХ), означающей проведение хирургических вмешательств через небольшие разрезы с использованием эндоскопического оборудования. К её преимуществам относятся сокращение боли и дискомфорта после операции, травматизации тканей и риска послеоперационной инфекции. Однако у МИХ есть два основных недостатка: ограниченное пространство, приводящее к уменьшению степени свободы во время манипуляций, и отсутствие тактильной обратной связи, включая тактильные силы во время взаимодействия инструмента с тканями [1,2].

Для проведения малоинвазивных хирургических вмешательств используются датчики двух типов: электрические и волоконно-оптические. За последние несколько лет наибольшее распространение получили датчики на основе волоконной брэгговской решетки (ВБР), обладающие гибкостью, малым весом, высокой чувствительностью, устойчивостью к электромагнитным помехам и химической инертностью [3]. Принцип действия ВБР основан на отражении определенной Брэгговской длины волны, вследствие периодического изменения показателя преломления сердцевины, и пропускании остального излучения. Длина волны Брэгга смещается при изменении эффективного показателя преломления или периодичности решётки под действием внешних факторов [4]. Таким образом, датчик на основе ВБР может охватывать диапазоны сил от микро- до макромасштаба как при статической, так и при динамической нагрузке [5].

Создание трехгранной иглы с использованием массива датчиков ВБР

Во время МИХ вмешательств необходимо знать информацию о форме иглы, её положении и ориентации во время введения. Для этих целей команда разработчиков из Нидерландов предлагает в [6] использовать гибкую нитиноловую иглу, в которую интегрирован массив из двенадцать датчиков на основе ВБР, измеряющих деформацию для вычисления её кривизны. Информация о форме иглы используется для прогнозирования её траектории движения, обеспечивая точное управление.

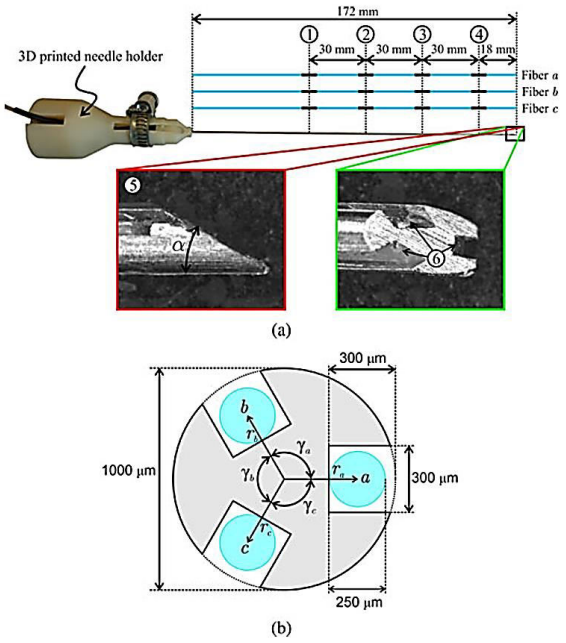


Рисунок 1. (a) Фотография экспериментальной иглы с интегрированными волокнами. 1 – 4 – Расположение четырёх наборов ВБР вдоль стержня иглы, 5 – Микроскопическая фотография острия, 6 – Вид сверху на остриё. (b) Поперечный разрез иглы, показывающий канавки, в которые вклеены волокна по всей длине [6]

Для изготовления иглы с ВБР авторами используется нитиноловая проволока длиной 172 мм, допускающая изгибы с большей кривизной, чем другие материалы. Двенадцать датчиков на основе ВБР получаются в результате вытравливания четырех ВБР в три волокна, располагающиеся на расстояние 30 мм друг от друга. Последний набор ВБР находится на расстоянии 18 мм от кончика иглы. Для соединения волокон на игле по всей длине иглы авторы делают три канавки, расположенные под углом 120° друг к другу. В них вклеиваются волокна, подключённые к считывателю, измеряющему длину волны отраженного сигнала для каждой из двенадцать решеток ВБР, рисунок 1 [6].

Для проверки эффективности устройства авторами была разработана установка, с помощью которой осуществляется введение иглы вдоль её продольной оси и вращение вокруг неё. В качестве имитатора мягких тканей был использован желатин. Также в исследовании были представлены модели, основанные на кинематике и механике, предсказывающие трехмерную траекторию гибкой иглы со скошенным кончиком во время введения в мягкую ткань. Авторы приходят к выводу, что модель, основанная на механике, точнее предсказывает форму иглы для случая введения вне плоскости. Однако модель, основанная на кинематике, проще реализовывать в режиме реального времени.

Датчик силы на основе ВБР для пальпации тканей

Одномерный дистальный датчик силы для МИХ был представлен в работе [7] командой ученых из Китая, которые использовали ВБР для точного отображения связи между приложенной силой и соответствующим сдвигом центральной длины волны. Датчик был изготовлен с использованием спиральной структуры, обеспечивающей высокую чувствительность и прочность изгиба датчика, и плотно подвешенного оптического волокна с двумя ВБР, необходимыми для измерения осевой нагрузки. Для точного отображения связи между приложенной силой и соответствующим сдвигом центральной длины волны, необходимо учитывать температурную компенсацию. С этой целью исследователи предложили использовать двойную ВБР, рисунок 2 [7].

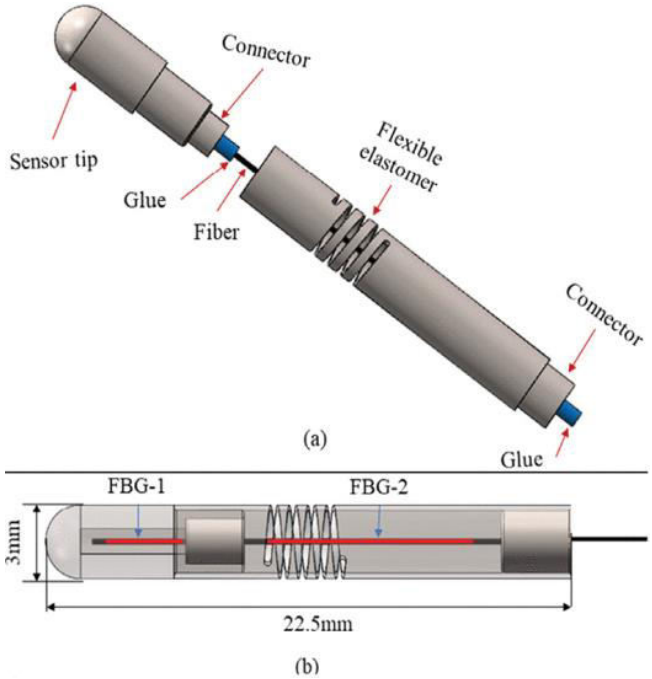


Рисунок 2. (а) Трёхмерная схема сборки разработанного датчика,
(б) Метод двойной решётки ВБР и размер структуры датчика [7]

Авторы утверждают, что датчик ВБР может быть использован для пальпации тканей, обнаружения опухолей или уплотнений в некоторых органах тела, благодаря упругими свойствами и быстрой реакции на приложенную осевую нагрузку. Теоретические характеристики структуры датчика были проанализированы с помощью моделирования.

Проверка эффективности и производительности была проведена серией экспериментов на печени свиньи. Результаты показывают, что разработанный датчик позволяет точно определять механические свойства органа и местоположение опухоли. Как моделирование, так и экспериментальные исследования подтверждают производительность разработанного датчика [7].

Малоинвазивные ВБР датчики давления в межпозвоночном диске

Командой исследователей из Испании в [8] был сконструирован новый датчик ВБР, который может устранить ограничения, связанные с игольчатыми датчиками, благодаря своему небольшому размеру и механической гибкости, и быть использован для проведения малоинвазивных измерений давления в межпозвонковых дисках, минимизируя повреждение кольцевых волокон, рисунок 3.

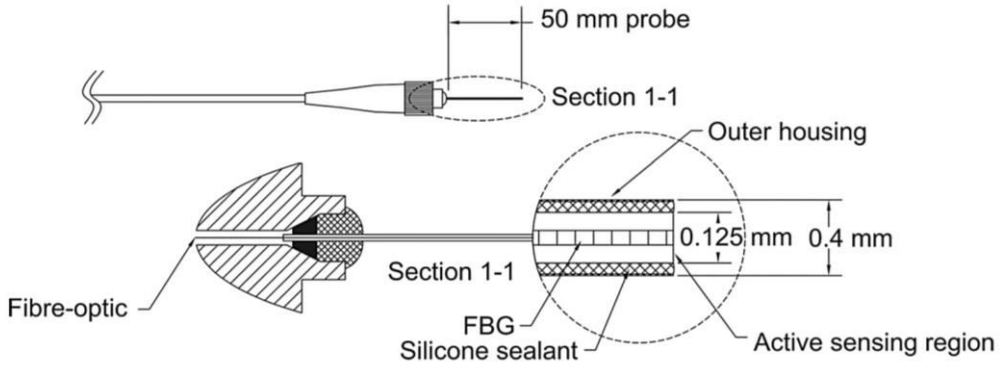


Рисунок 3. Схема датчика давления на основе ВБР [8]

Датчик состоит из оптического волокна диаметром 0,125 мм с ВБР, расположенной на конце зонда. Кольцевой объем между стальной трубкой и ВБР заполнен подходящим силиконовым герметиком. Принцип действия такого датчика заключается в том, что при приложении давления к активной чувствительной области происходят прогибы внутри силиконового герметика, вызывающие деформации в ВБР, приводящие к изменениям характерной длины волны света, отраженного от неё.

Проверка эффективность устройства авторами была проведена экспериментально: было создано отверстие с помощью иглы для инъекций, в которую вводился датчик ВБР. Зонд датчика, продвигаясь через кольцо в ядро, устанавливался на глубину, равную половине диаметра межпозвонкового диска, вдоль оси введении. Нагружая ВБР датчик сжатием по пилообразному профилю, было измерено давление в межпозвоночном диске. Авторы получили повторяемые результаты, выполняя множественные измерения давления в течение нескольких циклов нагрузки в одном межпозвонковом диске, при этом положение датчика ВБР оставалось фиксированным [8].

Вывод

Рассмотренные в обзоре исследования подтверждают, что применение ВБР открывает возможности создания более эффективных устройств, позволяя решить проблему отсутствия тактильной обратной связи, предоставлением количественных данных о силе контакта с тканями и их механических свойствах.

Таким образом, датчики с ВБР являются важными инструментами в малоинвазивной хирургии и существенно улучшают качество медицинской помощи пациентам, повышая безопасность проведения операций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Navigating inner space: 3-D assistance for minimally invasive surgery / D. Burschka, J. Corso, M. Daewan [et al.] // Robotics and Autonomous Systems. – 2005. – Т. 52, № 1. – С. 5–26.

2. *Pisla D.* Kinematics and workspace modeling of a new hybrid robot used in minimally invasive surgery / D. Pilsa, N. Plitea, C. Vaida // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. – 2013. – Т. 29, № 2. – С. 463–474.

3. *Abushagur A.* Advances in Bio-Tactile Sensors for Minimally Invasive Surgery Using the Fibre Bragg Grating Force Sensor Technique: A Survey / A. Abushagur, I.D.N. Arsad, M.B.I. Reaz, A.A.A. Bakar // Sensors. – 2014. – Т. 14, № 4. – С. 6633–6665.

4. *Mishra V.* Fiber grating sensors in medicine: Current and emerging applications / V. Mishra, N. Singh, U. Tiwari, P. Kapur // Sensors and Actuators A: Physical. – 2011. – Т. 167, № 2. – С. 279–290.

5. *Han G.* Method of correlation function for analyzing cross-sensitivity of strain and temperature in fiber grating sensors / G. Han, W. Zhang // Optoelectron. Lett. – 2007. – Т. 3, № 3. – С. 195–198.

6. *Roesthuis R.J.* Three-Dimensional Needle Shape Reconstruction Using an Array of Fiber Bragg Grating Sensors / R.J. Rosesthuis, M. Kemp, J.J. Dobbelsteen, S. Mirsa // IEEE/ASME Trans. Mechatron. – 2014. – Т. 19, № 4. – С. 1115–1126.

7. *Gan L.* Development of a Fiber Bragg Grating-Based Force Sensor for Minimally Invasive Surgery–Case Study of Ex-Vivo Tissue Palpation / L. Gan, W. Duan, T.O. Akinyemi // IEEE Trans. Instrum. Meas. – 2023. – Т. 72. – С. 1–12.

8. *Dennison C.R.* Validation of a Novel Minimally Invasive Intervertebral Disc Pressure Sensor Utilizing In-Fiber Bragg Gratings in a Porcine Model: An Ex Vivo Study / C.R. Dennison, P.M. Wild, M. Dvorak, D.R. Wilson // Spine. – 2008. – Т. 33, № 17. – С. E589–E594.

APPLICATION OF FIBER BRAGG GRATINGS IN MINIMALLY INVASIVE SURGERY

Kamaleeva A.A.

Supervisor: Sakhabutdinov A.Zh., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The paper presents promising developments of devices for minimally invasive surgery using fiber Bragg gratings, such as a triangular needle, a force sensor for tissue palpation, and a pressure sensor in the intervertebral disc. It is concluded that tactile sensors and devices using fiber Bragg gratings, due to their high sensitivity, small size, and high speed of information transfer, increase the safety, accuracy, and effectiveness of surgical interventions.

УДК 681.518.5

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ПОДХОДЫ НА ПРИМЕРЕ YOLOV7 В ЗАДАЧАХ КОНТРОЛЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Качанкин М.Н.

Научный руководитель: Володин С. М., доцент, к. т. н.

(Московская финансово-юридическая академия, г. Москва)

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы применения искусственного интеллекта и глубокого обучения в задачах промышленной безопасности. Особое внимание уделено архитектуре YOLOv7, являющейся современным примером эффективной нейросетевой системы детекции объектов. Показано, что традиционные методы контроля средств индивидуальной защиты (СИЗ), такие как обходы инспекторов и ведение журналов, уступают интеллектуальным системам анализа видеопотоков. Представлен обзор возможностей компьютерного зрения в реальном времени, описаны преимущества YOLOv7 и выполнен сравнительный анализ различных подходов. В заключение сделаны выводы о перспективах интеграции ИИ-технологий в комплексные системы промышленной безопасности.

Современная промышленность сталкивается с необходимостью повышать стандарты охраны труда и техники безопасности. По данным Международной организации труда (МОТ), ежегодно в мире происходит свыше 2,3 миллиона смертельных несчастных случаев на производстве, а десятки миллионов работников получают травмы различной степени тяжести. Одной из ключевых причин является несоблюдение требований к использованию средств индивидуальной защиты (СИЗ). Каски, сигнальные жилеты, защитные очки и перчатки остаются основным барьером между рабочей и потенциальной угрозой, но их применение контролируется недостаточно эффективно.

Традиционные методы - визуальные проверки, устные напоминания, журналы контроля - имеют ограниченный охват и зависят от человеческого фактора. В условиях цифровизации предприятий всё больше внимания уделяется внедрению технологий искусственного интеллекта. Системы компьютерного зрения, работающие на основе нейросетевых моделей, позволяют автоматически анализировать видеопотоки, распознавать наличие или отсутствие СИЗ и формировать отчётность в реальном времени. Это направление становится одним из наиболее перспективных в области промышленной безопасности и инженерии техносферы [5].

Классические подходы к контролю включают несколько инструментов:

- Обходы инспекторов и визуальные проверки;
- Фиксацию данных в бумажных и электронных журналах;
- Автоматизированные системы учёта на основе RFID-меток и QR-кодов;
- Регулярные инструктажи и аттестации персонала.

Несмотря на развитие этих методов, они имеют ряд ограничений. Инспектор физически не может охватить все рабочие зоны одновременно, а журналы часто заполняются формально. Автоматизация на основе RFID или QR улучшает ситуацию, но не фиксирует фактическое использование СИЗ [3]. Таким образом, остаётся необходимость в технологиях, способных обеспечить непрерывный и объективный контроль.

Модели семейства YOLO (You Only Look Once) стали стандартом для задач детекции объектов, так как выполняют классификацию и локализацию за один проход сети [1]. Первая версия YOLO показывала скорость до 45 кадров в секунду (FPS) на видеопотоках VGA-разрешения, однако точность распознавания была ограничена (~63% mAP на VOC-датасете). В YOLOv3 этот показатель увеличился до 78,6% mAP, а YOLOv4 обеспечила рост до 89,7% mAP на COCO-датасете при скорости более 60 FPS на GPU RTX 2080Ti.

YOLOv7, представленная в июле 2022 года, стала одним из наиболее значимых шагов в развитии однопроходных детекторов. Модель реализует несколько ключевых технических решений:

- Модуль E-ELAN обеспечивает расширение глубины сети без деградации градиентов, что повышает устойчивость обучения.
- RepConv позволяет ускорить инференс: при использовании на RTX 3090 YOLOv7-E6E достигает 56,8% mAP@0.5–0.95 при скорости 30 FPS.
- Auxiliary head улучшает тренировку глубоких слоёв, сокращая время обучения на 10–15%.

В промышленных сценариях особенно важна точность обнаружения конкретных классов объектов. Например, в исследованиях [Hussein, Ali, 2023] отмечено, что YOLOv7 при обучении на специализированных наборах данных для строительных площадок обеспечивает:

- каски - точность (precision) 96,7%, полнота (recall) 94,8%,
- сигнальные жилеты - precision 93,5%, recall 91,2%,
- защитные перчатки - precision 88,1%, recall 85,6%.

Суммарный показатель F1-score для трёх классов составил 0,92, что выше, чем у YOLOv5 (0,89) и SSD (0,83).

Скорость работы также является критически важным фактором. На сервере с GPU Tesla T4 YOLOv7-tiny обрабатывает до 220 FPS при разрешении 640×640, что позволяет

использовать её в режиме реального времени на десятках видеопотоков одновременно. Для сравнения, Faster R-CNN на тех же условиях показывает около 7–8 FPS при схожем уровне точности.

Важным преимуществом YOLOv7 является возможность дообучения (fine-tuning) на узкоспециализированных данных [2]. Например, при адаптации модели для условий металлургического производства с низкой освещённостью и высокой зашумлённостью кадров точность детекции касок выросла с 92% до 97% после дообучения на 5000 дополнительных размеченных изображениях.

Практика применения на предприятиях показывает, что система может работать в гибридной архитектуре:

- Edge-уровень (Jetson Xavier, Jetson Orin, Intel Movidius) - фильтрация кадров и базовая детекция, скорость до 40–60 FPS.
- Центральный сервер (A100, RTX 4090) - обработка сложных сцен, хранение инцидентов и аналитика, скорость до 120–160 FPS.

Такой подход снижает сетевую нагрузку на 40–50% и уменьшает задержку передачи данных.

Сравнение с альтернативами подтверждает преимущества YOLOv7:

- Faster R-CNN: точность mAP@50 до 58–60%, скорость <10 FPS.
- SSD: скорость высокая (150 FPS), но точность ограничена (~74% mAP).
- DETR (Transformer): точность >60% mAP, но скорость 10–15 FPS даже на топовых GPU.YOLOv7 обеспечивает компромисс: точность до 56,8% mAP@0.5–0.95 и скорость выше 100 FPS в облегчённых версиях.

Экономический эффект от внедрения подобных систем подтверждён практикой: по данным OSHA (США), компании теряют до 3–4% годового бюджета из-за несчастных случаев [4]. В пилотных проектах с автоматическим контролем СИЗ количество зафиксированных нарушений снизилось на 35–40% за первые полгода работы системы, что прямо отражается на снижении простоев оборудования и страховых выплат [5].

Таблица 1

Сравнение подходов к контролю СИЗ

Критерий	Обходы инспектора	Видео без анализа	ИИ/YOLOv7
Непрерывность контроля	Нет	Частично	Да (24/7)
Скорость фиксации	Медленная	Средняя	Мгновенная
Точность	Ограниченная	Средняя	Высокая
Автоматизация отчётов	Отсутствует	Частичная	Полная
Зависимость от человека	Максимальная	Средняя	Минимальная

Таблица 2

Сравнение поколений моделей YOLO

Характеристика	YOLOv5	YOLOv6	YOLOv7
Год появления	2020	2022	2022
Скорость (FPS)	≈120	≈140	≈160
Точность (mAP)	около 48%	около 50%	выше 52%
Гибкость применения	Средняя	Высокая	Очень высокая

В промышленной безопасности используют не только YOLOv7. Есть и другие модели, и каждая из них по-своему интересна. Detectron2 (разработка Facebook AI Research) лучше справляется с сегментацией объектов. EfficientDet хорош тогда, когда ресурсы ограничены: модель работает быстрее и при этом не сильно теряет в точности. Чуть позже появилась YOLOv8 — она более гибкая, удобнее в настройке и уже успела получить признание у практиков. Но в реальности всё решают условия задачи: где-то важнее скорость

(например, когда на камеру попадает сразу несколько десятков рабочих), а где-то без высокой точности никуда.

Важно и то, что подобные системы давно вышли за рамки простого контроля касок или жилетов. Их всё чаще связывают с элементами «умного производства» и интернетом вещей. Представьте: система не просто заметила, что рабочий без каски, а ещё и сопоставила это с перегрузкой оборудования или небезопасными условиями в конкретной зоне. Это уже не фиксация факта, а целый анализ ситуации, который позволяет предсказать возможные аварии. Да, звучит амбициозно, но именно к этому всё идёт. При этом надо учитывать и практическую сторону. Ещё недавно такие решения были доступны в основном крупным корпорациям, а теперь — и на предприятиях среднего уровня. Причина проста: дешевеют вычислительные модули, появляются готовые библиотеки, да и специалистов стало больше. YOLOv7 здесь показательный пример. Эта модель реально помогает: нарушения находят быстрее, ошибок из-за человеческого фактора меньше, а контроль идёт непрерывно, круглосуточно. И плюс — она легко интегрируется в другие сервисы предприятия: будь то системы учёта, базы данных по безопасности или комплексные панели мониторинга.

Если заглянуть вперёд, скорее всего, контроль СИЗ вообще станет лишь частью большого блока цифровой безопасности. Это будут платформы, которые собирают статистику, анализируют производственные процессы и даже предлагают конкретные шаги для предотвращения проблем. Получается сдвиг акцента: не просто реагировать, когда что-то случилось, а пытаться предупредить заранее. И, честно говоря, именно такой подход к охране труда кажется наиболее перспективным — практичный, предсказательный и ориентированный на снижение реальных рисков, а не на формальные проверки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Wang C.-Y.*, Bochkovskiy A., Liao H.-Y. M. YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors. arXiv:2207.02696, 2022.

2. *Ultralytics*. YOLO Documentation. [Электронндый ресурс]. URL: https://docs.ultralytics.com/ (дата обращения: 01.09.2025).

3. *Goodfellow I.,* Bengio Y., Courville A. Deep Learning. MIT Press, 2016.

4. OSHA. Personal Protective Equipment Standards. [Электронный ресурс]. URL: https://www.osha.gov/personal-protective-equipment (дата обращения: 01.09.2025).

5. *Hussein A.,* Ali M. Intelligent PPE detection using deep learning approaches in industrial safety. Journal of Safety Research, 2023.

NEURAL NETWORK APPROACHES USING THE EXAMPLE OF YOLOV7 IN THE TASKS OF MONITORING PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT

Kachankin M.N.

Supervisor: Volodin S.M., Teacher, Associate Professor, Associate Professor

(Moscow Financial and Law University (MFUA), Moscow)

Abstract. The paper examines the use of artificial intelligence and deep learning in industrial safety tasks. Particular attention is paid to the YOLOv7 architecture as a modern and efficient neural network object detection system. It is shown that traditional methods of personal protective equipment (PPE) monitoring, such as inspector rounds and log-keeping, are inferior to intelligent video stream analysis systems. An overview of real-time computer vision capabilities is provided, the advantages of YOLOv7 are described, and a comparative analysis of different approaches is presented. The conclusion highlights the prospects of integrating AI technologies into comprehensive industrial safety systems. Artificial intelligence, YOLOv7, computer vision, personal protective equipment, industrial safety, deep learning, object detection.

УДК 681.51

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТРОЛЛЕРА RASPBERRY PI

Курбангалеева А.М.

Научный руководитель: Кирсанов А.Ю., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассмотрена методика идентификации математической модели электронной схемы, которая осуществляется на основе измерения переходной характеристики цепи (звена) на примере фильтра нижних частот I-порядка. Результатом идентификации является передаточная функция, коэффициенты полиномов числителя и знаменателя которой, позволяют определить численные значения параметров цепи. Для автоматизации измерения переходной характеристики использован контроллер Raspberry PI.

Измерение характеристик электрических цепей таких как, например, фильтры и колебательные контура, а также экспериментальное определение их параметров, являются типовыми задачами для лабораторных практикумов учебных курсов электротехнических специальностей. Данные практические знания составляют основу формирования профессиональных компетенций будущих инженеров, позволяют закрепить теоретические знания, полученные в ходе изучения дисциплин. Таким образом, автоматизация измерений является важной задачей при модернизации лабораторных практикумов и, в том числе, обеспечения возможности выполнения лабораторных работ дистанционно через телекоммуникационные сети общего пользования [1].

Необходимо также подчеркнуть, что подобная автоматизированная измерительная система может быть использована для экспериментального определения математической модели цепи (звена), необходимой для дальнейшей разработки системы регулирования или управления. В этом случае математическая модель может быть представления в виде передаточной функции звена, идентифицированной на основе измеренной переходной характеристики. Так, при разработке систем регулирования или управления в области робототехники в качестве объектов регулирования или исполнительных механизмов часто выступают электродвигатели различных типов, шаговые двигатели, а также сервоприводы, построенные на их основе. Их математическое описание с использованием известных теоретических моделей в ряде случаев может оказаться затруднительным, так как не всегда известны необходимые параметры такие как, например, момент инерции ротора электродвигателя, сопротивление и индуктивность обмотки и др. [2]. Идентификация же передаточной функции звена на основе измерения его переходной характеристики позволяет определить фактическую математическую модель (возможно более точную) и разработать в дальнейшем регулятор, обеспечивающий более высокое качество регулирования.

Таким образом, автоматизация измерения характеристик и параметров электронных схем, а также мехатронных устройств, является актуальной задачей как в области инженерного образования, так и в области робототехники.

Для автоматизации измерений и сбора данных выбран контроллер Raspberry PI 4 [3]. Его выбор обусловлен наличием функциональных возможностей, необходимых для построения гибкой измерительной системы. Raspberry PI обладает большой производительностью, управляется с помощью операционной системы, что делает его многозадачным устройством, а так же оснащен TCP/IP интерфейсом для реализации дистанционного доступа.

На рис. 1 показана структурная схема автоматизированной системы измерения параметров электронных схем с использованием контроллера Raspberry PI, включающая в себя исследуемую схему (звено), АЦП, ЦАП, контроллер с цифровыми линиями и модуль для подключения к коммуникационным сетям.

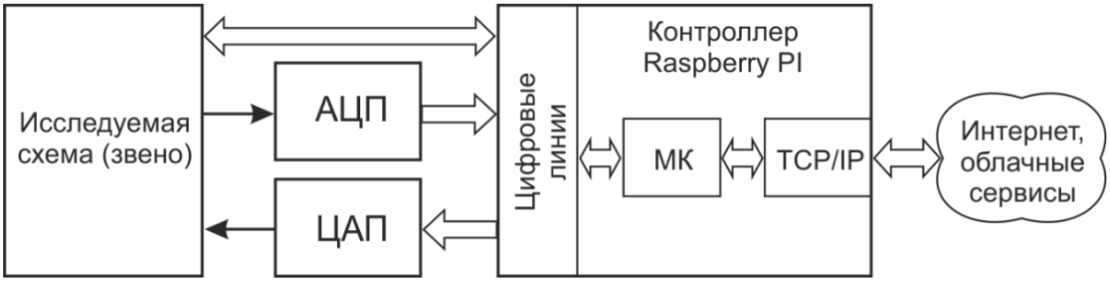


Рис. 1. Структурная схема измерительной системы

Поскольку Raspbery PI оснащен только цифровыми линиями [3] и не имеет собственных аналоговых и цифровых преобразователей сигнала, для измерения и генерации цифровых сигналов используется дополнительный модуль со встроенными аналогово-цифровыми и цифро-аналоговыми преобразователями. Генерация аналогового сигнала может быть необходима, например, при измерении частотных характеристик, когда на вход электронного устройства подается гармонический сигнал с изменяющейся частотой или ЛЧМ (линейно частотно модулированный) - сигнал. Для измерения переходной характеристики, являющейся откликом на ступенчатое воздействие, входной сигнал может быть сгенерирован с помощью цифровой линии. Сбор и обработка измерительной информации осуществляются посредством контроллера программным способом на основе реализованного алгоритма обработки. Наличие встроенного интерфейса TCP/IP позволяет реализовать дистанционный доступ и управление измерительной системой или, в самом простом случае, дистанционную передачу измерительной информации и ее последующую обработку с использованием облачного сервиса.

Для отладки методики измерения и идентификации передаточной функции в качестве звена был выбран RC-фильтр низких частот 1-порядка. Структурная схема измерительной установки показана на рис. 2.

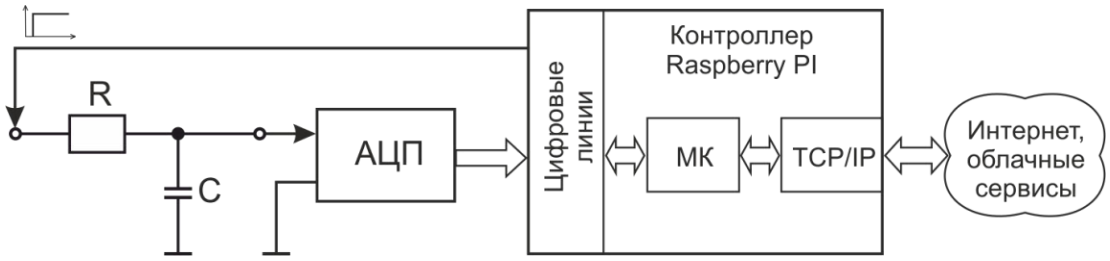


Рис. 2. Структурная схема измерительной установки

С целью сравнительного анализа выполнены измерения переходных характеристик интегрирующих RC-цепей I-порядка для трех вариантов с различными значениями емкостей конденсаторов: C1 = 0,5 мкФ, C2 = 1 мкФ, C3 = 2 мкФ. Для всех случаев R одинакова и равна 10кОм. Значение постоянной времени определятся по формуле $\tau = RC$. Таким образом, значения постоянной времени имеют следующие значения: $\tau_1 = 0{,}005$с, $\tau_2 = 0{,}01$с, $\tau_3 = 0{,}02$с.

На рисунке 3 показаны результаты измерения переходных характеристик схем для заданных номиналов.

На основе полученных результатов измерения выполнена идентификация передаточных функций RC-цепей в виде апериодического звена

$$W(p) = \frac{1}{1 + RCp} = \frac{1}{1 + \tau' p},$$

где τ' – значение постоянной времени определенное на основании результатов измерения.

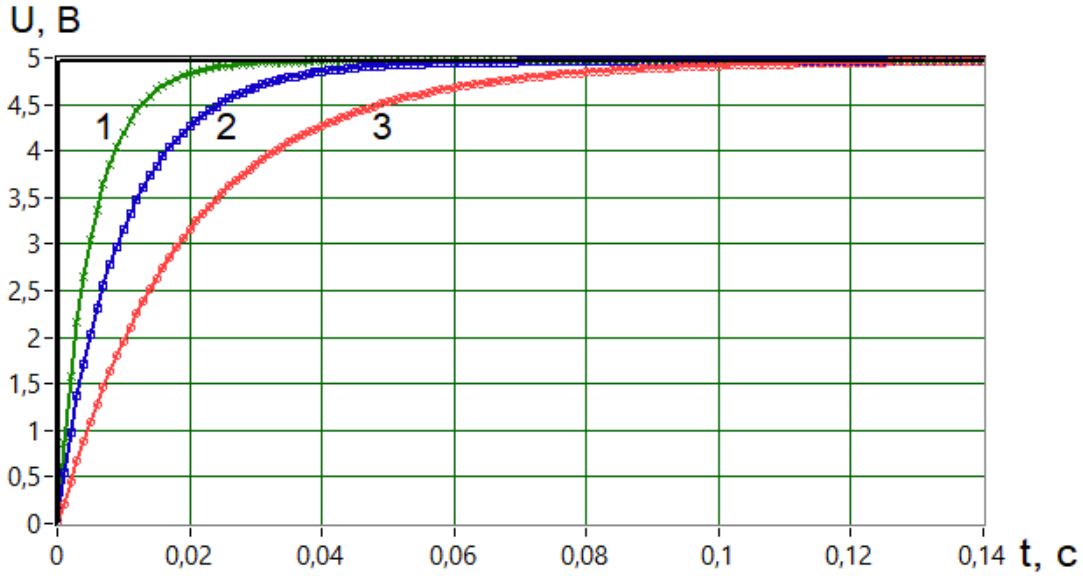


Рис. 3. Результаты измерения переходных характеристик:
1) $\tau_1 = 0{,}005$с; 2) $\tau_2 = 0{,}01$с; 3) $\tau_3 = 0{,}02$с

Значения постоянной времени τ', полученные в результате идентификации, указаны в таблице 1. Также в таблице указаны значения погрешности определения τ'.

Таблица 1

№	Номиналы элементов		τ, с	τ', с	δ, %
	R, кОм	C, мкФ			
1	10	0,5	0,005	0,0053	6,63
2	10	1	0,01	0,0101	1,32
3	10	2	0,02	0,0198	-0,52

Как следует из полученных данных, точность определения параметров цепи не превышает 7%. Такая точность может быть объяснена разбросом номиналов элементов R и C.

Заключение

В ходе исследования была разработана структурная схема автоматизированной системы измерения и обработки измерительной информации для идентификации параметров электронной схемы. Точность полученных результатов сочетается с разбросом номиналов элементов используемой схемы. Полученные результаты могут быть внедрены в учебный процесс для экспериментального изучения характеристик и параметров электронных схем. Также разработанная методика измерения может быть применена для идентификации параметров различных устройств, применяемых в области робототехники. Благодаря использованию современной измерительной и вычислительной техники в дальнейшем может быть обеспечен дистанционный доступ к автоматизированной системе, что значительно улучшает эффективность обучения.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А.Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Евдокимов Ю.К.,* Дистанционные автоматизированные учебные лаборатории и технологии дистанционного учебного эксперимента в техническом вузе/ Кирсанов А.Ю., Салахова А.Ш. // Открытое образование. 2009. № 5. С. 101-116.

2. *Спицын И.Ю.* Математическая модель и система управления линейным двигателем постоянного тока / Синица А.М., Гульванский В.В. [и др.] // Международная научная конференция по проблемам управления в технических системах. 2021. Т. 1. С. 64-67.

3. *Курбангалеева А.М.* Система сбора измерительной информации на базе контроллера Raspberry PI // Прикладная электроника, фотоника и живые системы – 2024: Сборник трудов XI Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященной 300-летию со дня основания Российской Академии наук, 90-летию со дня рождения первых космонавтов СССР Ю.А. Гагарина и А.А. Леонова, 90-летию первого выпуска КАИ, 65-летию начала регулярного телевизионного вещания в Республике Татарстан. Казань, 11-12 апреля 2024. – С. 860-861.

AUTOMATION OF MEASURENT ON PARAMETERS OF ELECTRICALCIRCUITS USING A RASPBERRY PI CONTROLLER

Kurbangaleeva A.M.

Supervisor: Kirsanov A.Yu., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper considers a method for identifying a mathematical model of an electronic circuit, which is based on measuring the transient characteristic of a circuit (link) using the example of an I-order low-frequency converter. The result of identification is a transfer function, the coefficients of the polynomials of the numerator and denominator of which allow us to determine the numerical values of the chain parameters. A Raspberry PI controller is used to automate the measurement of the transient response.

УДК 681.51

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Курбангалеева А.М.

Научный руководитель: Кирсанов А.Ю., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе представлена и разработана автоматизированная измерительная система для изучения и отладки электронных схем. Разработанная система обеспечивает коммутацию электронных компонентов схемы, что позволяет ей быть более гибкой и универсальной. Использование данной автоматизированной измерительной системы в обучении оптимизирует образовательный процесс и позволяет изучать основы электрических специальностей в удаленном формате.

Введение

Современные тенденции в образовании требуют внедрения в образовательный процесс автоматизированных систем для модернизации проведения лабораторных работ и практикумов. Автоматизированные системы позволяют проводить исследования и наблюдения не только в локальном, но и в дистанционном формате, что также является важнейшим фактором для реализации оптимизированного и доступного обучения [1].

Данная работа посвящена разработке автоматизированной системы с возможностью измерения временных и частотных характеристик схем с помощью виртуальной платформы. Актуальность работы обусловлена потребностью обеспечения гибкого, непрерывного и эффективного образовательного процесса в современных реалиях. Кроме того, подобные системы позволяют упрощать образовательный процесс для маломобильных людей или в условиях чрезвычайных ситуаций. Новизна созданной системы заключается в ее

универсальности, позволяющая осуществлять изучение особенностей электронных схем дистанционно.

Разработка и практическая реализация автоматизированного коммутатора

Система должна обеспечивать возможность измерения частотных и временных характеристик электронных схем, изучаемых в рамках базовых курсов, таких как «Электроника», «Основы теории электрических цепей» и др. Также система должна включать в себя схему исследования и устройство управления с возможностью дистанционного исполнения необходимых команд. Для решения поставленной задачи необходимо использовать управляющее устройство, устройство ввода/вывода, предназначенное для генерации и считывания сигналов, а также средства интеграции с телекоммуникационными сетями общего пользования. На рис. 1 представлена разработанная структурная схема автоматизированного коммутатора. На данной схеме мы можем заметить, что в качестве технологий дистанционного управления был использован набор протоколов TCP/IP. Выбор данной технологии обусловлен надежностью, эффективностью и универсальностью протоколов TCP/IP. В качестве управляющего устройства был использован микроконтроллер, что позволяет реализовать компактную систему и реализует комфортный и постоянный мониторинг системы. В качестве устройства ввода/вывода были использованы аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), а также цифровые линии (ЦЛ). Для обеспечения гибкости и универсальности разработанной системы, был реализован автоматизированный коммутатор (АК), который позволяет из представленной элементной базы генерировать необходимые электронные схемы.

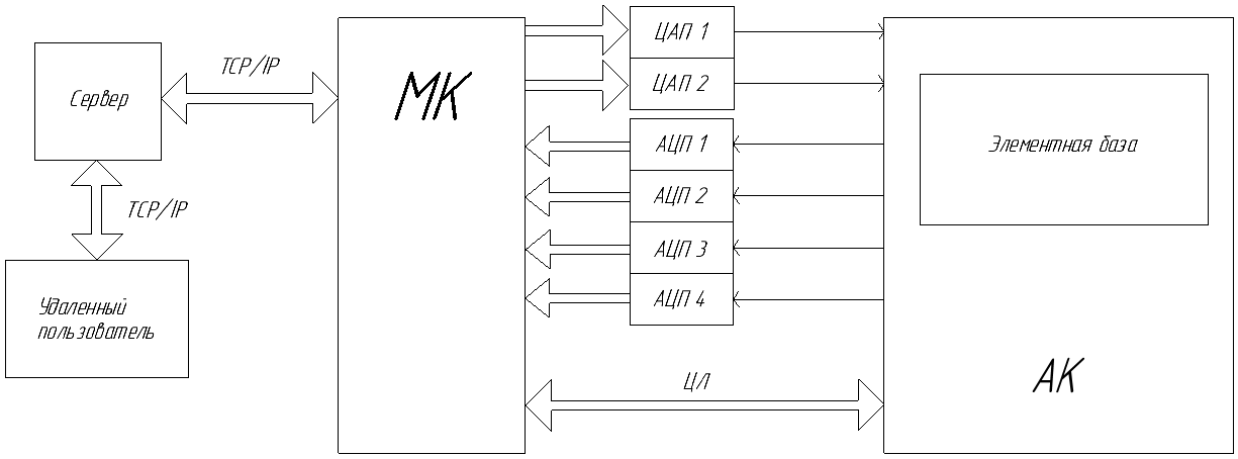


Рис. 1. Структурная схема автоматизированного коммутатора электронных схем с дистанционным доступом

Для структурной схемы, представленной на рис. 1, была реализована функциональная схема представленная на рис. 2. В данной функциональной схеме в качестве автоматизированного коммутатора была разработана система из 4 мультиплексоров 8 в 1 и двух мультиплексоров 4 в 1 [2]. Выбор мультиплексоров обусловлен возможностью управлять их состоянием на основе программного алгоритма. Управление мультиплексорами осуществляется с помощью цифровых линий и, в зависимости от состояния активных пинов, реализуется включение необходимой линии мультиплексора в систему, за счет чего и обеспечивается автоматизированная коммутация элементов. Также в данной схеме реализован дополнительный источник питания, для возможности включения в систему компонентов, требующих дополнительного питания (таких как операционный усилитель). Включение и выключение дополнительного источника питания в систему реализуется за счет ключей.

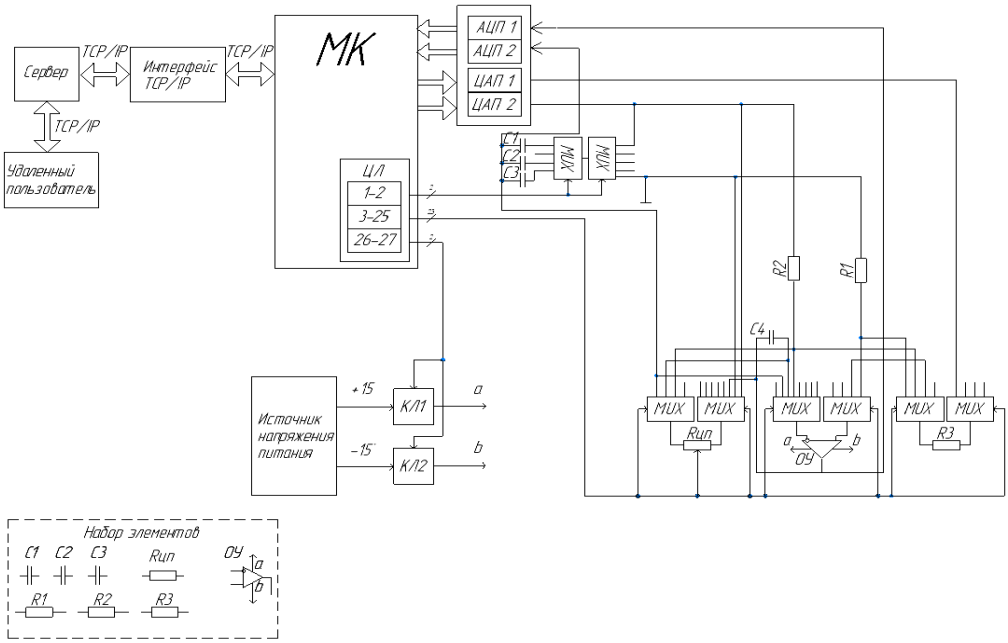


Рис. 2. Функциональная схема автоматизированного коммутатора электронных схем

Принципиальная схема автоматизированного коммутатора электронных схем представлена на рис. 3. В качестве управляющего устройства был выбран Raspberry Pi [3] за счет наличия большого количество GPIO портов, протоколов для выхода в интернет и дистанционного управления, а также благодаря своей многозадачности и эффективности в работе. В данной схеме были использованы две модели мультиплексоров: ADG5404 (мультиплексор 4 в 1) и 74HC4051 (мультиплексор 8 в 1). В качестве аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) и цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) был использован модуль АЦП/ЦАП на чипах ADS1256 и DAC8552, в качестве ключей были использованы герконовые реле EDR2H1A0500.

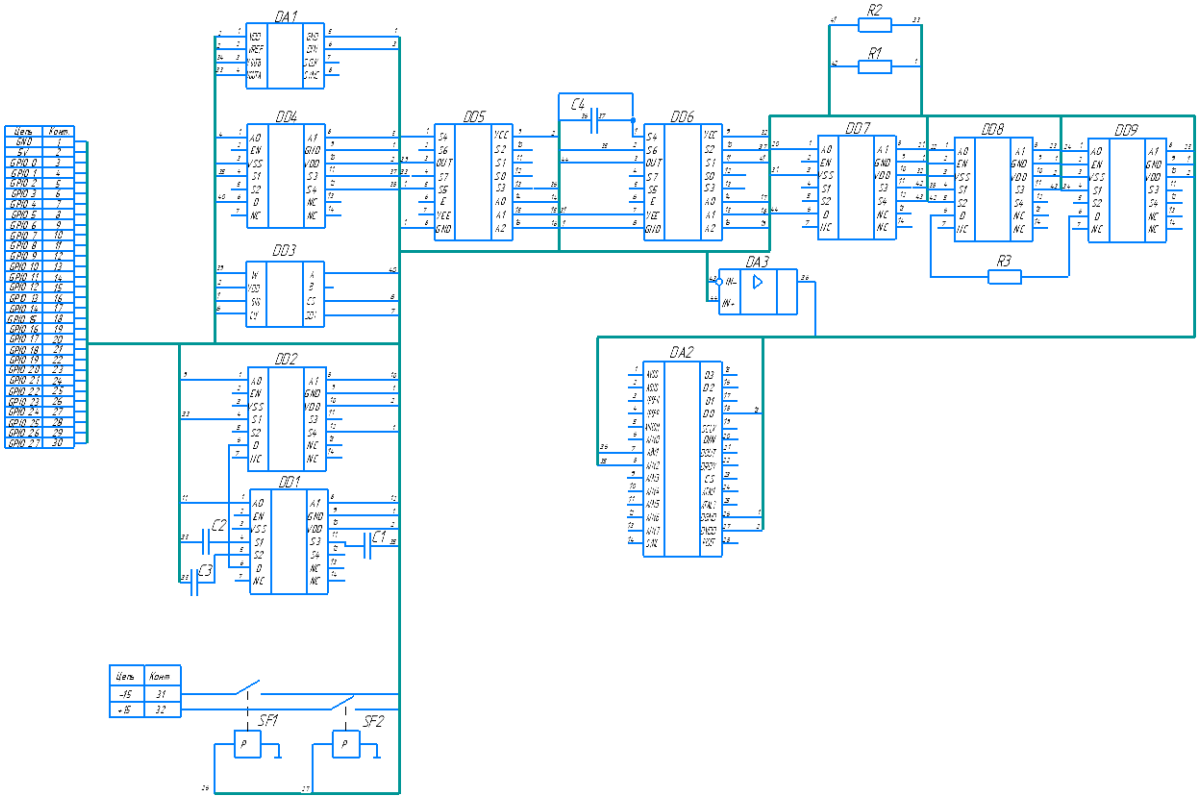
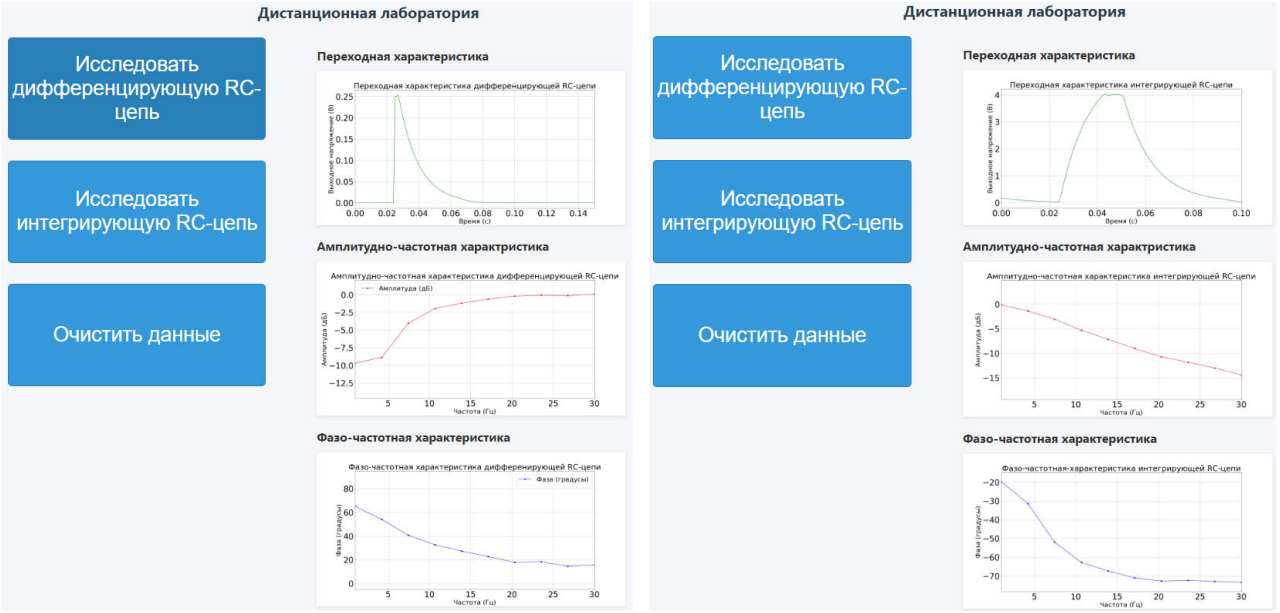


Рис. 3. Принципиальная схема автоматизированного коммутатора электронных схем

Практическая реализация автоматизированной системы с дистанционным управлением

В данной работе был реализован прототип автоматизированного коммутатора с возможностью дистанционного управления. На макетной плате с помощью мультиплексоров была реализована коммутация интегрирующей и дифференцирующей RC-цепей. Также для осуществления дистанционного управления была создана WEB-страница [4], реализация которой осуществлялась помощью фреймворка Flask, базы данных MySQL и основных языков веб-разработки (html, css). Для работы с созданной системой пользователю необходимо иметь доступ в интернет. Далее по протоколу http:/your-lab.site/ он сможет перейти на страницу созданной дистанционной лаборатории. В зависимости от поставленной задачи, пользователь должен выбрать одну из кнопок и запустить исследование. По результатам выполнения программы на WEB-страницу будут выведены графики переходной характеристики, а также графики амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик (рис. 5, 6).

Рис. 4. Начальная WEB-страница цифровой дистанционной лаборатории



а б

Рис. 5. WEB-страница с результатами исследования дифференцирующей(а) и интегрирующей(б) RC-цепи

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Евдокимов Ю.К.* Дистанционные автоматизированные учебные лаборатории и технологии дистанционного учебного эксперимента в техническом вузе/ Кирсанов А.Ю., Салахова А.Ш. // Открытое образование. 2009. №5 С. 101-106.

2. *Курбангалеева А.М.* Автоматизированный коммутатор электронных схем для дистанционной лаборатории. / Курбангалеева А.М. // материалы XI МНТК “ПРЭФСЖ” 2025 г.(Казань, 2025 г.), с.717.

3. *Курбангалеева А.М.* Система сбора измерительной информации на базе контроллера Raspberry Pi / Курбангалеева А.М. // материалы XI МНТК “ПРЭФСЖ” 2024 г. (Казань, 2024 г.), с.859.

4. *Курбангалеева А.М.* Разработка веб-интерфейса для дистанционной лаборатории по электротехническим специальностям. / Курбангалеева А.М., Кирсанов А.Ю. //материалы XVI Всерос.науч.-техн. Конф. Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем 2025г., (Чебоксары, 2025 г.) – принято к публикации.

DEVELOPMENT OF A DIGITAL REMOTE LABORATORY FOR ELECTRICAL ENGINEERING SPECIALTIES

Kurbangaleeva A.M.

Supervisor: Kirsanov A.Yu., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. In this paper, an automated measuring system for studying and monitoring electronic circuits is presented and developed. The developed system provides switching of the electronic components of the circuit, which allows the system to be more flexible and versatile. The use of this automated measuring system in training optimizes the educational process and allows you to study the basics of electronics remotely.

УДК 620.193.81/82

КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА БИОПОВРЕЖДЕНИЯ АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА МЕТОДОМ СПЕКЛ-СТРУКТУР ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Манучаров Д.Р., Лихачев С.С.

Научный руководитель: Павлов П.В., доцент, к. т. н.

(Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж)

Аннотация. В статье рассмотрены основные достоинства и недостатки, существующих методов и устройств определения степени биозагрязнения авиационного топлива, а также предложен новый подход для количественной оценки микроорганизмов в составе авиационного керосина, основанного на использовании метода спекл-структур оптического излучения (МССОИ).

За последние десять лет доля авиационных происшествий в государственной авиации составляла от 7% до 16% от их общего числа в стране. Часть из них связана с неисправностями топливных систем. Данные неисправности возникают по двум причинам, которые, как оказалось, очень тесно взаимосвязаны.

Первая причина – твердые частицы, которые образуются из пыли, содержащейся в воздухе, продуктов разложения трубопроводов топливной системы (мелкие частицы разрушающихся в ходе эксплуатации фильтров, катализаторов, кроме того, ржавчина и окалина) [1]. Такое загрязнение может привести к неисправности систем подачи и управления топлива, а также разрушению деталей двигателя.

Вторая причина – появление вода в составе авиационного топлива. Образование воды в топливной системе самолета, которая попадает в результате операций по очистке топлива и конденсируется на внутренних стенках бака в результате перепада давлений и температур. Кристаллизация воды при низких температурах очень опасна и может стать причиной самопроизвольного отключения авиационного двигателя в полете, что приведет к серьезному инциденту или происшествию [2].

Вода в топливной системе может существовать в трёх формах: растворённой, взвешенной и свободной. Форму волы можно обнаружить с помощью различных методов.

Например, с помощью метода Карла Фишера (KF-ASTM D6304/IP 438) «титрование для определения общего содержания воды или использование полимерных оптических волокон (ПОВ)» определяется содержание растворённой воды [1].

Кроме того, вода вызывает коррозию металлических поверхностей и образование свободных частиц оксидов металлов, что приводит к преждевременному износу и выходу из строя топливных насосов [3, 4]. Таким образом образуются твердые частицы, что относит нас к первой причине авиационных происшествий, связанных с неисправностями топливных систем. Также, так как вода имеет большую плотность, чем топливо, то оседая на дне образуется раздел фаз топливо-вода. Эта область является очень благоприятной средой для развития микроорганизмов и бактерий, которые являются следующей причиной выхода из строя топливных систем воздушных судов.

Микробное загрязнение возникает при образовании и росте в топливной системе сообщества микроорганизмов, использующих топливо в качестве питательного субстрата. Организмы обитают преимущественно в водной фазе и питаются топливом. К ним относятся бактерии, дрожжи и плесневые грибы. Микробиологическое загрязнение топлива инициирует рост биоплёнок, что, в свою очередь, вызывает засорение фильтров, поломку устройств контроля подачи топлива и коррозию элементов топливной системы [5, 6]. Для роста и размножения микроорганизмам необходимы следующие химические элементы: углерод, водород, кислород, азот, фосфор, сера, а также катионы металлов – калия, магния, кальция и железа. Они усваивают эти элементы в виде неорганических и органических соединений. Так как питательные вещества попадают в клетку в виде водного раствора или эмульсии, то необходима вода [1]. Именно поэтому раздел фаз топливо-вода является наиболее благоприятной средой для развития бактерий и грибов.

Часто встречающимся организмом – контаминантом является мицелиальный гриб Hormoconis resinae (H. resinae), также известный как «керосиновый гриб» [7]. Как показано на рисунке 1, в естественных условиях он обитает в почвах субтропических и тропических регионов [1].

Рис. 1. Hormoconis resinae в авиационном топливе

Развитие подобных микроорганизмов приводит к биоповреждению. Биоповреждение – это потеря коммерческой ценности или эксплуатационных характеристик, или того и другого вместе, продукта (топлива) или материала (топливной системы) в результате биологических процессов.

На сегодняшний день зафиксировано множество методов, позволяющих определять и оценивать степень биозагрязнения авиационного топлива.

Микробиологическое загрязнение топлива обычно выявляется с помощью тестов на колониеобразующие единицы (КОЕ) и АТФ-тестов. Метод определения КОЕ обычно требует отправки топлива на тестирование за пределы предприятия, что может занять до 10 дней.

АТФ-тест дает результаты за считанные минуты, но требует проведения в лаборатории со специальным оборудованием [8].

Существует также метод, основанный на полимеразной цепной реакции (ПЦР). Этот метод известен как высокопроизводительное секвенирование (ВПС) и представляет собой инновационный метод микробиологической диагностики. Это точный качественный и количественный метод оценки микроорганизмов, но он не позволяет отличить живые микробы от мёртвых [9].

Кроме того, существуют иные методы: экспресс-тесты индикаторного типа, такие как FLUESTAT®, MICROBMONITOR2®. Такие индикаторы способны достоверно определять степень биозагрязнения, но их недостаток заключается в большой стоимости компонентов, которые не производятся в России.

Поэтому возникает необходимость разработать такой инструмент контроля технического состояния авиатоплива, который бы был реализован на отечественной элементной базе и позволял бы оперативно количественно оценивать степень биозагрязнения топлива в условиях аэродрома.

Мы предлагаем для этой цели использовать МССОИ, который ранее был апробирован в качестве инструмента определения количества механических примесей о обводненности авиационного топлива, путем анализа параметров регистрируемых спекл-изображений от пробы авиационного топлива в возбужденном состоянии (после взбалтывания) и в состоянии покоя (после оседания примесей) [10]. Для повышения чувствительности и возможности использования МССОИ для обнаружения и количественного подсчета микроорганизмов требуется установка матового рассеивателя перед пробой топлива для того, чтобы через структуру топлива проходило спекл-поле, и на видеокамере регистрировалось спекл-картина от пробы топлива. Данный подход был ранее апробирован для использования МССОИ при исследовании живых клеток [11, 12]. Суть предлагаемого нами способа заключается в следующем: через отобранную пробу топлива, пропускают спекл-поле лазерного излучения, регистрируют спекл-изображения в течение 10 минут и принимают решения о наличии биозагрязнения, по анализу изменения параметров регистрируемых спекл-изображений [13].

Для реализации предлагаемого способа разработана экспериментальная установка, внешний вид которой показан на рисунке 2.

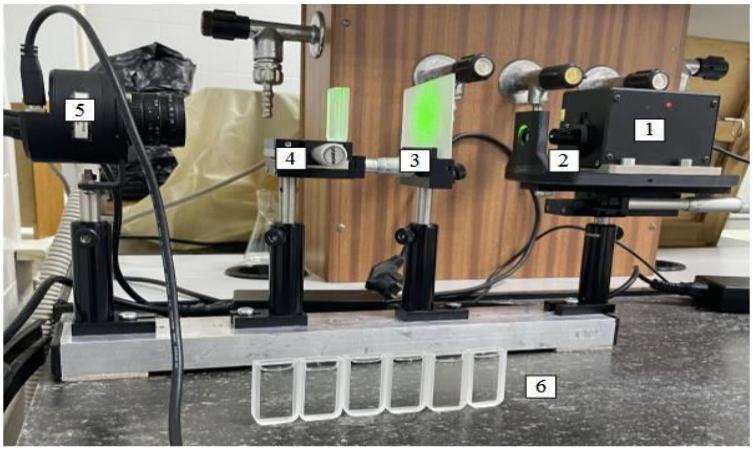


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки:
1 – когерентный источник света; 2 – микрообъектив; 3 – матовый рассеиватель;
4 – кювета с пробой топлива; 5 – линза с диафрагмой; 6 – пробы авиационного топлива

Которая позволяет генерировать спекл-поля и регистрировать спекл-изображения, в результате прохождения спекл-поля через пробу авиационного топлива (рисунок 3).

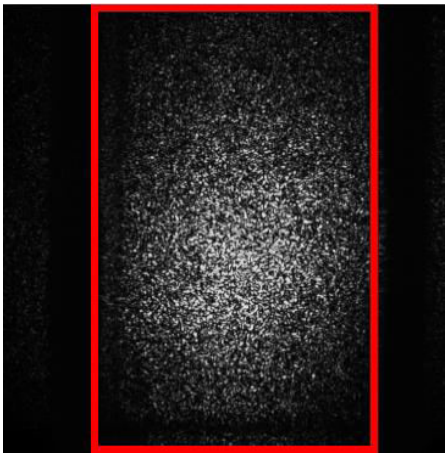


Рис. 3. Фотография кюветы с пробой авиатоплива, освещенная спекл-полем

В качестве критерия определения биозагрязнения авиационного топлива выбирается коэффициент корреляции (1) фрагмента регистрируемых спекл-картин в виде матрицы размером $n \times m$:

$$\eta = \frac{\frac{1}{nm}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(A_{ij}-\overline{A}\right)\left(B_{ij}-\overline{B}\right)}{\left(\frac{1}{nm}\sum_{i=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}\left(A_{ij}-\overline{A}\right)^2\right)^{1/2}\left(\frac{1}{nm}\sum_{i=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}\left(B_{ij}-\overline{B}\right)^2\right)^{1/2}} \quad (1)$$

где i,j – номера элементов (пикселей) строки и номера строк матрицы соответственно, n,m – число пикселей строки и число строк матрицы, A_{ij} – числовое значение интенсивности пикселя с номерами i и j при t_1, B_{ij} – числовое значение интенсивности этого пикселя в момент времени t_2, $\overline{A}$ – среднеарифметическая величина числовых значений интенсивностей элементов матрицы в момент времени t_1, $\overline{B}$ – среднеарифметическая величина числовых значений интенсивностей элементов матрицы в момент времени t_2.

Значение η зависит от σ_u разности оптических путей пар волн спекл-поля, проходящего через пробу топлива, которое находится по формуле (2):

$$\sigma_u = \frac{\lambda}{2\pi}\sqrt{-\ln \eta_{cp}} \quad (2)$$

Для испытания предложенного способа было подготовлено 2 образца авиатоплива марки ТС-1. Первый образец был подвержен заражению Hormoconis resinae, а второй нет. Предварительное выращивание микроорганизмов выполнялось по ГОСТ 9.023-74.

Далее подготовленные пробы поочередно устанавливали на подставке в оптической системе экспериментальной установки и от каждой пробы производили регистрацию спекл-картин со скоростью 10 кадров в секунду в течение 40 минут.

В ходе корреляционной обработке зарегистрированных спекл-изображений от двух разных проб были получены графики зависимости коэффициента корреляции η и σ_u от времени регистрации спекл-изображений.

Установлено, что при изменении коэффициента преломления пробы топлива, вызванного присутствием микроорганизмов, происходит изменение разности оптических путей пар волн и как следствие изменение коэффициента корреляции спек-изображений.

Если в пробе авиатоплива отсутствуют микромицеты, то происходят лишь слабые изменения оптических свойств среды за счет флуктуации плотности авиатоплива и оптическая длина пути волн изменяется слабо, следовательно, среднее значение коэффициента корреляции секторов, зарегистрированных спекл-картин η_{cp} находится в диапазоне от 0,9 до 1.

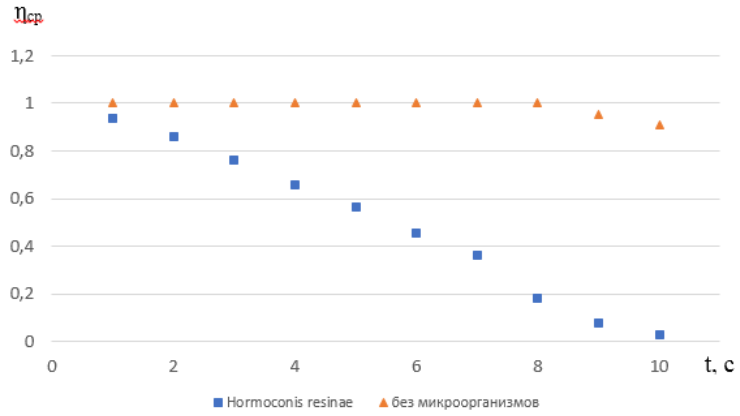


Рис. 4. График зависимости $\eta_{ср}$ от t – участков зарегистрированных спекл-изображений от пробы с Hormoconis resinae и в отсутствии микроорганизмов

Из-за присутствия и развития во второй пробе авиатоплива микромицетов Hormoconis resinae происходит существенное изменение оптических путей пар волн в объеме кюветы, что приводит к изменению значений интенсивности регистрируемых спекл-картин в области регистрации ПЗС-матрицы в разные промежутки времени и как следствие уменьшение коэффициента корреляции.

Соответственно, СКО оптической длины пути пар волн σ_u, найденное по формуле (2), увеличивается по мере увеличения времени t (рисунок 6). Как видно из приведенных кривых, для предельных концентраций микроорганизмов зависимости $\sigma_u(t)$ существенно различаются.

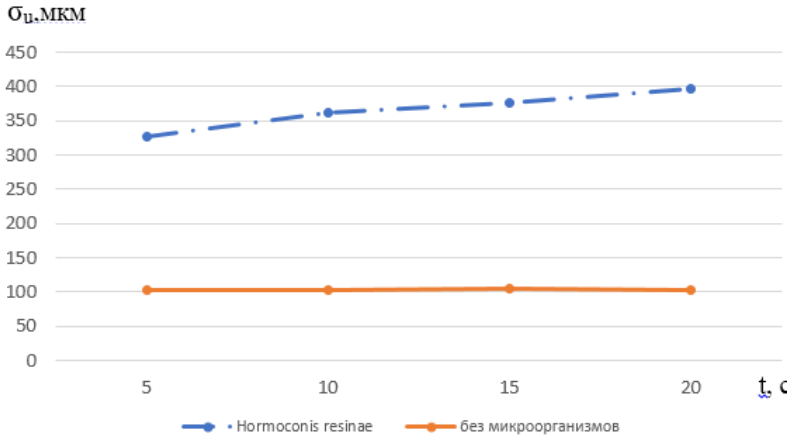


Рис. 5. График зависимости изменения σ_u от проб авиатоплива с Hormoconis resinae и без микроорганизмов

Таким образом, разработанный способ и устройство для его реализации можно использовать в качестве инструмента контроля и диагностики биоповреждения авиационного топлива, а учет динамики изменения характеристик спекл-изображений использовать для определения количества микроорганизмов в контролируемой пробе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Информация о причинах и формах загрязнения авиационного топлива. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https:// Doi.org/10.3390/en17174267 (дата обращения: 22.08.2025).

2. *Герасименко А.А.* Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений / Герасименко А.А., Александров Я.И., Андреев И.Н. и др. // Справочник. Машиностроение, Москва. 1987. Том 1. – 704 с.

3. *Brailko A.A.* Adaptive information management system of dynamic monitoring of actual water content in jet fuel in technological processes of aviation fuel supply / A. A. Brailko, V. M. Samoylenko, N. A. Druzhinin, L. A. Druzhinin // Civil Aviation High Technologies. – 2022. – Vol. 25. – P. 20–29.

4. *Baena S.* Behaviour of Water in Jet Fuel a Literature Review / S. Baena, S. L. Repetto, C. P. Lawson, W. Lam // Progress in Aerospace Sciences. – 2013. – Vol. 60. – P. 35–44.

5. *McComb J.P.* A Metagenomic Analysis of Microbial Contamination in Aviation Fuels: master's thesis / J. P. McComb ; University of Dayton Research Institute. – Dayton (OH), 2009. – 120 p.

6. *Shkilniuk I.* Monitoring the Risks of Microbiological Contamination of Aviation Fuels and Fuel Systems / I. Shkilniuk, N. Shevchuk // Modern Technologies in Energy and Transport. – Cham: Springer, 2024. – P. 235–248.

7. Информация об обнаружении микробного загрязнения авиационного топлива. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://neiwpcc.org/wp-content/uploads/2018/10/Devine.pdf (дата обращения: 22.08.2025).

8. Информация о проблемах, вызванных микробным загрязнением, и современный подход к быстрому и точному тестированию топлива. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://conidia.com/white-paper-managing-microbial-contamination-in-jet-fuel/ (дата обращения: 23.08.2025).

9. *Hu D., Lin W., Zeng J.* Profiling the microbial contamination in aviation fuel from an airport // Biofouling. 2019. Vol. 35. P. 856-869.

10. Патент 2659192 Российская Федерация. Способ определения примесей в жидких средах / П.В. Павлов, А.Н. Малов, Н.В. Петров [и др.]; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования "Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина" (ВУНЦ ВВС "ВВА") Минобороны России. — № 2017121782; заявл. 20.06.2017; опубл. 28.06.2018, Бюл. № 19.

11. *Владимиров А.П.* К спекл-томографии функций живой клетки / Известия вузов. Радиофизика. – 2020. – Том LXIII, 8. С. 1 – 14.

12. *Владимиров А.П.* Спекл-диагностика необратимых процессов, протекающих в некоторых живых и технических объектах / Владимиров А.П., Друкаренко Н.А., Михайленко Ю.А. // Оптические методы исследования потоков: Под ред. Дубнищева Ю.Н., Скорняковой Н.М. Труды XVI Международной научно-технической конференции, 28 июня – 02 июля 2021. – М.: Издательство «Перо». – 2021. – С. 51 - 62.

13. Патент № 2845640 Российская Федерация. Способ определения биозагрязнения авиационного топлива / П.В. Павлов, Д.Р. Манучаров, А.П. Владимиров, [и др.]; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования "Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина" (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации. – № 2024106153 ; заявл. 05.03.2024 ; опубл. 25.08.2025, Бюл. № 24. – 8 с.

MONITORING AND DIAGNOSTICS OF BIO-DAMAGE OF AVIATION FUEL BY SPECKLE STRUCTURES OF OPTICAL RADIATION

Manucharov D.R., Likhachev S.S.

Supervisor: Pavlov P.V., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

(Military Training and Research Center of the Air Force "Military Air Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin", Voronezh)

Abstract. The article discusses the main advantages and disadvantages of existing methods and devices for determining the degree of bio-contamination of aviation fuel, and also suggests a new approach for the quantitative assessment of microorganisms in aviation kerosene based on the use of speckle structures of optical radiation (MSSOI).

УДК 681.518.5

АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕН РЕЛАКСАЦИИ

Маркина Н.А.

Научный руководитель: Денисов Е.С., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В докладе рассмотрен метод анализа спектров электрохимического импеданса с использованием функции распределения времен релаксации (Distribution of Relaxion Times – DRT) для элементов, включенных по модифицированной схеме Ренделса-Эршлера. Приведены результаты DRT анализа, полученные из импедансных характеристик и определенные расчетным и опытным путем. Адекватность полученных результатов подтверждаются путем сравнения с расчетными данными. Показана перспективность использования DRT анализа для разработки систем контроля и диагностики электрохимических источников тока.

1. Введение

Оценка технического состояния аккумуляторов является важной задачей для обеспечения высокой надежности и поддержания работоспособности современных автономных электронных систем и устройств. Для решения этой задачи традиционно используются подходы [1, 2] использующие анализ вольтамперных характеристик, электрохимического импеданса и электрических флуктуаций. Перспективным подходом является использование анализа релаксационных процессов, вызванных различными причинами [3, 4]. Для анализа таких характеристик традиционно используется модель электрохимического импеданса представляют собой набор элементов (конденсаторов, резисторов, элементов постоянной фазы, элемента Варбурга). Однако анализе электрохимического импеданса и релаксационных процессов необходимо достаточно точно знать модель, что не всегда возможно, например, при исследовании электрохимических процессов батарей, аккумуляторов. Одним из перспективных направлений анализа соответствующих подходов является DRT (Distribution of Relaxation Times) анализ (анализ распределения времен релаксации), результаты которого позволяют получать более точную информацию о процессах в электрохимических системах. Для различения различных процессов и получения более достоверной информации о них используется информация о различиях в инерционности процессов. Согласно этому анализу, строится эквивалентная электрическая модель, представляющая собой набор типовых звеньев, имеющих разные параметры инерционности. При это информационными параметрами являются частоты пиков и их амплитуды.

2. DRT спектра и его анализ

DRT анализ традиционно проводят по результатам анализа импедансного спектра [5]. При этом для оценки корректности получаемых результатов, в данной работе частотные характеристики импеданса спектр находились опытным и расчетным путем.

Для исследования корректности разработанных подходов были проведены исследования на модельной системе, собранной из дискретных элементов, согласно упрощенной схеме Ренделса-Эршлера [6], включающей в себя четыре основных элемента: объемное сопротивление, сопротивление переноса заряда, диффузионный импеданс. Самым сложным для моделирования элементом является диффузионный импеданс, поэтому он был заменен эквивалентной электрической схемой, позволяющей корректно описывать поведение системы в рассматриваемом диапазоне частот [6] (рис.1). При этом использовались следующие номиналы элементов: $R1$ = 1000 Ом, $R2$ = 2 кОм, $R3$ = 360 Ом, $R4$ = 110 Ом, $R5$ = 750 Ом, $R6$ = 100 Ом, $C1$ = 2,2 мкФ, $C2$ = 1 мкФ, $C3$ = 220 нФ. В этом случае $R1$ соответствует объемному сопротивлению, $R2$ – сопротивлению переноса заряда, $R3$, $R4$, $C1$ и

*C*2 – диффузионному импедансу. *R*6 является токосъемным сопротивлением для измерения величины электрического тока.

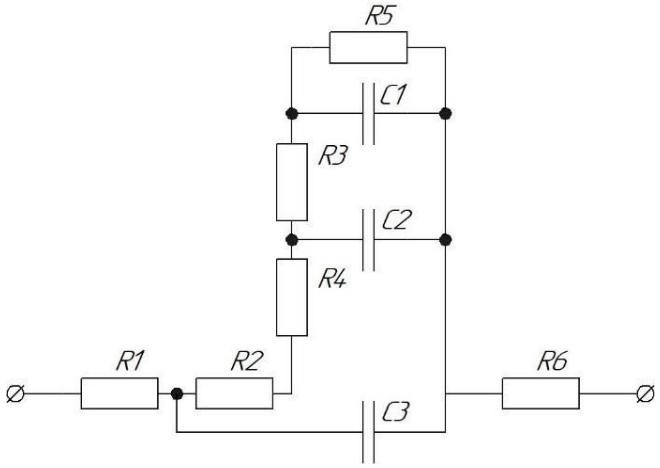


Рис. 1. Модифицированная схема Ренделса-Эршлера

Следует отметить, что величины параметров *R*3, *R*4, *C*1 и *C*2 связаны между собой и зависят только от двух действительных параметров постоянной времени τ_D и величины R_D диффузионного импеданса.

Импеданс полученной модельной системы был измерен с использованием потенциостата P-40X (Electrochemical Instruments, Россия) в частотном диапазоне 0,1 Гц – 50 кГц. По данным измерения при помощи Python 3 построили график импедансного спектра, представленный на рис. 2. В структуре

График DRT спектра (рис.3) получили с использованием Python 3. По пикам на графике определили постоянные времен релаксации. Полученные данные занесли в таблицу 1.

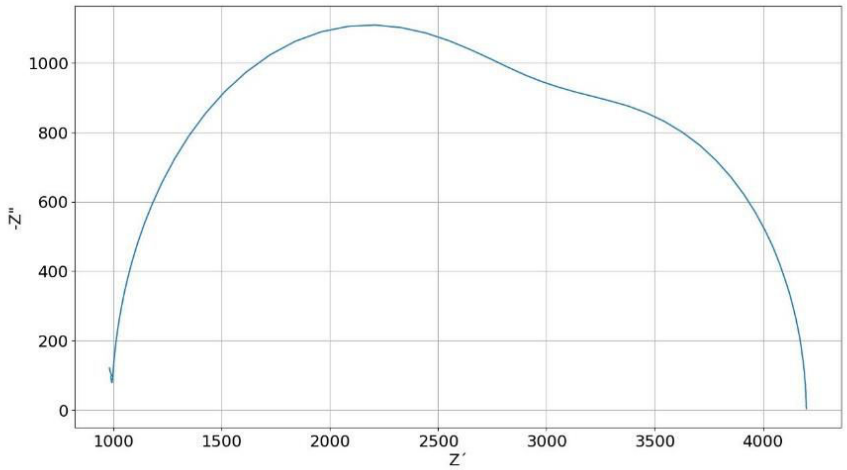


Рис. 2. Импедансный спектр модельной системы

Полученные данные импеданса модельной системы (рис. 2) позволяют сделать вывод, что мы наблюдаем систему, в которой будет наблюдаться несколько времен релаксации. Анализ схемы, представленной на рис. 1, показывает, что времен релаксации должно быть, как минимум, три различных времени релаксации.

На графике DRT спектра (рис. 3) присутствует три значимых пика, что можно предполагать о наличии трех релаксационных процессов. Первый пик соответствует медленному процессу релаксации, имеет наибольшую амплитуду. Второй пик сглажен из-за влияния первого пика. При этом совпадение количество пиков говорит о правильности рассматриваемого метода анализа.

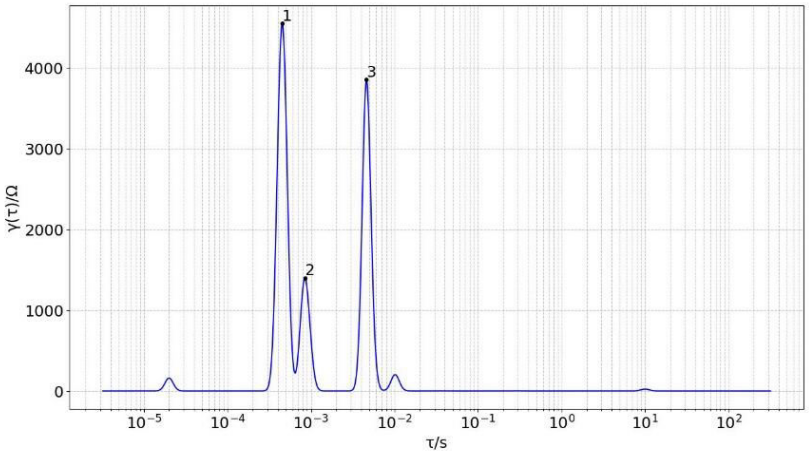


Рис. 3. DRT спектр модельной электрической системы

Для проверки экспериментальных данных были проведены оценки постоянных времени релаксации модельной системы путем непосредственного расчет по параметрам модели и по результатам DRT-анализа теоретически рассчитанных частотных характеристик импеданса. Полученные данные занесли в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты оценки характерных времен релаксации

Метод определения постоянных времен релаксации	Постоянная времени релаксации		
	1-го пика, τ, с	2-го пика, τ, с	3-го пика, τ, с
По спектру DRT из измеренного импеданса	$4{,}51\cdot10^{-4}$	$8{,}44\cdot10^{-4}$	$4{,}6\cdot10^{-3}$
По спектру DRT из рассчитанного импеданса	$3{,}81\cdot10^{-4}$	$7{,}55\cdot10^{-4}$	$9{,}8\cdot10^{-3}$
Рассчитанные (заданные) постоянные времени	$3{,}81\cdot10^{-4}$	$7{,}6\cdot10^{-4}$	$9{,}5\cdot10^{-3}$
Погрешность оценки постоянной времени	$0{,}7\ 10^{-4}$	$0{,}8\cdot10^{-4}$	$4{,}9\cdot10^{-3}$

Из приведенных результатов (таблица 1) можно сделать вывод, что полученные постоянные времен релаксации по DRT спектру соответствует рассчитанным временам релаксации. Отклонения могут быть объяснены действием погрешности измерения, шумов и возможных изменений параметров элементов, при снятии импедансной характеристики. Наибольшее отклонение постоянной времени от заданной наблюдается в третьем пике.

3. Заключение

Показано, что DRT анализ является эффективным средством анализа внутренних процессов электрохимических систем. Оценка погрешности оценки времен релаксации, полученных разными методами, показывает, что только для быстрой компоненты была получена большая погрешность, что может быть связано с действием входных измерительной системы и требует дополнительных исследований.

В целом можно говорить, что полученный подход к анализу DRT позволяет получать достаточно точные результаты и может служить основой для разработки перспективных систем диагностики литиевых аккумуляторов и других электрохимических систем.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А.Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Астафьев Е.А*. Измерение и анализ электрохимических шумов литий-ионного аккумулятора / Е.А. Астафьев // Электрохимия. – 2019. – Т. 55, № 6. – С. 654-662. – DOI 10.1134/S0424857019060033. – EDN VVHNQE.

2. Моделирование и оценка зарядового состояния литий-серного аккумулятора с помощью нейронно-нечёткой сети / Д.В. Колосницын, А.А. Саввина, Л.А. Храмцова [и др.] // Электрохимическая энергетика. – 2021. – Т. 21, № 2. – С. 96-107. – DOI 10.18500/1608-4039-2021-21-2-96-107. – EDN FYNSAL.

3. Lithium Battery Transient Response as a Diagnostic Tool / E. Denisov, R. Nigmatullin, Y. Evdokimov, G. Timergalina // Journal of Electronic Materials. – 2018. – Vol. 47, No. 8. – P. 4493-4501. – DOI 10.1007/s11664-018-6346-y. – EDN KNMFPB.

4. *Никишина Г.В*. Диагностика электрохимических источников тока на основе анализа переходных процессов, вызванных изменениями нагрузки / Г. В. Никишина, Е. С. Денисов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2021. – Т. 77, № 2. – С. 74-81. – EDN IIKQQM.

5. *T.H. Wan, M. Saccoccio, C. Chen, F. Ciucci,* Influence of the Discretization Methods on the Distribution of Relaxation Times Deconvolution: Implementing Radial Basis Functions with DRTtools, Electrochimica Acta, 184 (2015) 483-499.

6. *Денисов Е.С.* Малосигнальная электрическая модель твердополимерного водородного топливного элемента / Е. С. Денисов // Южно-Сибирский научный вестник. – 2023. – № 3(49). – С. 152-158. – DOI 10.25699/SSSB.2023.49.3.012. – EDN EDYVHN.

ANALYSIS OF ELECTROCHEMICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY DATA USING THE DISTRIBUTION OF RELAXATION TIMES

Markina N.A.

Supervisor: Denisov E.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses a method for analyzing electrochemical impedance spectra using the distribution of relaxation times (DRT) for elements included in the Ershler-Randles model. The results of DRT analysis obtained from impedance characteristics determined by calculation and experiment are presented. The obtained data are compared with the calculated (specified) relaxation time constants.

УДК 681.518

ТЕПЛОВИЗИОННАЯ КАМЕРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Милошина А.И., Васильев Е.Э.

Научный руководитель: Котляр Д.И., инженер-исследователь дуальной лаборатории «ПромИТ», к. т. н.

(Рыбинский государственный авиационный технический университет, г. Рыбинск)

Аннотация. В данном докладе рассматривается тепловизионная камера для контроля технологических процессов в составе умного производства. Описываются ключевые функциональные возможности системы.

Тепловизионная камера для контроля технологических процессов представляет собой нестандартное средство измерения, предназначенное для проведения комплексного автоматизированного контроля качества технологических процессов и оперативного измерения температурных показателей элементов на месте. Данная разработка является интеллектуальной частью умного производства, так как является встраиваемой

автоматизированной единицей при помощи протокола Wi-Fi. Ручные тепловизоры используются для наблюдения и применения в ситуациях, где возможны изменения сценария, например, для патрулирования нефтепроводов, обслуживания системы обогрева грунта или обнаружения неисправностей на печатных платах. В то же время, для постоянного наблюдения за статическими сценами или обнаружения крупных объектов, таких как предотвращение возгорания угольной кучи, мониторинг склада опасных химикатов, обнаружение пантографа высокоскоростного поезда и наблюдения за промышленным процессом, целесообразно использовать тепловизионные камеры с возможностью измерения температуры в режиме онлайн. Это обеспечивает возможность круглосуточного мониторинга температуры в зоне с помощью стационарной установки. Реализация данного проекта связана с проведением опытно-конструкторских работ [1].

Устройство обеспечивает выполнение следующих функций:

– высокая эффективность контроля;

– оперативность контроля;

– надёжность и достоверность результатов диагностики благодаря использованию новейших технологий;

– лёгкий переход с одного места контроля на другое, благодаря своей компактности и легкому весу;

– возможность формирования баз данных снимков с сохранением и архивированием результатов контроля;

–существенное снижение времени на выявление и устранение недостатков технологических процессов;

– вывод результатов контроля с указанием диапазона зоны нагрева и фактические значения измеряемых параметров (температура и скорость нагрева).

Структурная схема изделия представлена на рисунке 1.

Принцип действия тепловизионной камеры основан на фиксации инфракрасного излучения объектов. Камера содержит чувствительный элемент, который улавливает инфракрасное излучение, и электронную схему, которая обрабатывает полученные данные и формирует изображение.

Разрабатываемая камера будет иметь возможность встраиваться в технологию умное производство, поддерживая технологию Wi-Fi.

Принцип действия устройства заключается в том, что при длительном нажатии (5 секунд) на кнопку «ON/OFF», встроенную в корпус, подается питание от блока питания и устройство включается.

Далее необходим понижающий преобразователь напряжения [1] так как для микроконтроллера ESP32- D2WD необходимо фиксированное напряжение 3.3В. Данный микроконтроллер является центральным устройством наравне с АСТРОН 64017-1 [2]. Матрица и микроконтроллера расположены по разные стороны на плате узла управления, для соблюдения теплового режима и облегчения разводки трасс.

Таблица 1

Технические характеристики изделия

Наименование, единица физической величины	Норма
Тип датчика	Неохлождаемый микроболометр *АСТРОН-64017-1*
Технология	Оксид ванадия
Спектральный диапазон, мкм	7-14
Количество элементов разложения изображения	640×480
Частота кадров, Гц	до 60
Размер элемента, мкм	17
Диапазон измерения температуры	от -40°С до +500°С
Рабочая температура	от –50°С до + 65°С
Температура при хранении	от –55°С до + 70°С

Питание, В	источник постоянного напряжения или батареи 3…5 В
Габаритные размеры, мм	0,1×0,4×0,25
Масса, г	500

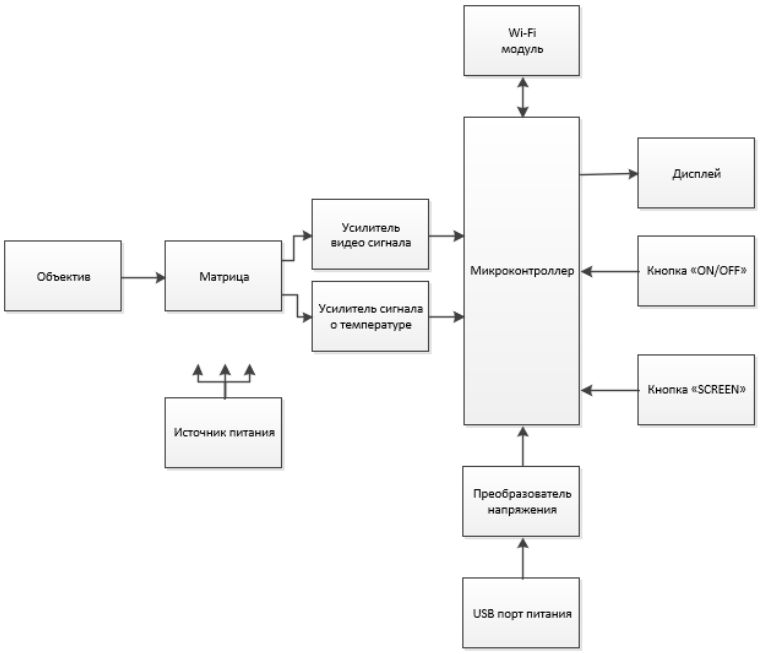


Рисунок 1. Структурная схема тепловизионной камеры

В плату узла управления интегрирован Wi-Fi модуль, антенна, общая обвязка и разъёмы для карты памяти и Micro-USB необходимое для сопряжения с платой дисплея. Также к ESP32- D2WD подключается дисплей, необходимый для вывода изображения/снимка.

При однократном нажатии на кнопку «SCREEN», подается сигнал на микроконтроллер и происходит сохранение снимка на карту памяти.

При двукратном нажатии на кнопку «ON/OFF», устройство переходит в режим «Меню».

В «Меню»:

Короткое нажатие кнопки «ON/OFF» - перемещение между различными режимами интерполяции и цветовыми палитрами, режимами передачи в АСУТП и съемки в меню.

Длительное нажатие «ON/OFF» - выход из меню настроек.

Короткое нажатие кнопки «SCREEN»- подтверждение выбора в меню

Выключение устройства осуществляется путем длительного (5 секунд) нажатия на кнопку «ON/OFF».

Конструкция разработанной тепловизионной камеры представлена на рисунках 2-7.

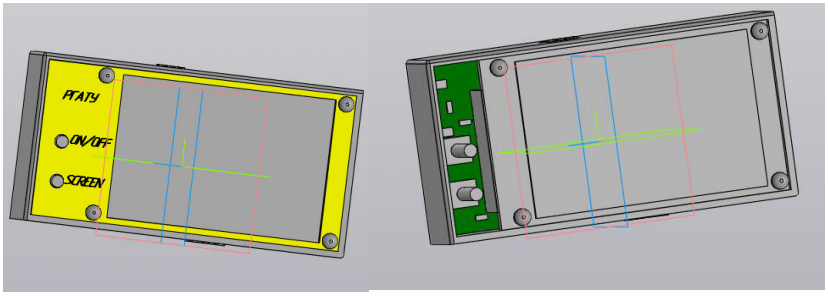


Рисунок 2. 3D модель тепловизионной камеры в собранном и разобранном состоянии.

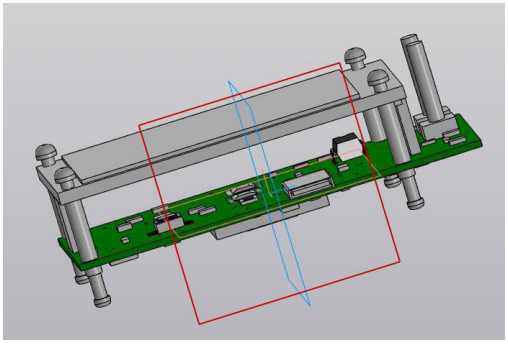


Рисунок 3. 3D модель соединения мезонинным методом узлов устройства.

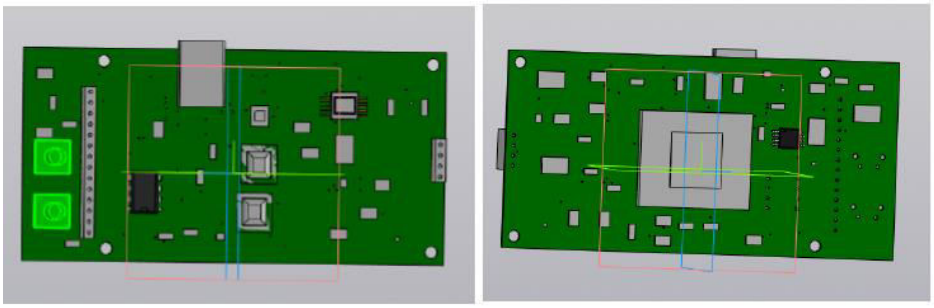


Рисунок 4. 3D модель печатного узла управления с двух сторон.

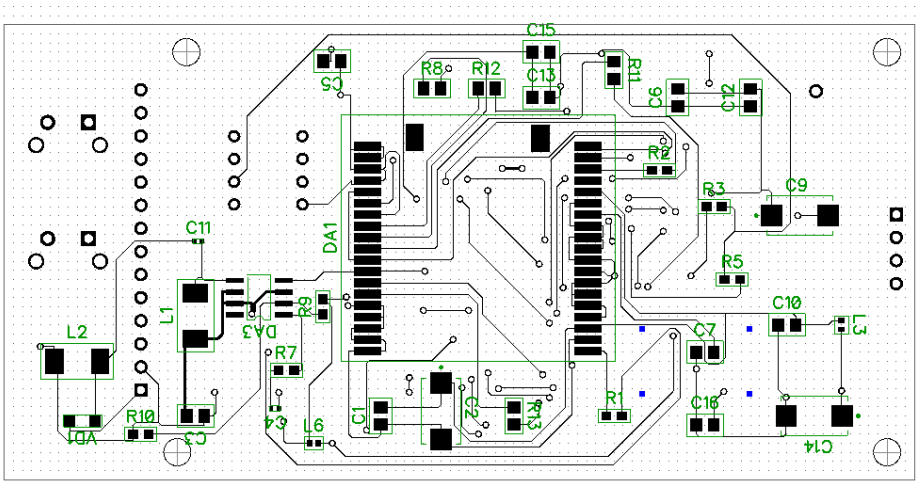


Рисунок 5. Откорректированная автоматическая трассировка верхнего слоя платы.

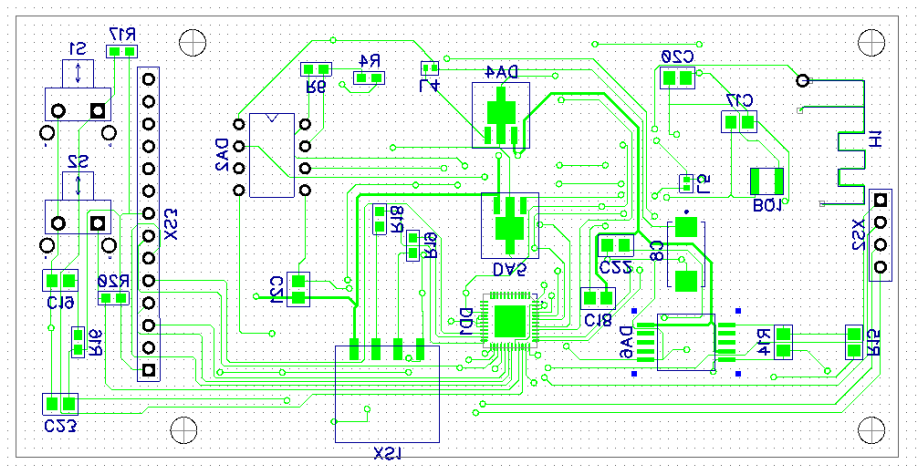


Рисунок 6. Откорректированная автоматическая трассировка нижнего слоя платы

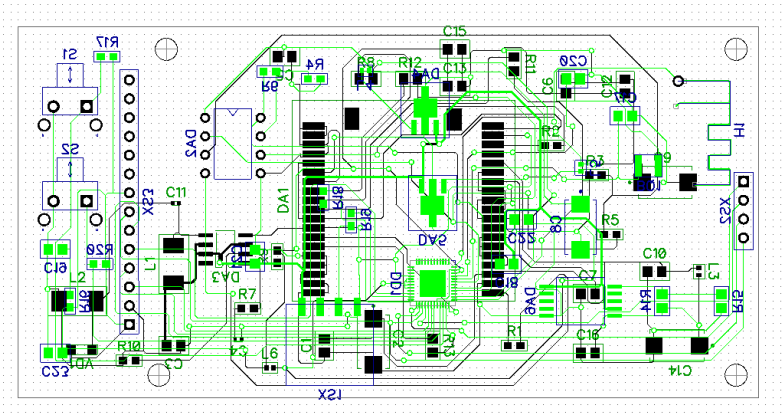


Рисунок 7. Откорректированная автоматическая трассировка платы

Разрабатываемая тепловизионная камера является комплексным, встраиваемым решением для «умного производства», сочетающим стационарный онлайн-мониторинг с мобильной функциональностью благодаря Wi-Fi интеграции и компактным размерам; она построена на высокопроизводительной аппаратной базе (микроболометр АСТРОН-64017-1 и ESP32-D2WD) с продуманной модульной архитектурой и интуитивно понятным кнопочным интерфейсом, что обеспечивает высокую эффективность, оперативность, достоверность диагностики, формирование баз данных и существенное сокращение времени на выявление и устранение недостатков технологических процессов, делая её ценным инструментом для повышения производительности и безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Захаренко Е.Г.* Риски проведения опытно-конструкторских работ [Электронный ресурс]. URL: https://naukovedenie.ru/PDF/22EVN417.pdf (дата обращения 24.05.2024).

2. Gainta Industries [Электронный ресурс].URL: https://www.chipdip.ru/product/g1005025b (дата обращения: 22.05.2024).

3. Астрон, АСТРОН-64017-1. [Электронный ресурс]URL: https://astrohn.ru/product/astrohn-64017. (дата обращения: 22.05.2024).

THERMAL IMAGING CAMERA FOR PROCESS CONTROL

Miloshina A.I., Vasiliev E.E.

Supervisor: Kotlyar D.I., Research Engineer at the PromIT Dual Laboratory, Candidate of Engineering Sciences

(Rybinsk State Aviation Technical University, Rybinsk)

Abstract. This report examines a thermal imaging camera for monitoring technological processes in smart manufacturing. The key functionality of the system is described.

УДК 621.396

АНАЛИЗ МОДЕЛИ ПОИСКА КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Морозова А.И.

Научный руководитель: Лубенцов А.В., доцент, к. т. н.

(Воронежский институт федеральной службы исполнения наказаний России, г. Воронеж)

Аннотация. На основе анализа методов обнаружения сигналов выявлены преимущества и недостатки рассмотренных способов. Рассмотрены виды SDR – приемников, с помощью которых возможно распознавание радиосигналов заданной частоты, которая устанавливается на специализированном программном обеспечении. SDR.

Введение

Современные радиосети требуют эффективных алгоритмов передачи и приема данных, чтобы обеспечить высокую информативность и надежность связи. В условиях динамически изменяющихся радиоканалов, важность системного анализа моделей поиска радиоканалов становится особенно актуальной. Проблемы, возникающие при передаче информации, включают интерференцию, помехи и изменения в условиях передачи, что требует оптимизации существующих методов и разработки новых подходов.

Исследования показывают, что эффективность передачи данных напрямую зависит от выбранной модели радиоканала. Различные подходы, такие как фиксированное назначение каналов (FCA) и динамическое распределение (Dynamic Channel Allocation, DCA), имеют свои преимущества и недостатки, которые необходимо учитывать при проектировании систем связи [1].

Ключевыми факторами, влияющими на качество передачи информации, являются не только технические характеристики радиоканалов, но и методы управления радио ресурсами. Таким образом, системный анализ моделей поиска радиоканалов должен учитывать как теоретические аспекты, так и практические применения, что позволит улучшить качество обслуживания и надежность передачи данных.

Введение в эту тему позволяет понять, что для достижения высоких результатов в области радиосвязи необходимо не только изучение существующих моделей, но и их адаптация к современным требованиям и условиям. Рассмотрение различных систем поиска радиоканалов и их сравнительный анализ помогут выявить оптимальные решения, способствующие повышению эффективности работы радиосетей.

Анализ различных моделей радиоканалов

Важным аспектом системного анализа моделей радиоканалов является их классификация и оценка эффективности. Существуют два основных подхода к распределению радиоканалов: фиксированное назначение каналов (FCA) и динамическое распределение (DCA). Эти модели имеют свои особенности и применяются в зависимости от условий эксплуатации и требований к качеству обслуживания.

Фиксированное назначение каналов (FCA) предполагает, что каждому пользователю или группе пользователей выделяется определенный набор каналов, которые они могут использовать в течение всего времени связи. Данный подход обеспечивает предсказуемость и стабильность связи, однако он имеет свои недостатки. Например, в условиях изменяющегося трафика и количества пользователей, фиксированное распределение может привести к неэффективному использованию ресурсов, когда некоторые каналы остаются неиспользованными, в то время как другим пользователям не хватает ресурсов для передачи данных [1].

Динамическое распределение каналов (DCA) предлагает более гибкий подход, при котором каналы выделяются пользователям по мере необходимости. Это позволяет более эффективно использовать доступные ресурсы, так как каналы могут перераспределяться в зависимости от текущего трафика и потребностей пользователей. Однако, DCA требует более сложных алгоритмов управления и может быть подвержено задержкам, связанным с процессом выделения ресурсов [2].

Каждая из моделей имеет свои преимущества и недостатки, и выбор подходящей модели зависит от специфики радиосети и требований к качеству обслуживания. Например, FCA может быть предпочтительной в условиях, где требуется высокая предсказуемость и стабильность, тогда как DCA может быть более эффективным в сетях с переменным трафиком и большим количеством пользователей.

Важным аспектом анализа моделей радиоканалов является также учет качества обслуживания (QoS). Различные модели могут обеспечивать разные уровни QoS, что значительно влияет на качество передачи информации. Например, динамические модели могут быть более адаптивными к изменяющимся условиям, однако они могут не всегда гарантировать необходимый уровень качества, особенно в условиях высокой нагрузки [1].

Таким образом, анализ различных моделей радиоканалов является ключевым элементом для оптимизации систем передачи данных. Необходимость учета особенностей каждой модели и их влияния на качество обслуживания подтверждает важность системного подхода в данной области.

Анализ различных систем поиска радиоканалов

Системы поиска радиоканалов играют ключевую роль в обеспечении эффективной передачи данных в радиосетях. Они обеспечивают возможность динамического распределения ресурсов, что критически важно в условиях изменяющегося трафика и разнообразия пользователей. Анализ различных систем поиска радиоканалов включает в себя оценку их архитектуры, алгоритмов и методов управления ресурсами.

Одним из основных подходов к поиску радиоканалов является использование фиксированного назначения каналов (FCA) и динамического распределения (DCA). FCA предполагает, что каналы заранее назначаются пользователям, что обеспечивает стабильность, но может привести к неэффективному использованию ресурсов. В то же время, DCA позволяет более гибко управлять ресурсами, перераспределяя каналы в зависимости от текущих потребностей пользователей [1].

Системы поиска радиоканалов могут быть классифицированы по различным критериям, включая уровень автоматизации, скорость реакции на изменения в трафике и качество обслуживания (QoS). Автоматизированные системы, использующие алгоритмы машинного обучения, могут адаптироваться к изменениям в реальном времени, что значительно повышает их эффективность. Например, системы, основанные на алгоритмах Q-обучения, способны оптимизировать распределение ресурсов, учитывая исторические данные о трафике и потребностях пользователей [2].

Кроме того, важным аспектом является использование многоуровневых систем резервирования. Эти системы позволяют заранее выделять дополнительные ресурсы для критически важных пользователей или приложений, что обеспечивает более высокий уровень QoS в условиях повышенной нагрузки. Применение таких систем требует тщательной настройки и мониторинга, чтобы избежать неэффективного использования ресурсов [1].

Сравнительный анализ различных систем поиска радиоканалов также показывает, что использование гибридных подходов, объединяющих элементы FCA и DCA, может привести к оптимизации работы радиосетей. Такие системы способны адаптироваться к различным условиям эксплуатации, обеспечивая как предсказуемость, так и гибкость [2].

Необходимо отметить, что эффективность систем поиска радиоканалов также зависит от уровня взаимодействия между различными компонентами радиосети. Современные системы требуют интеграции с другими элементами инфраструктуры, такими как сети передачи данных и системы управления трафиком. Это взаимодействие позволяет более точно прогнозировать потребности пользователей и оптимизировать распределение ресурсов [1].

В заключение, анализ различных систем поиска радиоканалов подчеркивает необходимость комплексного подхода к проектированию и реализации этих систем. Учет особенностей каждой модели, их взаимодействия и адаптация к современным требованиям являются ключевыми факторами для повышения эффективности работы радиосетей.

Синтез оптимальной модели устройства поиска радиоканала

Синтезирование оптимальной модели устройства поиска радиоканала представляет собой важный аспект, который включает в себя анализ существующих подходов и разработку новых решений, способствующих повышению эффективности работы радиосетей. Основными задачами данного процесса являются оптимизация распределения ресурсов, минимизация задержек и обеспечение необходимого уровня качества обслуживания (QoS).

Одним из ключевых направлений синтеза является использование гибридных моделей, которые объединяют преимущества фиксированного назначения каналов (FCA) и

динамического распределения (DCA). Эти модели позволяют адаптироваться к изменяющимся условиям, обеспечивая как предсказуемость, так и гибкость в распределении ресурсов. Например, системы, использующие элементы FCA для критически важных пользователей и DCA для остальных, могут значительно повысить общую эффективность радиосети [1].

При разработке оптимальной модели также необходимо учитывать методы управления радио ресурсами. Внедрение алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта в процессы управления ресурсами позволяет значительно повысить адаптивность систем. Такие алгоритмы могут анализировать исторические данные о трафике и автоматически подстраивать распределение каналов под текущие потребности пользователей, что минимизирует задержки и повышает качество передачи данных [2].

Кроме того, важным аспектом синтеза оптимальной модели является использование многоуровневых систем резервирования. Эти системы позволяют заранее выделять ресурсы для критически важных приложений, что обеспечивает более высокий уровень QoS в условиях повышенной нагрузки. Применение многоуровневых систем требует тщательной настройки и мониторинга, чтобы избежать неэффективного использования ресурсов, что в свою очередь может негативно сказаться на общей производительности сети [1].

Сравнительный анализ существующих систем показывает, что использование многоуровневых подходов, комбинирующих статические и динамические методы управления, может привести к значительному улучшению эффективности работы радиосетей. Эти системы способны адаптироваться к различным условиям эксплуатации, обеспечивая как предсказуемость, так и гибкость [2].

Важно также учитывать влияние внешних факторов на эффективность работы радиоканалов. К таким факторам относятся помехи, интерференция и динамические изменения в условиях передачи. Оптимальная модель должна быть способна эффективно реагировать на эти изменения, что возможно благодаря внедрению адаптивных алгоритмов и систем мониторинга, способных своевременно выявлять и устранять проблемы [1].

Система мониторинга и подавления каналов связи представляет высокотехнологичный комплекс оборудования, в который входит анализатор спектра, генератор белого шума, антенны, усилители, фильтры.

При помощи анализатора спектра возможен анализ и диагностика электромагнитных излучений. Данные источников сигналов позволяют выявить и определить потенциальные угрозы, которые оказывают негативное влияние на объекты. Кроме того, данное устройство можно использовать для полной проверки совместимости устройств, которые расположены близко друг к другу Принцип действия анализатора заключается в последовательной обработке входного сигнала в приемник. Поступивший сигнал проходит через переключаемый аттенюатор, с помощью которого возможно регулировать его уровень. Для усиления маломощных сигналов используется предусилитель. Ступенчатый аттенюатор тонкой настройки выполняет функции обработки параметров уровня сигнала. При автоматической установке опорного уровня, сигнал проходит через дополнительный каскад с переключаемым усилителем. После всех этапов обработки сигнал попадает на аналоговый фильтр промежуточных частот, который изолирует интересующие частоты от нежелательных шумов. При этом происходит дискретизация, квантование и кодирование сигналов, что позволяет их преобразовать в формат, удобный для дальнейшей обработки. После обработки в АЦП поток кодов передается на контрольное устройство, которое отвечает за передачу данных в персональный компьютер. Это обеспечивает полный анализ и визуализацию сигнала. Пользователь, обладая знаниями о частотах, использующихся в учреждении, может наблюдать активные изменения, которые соответствуют неизвестным частотам. Это позволяет выявлять наличие несанкционированных устройств. Система может определить местоположение сотового телефона с помощью триангуляции или анализа мощности передающего сигнала. После обнаружения сотового телефона система передает данные в модуль подавителя. Подавитель каналов связи – мощный генератор радиоволн

различной частоты. Принцип работы заключается в генерировании и распространении электромагнитных волн различной частоты в окружающую среду, мощность которых выше, чем интенсивность излучателей передатчиков. Конструкция состоит из следующих основных элементов:

Генератор – генерация электромагнитных волн необходимой частоты, которая зависима от подаваемого напряжения.

Настроечная схема – управление интенсивностью и частотой излучения в необходимом радиусе окружающей среды

Усилительный каскад – усиление передаваемой частоты

Передатчик-антенна – излучение волны в окружающую среду

Подавители связи создают и распространяют так называемый «белый шум» - электромагнитное излучение в выбранном частотном диапазоне, которое не несет никакой полезной информации – помехи.

В общем случае устройство представляет собой модель, напоминающую рацию или роутер, оно оснащено несколькими антеннами, кнопками для управления и индикаторами.

Портативные устройства обычно небольшого размера, оснащаются аккумулятором, который обеспечивает автономную работу в течение 1-4 часов и 3-6 антеннами. Мощность для блокировки каналов связи от 15 до 20 метров.

Стационарные подавители имеют большие габариты, питание происходит от сети, имеют от 10 антенн и более. Они поддерживают работу сразу в нескольких диапазонах, способны подавлять каналы связи в радиусе от 100 метров и выше. Выглядит подавитель сотовой связи, как беспроводной маршрутизатор с множеством антенн. Имеют встроенный активный охладитель, с регулировкой радиуса и мощности подавления.

После операции подавления канала связи определенного телефона сканер продолжает свою работу, позволяющую определить подавление сигнала сотового телефона. При неудачном подавлении система продолжает увеличивать мощность и параметры подавителя.

Анализатор спектра FSH8 (производство Германии) является универсальным инструментом для анализа радиочастотного спектра. Помимо основной функции – спектрального анализа, при наличии дополнительных модулей он может измерять мощность сигнала, проверять состояние кабелей и антенн, а также выполнять векторный анализ цепей. Благодаря этим возможностям, FSH8 позволяет специалистам сервисных центров быстро и эффективно выполнять свою работу, обнаруживая как разрешенные, так и несанкционированные источники радиосигналов, Рисунок 1.

Рисунок 1. Анализатор спектра Rohde&Schwarz FSH8

Подавитель Гроза (рисунок 2) – широкополосный подавитель сигналов связи с радиусом действия 30м. Работает как стационарно от сети 220В, так и мобильно от бортовой сети транспортного средства 12В. Корпус из металлического сплава, противоударный. Десять антенн типа штырь круговой диаграммы направленности излучения в вертикальной и

горизонтальной плоскостях. Выходная мощность не регулируется, постоянная. При использовании направленных антенн радиус действия глушилки сигналов увеличивается кратно и может достигать 150 – 200 метров и более; зависит от коэффициента усиления антенны.

Рисунок 2. Подавитель каналов связи «Гроза»

В учреждениях использование системы мониторинга и подавления каналов связи является эффективным методом борьбы с несанкционированными каналами связи. С помощью анализаторов спектра частот, обнаруживающих несанкционированные источники, возможно точное определение и фиксация сигналов. Генератор белого шума (подавитель) активно подавляет обнаруженные сигналы, работает в точечном определении. При использовании двухкомпонентной системы, эффективность устройств увеличивается, так как при работе в широкополосном режиме генератор потребляет большую часть энергии и мешает служебной связи, Рисунок 3, [3-9].

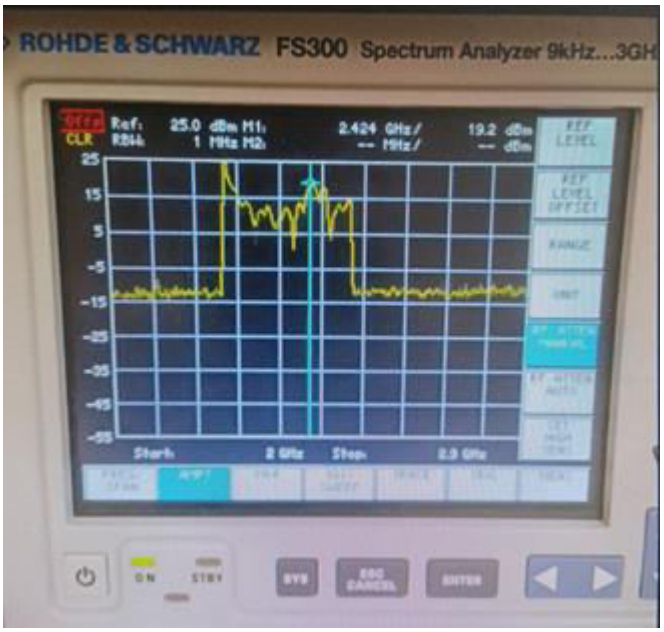


Рисунок 3. Спектр шумоподобного сигнала, подавляющего несанкционированный канал связи (фото автора).

Заключение

Таким образом, синтез оптимальной модели устройства поиска радиоканала требует комплексного подхода, учитывающего как теоретические аспекты, так и практические

применения. Разработка гибридных моделей, применение алгоритмов машинного обучения и внедрение многоуровневых систем резервирования являются ключевыми факторами, способствующими повышению эффективности работы радиосетей.

В заключение, системный анализ моделей поиска радиоканалов передачи информации демонстрирует важность комплексного подхода к проектированию и реализации эффективных систем радиосвязи. Рассмотренные модели, такие как фиксированное назначение каналов (FCA) и динамическое распределение (DCA), показывают свои сильные и слабые стороны в зависимости от условий эксплуатации и требований к качеству обслуживания (QoS).

Анализ различных систем поиска радиоканалов подтверждает необходимость внедрения гибридных решений, которые сочетали бы преимущества обоих подходов. Это позволяет адаптироваться к изменяющимся условиям и обеспечивать надежную передачу данных. Разработка и синтез оптимальной модели устройства поиска радиоканала, включая применение алгоритмов машинного обучения и многоуровневых систем резервирования, являются ключевыми факторами для повышения эффективности работы радиосетей.

Учет внешних факторов, таких как помехи и интерференция, а также динамические изменения в условиях передачи, также играет значительную роль в создании надежных систем передачи данных. Таким образом, системный анализ и оптимизация моделей поиска радиоканалов представляют собой критически важные задачи для дальнейшего развития и совершенствования радиосетей в условиях современного информационного общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Шевчук Б.М.* Эффективные по быстродействию алгортитмы передачи и приема высокоинформативных пакетов в радиосетях: статья / Б.М. Шевчук— Киев: Наукова думка, 2016. — 52 с. — ISSN 0023-1274. — URL: http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/131424/20-Shevchuk.pdf?sequence=1 (дата обращения: 17.06.2025). — Режим доступа: Электронный.

2. *Ким Ч.С.,* Численное исследование многопороговой стратегии доступа в мультисервисных беспроводных сетях сотовой связи: статья / ЧС Ким, АЗ Меликов. — 2009. — URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv//cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/KSA_2009_45_5_3.pdf (дата обращения: 17.06.2025). — Режим доступа: Электронный.

3. *Лубенцов А.В.* Системный анализ применения технологий средств подавления сигналов сотовой связи в системе УИС // А.В. Лубенцов, А.И. Власова Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы деятельности подразделений уголовно-исполнительной системы – Воронеж: «Научная книга», 2023. – Т. 1. – С. 262 – 265.

4. *Лубенцов А.В.,* Системный анализ синтеза модели мониторинга и подавления сигнала сотовой связи // А.В. Лубенцов, А.И. Власова В сборнике: Карбышевские чтения. Наше дело правое - победа будет за нами! Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. RUS, 2023. С. 229-236.

5. *Лубенцов А.В., Власова А.И.* Построение модели автоматической системы противодействия несанкционированной передачи информации по каналам связи // А.В. Лубенцов, А.И. Власова III Международная научно-практическая конференция «Научные междисциплинарные исследования в экономике, праве и управлении», Университет права и социально-информационных технологий», сборник трудов, Могилев, 2023, С. 439-443.

6. *Лубенцов А. В.* Комплексные системы безопасности: системный анализ, архитектура, управление жизненным циклом / А.В. Лубенцов, А.В. Душкин Воронеж: «Научная книга», 2022, 254 с.

8. *Лубенцов А.В.* Противодействие несанкционированному воздействию электромагнитных полей в системе УИС. / А.В. Лубенцов П.О. Гончаров, Сборник трудов

Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы деятельности подразделений уголовно-исполнительной системы». – Воронеж: «Научная книга», 2024. – Т. 1.

9. *Лубенцов А.В.,* Способы обнаружения БПЛА. Использование SDR – приемников для обнаружения радиосигналов / А.В. Лубенцов А.И. Морозова, Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы деятельности подразделений уголовно-исполнительной системы». – Воронеж: «Научная книга», 2024. – Т. 1.

ANALYSIS OF THE INFORMATION CHANNEL SEARCH MODEL

Morozova A.I.

Supervisor: Lubentsov A.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Voronezh)

Abstract. Based on the analysis of signal detection methods, the advantages and disadvantages of the considered methods have been identified. The types of SDR receivers are considered, with the help of which it is possible to recognize radio signals of a given frequency, which is installed on specialized software. SDR.

УДК 629.7.05

СИСТЕМА ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ МИССИЙ НА ЗАКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Мурин Я.С.

Научный руководитель: Шиндор О. В., заместитель директора по научной работе, к. т. н.

(Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, Институт искусственного интеллекта, робототехнике и системной инженерии, г. Казань)

Аннотация. Представлена автономная система локальной навигации для БАС, устраняющая зависимость от ГНСС и внешней инфраструктуры за счёт лазерных дальномеров и инерциальной системы. Решение обеспечивает устойчивость к электромагнитным помехам и исключает необходимость предварительного картирования, но ограничено временем стабильной работы (5 минут) из-за дрейфа курса. Показано, что данный временной ресурс достаточен для выполнения типовых складских миссий, включая перемещение до цели и возврат для перезарядки, что подтверждает практическую применимость системы в логистических задачах.

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) ежедневно используются для определения местоположения объектов на открытых территориях. Сигналы ГНСС, работающие в диапазоне 1-2 ГГц, теряют свою мощность при прохождении через здания, деревья и другие препятствия, что затрудняет их приём в городской застройке или под плотным покрытием. Кроме того, точность определения местоположения ухудшается из-за многолучевости. Сигналы достигают приёмника не только по прямой траектории, но и по нескольким отражённым, что приводит к искажениям за счёт различий в задержках и амплитудах этих сигналов. Решением данной проблемы может быть установка псевдолитов (псевдоспутников) [1]. Но установка псевдолитов сопряжена с высокими капитальными и эксплуатационными затратами, обусловленными необходимостью прецизионного оборудования, стабильного энергопитания и точной геодезической привязки. Масштабирование инфраструктуры требует значительных инвестиций и сложного технического сопровождения, что ограничивает экономическую целесообразность данного решения. Также один из вариантов определения местоположения движущегося объекта на закрытой местности – это магнитометрическая система локальной навигации [2]. Подобная

система чувствительна к металлическим объектам: стеллажам, оборудованию, строительным конструкциям. Они искажают магнитное поле, снижая точность. Перед использованием требуется детальное картирование поля в каждом помещении. Калибровка системы производится после любых изменений геометрического пространства из-за невалидности данных и невозможности использования предыдущих результатов картирования. Для стабильности работы системы требуется сервисное обсаживание системы и корректировки данных. Еще одним методом решения навигационных задач на закрытой территории является навигация на основе Bluetooth-маячков [3] имеет ряд существенных ограничений. Точность определения местоположения зависит от стабильности принимаемого сигнала, который сильно искажается преградами, отражениями и помехами в среде. Измерение расстояния по индикатору уровня мощности принимаемого сигнала. нелинейно и чувствительно к изменениям окружающей обстановки. Трилатерация требует наличия минимум трёх маячков в зоне видимости, что усложняет покрытие сложных помещений, что затрудняет масштабирование системы: при изменении планировки требуется повторная настройка.

Разработанная система локальной навигации состоит из 5 лазерных дальномеров и инерциальной сборки (три гироскопа и три акселерометра). Основной принцип работы системы локальной навигации заключается в измерении расстояний до границ помещения (пример расчётов для 1 четверти продемонстрирована в (1) и (2)) и угла курса, крена и тангажа.

$$x = \max(d_W \cdot \cos(\varphi), d_N \cdot \sin(\varphi)) \quad (1)$$

$$y = \max(d_S \cdot \cos(\varphi), d_E \cdot \sin(\varphi)) \quad (2)$$

Структурная схема работы системы локальной навигации представлена на рис. 1.

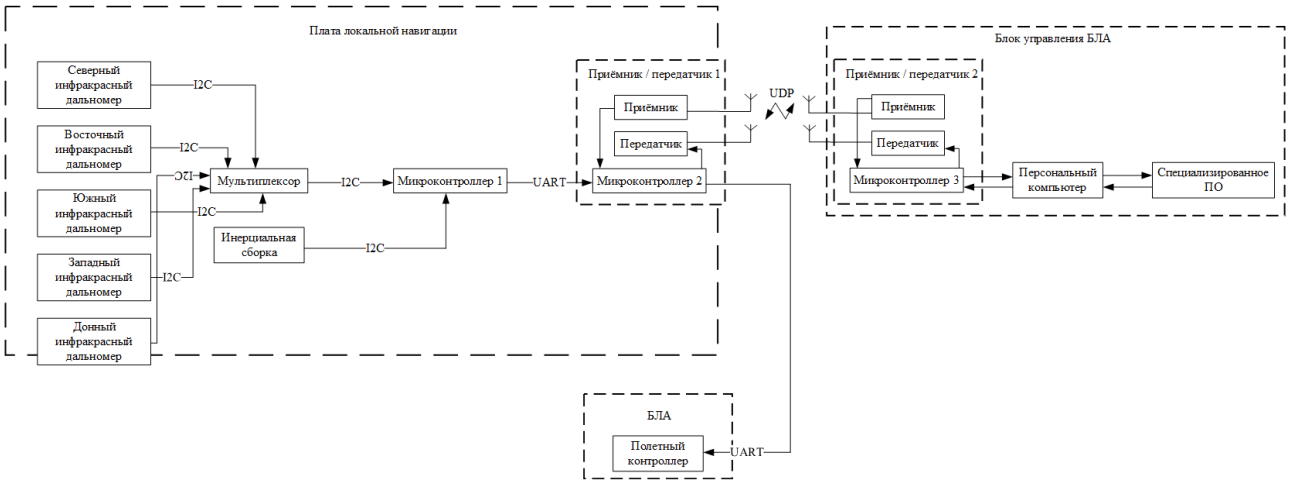


Рис. 1. Структурная схема системы локальной навигации.

Данное решение обладает рядом преимуществ:

1. Система обеспечивает независимость от размеров и сложности помещения. БАС определяет своё положение по прямым измерениям расстояний до границ помещения с помощью лазерных дальномеров и корректирует данные инерциальной сборкой, отслеживающей изменение курса, крена и тангажа. Это позволяет реализовать автономную навигацию без необходимости предварительного картирования или установки внешних маркеров.

2. Система устойчива к внешним помехам, поскольку не использует радиосигналы и не зависит от электромагнитной обстановки. Лазерные дальномеры и инерциальная измерительная система (гироскопы и акселерометры) работают автономно, без взаимодействия с внешней инфраструктурой. Это исключает влияние радиопомех, отражений, затенения или интерференции, характерных для Wi-Fi, Bluetooth или УВЧ-систем. Расстояния до границ помещения и угловые изменения курса формируются

локально, что обеспечивает стабильность работы в условиях электромагнитных возмущений и высокой плотности оборудования.

3. На этапе развертывания система требует минимального набора параметров: габаритных размеров помещения (длины, ширины и высоты) для формирования геометрических ограничений навигационного пространства. Также задаются контрольные точки полётной миссии: координаты промежуточных или конечных целей движения БАС. Эти данные используются для построения траектории и навигации в реальном времени. Отсутствие необходимости в детальном 3D-моделировании или размещении дополнительной инфраструктуры упрощает настройку и сокращает время подготовки к полёту.

Получение курса затруднено отсутствием физической связи с гравитационным полем. Направление крена и тангажа можно получать с высокой степенью точности, т. к. при расчетах в качестве опорного вектора используется вектор силы тяжести g[0; 0; 9,8]. БАС двигается равномерно без ускорения и измеряемые углы между опорным вектором и осями вертикальной плоскости меньше 180°, поэтому можно вычислять значение крена и тангажа по следующим формулам (1) и (2):

$$roll = \arctan(A_x / A_z), \tag{3}$$

$$pitch = \arctan(A_y / \sqrt{A_x^2 + A_z^2}), \tag{4}$$

где A_x, A_y, A_z − значения акселерометра по соответствующим осям. Таким образом абсолютная система отсчета вдоль вертикальной плоскости позволяет избежать накопление ошибки и дрейфа. Любое ошибочное измерение является статистически независимым и не оказывает влияния на последующие отсчёты, при этом коррекция осуществляется автоматически в ходе последующего измерения за счёт связи с опорным вектором.

Курс, представляющий вращение вокруг вертикальной оси, не может быть определен с использованием только акселерометра, поскольку вектор гравитации остается неизменным при повороте в горизонтальной плоскости. Поэтому необходимо использование гироскопа для определения значения курса, путем интегрирования (5) получаемой угловой скорости по времени и суммирование с предыдущим значением:

$$\theta(t) = \theta_o + \int \omega(t)dt, \tag{5}$$

где $\theta(t)$ – угол в момент времени t, θ_o – начальный угол, $\omega(t)$ – угловая скорость в момент времени t. Однако, постоянное интегрирование ведет к накоплению ошибки и дрейфу данных. Обнуление значения курса возможно только при полной перезагрузки системы и повторного запуска полетной миссии из начальной точки.

Для определения точности работы системы были проведены стендовые испытания. Размеры испытательного полигона 1480 мм на 1480 мм. Система локально навигации передвигалась равноускорено по нижней плоскости емкости. По результатам испытаний получены следующие данные:

Стандартное отклонение по X = 12,46 мм

Стандартное отклонение по Y = 44.44 мм

Отклонение курса = 1,5° на один полный оборот.

Устойчивость навигационного решения сохраняется в течение 5 минут, что ограничено накоплением погрешностей инерциальных датчиков, в первую очередь дрейфом курса, недостаточно компенсируемым текущей архитектурой. Возможна коррекция курса реализована с помощью магнитометра, однако в закрытых помещениях его показания искажаются ферромагнитными конструкциями, оборудованием и металлическими элементами, что приводит к значительным и нестабильным ошибкам в определении азимута. В результате магнитометр оказывается ненадёжным источником ориентации в таких условиях. При этом интервал в 5 минут достаточен для выполнения типичной транспортной задачи на складе или в ангаре.

Предложенная система локальной навигации решает критическую проблему автономного позиционирования БПЛА в условиях отсутствия ГНСС-сигналов, где традиционные методы (псевдолиты, Bluetooth-маячки, магнитометрия) оказываются

экономически или технически нежизнеспособными. Ключевое преимущество полученной системы− полная автономность и устойчивость к внешним возмущениям за счёт отказа от радиоканалов и опоры на прямые измерения расстояний до границ помещений и инерциальные данные. Несмотря на дрейф курса, ограничивающий длительность стабильной работы 5 минутами, этот временной ресурс сопоставим с типичным циклом задачи на складе: перемещение от точки старта до цели и возврат для перезарядки-перекалибровки. Таким образом, система не требует дорогостоящей инфраструктуры, а её эксплуатационные ограничения естественно вписываются в рабочие сценарии, где миссии носят краткосрочный и циклический характер. Это делает решение практически применимым для складской логистики без необходимости компромиссов с точностью или надежностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дрыга В.О. Локальная система навигации на основе имитаторов сигналов глобальных навигационных спутниковых систем / В.О. Дрыга, Е.А. Щербинина, А.П. Рачицкая // СПбНТОРЭС: труды ежегодной НТК. – 2019. – № 1(74). – С. 41-44. – EDN KFULVE.Tayfun Cimen. State-dependent riccati equation (SDRE) control: A survey // Proc. of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control, July 6–11, 2008. Seoul, Korea, 2008.

2. Магнитометрическая система локальной навигации с нейросетевой обработкой информации / И.М. Голев, Р.Б. Угрюмов, Т.И. Заенцева, А.В. Мандрыкин // Воздушно-космические силы. Теория и практика. – 2021. – № 18. – С. 99-107. – EDN JLDADT.

3. *Соколов И.А.* Использование Bluetooth-маяков для навигации в помещениях / И.А. Соколов // Молодой исследователь: вызовы и перспективы: сборник статей по материалам LIV междунар. науч.-практ. конф.. Том № 1 (54): Общество с ограниченной ответственностью «Интернаука», 2018. – С. 417-422. – EDN YQIMUX.

A LOCAL NAVIGATION SYSTEM BASED ON LASER RANGEFINDERS FOR AUTONOMOUS MISSIONS IN ENCLOSED AREAS

Murin Y.S.

Supervisors: Shindor O.V., Deputy Director for Research, Candidate of Engineering Sciences.

(Kazan Federal University, Institute of Artificial Intelligence, Robotics and Systems Engineering)

Abstract. An autonomous local navigation system for UAVs is presented, eliminating reliance on GNSS and external infrastructure by using laser rangefinders and an inertial measurement unit. The solution provides robustness against electromagnetic interference and does not require prior mapping. However, its stable operation is limited to approximately 5 minutes due to heading drift. It is demonstrated that this duration is sufficient for typical warehouse missions, including flight to a target location and return for recharging, confirming the system’s practical applicability in logistics scenarios.

УДК 621.3

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ВИТАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

Нигматзянов Д.З.

Научный руководитель: Петровский В.В., доцент, к. т. н.;
Петровская М.В., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Цель работы – разработка устройства для мониторинга и профилактики нарушений витальных функций человека, находящегося в пограничном состоянии. Предложенное устройство позволяет контролировать концентрацию кислорода и сахара в

крови, сердечный ритм (пульс), регистрировать текущее местоположения (геолокация) и факт падения пациента.

В современном мире достаточно много больных, пожилых и старых людей нуждающихся в постоянной опеке. Не всегда и не все могут обеспечить за ними постоянный присмотр. Без обеспечения непрерывного мониторинга со стороны эта категория людей в критической ситуации не сможет самостоятельно вызвать помощь, что приведет к трагедии. Поэтому, для уменьшения возникновения экстренных случаев, а порой и с летальным исходом, должен использоваться комплексный подход, включающий правовые, экономические, организационные, технические, программные, социальные и иные механизмы, способные обеспечить безопасное существование и своевременное оказание скорой медицинской помощи данной группе.

Система мониторинга витальных функций человека должна быть работоспособной, эффективной и выполнять свои функции в течение срока годности основных компонентов системы, строиться с учётом непрерывного совершенствования информационных технологий и развития информационной и аппаратной части. Должны быть выработаны подходы к комплексному решению задач обеспечения безопасности, позволяющие адаптировать систему мониторинга витальных функций. Такой комплексный подход гарантирует своевременное оказание скорой медицинской помощи.

Мониторы витальных функций или же системы контроля жизненно важных функций человека – неотъемлемая часть современной медицины. Один из самых известных вариантов данного устройства – это прикроватные мониторы. Обычно к ним подключаются больные, находящиеся в отделениях интенсивной терапии и реанимации. Мониторы ведут постоянный контроль за такими параметрами как пульс, артериальное давление, уровень насыщения крови и функция внешнего дыхания.

Основные требования к таким приборам – это обеспечение требуемой точности измерений; оценка параметров жизнедеятельности пациента в режиме реального времени; своевременная сигнализация об отклонении контролируемых параметров от нормы; бесперебойность работы; компактность прибора и его стоимость.

Цель, которая была поставлена в данной работе, – это разработка устройства для мониторинга и профилактики нарушений витальных функций человека, находящегося в пограничном состоянии. Поэтому для массового использования прибора, помимо таких параметров как точность, и постоянный контроль, нужно учитывать и такие параметры как цена и габариты устройства.

Параметры мониторинга, реализованные в работе: сердечный ритм (пульс), состояние углеводного обмена, регистрация текущего местоположения (геолокация) и факта падения пациента.

В состав монитора витальных функций входит модуль глобального позиционирования (GPS-модуль), обеспечивающий измерение расстояния, времени и определяющий местоположение объекта [1]. Для описанного круга решаемых задач наиболее подходящим является использование GPS-трекера, осуществляющего запись и передачу координат контролируемого объекта на серверный центр (спутниковый мониторинг положения объекта).

GSM-модуль монитора служит для связи с диспетчерской службой. В экстренной ситуации модуль обработки данных передаёт сигнал модулю передачи данных. Модуль передачи данных обрабатывает и передаёт сигнал в диспетчерскую службу.

В обычном (нормальном) состоянии пациента GSM и GPS-модули отключены. Они активизируются только в случае возникновения экстренной ситуации. Это позволяет снизить потребление электроэнергии и разгрузить канал радиосвязи.

Кнопка «SOS» монитора предназначена для передачи физиологических параметров и координат местоположения клиента при возможной угрозе жизни. Основные требования к

данной кнопке – это исключение вероятности случайного нажатия и, в то же время, обеспечение лёгкого доступа к ней в случае возникновения экстренной ситуации.

Для диагностики состояния углеводного обмена у лиц, страдающих сахарным диабетом, используется датчик кондуктивности [1]. Так как между изменением уровня влажности и изменением сопротивления поверхности кожи имеется четкая корреляция, датчик кондуктивности при критических показателях осуществляет световую и звуковую индикацию, предупреждая о том, что необходимо замерить уровень сахара в крови.

По заявлениям специалистов, падения являются одним из наиболее серьезных рисков для здоровья пожилых людей. Особенно это касается пожилых людей, живущих отдельно; людей, имеющих ограниченную подвижность; людей с нарушениями памяти; людей с расстройствами нервной системы (эпилепсия, болезнь Паркинсона, церебральный паралич); людей с нарушениями зрения; больных, соблюдающих медицинский режим (после инсульта, инфаркта); людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями (гипертония, гипотония) или страдающих сахарным диабетом.

Поэтому в структуру монитора введен датчик падения, который пространственно ориентирован. Пространственная ориентация датчика означает, что взведенным (запрограммированным) состоянием устройства (монитора) считается его вертикальное или горизонтальное положение, либо положение на боку. То есть устройство должно располагаться на пользователе обязательно в одном из взведенных положений.

Относительно взведенного положения с частотой 400 раз в секунду опрашивается установленный внутри устройства акселерометр. По сложному математическому алгоритму производится постоянный анализ пространственного положения устройства и, если происходит изменение положения устройства в пространстве, анализируются события, произошедшие за 3 секунды до предполагаемого падения пользователя, после чего принимается решение о наступлении, либо об отсутствии критического события (падения).

Если устройство расценило событие как падение, то в течение 18 секунд с интервалом одна секунда начинает звучать одиночный сигнал. Если в течение этого промежутка времени положение устройства, а значит и пользователя, не изменится и не перейдет во взведенное положение, устройство автоматически через модуль GSM инициирует отправку сообщения (SMS) в диспетчерский центр, сигнализируя о падении.

Через 40-60 секунд после последнего звукового сигнала оператор диспетчерского центра соединяется с монитором и по мобильной связи запрашивает состояние пользователя. Если связаться не удалось, диспетчер связывается с родными или соседями пациента. В дальнейшем диспетчер принимает решение исходя из конкретной ситуации.

Важным для функционирования монитора является состояние заряда аккумулятора. За пять-шесть часов до полного разряда аккумулятора устройство подает десять одиночных сигналов с интервалом двадцать минут, напоминая пользователю о необходимости подзарядки. После десяти напоминаний устройство отправляет предупредительное сообщение в диспетчерский центр и оператор, получив такое сообщение, связывается с абонентом, еще раз напоминая ему о необходимости поставить устройство на зарядку.

При достижении минимального уровня заряда аккумулятора, устройство отправит сообщение в диспетчерский центр и автоматически отключится. После этого оператор должен оповестить родственников и заявленных ранее контактных лиц о том, что устройство абонента выключено и недоступно для обслуживания.

На рис. 1 приведена функциональная схема устройства контроля витальных функций человека.

Устройство работает следующим образом. Пульсоксиметр (П) измеряет показания пульса и кислорода в крови за счет сигнала, с фотодетектора (ФД). На фотодетектор поступает отраженный от поверхности тела человека сигнал, испускаемый светодиодом (СД). Датчик кондуктивности (ДК) с помощью электрода (Э), на который подается небольшое напряжение определяет электропроводность кожи.

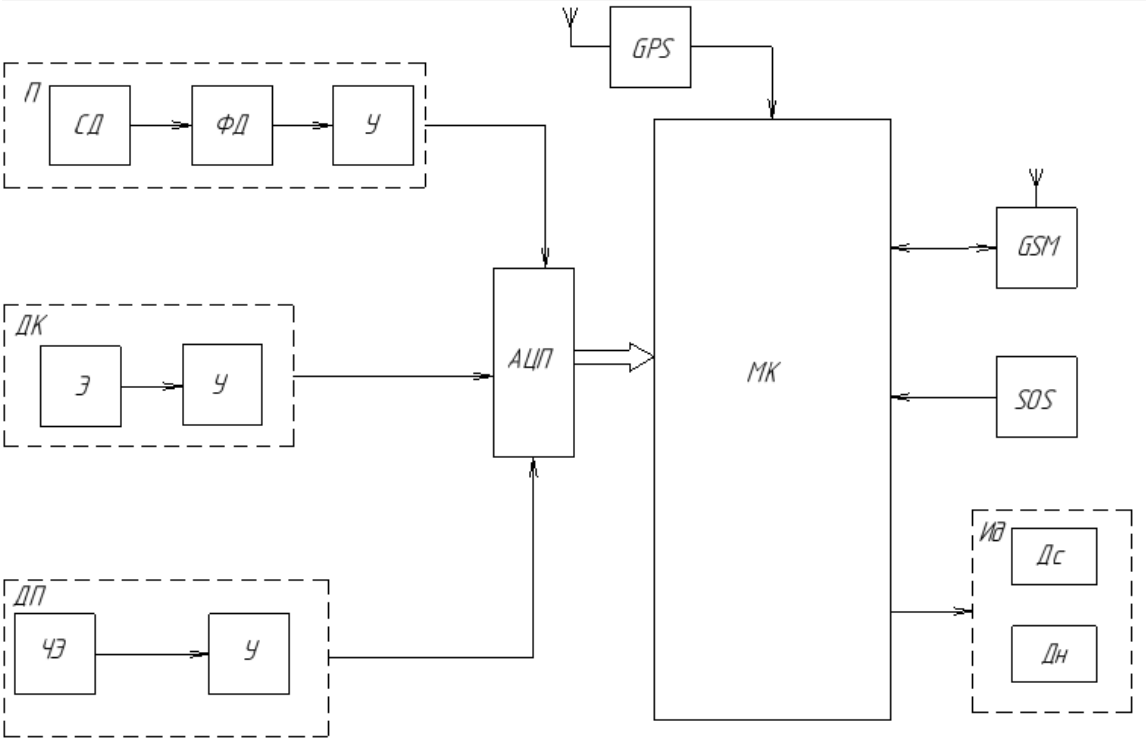


Рис. 1. Функциональная схема устройства контроля витальных функций человека

Блок усиления (У) в каждом из датчиков обеспечивает усиление сигнала, для дальнейшей работы устройства с ним. Датчик перемещений (ДП) состоит из чувствительного элемента (ЧЭ), который реагирует на изменение ускорения объекта и благодаря этому позволяет зарегистрировать факт падения человека, если полученное значение слишком велико.

Для преобразования аналоговых сигналов в цифровой, датчики температуры и кондуктивности подключаются к аналого-цифровому преобразователю. Полученные данные со всех датчиков принимаются и обрабатываются микроконтроллером. Также к микроконтроллеру подключается модуль GPS (GPS), для определения местоположения пациента.

Сигнал с микроконтроллера поступает в блок приемопередачи (GSM). Приемник, принимает данные с микроконтроллера. Полученные данные параллельно идут на блок индикации (ИД). Блок индикации выводит на дисплей (ДС) жизненные показатели и в случае отклонения от нормы оповещает больного об этом звуковым сигналом с динамика (ДН). GSM- модуль также обеспечивает передачу данных в диспетчерскую службу. Кнопка SOS (SOS) подключается сразу к приемопередатчику, чтобы при ее активации все данные о пациенте сразу отправились в диспетчерскую службу.

Основные измеряемые параметры и их характеристики: пульс – 30–150 уд/мин (±1%); содержание сахара в крови – 1,1–33,3 ммоль/л (±5–10%); содержание кислорода в крови – 0–100% (±1%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Петровский В.В.* Монитор витальных функций / В.В. Петровский, М.В. Петровская, Н.Р. Гайсин // Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции «Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике» (ИТЭЭ-2014). Чебоксары, 5-7 июня 2014. Чебоксары: Изд-во Чуваш. гос. ун-та им. И.Н. Ульянова. – 2014. – С. 332-333.

VITAL FUNCTION CONTROL DEVICE

Nigmatzyanov D.Z.
Supervisor: Petrovskiy V.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences;
Petrovskaya M.V., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The aim of the work is to develop a device for monitoring and preventing violations of vital functions of a person in a borderline state. The proposed device allows monitoring the concentration of oxygen and sugar in the blood, heart rate (pulse), registering the current location (geolocation) and the fact of a patient's fall.

УДК 530:537+621.396.96

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДРОБНОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ И ИНТЕГРИРОВАНИЯ

Петровская М.В.
(*Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань*)

Аннотация. В работе рассмотрена задача синтеза многозвенной линии с точки зрения моделирования простейшей распределённой плёночной RC-структуры на основе дискретной модели в виде цепей Кауэра и Фостера 1-го рода с безразмерным входным импедансом, определяемым цепной дробью. Рассмотрены вопросы реализации стенда для исследования амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик дробно-операторных устройств.

1. Синтез дробно-операторных устройств

Синтез фрактального многозвенного *RC*-двухполюсника выбранной топологии, входные ток и напряжение которого в заданном интервале частот $f_{\text{н}} \le f \le f_{\text{в}}$ с заданной точностью связаны между собой дробным оператором, предполагает определение числа звеньев N и значений R_{k} и C_{k} каждого (k-го) звена цепи. При этом синтез обычно выполняется на основе разложения в ряд некой аналитической функции $\dot{Z}(\omega)$, аппроксимирующей идеальную дробно-операторную частотную зависимость импеданса двухполюсника. Сравнительная оценка методик синтеза, предложенных разными авторами, показывает, что из-за различной сходимости рядов, которыми представляются разные используемые аппроксимирующие функции, количество звеньев N цепи оказывается существенно разным при одинаковых исходных требованиях. При этом разными оказываются и законы изменения значений R_{k} и C_{k} от звена к звену.

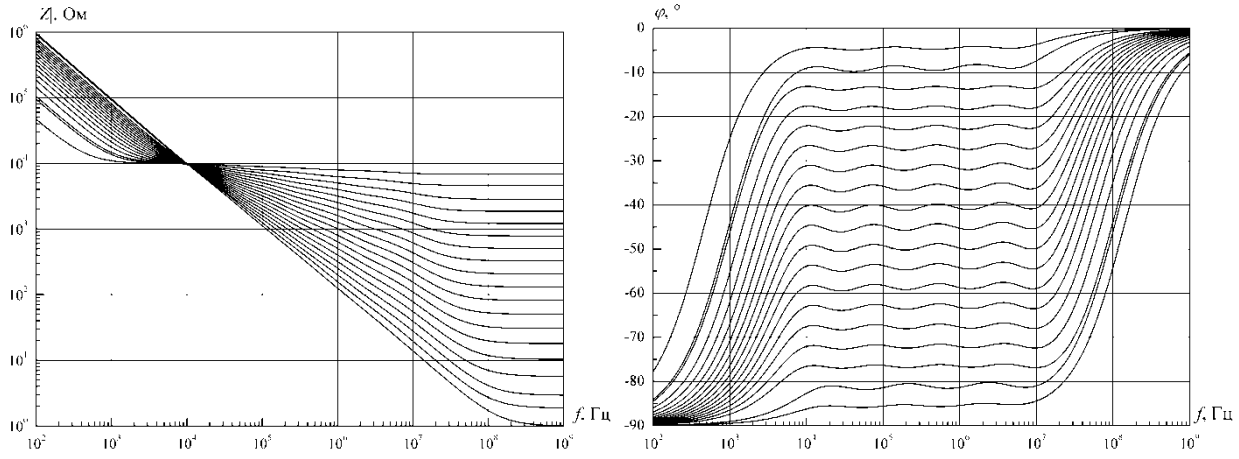
В связи с этим разработан способ численного синтеза, который в автоматическом режиме определял параметры R_{k}, C_{k} фрактального двухполюсника, реализующего дробный оператор заданного ν-го порядка в заданном частотном интервале с допустимой погрешностью отклонений АЧХ (δ_{Z}) и ФЧХ (δ_{φ}) от их идеальных значений при минимальном (оптимальном) числе звеньев N.

Задача синтеза многозвенной линии рассмотрена с точки зрения моделирования и выявления фрактальных возможностей топологически простейшей распределённой плёночной *RC*-структуры – неоднородной, но одномерной трёхслойной линии. Такой линии соответствует дискретная модель в виде цепи Кауэра 1-го рода [1, 2] с безразмерным входным импедансом, определяемым цепной дробью.

В целях оценки возможности синтеза дробно-операторной цепи с различными значениями показателя ν в автоматическом режиме, расширения перекрываемого частотного диапазона, повышения точности и быстродействия в среде MATLAB была разработана и

исследована программная реализация метода синтеза [1, 3, 4]. В результате синтеза по новой программе были получены параметры цепи для различных порядков ν. Важно отметить, что результаты такого оказались синтеза инвариантны по отношению к конкретному диапазону частот $f_{\text{н}} \div f_{\text{в}}$ при его заданном перекрытии $k_{\text{d}} = f_{\text{в}} / f_{\text{н}}$.

Семейства их частотных характеристик для дробного показателя степени ν от 0,05 до 0,95 с шагом 0,05 при заданном коэффициенте перекрытия по частоте $k_d = 3$ (полоса частот от 10^4 до 10^7 Гц) приведены на рис. 1. Анализ результатов показал, что в пределах заданных частотных интервалов характеристики, во-первых, соответствуют должным соотношениям, и, во-вторых, максимальные отклонения этих характеристик от идеальных не превышают заданных, что и подтвердило корректность синтеза.



а) *б)*

Рис. 1. Семейство амплитудно-частотных (*а*) и фазо-частотных характеристик (*б*) импеданса фрактальных двухполюсников

Рассмотрен вопрос моделирования простейшей *RC*-линии с постоянной толщиной слоёв. Такая линия интересна тем, что её требуемая неоднородность может быть реализована за счёт продольного изменения её ширины. Однако при постоянстве толщины слоёв проявляется существенная ограничительная особенность такой линии. А именно, поскольку погонные значения сопротивления и ёмкости соответственно обратно и прямо пропорциональны ширине линии, погонное значение постоянной времени оказывается инвариантным ширине линии. Это значит, что один из параметров R_{k} или C_{k} перестаёт быть независимой вариационной величиной, и принципиальная возможность синтеза такой фрактальной *RC*-линии далеко не очевидна.

С учётом изложенного в среде MATLAB разработана программа поиска решения задачи синтеза [2] соответствующей цепной модели при условии $\varepsilon_{\text{k+1}} = \varepsilon_{\text{k}} = \varepsilon$. Были получены устойчивые результаты. При этом оказалось, что в пределах заданных частотных интервалов характеристики, во-первых, соответствуют заданным соотношениям, и, во-вторых, отклонения этих характеристик от идеальных не превышают заданных погрешностей $\delta_Z = 1\%$, $\delta_\varphi = 1^\circ$, что и подтвердило правильность результатов синтеза.

Как показал анализ полученных данных синтеза [2] характер неоднородности синтезированной цепи, т.е. зависимость ρ_k от номера звена *k*, имеет явно немонотонный характер: с увеличением номера звена *k* чётные ρ_k возрастают по сравнению с предыдущим звеном, а нечётные – уменьшаются. При этом характер неоднородности практически не зависит от перекрытия частот k_d. Разумеется, σ_{k} изменяются ровно наоборот, поскольку $\sigma_{\text{k}} = \varepsilon / \rho_{\text{k}}$.

Таким образом, дробный оператор практически с любым показателем принципиально может быть реализован простейшей одномерной трёхслойной структурой с постоянной толщиной слоёв – технологически простейшим способом воспроизведения закона неоднородности, который, однако, носит достаточно сложный немонотонный характер. И при этом весьма большой диапазон изменения значений сопротивления и емкости может ограничивать возможности практической реализации фрактальной структуры с постоянной толщиной слоёв.

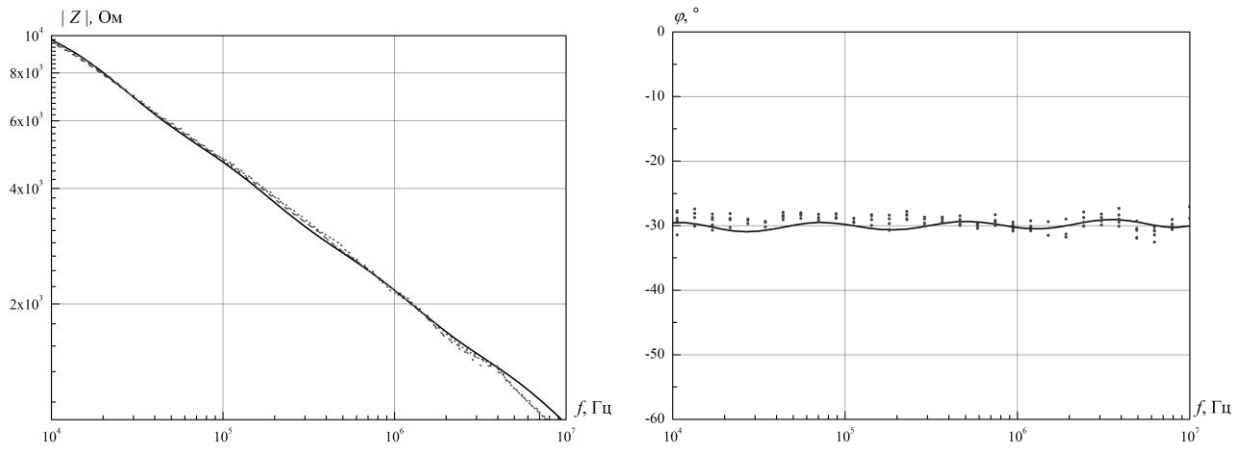
Значительно более простой и монотонный требуемый закон неоднородности может быть воспроизведён изменением толщины слоёв, что, однако, технологически существенно сложнее реализовать. Эта процедура может быть существенно упрощена путём замены на ступенчатое изменение толщины слоев.

При создании дробных операторов на основе дискретной многозвенной линии методика синтеза без условия неизменности постоянной времени имеет явное преимущество, поскольку линия реализуется значительно меньшим числом звеньев с монотонным и меньшим диапазоном изменений значений сопротивления и емкости.

2. Программно-аппаратная реализация дробно-операторных устройств

По полученным в результате математического моделирования (синтеза) параметрам модели была реализована электронная аналоговая модель дробно-операторного устройства и проведено ее экспериментальное исследование (модельный или натурный эксперимент) [5-7]. Для дробного показателя, равного 1/3, в частотном диапазоне от 10 кГц до 10 МГц значения среднеквадратического отклонения составили 3,2% и 1,6° для АЧХ и ФЧХ соответственно и числе звеньев $N = 5$ [8-10]. Важный результат проведенных исследований – это подтверждение возможности практической реализации заданной математической модели.

На рис. 2 приведены графики нескольких серий измерений частотных характеристик двухполюсника.



а) *б)*

Рис. 2. Синтезированная (сплошная линия) и экспериментальная (точки) АЧХ (*а*) и ФЧХ (*б*) двухполюсника при $\nu = 1/3$

Один из вариантов построения схемы измерителя АЧХ и ФЧХ на базе персонального компьютера (ПК) приведен на рис.3.

В персональном компьютере (ПК) с применением специального программного обеспечения в цифровом виде формируется тестовый гармонический сигнал, который после преобразования с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) в аналоговый и выполнения функции масштабирования (управляемый масштабирующий усилитель, МУ) поступает на вход исследуемого устройства (макет ДОУ). С выхода макета для работы по максимальной шкале измерения (для обеспечения максимальной точности) сигнал поступает на другой управляемый масштабирующий усилитель и с его выхода после преобразования в

цифровой код в аналого-цифровом преобразователе поступает в ПК для вычисления АЧХ и ФЧХ программным способом.

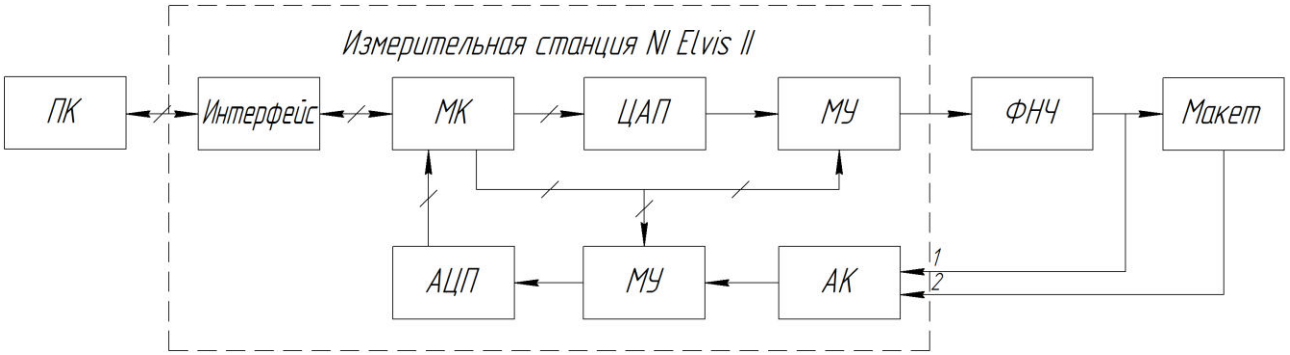


Рис. 3. Структурная схема стенда с использованием измерительной станции NI ELVIS

В качестве аналого-цифрового интерфейса связи персонального компьютера и макета использован NI ELVIS II, а в качестве специального программного обеспечения – программный продукт LabVIEW, с помощью которого реализованы необходимые виртуальные измерительные приборы.

В среде LabVIEW реализован виртуальный прибор (ВП), в котором задаются параметры тестового сигнала. Из ПК через интерфейс связи сформированный цифровой код тестового сигнала передается в микроконтроллер (МК), а затем с помощью ЦАП преобразуется в аналоговый эквивалент тестового сигнала. Перед подачей на макет ДОУ аналоговый сигнал масштабируется и фильтруется ФНЧ для ограничения спектра. Макет ДОУ собирается на макетной плате наборного поля самого же NI ELVIS II. С выхода макета сигнал поступает в измерительный канал. Здесь сигнал повторно проходит фильтрацию, масштабирование и преобразуется в цифровой код. Микроконтроллер обрабатывает цифровой код и передает его в ПК для дальнейшей обработки и визуализации результатов.

Для того чтобы исключить набег фазы тестового сигнала в канале его формирования (от персонального компьютера до макета), при вычислении АЧХ и ФЧХ оцифровывается сигнал, который подается непосредственно на первый вход аналогового коммутатора (АК) макета. На второй вход коммутатора подается выходной сигнал исследуемого дробно-операторного устройства.

Для генерации тестового сигнала существует готовая подпрограмма. Расчет АЧХ и ФЧХ выполняется в отдельных подпрограммах.

Разработанная автоматизированная система измерения характеристик имеет диапазон изменения частот от 10 Гц до 1 МГц, а диапазон изменения напряжения – от 0 до 10 В.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Вяселев М.Р.* Оптимальный синтез фрактальных многозвенных RC-двухполюсников / М.Р. Вяселев, А.В. Трибунских, М.В. Петровская, В.В. Петровский // Нелинейный мир. М.: Радиотехника, 2011. Т.9. № 8. – С.47-53.

2. *Петровская М.В.* Об электрической реализации дробных операторов на основе оптимального синтеза резистивно-емкостных двухполюсников / М.В. Петровская, М.Р. Вяселев, Э.Э. Нуруллин // Вестник КГТУ. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. №4, вып.1 (68). – С.105-112.

3. *Петровская М.В.* Оптимальный автоматический синтез дробно-операторного двухполюсника / М.В. Петровская, М.Р. Вяселев, В.В. Петровский // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2012613022 от 28.03.12.

4. *Петровский В.В.* Электрическая реализация $PI^{\lambda}D^{\delta}$-контроллеров на основе трехслойной фрактальной RC-структуры / В.В. Петровский, М.В. Петровская, Д.В. Шахтурин // Нелинейный мир. М.: Радиотехника. 2017. Т. 15. № 6. С. 69-75.

5. *Петровская М.В.* Аппаратная реализация операций дифференцирования и интегрирования нецелого порядка // Нелинейный мир. М.: Радиотехника. 2017. Т. 15. № 1. С.20-27.

6. *Петровская М.В.* Лабораторный стенд для исследования дробно-операторных устройств / М.В. Петровская, Д.Л. Аптинова // САПР и моделирование в современной электронике: IV Международная научно-практическая конференция, 22-23 октября 2020 г.: сб. науч. тр. – Брянск: БГТУ, 2020. – С.128-129.

7. *Петровская М.В.* Стенд для исследования устройств дробного дифференцирования и интегрирования // XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодёжная научная конференция, 10–11 ноября 2021 года: Материалы конференции. Сборник докладов. – В 6 т.; Т. 6. – Казань: Изд-во ИП Сагиева А.Р., 2021. – С.233-237.

8. *Петровская М.В.* Экспериментальное исследование дробно-операторных устройств на основе многозвенных RC-двухполюсников / М.В. Петровская, В.В. Петровский // Материалы XV Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» ПТиТТ-2014. Казань, 18-21 ноября 2014. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2014. – Т.2, С.261-263.

9. *Петровская М.В.* Проверка адекватности автоматического синтеза оптимальных дробно-операторных многозвенных RC-структур / М.В. Петровская, М.Р. Вяселев, В.В. Петровский // VIII Международная научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики (АНТЭ-2015)»: Материалы конференции. Сборник докладов. Казань, 19-21 октября 2015. Казань: Изд.-во «Бриг», 2015. – С.641-644.

10. *Петровская М.В.* Аналоговая и цифровая модели операций дифференцирования и интегрирования дробного порядка // Международная научная конференция «Нигматуллинские чтения – 2023»: сборник докладов, 9-12 октября 2023 г., Казань. – Казань: Изд-во АН РТ, 2023. – С. 63-72.

STUDY OF FRACTIONAL DIFFERENTIATION AND INTEGRATION DEVICES

Petrovskaya M.V.

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The paper considers the problem of synthesizing a multi-link line from the point of view of modeling the simplest distributed film RC structure based on a discrete model in the form of Cauer and Foster circuits of the first kind with a dimensionless input impedance determined by a continued fraction. The issues of implementing a stand for studying the amplitude-frequency and phase-frequency characteristics of fractional-operator devices are considered.

УДК 681.518

СОВРЕМЕННЫЙ МЕТОД БЕЗРАЗБОРНОЙ ДИАГНОСТИКИ СИСТЕМ И УЗЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Пикалева Е.В.

Научный руководитель: Халиуллин Ф.Х., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается систематизация методов безразборной диагностики двигателей внутреннего сгорания и их практическое применение для улучшения обслуживания и ремонта двигателей.

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) является одним из ключевых компонентов автомобильной техники, сельскохозяйственной и промышленной механизации. Важность его

безаварийной работы и долговечности обуславливает необходимость проведения регулярных диагностических мероприятий. Традиционные методы диагностики часто требуют разборки агрегата, что приводит к увеличению временных и финансовых затрат, а также к простоям техники. В связи с этим, безразборная диагностика ДВС становится всё более актуальной и востребованной.

Безразборная диагностика позволяет выявлять неисправности и оценивать текущее состояние двигателя без необходимости его демонтажа и разборки. Это значительно ускоряет процесс технического обслуживания и ремонта, снижает затраты и повышает надежность техники в эксплуатации. Современные технологии и методы позволяют проводить такие диагностики с высокой точностью и минимальными затратами.

Среди основных преимуществ безразборной диагностики можно выделить: снижение временных затрат (диагностика проводится оперативно без необходимости демонтажа и разборки агрегатов), уменьшение финансовых затрат (исключение необходимости замены рабочих жидкостей и уплотнений, что часто требуется при разборке), меньший риск повреждений (минимизация риска возникновения дополнительных повреждений при разборке и сборке агрегатов), точность и надежность(современные методы диагностики позволяют с высокой точностью определять состояние двигателей и других компонентов автомобиля) [1].

Существуют различные методы безразборной диагностики, каждый из которых имеет свои особенности и области применения. Основные безразборные методы:

1. Вибродиагностика (используется для оценки состояния подвижных узлов двигателя по параметрам вибрации (амплитуда, частота), позволяет выявить изношенность втулок, шестерен, а также дефекты балансировки);

2. Акустическая диагностика (методы анализа характерных шумов и звуков, производимых двигателем, для определения неисправностей (неправильной работы клапанов, поршня, коленчатого вала и т. д.), часто используются акустические сенсоры и стетоскопы);

3. Диагностика параметров работы двигателя (оценка давления, температуры, уровня компрессии, скорости вращения коленчатого вала и других рабочих параметров с помощью датчиков и приборов, позволяет выявить неисправности, связанные с недостаточной компрессией, повреждением клапанного механизма, нарушением впрыска топлива);

4. Анализ отработанных газов (измерение химического состава отработанных газов двигателя (CO, CO_2, HC, O_2), использование газоанализаторов для определения неисправностей в системе подачи топлива, зажигания);

5. Эндоскопия (процесс обследования внутренностей двигателя с помощью эндоскопа (оптического прибора со встроенной камерой), применяется для диагностики состояния цилиндров, поршней, головки блока цилиндров без разборки агрегата);

6. Термовизионная диагностика (используется для оценки температурных зон двигателя с помощью термографов, помогает обнаружить зоны перегрева, вызванные неисправной системой охлаждения или повреждениями компонентов ДВС);

7. Электронная диагностика (диагностика с использованием компьютерных сканеров, подключаемых к электронным блокам управления (ЭБУ) двигателя, позволяет считывать коды ошибок, анализировать параметры работы и выявлять неисправности в системах впрыска, зажигания или управления двигателем).

Сравнительная характеристика разборных и безразборных методов представлены в таблице 1:

Таблица 1

№	Критерий	Разборные методы	Безразборные
1	Трудоемкость	Высокая	Низкая
2	Стоимость	Высокая	Относительно низкая
3	Необходимость демонтажа	Обязательна	Отсутствует
4	Риск повреждения деталей	Высокий	Минимальный

5	Измерительная точность	Очень высокая	Достаточно высокая
6	Применение	Капитальный ремонт	Регулярное обслуживание

Классификация методов диагностики основывается на необходимости или отсутствии разборки диагностируемого агрегата. Разборные методы предоставляют детальную информацию о состоянии двигателя, но они неудобны для оперативного обслуживания. В современных условиях именно безразборная диагностика стала основным инструментом оценки работоспособности ДВС благодаря ее быстроте, доступности и надежности [2].

Безразборная диагностика направлена на решение следующих ключевых задач:

1. Выявление неисправностей и дефектов: определение наличия и характера неисправностей в двигателе и других системах автомобиля, таких как подвеска, система охлаждения, система впрыска топлива и т.д;

2. Оценка технического состояния: определение текущего состояния различных узлов и агрегатов двигателя, степени их износа и остаточного ресурса;

3. Профилактическая проверка: регулярное мониторинг и анализ состояния автомобиля для предотвращения появления серьезных поломок и аварийных ситуаций;

4. Определение причин неисправностей: проведение анализа данных для установления точных причин выявленных неисправностей, что позволяет более эффективно планировать ремонтные работы;

5. Анализ рабочих параметров: сравнение фактических рабочих параметров двигателя (давление в цилиндрах, температура, уровень выбросов и т.д.) с нормативными значениями, что позволяет оценить эффективность его работы;

6. Прогнозирование ремонта: на основе данных диагностики составление прогнозов по необходимости и срокам проведения ремонтно-восстановительных работ;

7. Оценка остаточного ресурса: прогнозирование остаточного ресурса отдельных компонентов и агрегатов автомобиля, что помогает в планировании технического обслуживания и замены деталей;

8. Калибровка и настройка систем управления: проверка и настройка электронных систем управления и датчиков, обеспечивающих оптимальную работу двигателя и других систем автомобиля.

Преимущества метода безразборной диагностики [3]:

1. Экономия времени: диагностика проводится быстро и не требует разборки автомобиля, что значительно сокращает время, необходимое для выявления и устранения неисправностей;

2. Снижение затрат: из-за отсутствия необходимости разбирать и собирать компоненты автомобиля, затраты на диагностику и последующий ремонт уменьшаются;

3. Минимизация риска повреждений: безразборная диагностика снижает риск случайного повреждения компонентов во время разборки и сборки автомобиля;

4. Точность и объективность: современные диагностические приборы и компьютерные программы позволяют более точно определять неисправности благодаря использованию датчиков и анализа данных;

5. Простота в использовании: большая часть оборудования для безразборной диагностики интуитивно понятна и не требует специальных знаний для использования.

Недостатки метода безразборной диагностики являются:

1. Ограниченные возможности: безразборная диагностика не может выявить все типы неисправностей, особенно те, которые требуют визуального осмотра или физического вмешательства;

2. Зависимость от оборудования: качество диагностики напрямую зависит от используемого оборудования, программного обеспечения и его актуальности;

3. Необходимость квалифицированного специалиста: для правильной интерпретации результатов диагностики и последующего ремонта требуется квалифицированный специалист;

4. Ограниченная область применения: не все неисправности могут быть определены без разборки, особенно в сложных узлах и агрегатах автомобиля.

Параметр диагностики двигателя должен отражать техническое состояние конкретного узла или системы двигателя, а также давать возможность выявить наличие и характер неисправности, а полученные значения должны быть точными и воспроизводимыми при повторных измерениях при одинаковых условиях [4]. Также параметр должен своевременно реагировать на изменения состояния двигателя, даже если эти изменения минимальны, и быть независимым от субъективных оценок оператора, исключая влияние «человеческого фактора». Возможность замера параметра должна быть реализована технически (как вручную, так и посредством датчиков и ЭБУ), без значительных вмешательств в конструкцию двигателя, после чего значения должны быть сопоставимы с нормативами и эталонными данными для данного двигателя. Процедура измерения не должна нести риска повреждения двигателя, оборудования или опасности для персонала, и должна проводиться быстро, чтобы минимизировать время диагностики. Важно, чтобы параметры отражали не только отдельные характеристики, но и влияние неисправности на работу двигателя в целом, и не искажались под влиянием внешних факторов (температура окружающей среды, влажность и т. д.).

В своей работе я рассматриваю метод диагностики, включающий оценку компрессии в цилиндрах, дымности отработавших газов, давления масла, потребления топлива, шумности работы двигателя, работы двигателя на холостом ходу, температурного режима двигателя, состояние КШМ и ГРМ, подачи воздуха. Для комплексной и объективной оценки технического состояния двигателя внутреннего сгорания (ДВС) используют ряд диагностических параметров. Каждый из них отражает состояние определённых узлов и систем двигателя, что позволяет грамотно выявлять неисправности, оценивать остаточный ресурс и своевременно проводить ремонтно-профилактические работы.

Компрессия — это давление, создаваемое в цилиндре при движении поршня вверх с закрытыми клапанами [5]. Она отражает герметичность цилиндропоршневой группы и состояния клапанов. Снижение компрессии указывает на износ поршневых колец, ЦПГ, прогар клапанов или их негерметичность, что приводит к потере мощности и увеличению расхода топлива.

Степень дымности (по визуальной шкале или с помощью дымомеров) характеризует полноту сгорания топлива. Повышенная дымность может свидетельствовать о неисправностях системы подачи топлива, неправильной регулировке зажигания, износе цилиндропоршневой группы, попадании масла в камеры сгорания.

Масляное давление отражает состояние системы смазки, износ масляного насоса и коренных/шатунных подшипников. Пониженное давление ведёт к ухудшению смазки деталей, ускоряет их износ и может привести к заклиниванию двигателя.

Расход топлива напрямую свидетельствует о рабочем состоянии топливной системы, исправности форсунок, регулирующих органов и общем износе двигателя. Рост расхода указывает на нарушение герметичности камеры сгорания, неправильное смесеобразование или неисправности системы зажигания.

Анализ уровня шума и наличия посторонних звуков (стуков, вибраций) позволяет диагностировать износ подшипников, шатунных и коренных вкладышей, поршневых пальцев, клапанов, цепи или ремня ГРМ.

Стабильность и равномерность работы на холостом ходу характеризует исправность систем зажигания, подачи топлива, впуска и выпуска, а также электронных управляющих систем. Неустойчивый холостой ход может указывать на проблемы с настройкой либо неисправности одного из цилиндров.

Контроль рабочей температуры двигателя необходим для предотвращения перегрева или, наоборот, недостаточного прогрева. Отклонения от нормы могут быть вызваны неисправностями системы охлаждения, термостата, забитым радиатором или неправильной работой насоса.

Диагностика коленчато-шатунного (КШМ) и газораспределительного (ГРМ) механизмов позволяет выявить износ или повреждение наиболее нагруженных частей двигателя, нарушения фаз газораспределения, растяжение цепи/ремня, биения и зазоры.

Обеспечение достаточного и равномерного поступления воздуха – залог эффективного сгорания топлива. Неисправности в системе подачи (засорённые фильтры, подсосы воздуха, неисправные датчики) приводят к обеднению или обогащению смеси, что негативно отражается на мощности и токсичности.

Все перечисленные диагностические параметры являются ключевыми для комплексной оценки работы ДВС, своевременного выявления неисправностей и предотвращения серьёзных поломок двигателя. Их регулярный контроль позволяет продлить срок службы двигателя и снизить эксплуатационные расходы.

На первом этапе проводится визуальный осмотр двигателя, который позволяет выявить возможные места утечек масла, топлива или охлаждающей жидкости. После этого производится проверка уровня охлаждающей жидкости и масла, чтобы убедиться в их достаточном количестве и исключить вероятность работы двигателя на сухую. Двигатель запускается и работает на холостых оборотах. В процессе оценивается стабильность оборотов, обращается внимание на наличие вибраций и посторонних звуков, которые могут указывать на неисправности. Для оценки состояния цилиндропоршневой группы с помощью компрессометра измеряется давление в каждом цилиндре. Полученные значения сравниваются с нормативами, установленными производителем двигателя. При работающем двигателе анализируется цвет и густота выхлопных газов. Синий дым свидетельствует о сгорании масла, черный — об избыточной подаче топлива, а белый может указывать на попадание охлаждающей жидкости в цилиндры. Используя манометр, производится замер давления масла на разных режимах работы двигателя. Отклонения от нормы могут свидетельствовать о возможном износе масляного насоса, вкладышей или о проблемах с масляными каналами. Проводится измерение расхода топлива на определённом промежутке времени или заданном расстоянии. Повышенный расход топлива может говорить о неисправностях системы впрыска топлива либо других компонентов двигателя. С помощью шумомера определяется интенсивность шума, производимого двигателем на холостых оборотах и под нагрузкой. Дополнительно фиксируются посторонние звуки, такие как стук, свист или скрежет, которые могут свидетельствовать о неисправностях. С помощью соответствующих датчиков контролируется температура двигателя при его работе в различных режимах. Чрезмерный нагрев указывает на недостаточное охлаждение и может являться следствием неисправности термостата или радиатора. Путём анализа вибраций, посторонних шумов и непрямых признаков, таких как давление масла и компрессия, делаются выводы о состоянии коленчатого и газораспределительного механизма без необходимости их разборки. Проводится обследование состояния воздушного фильтра, патрубков, дроссельных заслонок и датчиков. Засорённый фильтр либо неисправные датчики могут привести к неправильной работе двигателя. На последнем этапе составляется диагностический отчёт. В нём указываются выявленные отклонения, возможные причины неисправностей и рекомендации по их устранению.

Этот алгоритм (рисунок 1) позволяет получить объективную и полную картину технического состояния двигателя внутреннего сгорания без проведения его разборки, что значительно экономит время и ресурсы при обслуживании автомобиля.

В случае опубликования в научных изданиях, средствах массовой информации н размещения в информационно- телекоммуникационной сети Интернет статей и иных материалов о достигнутых в ходе выполнения Проекта промежуточных или итоговых результатов, а также в случае публичной демонстрации указанных результатов обязательно наличие указания (ссылки), что соответствующие результаты были получены в рамках реализации Программы развития Передовой инженерной школы «Комплексная авиационная инженерия» (Соглашение №075-15-2025-129).

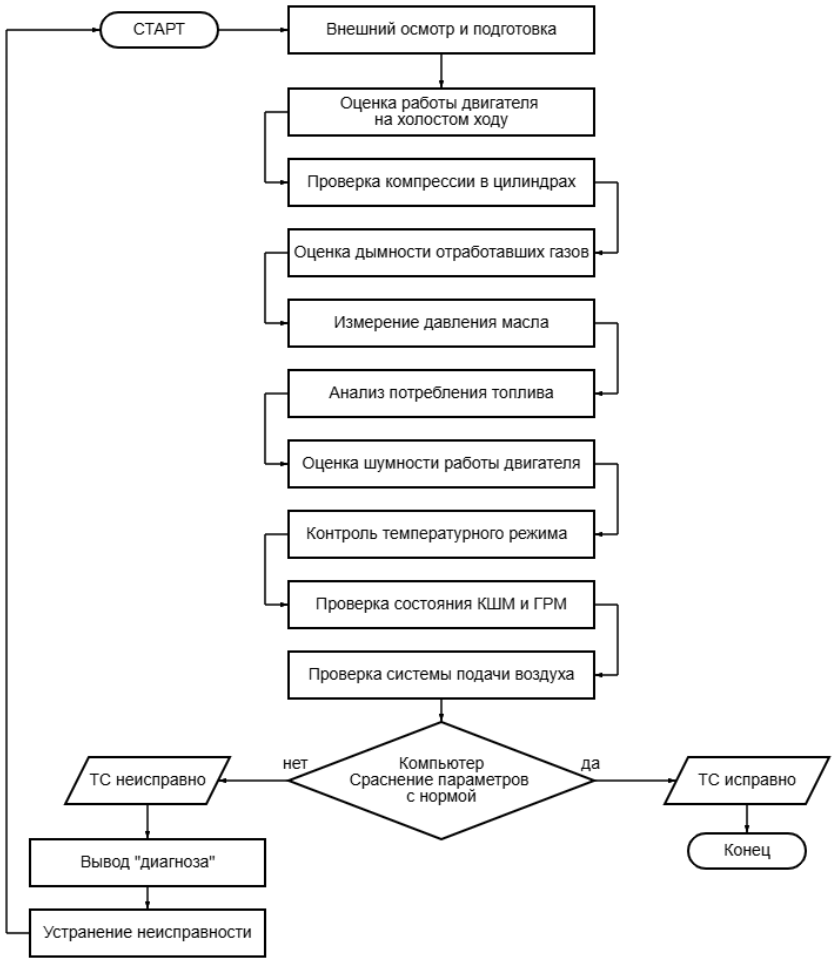


Рисунок 1. Алгоритм диагностики

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин: учеб. пособие / В.Н. Костюков, А.П. Науменко. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – 360 с.

2. *Карташевич А.Н., Сапьяник Г.Н., Скадорва А.Ф.* Техническое диагностирование машин: лекция. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2009. 32 с.

3. Диагностирование автомобилей. Практикум: учеб. пособие / А.Н. Карташевич [и др.]; под ред. А.Н. Карташевича. — Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2011. — 208 с.: ил. — (Высшее образование).

4. *Кузнецов А.С.* Техническое обслуживание и диагностика двигателя внутреннего сгорания: учебное пособие. 4-е изд. стер. –М.: Издательский центр «Академия», 2013. –80 с.

5. Техническая эксплуатация двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие / А.В. Александров, И.А. Долгов. – М.: МАДИ, 2019. – 120 с.

MODERN METHOD OF IN-PLACE DIAGNOSTICS OF SYSTEMS AND UNITS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Pikaleva E.V.

Supervisors: Khaliullin F.Kh., Associate Professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article considers the systematization of methods of in-place diagnostics of internal combustion engines and their practical application for improving the maintenance and repair of engines.

УДК 62-192, 681.2.083

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ФАЗОХРОНОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О РАБОТЕ ТРАНСМИССИИ

Позднякова Е.Д., Михайлова Е.В.

(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Москва)

Аннотация. В данной работе приведен анализ текущей ситуации в авиационной отрасли, в частности вертолетостроении, связанной с надежностью эксплуатации. Предложен принципиально новый подход к оценке текущего технического состояния агрегатов трансмиссии на основе фазохронометрического подхода. Дана оценка возможности его применения для повышения надежности эксплуатации высокотехнологичных объектов машиностроения.

Современная авиационная отрасль является ключевым фактором устойчивого экономического роста и национальной безопасности государства. Особое место среди её сегментов занимает вертолётостроение, которое обладает значительным потенциалом для технологического прорыва и обеспечения конкурентоспособности отечественной продукции на мировом рынке. Для реализации данного потенциала необходима комплексная стратегия научно-технического развития, направленная на повышение эффективности проектирования, производства и эксплуатации воздушных судов нового поколения. На сегодняшний день российское вертолётостроение характеризуется наличием значительных заделов и достижений, однако существует и ряд объективных проблем, препятствующих полному раскрытию инновационного потенциала. Так, например, наблюдаются технологические ограничения в области двигателестроения. Двигатели западных фирм демонстрируют значительно меньший удельный расход топлива и больший ресурс работы до капитального ремонта. Растет тенденция к электрификации в авиации. Среди мировых компаний ведутся разработки по созданию полностью электрических и гибридно-электрических двигателей с высокими энергетическими показателями, что также позволяет снижать расход топлива и выбросов в атмосферу.

Переход отечественной гражданской авиации на зарубежную авиатехнику, наблюдавшийся долгие годы, и в ряде случаев происходящий на безальтернативной основе [1], также затруднили развитие отрасли и негативно отразились на конкурентоспобности выпускаемой продукции на мировом рынке. Высокая стоимость комплектующих изделий, сохраняющаяся импортозависимость ряда ключевых компонентов и запчастей, создают дополнительные трудности.

Повышение экспортной привлекательности отечественной техники напрямую связано с надежностью эксплуатации, требования к которой только повышаются, а также эффективностью функционирования бортовых систем летательных аппаратов. Для качественного развития авиации требуется совершенствование методов мониторинга технического состояния вертолетов и их агрегатов. В силу того, что практически половина стоимости жизненного цикла воздушного судна приходится на этап его эксплуатации, переход на систему эксплуатации по техническому состоянию позволяет снизить затраты на техническое обслуживание и ремонт при эксплуатации воздушных судов при возможности своевременного выявления и устранения отказов и повреждений, при этом обеспечивая контроль заданного уровня надежности.

Системы непрерывного мониторинга технического состояния вертолета работают в реальном времени, используя показания множества датчиков и сигналы от бортовых устройств. Они обеспечивают обнаружение и диагностику потенциальных отказов в узлах и агрегатах, определяют балансировку винтов, соконусность лопастей несущего винта, состояние планера и других критических элементов конструкции.

Бортовая система диагностики совместно с наземными комплексами и

централизованными базами данных предоставляют инженерам необходимую информацию о функционировании важнейших частей вертолета, таких как силовые установки, элементы несущей системы и трансмиссия. Контроль текущих показателей эксплуатации и остаточного ресурса помогает грамотно организовать сроки очередного технического обслуживания машины [2].

Существующие системы контроля и диагностики технического состояния элементов конструкции летательных аппаратов отличаются различным уровнем точности, стабильности и помехозащищенности, так как строятся на различных физических принципах. Наиболее распространенными и часто используемыми являются вибрационная диагностика, системы оценки напряженно-деформируемого состояния узлов и агрегатов, температурные методы контроля, трибодиагностика.

В вопросах повышения точности и достоверности получаемых результатов измерений существующих систем диагностики важно учитывать особенности применяемых методов. Чаще всего их улучшение связано с совершенствованием математического аппарата получения и обработки данных. Однако из работ [3-6] известен принципиально отличный от привычных методов диагностики подход к получению измерительной информации, фазохронометрический метод, напрямую связанный с конструкцией циклических машин за счет привязки к механической фазе цикла. В основе данного метода лежит регистрация приращений интервалов времени, соответствующих фазам рабочего цикла циклического механизма. Такой подход позволяет получать качественно новую первичную информацию об особенностях работы агрегатов и дает возможность диагностировать отдельные узлы таких сложных элементов конструкций, в том числе вертолетов, как трансмиссии, редуктор, подшипники.

Основной проблемой получения достоверной информации об устройствах циклического действия является определение стабильных, четко узнаваемых характеристик (диагностических признаков), позволяющих проводить оценку технического состояния трансмиссии на этапе эксплуатации. Данные диагностические признаки должны позволять фиксировать как достаточно медленно протекающие процессы (процессы деградации), так и очень быстро (такие, как процессы разрушения), а, соответственно, и обнаруживать изменения стандартного состояния системы и отдельных элементов конструкции на ранних этапах [7].

Для реализации фазохронометрического подхода необходимо обеспечить привязку механической фазы вращения элемента конструкции к оптической системе, за счет которой будут формироваться фазы. В качестве практической реализации может быть использована система излучатель-приемник и размещенный между ними диск с геометрически точными пазами (точность изготовления $\pm 10''$). Схема установки комплекта датчиков на редукторе трансмиссии для реализации фазохронометрической системы приведена на рисунке 1.

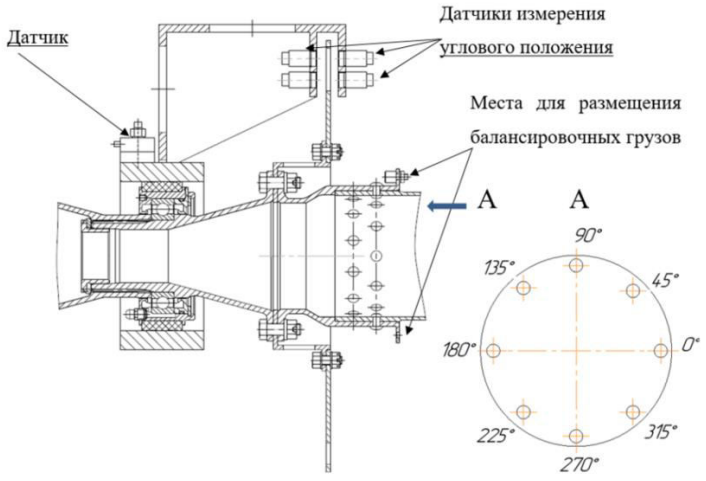
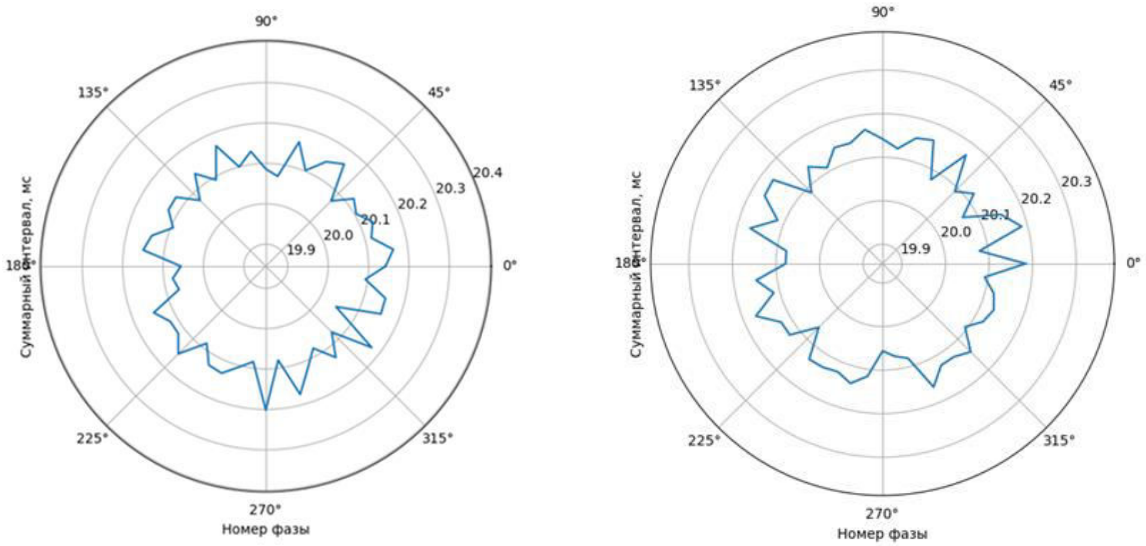


Рисунок 1. Установка комплекта датчиков для фазохронометрической системы

Для реализации любой измерительной системы необходимо определить набор проявляемых диагностических признаков, однозначно узнаваемых в различные интервалы времени в процессе эксплуатации. На рисунке 2 приведены некоторые круговые хронограммы вращения трансмиссии вертолета в различных временных интервалах. На рисунках 3, 4 приведены частотные спектры крутильных колебаний для каждой из хронограмм вращения.



а) б)

Рисунок 2. Круговые хронограммы вращения, а) пуск 17.09.2023 б) пуск 10.10.2024

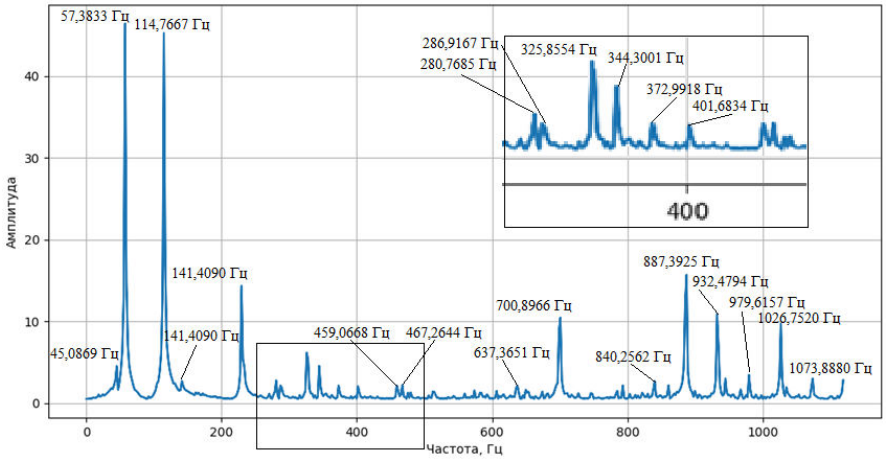


Рисунок 3. Спектр крутильных колебаний, пуск 17.09.2023

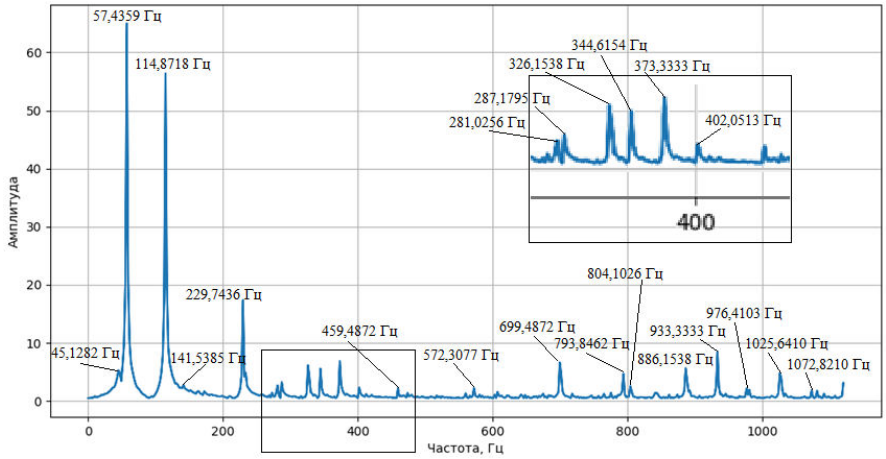


Рисунок 4. Спектр крутильных колебаний, пуск 10.10.2024

Данные спектры содержат информацию о собственных частотах работы механизма, частотах перекатывания тел качения в подшипниках, частотах зубчатого зацепления согласно кинематической схеме исследуемого редуктора. Так, по результатам проведенной серии экспериментов, можно отметить, что собственные частоты остаются качественно неизменными на протяжении времени эксплуатации механизма, при этом происходит их количественное изменение, что позволяет производить их сравнение в различные промежутки времени и говорить о возникших изменениях, зарождающихся и прогрессирующих дефектах.

Такой подход, благодаря точности получаемой измерительной информации, позволяющей видеть изменения в состоянии механизма даже в случае медленно протекающих процессов износа, может быть использован на различных этапах жизненного цикла высокотехнологичных объектов машиностроения при установлении технологической наследственности [8-10]. Схема накопления технологической наследственности приведена на рисунке 5.

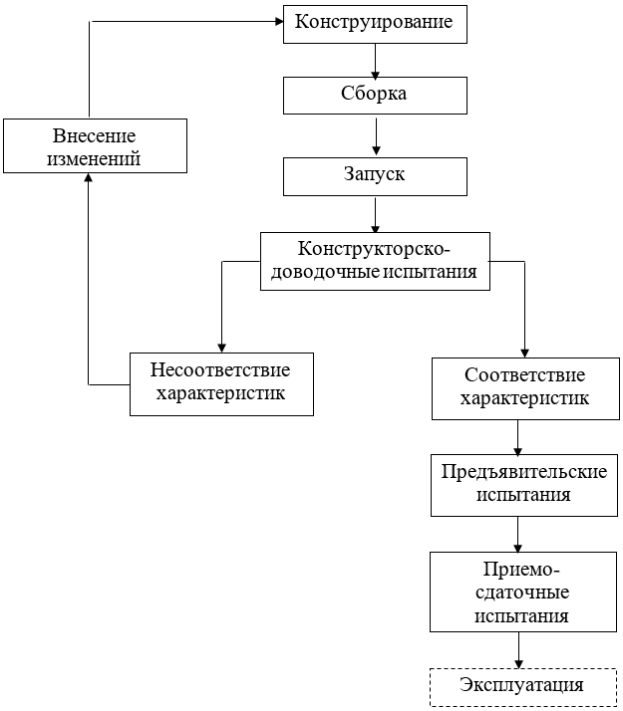


Рисунок 5. Схема накопления технологической наследственности на этапе производства

Для принятия быстрых и надежных управленческих решений, включая меры аварийной защиты, возникает необходимость разработки таких подходов, которые способны обеспечить получение объективной первичной информации исходя непосредственно из результатов измерений и их обработки. Результаты теоретических и практических исследований показали, что одним из таких подходов может являться фазохронометрический метод. Применение данного метода на конкретных агрегатах подтвердило, что, как отдельно, так и в сочетании с традиционными подходами, он способен давать качественно новую информацию о работе циклических машин и механизмов, обеспечивая детальные данные, необходимые для обнаружения зарождающихся дефектов, оценки износа и регистрации быстропротекающих процессов, что, в свою очередь, позволяет перейти на новый уровень оценки текущего технического состояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Соболев Л.Б.* Конкуренция и сотрудничество в мировом авиадвигателестроении // Экономический анализ: теория и практика. 2015.№47. С. 2-9.

2. *Андреев Д.В*. Методика проектирования отечественных транспортных вертолетов с учетом стоимости жизненного цикла и обеспечения безопасности полета: дис. … канд. техн. наук: 05.07.02. – МАИ, Москва, 2019 – 153 с.

3. *Пронякин В.И.* Испытания и вопросы получения информации о функционировании циклических механизмов // Материалы III отраслевой конференции по измерительной технике и метрологии для исследований летательных аппаратов, КИМИЛА. 2018. С. 471-475.

4. *Киселёв М.И.* [и др.] Многофакторное информационно-метрологическое сопровождение эксплуатации гидроагрегатов на базе фазохронометрического метода // Гидротехническое строительство. 2015. №4. С. 2-8.

5. *Киселёв М.И*. [и др.] Мониторинг технических и природных объектов: инженерное и метрологическое обеспечение // Мир измерений. 2014. №8. С.49-56.

6. *Киселев М.И.* Особенности информационного обеспечения жизненного цикла объектов машиностроения в связи с ужесточением требований к их качеству // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2014. №6. С. 2-9.

7. *Позднякова Е.Д*. Разработка измерительной фазохронометрической технологии сопровождения жизненного цикла трансмиссии летательного аппарата: дис. … канд. техн. наук: 2.2.10. – МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 2024 – 150 с.

8. Технологические процессы в машиностроении. Назначение режимов резания и нормирование операций механической обработки заготовок в машиностроении / Ю.М. Зубарев [и др.]. Спб.: Лань, 2022. 248 с.

9. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве / А.М. Дальский [и др.]. М.: МАИ, 2000. 360 с.

10. *Матвеевский С.Ф.* Основы системного проектирования комплексов летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1987. 240 с.

PRACTICAL APPLICATION OF THE PHASE CHRONOMETRIC METHOD FOR OBTAINING INFORMATION ABOUT TRANSMISSION OPERATION

Pozdnyakova E.D., Mikhailova E.V.

(Bauman Moscow State Technical University, Moscow)

Abstract. This paper provides an analysis of the current situation in the aviation industry, in particular the helicopter industry, related to operational reliability. A fundamentally new approach to assessing the current technical condition of transmission units based on the phase chronometric approach is proposed. The assessment of the possibility of its application to increase the reliability of operation of high-tech engineering facilities is given.

УДК 621.354

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРНЫХ СБОРОК С ГАЛЬВАНИЧЕСКИ РАЗВЯЗАННОЙ ЗАРЯДКОЙ КАЖДОЙ ЯЧЕЙКИ

Поливцев А.Д.

Научный руководитель: Егоров В.В., старший преподаватель

(Московский авиационный институт, г. Москва)

Аннотация. В ходе работы было разработано устройство для независимого заряда трёх LiIon аккумуляторов соединённых последовательно. Оно имеет большую эффективность в сравнении с существующими решениями, а также большой процент российских комплектующих.

В большинстве современных устройств используются LiIon аккумуляторы [1], имеется тенденция на увеличение их ёмкости, что с одной стороны увеличивает удобство использования приборов, но с другой повышает опасность в случае некорректной работы

аккумулятора. Так как горение LiIon аккумуляторов не поддаётся тушению в домашних условиях, то для безопасной их эксплуатации в различных приборах, разрабатываются специальные системы защиты, следящие за состоянием аккумуляторов. Эти платы защиты называются BMS (battery management system – плата управления аккумулятором). Они защищают аккумулятор от перезаряда и переразряда, что продлевает срок службы аккумуляторов и защищают от возгорания, вызываемого перезарядом, также в некоторые BMS встроены датчики тока и температуры, что делает эксплуатацию аккумуляторов безопаснее.

Одной из главных проблем BMS на данный момент является балансировка ячеек. Она возникает при последовательном соединении. При заряде последовательной сборки аккумуляторов, например, 3S, заряд аккумуляторов будут неравномерным и какой-то из них зарядится раньше других, что создаст вероятность перезаряда данного аккумулятора. В целях недопущения перезаряда были созданы различные системы балансировки аккумуляторов. Основные виды систем балансировки это резистивная, индуктивная и ёмкостная. Индуктивная и ёмкостная не подходят для систем с потребляемым током более 1S, потому рассмотрим только резистивную. Она является самой простой из предложенных. Параллельно аккумулятору ставится резистор, который включается в схему по завершении зарядки аккумулятора. После подключения резистора, ток зарядки перенаправляется из аккумулятора в резистор, что позволяет продолжать зарядку без вероятности перезаряда, но создаёт потери энергии на резисторе в виде тепла. Наша схема лишена данного минуса.

В нашей схеме (рис 1) балансировка ячеек производится также только во время заряда, при этом, каждая ячейка заряжается независимо от других, т.е. отключение заряда любой из ячеек не влияет на зарядку остальных. Достигается это за счёт образования трёх вторичных источников питания напряжением в 5В. Заряд каждого из аккумуляторов производится от своего источника, что исключает их влияние друг на друга. Также стоит отметить, что схема предполагает заряд от постоянного тока напряжением 40 вольт. При этом можно использовать обычный источник вторичного электропитания [1, 2] из которого убраны выпрямитель и стабилизация напряжения на входе.

Вторичный источник питания можно построить на отечественной микросхеме К1156ЕУ4Т [3], которая является аналогом зарубежной UC3875 [4], за счёт трансформатора с 5 обмотками (первичной, 3-мя вторичными и 1 измерительной, требуемой К1156ЕУ4). Так микросхема будет управлять сразу тремя источниками питания, но её обвязка громоздка [3,4], поэтому было решено сделать систему заряда, где не требуется высокая стабильность напряжения вторичного источника питания, а контроль заряда осуществляется датчиком тока.

Рис 1. Устройство контроля заряда аккумуляторных сборок
с гальванически развязанной зарядкой каждой ячейки блоксхема

Вторичный источник питания можно построить на отечественной микросхеме К1156ЕУ4Т [3], которая является аналогом зарубежной UC3875 [4], за счёт трансформатора с 5 обмотками (первичной, 3-мя вторичными и 1 измерительной, требуемой К1156ЕУ4). Так микросхема будет управлять сразу тремя источниками питания, но её обвязка громоздка [3,4], поэтому было решено сделать систему заряда, где не требуется высокая стабильность напряжения вторичного источника питания, а контроль заряда осуществляется датчиком тока.

Управление зарядом было решено осуществлять отечественным микроконтроллером К1946ВМ014. Система имеет ограничение в количестве аккумуляторов, что связано с ограниченным числом АЦП в микроконтроллере (3). Система заряда изображена на рис. 2.

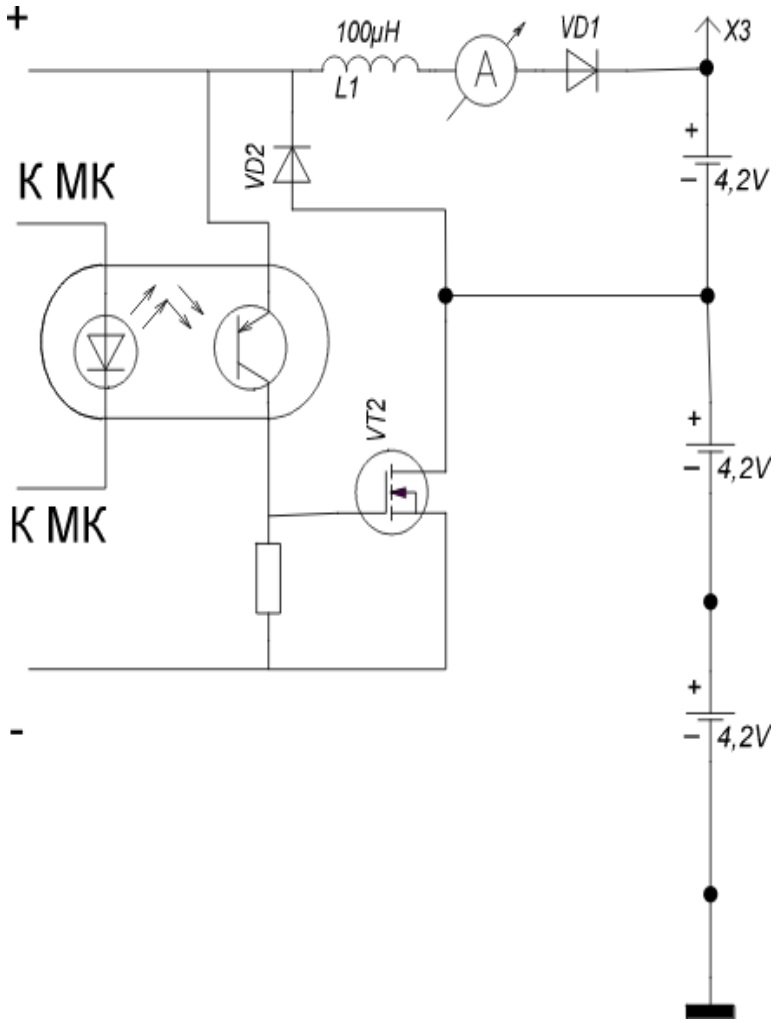


Рис. 2. Принцип работы зарядки аккумулятора.

Данная система зарядки гальванически развязана с микроконтроллером. Благодаря датчику тока мы можем контролировать ток заряда аккумулятора и с помощью микроконтроллера вовремя отключать подачу тока, что приводит к заряду аккумулятора пилообразными импульсами тока. Данная система зарядки, как и было сказано ранее не требует большой стабильности напряжения на входе, позволяя при этом безопасно осуществлять заряд аккумулятора.

Для образования вторичного источника питания был использован полумостовой драйвер для полевых транзисторов, что удешевляет прибор и упрощает его схемотехнику.

Для контроля заряда аккумулятора используется резистивный делитель и входы АЦП микроконтроллера. Делитель напряжения представлен на рисунке 3:

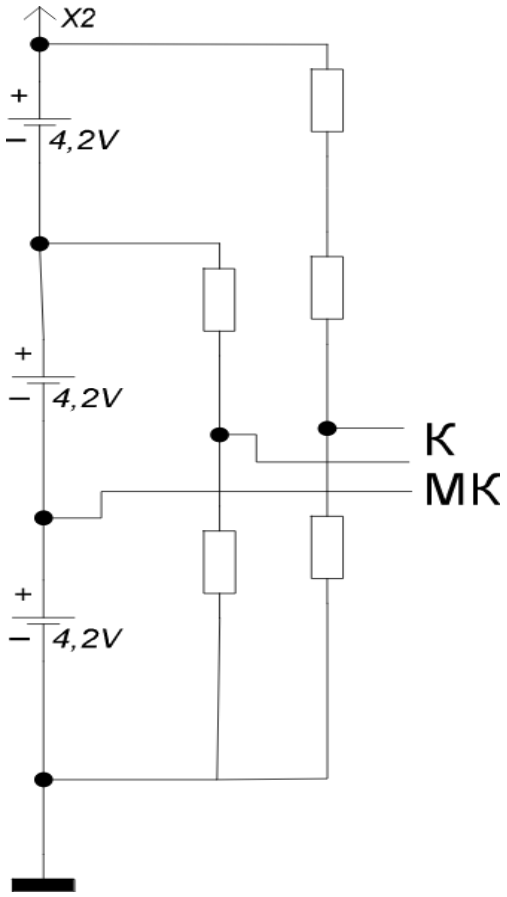


Рис. 3. Делитель напряжения.

Разработанная нами схема имеет высокий процент импортозамещения, а также выигрывает по ряду параметров аналогичные решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Самойлов А.Г. Самойлов С.А*. Устройства электропитания. Учебное пособие. – Владимир. Владимирский государственнй университет им. А.Г и Н.Г. Столетовых (ВлГУ), 2021. – 160 с. – ISBN 978-5-9984-1183-0.

2. *Битюков В.К. Симачков Д.С. Бабенко В.П.* Источники вторичного электропитния Учебник. – 4 изд. – Москва; Вологда; ИнфраИнженерия, 2020 – 376 с. – ISBN 978-5-9729-0471-6.

3. Контроллер с фазовой модуляцией для импульсных источников питания К1156ЕУ4Т [Электрон.русурс] // группа Крумний Эл: [сайт] – URL: https://group-kremny.ru/catalog/integralnye-skhemy/impulsnye-istochniki-pitaniya/k1156eu4t/?ysclid=mesjlhj779215348697 (дата обращения 18.08.2025).

4. Phase Shift Resonant Controller [Электрон.русурс] // ChipDip: [сайт] – URL: https://static.chipdip.ru/lib/249/DOC000249818.pdf (дата обращения 18.08.2025).

BATTERY ASSEMBLY CHARGE MONITORING DEVICE WITH GALVANICALLY ISOLATED CHARGING OF EACH CELL

Polivcev A.D.

Supervisors: Egorov V.V., Senior Lecturer

(Moscow Aviation Institute, Moscow)

Abstract. In the course of the work, a device was developed for the independent charging of three LiIon batteries connected in series. It has great efficiency in comparison with existing solutions, as well as a large percentage of Russian components.

УДК 681.5

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЛИТИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Тогузова Л.С.
Научный руководитель: Денисов Е.С. доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Разработаны структурная и функциональная схемы автоматизированной системы мониторинга электрических режимов (ток, напряжение, температура) и процессов деградации электрохимических источников тока. Система интегрирует блок датчиков (тока, напряжения, температуры), микропроцессорную систему (МПС) для обработки данных, блок перезарядки с контролем параметров, а также подсистему хранения с дублированием (ПЗУ и беспроводная передача на сервер). Предложены два варианта реализации измерительных блоков: базовый и усовершенствованный (с активным шумоподавлением и встроенным АЦП), обеспечивающий повышенную точность.

Контроль и диагностика технического состояния литиевых аккумуляторов являются важной задачей для обеспечения корректности их режимов работы и предотвращения ускоренной деградации [1-3]. Кроме того, для разработки подобных систем требуется накопление экспериментальных данных о различных режимах работы и соответствующих им электрических и температурных режимов работы. Целью данной работы является разработка структурной и функциональной схемы, которая будет интегрировать в себя все необходимые подсистемы для обеспечения измерения электрического тока, напряжения и температуры.

Система должна выполнять следующие основные функции: проводить постоянный мониторинг тока и напряжения на ячейке литиевого аккумулятора, регулярно проводить измерения температуры аккумулятора для отслеживания температурных режимов работы, обеспечивать обработку данных и возможностью поиска аномального поведения, передачу данных на удаленный сервер. Кроме того, удаленный сервер должен позволять проводить оценку заряда накопленного аккумулятором и отданного в нагрузку и обеспечивать проведение мониторинга процессов деградации с привязкой к каждому конкретному аккумулятору.

Предполагаемая автоматизированная система мониторинга электрических режимов работы электрохимических источников тока и процессов их деградации работает по следующему принципу: выходные сигналы датчики тока, напряжения и температуры передают сигналы централизованному контролеру.

Обобщенная структурная схема автоматизированной системы мониторинга электрических режимов работы электрохимических источников тока и процессов их деградации изображена на рис. 1.

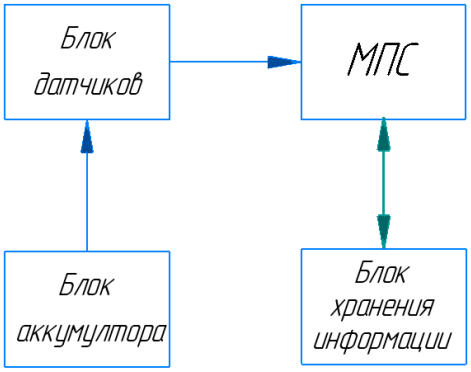


Рис. 1. Обобщенная структурная схема системы мониторинга литиевых аккумуляторов

Блок датчиков состоит из датчика температуры, датчика тока и датчика напряжения. Данный блок автоматически измеряет основные показатели электрохимического источника тока, которые требуются для дальнейшего исследования состояния аккумулятора.

Блок датчиков передаёт все данные в микропроцессорную систему (МПС), где происходит расчёт всех показателей и отправка, и сохранение данных для провидения исследования деградации электрохимических источников тока. При измерениях учитываются изменение температуры электрохимического источника тока, выдаваемое напряжение и электрический ток.

Блок хранения информации представляет собой, часть схемы для сохранения и визуализации данных. Данный блок состоит из интерфейса беспроводной связи, для удаленного просмотра собранный данных для анализа состояния литий-ионного аккумулятора. Также дополнением к этому блоку является постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), для экстренного сохранения при сбоях доступа к интернет-сети.

Рассмотрим подробную структурную схему системы (рис. 2). Основной исследуемый объект является блок с аккумуляторами, для реализации полноценного анализа требуется перезарядка данного блока для подсадки в данном случая для практичности используется встроенное зарядное устройство.

Для проведения анализа деградации и состояния электрохимического источника тока требуется измерение электрического тока, напряжения и температуры исследуемого объекта. После установленных датчиков измерения данные проходят через универсальный измерительный преобразователь для обеспечения совместимости передаваемых измерений. После преобразования данные переходят в аналоговый коммутатор для связи системы блоков измерения с аналогово-цифровым преобразователем, откуда данные передаются в микропроцессорную систему для реализации расчётов и передачи измеряемых данных и итоговых значений в заложенную постоянное запоминающее устройство, а также передачи на электронный сервер.

Микропроцессорная система рассчитывает дополнительные исследуемые показания на основе измерительной части системы и фильтрует полученные данные для точного анализа электрохимического источника питания. Итоговую структурную схему можно увидеть на рис. 2.

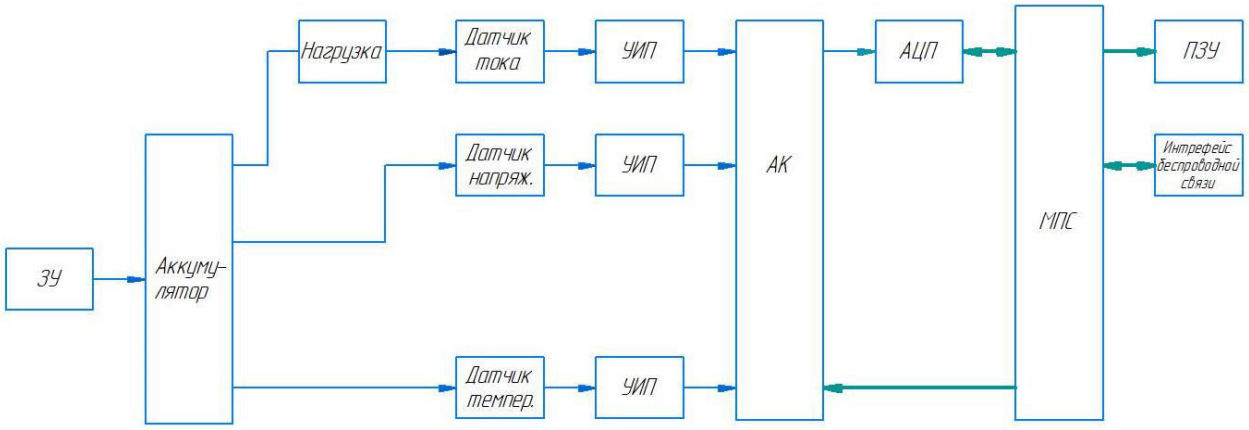


Рис. 2. Структурная схема системы мониторинга литиевых аккумуляторов: ЗУ – зарядное устройство, УИП – унифицирующий преобразователь, АК – аналоговый коммутатор, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, МПС – микропроцессорная система, ПЗУ – постоянное запоминающее устройство

Для измерения температуры электрохимического источника тока используется датчик на основе термопар. При обработке данных производится сигнализация при ее выходе за допустимые границы.

Функциональная схема предложенной системы представлена на рис. 3. Система позволяет управлять зарядом аккумулятора и осуществлять мониторинг тока, напряжения и

температуры. Используемый беспроводной модуль WiFi обеспечивает подключение к сети передачи данных и отправку измерительных сигналов на удаленный сервер. При отсутствии подключения к седи данные должны сохраняться во встроенной памяти с последующей передаче после восстановления связи.

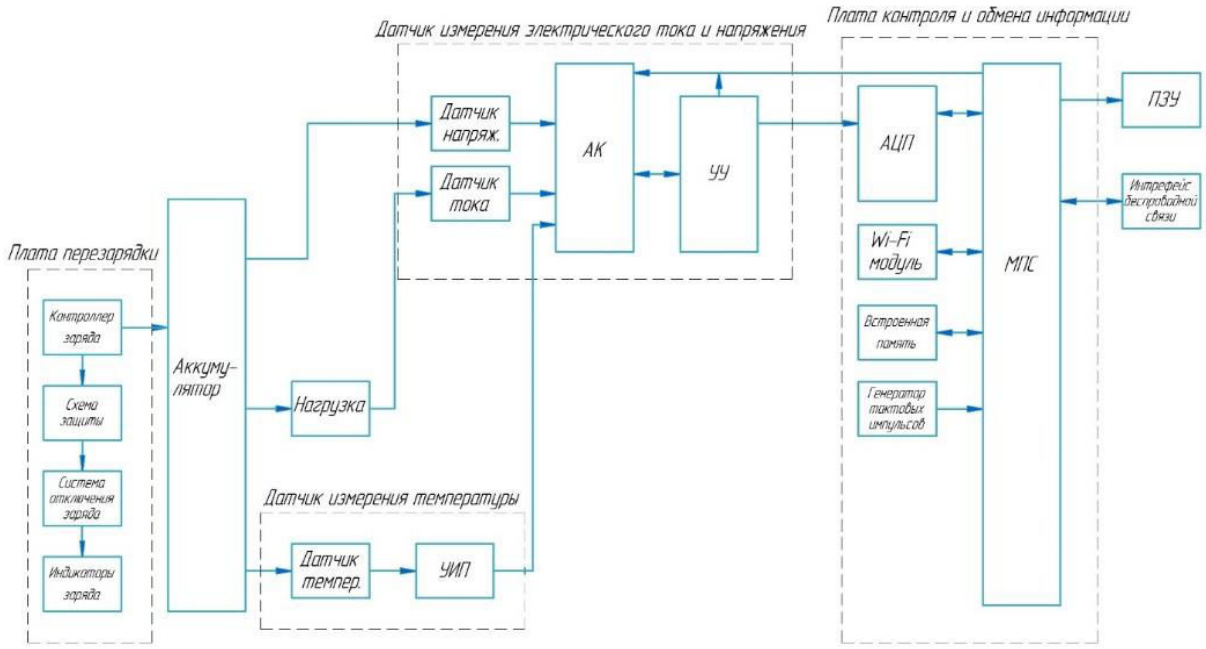


Рис. 3. Функциональная схема системы мониторинга литиевых аккумуляторов:
УИП – унифицирующий измерительный преобразователь, АК – аналоговый коммутатор,
АЦП – аналого-цифровой преобразователь, МПС – микропроцессорная система,
ПЗУ –постоянное запоминающее устройство, УУ – управляемый усилитель

Преимуществом предложенного решения состоит в том, что разделены АЦП каналов измерения электрических и температурных режимов работы, поскольку они требуют различной частоты регистрации данных.

Для обработки поступающих данных и управления работой всего устройства используется микропроцессорная система, которая совместно обрабатывает сигналы датчика тока, напряжения и датчика температуры. Обработанные данные через модуль Wi-Fi отправляются на удаленный сервер по беспроводной сети.

Для улучшения эксплуатационных характеристик разрабатываемой системы была добавлено постоянное запоминающее устройство, позволяющее записывать эксплуатационных характеристики и настройки режимов работы устройства.

Разработанная система позволяет осуществлять непрерывный мониторинг ключевых параметров ЭИСТ, проводить анализ их состояния и процессов деградации в реальном времени, что необходимо для прогнозирования остаточного ресурса, диагностики неисправностей и повышения безопасности эксплуатации аккумуляторных батарей. Оптимизированная схема рекомендована к реализации как обеспечивающая наилучшие метрологические характеристики.

В рамках дальнейших работ предполагается использовать облачную платформу ООО «Аплико» для организации обработки данных и визуализации результатов. При этом на эту платформу предполагается возложить реализацию алгоритмов обнаружения аномального поведения системы и анализа процессов накопления и отдачи заряда в процессах заряда-разряда. Для практического применения автономность разрабатываемой системы должна составлять не менее 10 часов.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А.Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Lithium Battery Transient Response as a Diagnostic Tool / E. Denisov, R. Nigmatullin, Y. Evdokimov, G. Timergalina // Journal of Electronic Materials. – 2018. – Vol. 47, No. 8. – P. 4493-4501. – DOI 10.1007/s11664-018-6346-y. – EDN KNMFPB.

2. *Никишина Г.В.* Диагностика электрохимических источников тока на основе анализа переходных процессов, вызванных изменениями нагрузки / Г.В. Никишина, Е.С. Денисов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2021. – Т. 77, № 2. – С. 74-81. – EDN IIKQQM.

3. Особенности реализации метода контроля технического состояния литиевых источников тока на основе анализа релаксационных процессов, вызванных изменением нагрузки / Е.С. Денисов, Г.В. Никишина, Р.Р. Енилиев, Т.П. Никишин // Контроль. Диагностика. – 2023. – Т. 26, № 7(301). – С. 36-43. – EDN FFYWGC.

AUTOMATED LITHIUM BATTERY MONITORING SYSTEM

Toguzova L.S.

Supervisor: Denisov E.S. Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research University A.N. Tupolev Technical University-KAI, Kazan)

Abstract. The structural and functional circuits of an automated monitoring system for electrical modes (current, voltage, temperature) and degradation processes of electrochemical current sources have been developed. The system integrates a block of sensors (current, voltage, temperature), a microprocessor system (MPS) for data processing, a recharge unit with parameter control, as well as a redundant storage subsystem (ROM and wireless transmission to the server). Two implementation options for measuring units are proposed: basic and advanced (with active noise reduction and integrated ADC), providing increased accuracy.

УДК 681.518.5

АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ НАЧАЛА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ЗАДАЧАХ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Хабибуллин Р.Р.

Научный руководитель: Денисов Е.С., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе решается задача автоматического определения начала переходного процессов для использования в системах релаксационной диагностики электрохимических источников энергии. Алгоритм позволяет обнаруживать начало переходного процесса, а также оценивать его постоянную времени и амплитуду. Предложенный алгоритм реализован на языке программирования Python с использованием библиотеки Numpy. Разработанные программные средства адаптированы для реализации на базе микропроцессорных систем типа Raspberry Pi.

В последнее время активно начинают развиваться методы контроля и диагностики электрохимических источников тока на основе анализа широкополосных релаксационных процессов [1-3]. Среди этих методов наибольший интерес представляют методы, использующие скачок нагрузки для формирования релаксационного отклика, поскольку они имеют потенциал для разработки эффективных методов контроля использующие изменения

нагрузки в процессе естественного функционирования электрохимических источников тока. Одной из задач, которые требуется решить для создания подобных систем диагностики, является задача обнаружения момента начала релаксационного отклика. Решению этой актуальной задачи на базе микропроцессорной системы Raspberry Pi посвящена настоящая работа.

Примерная структура автоматизированной системы, позволяющей решать задачу аппаратной реализации релаксационного контроля, может быть реализована на базе аналого-цифрового преобразователя (АЦП) с защитой входных цепей и микропроцессорной системой Raspberry Pi (рис. 1). Такая система должна быть оснащена дополнительной памятью и средствами передачи данных.

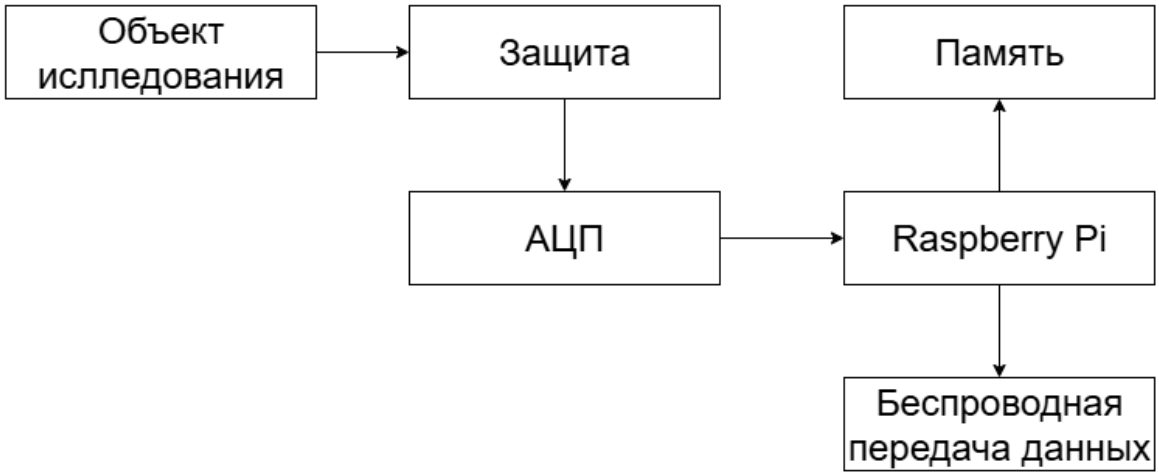


Рис. 1. Примерная структура измерительной системы для реализации релаксационной диагностики электрохимических источников тока

Для отладки алгоритм поиска момента начала релаксационного процесса написан на языке Python. Предложенный алгоритм считывает данные из CSV файла, в котором данные записаны в виде отсчетов напряжения выходного сигнала и соответствующих им моментов времени. После ввода данных формируются два вектора содержащие отдельно время измерения и отдельно напряжения выходного сигнала.

Мы находим производную сигнала напряжения с помощью библиотеки Numpy и инструмента numpy.gradient. При вычислении производной использовалось стандартное приближение:

$$f_i^{(1)} = \frac{f(x_i + 1) - f(x_i)}{2 * h}$$

Дальше находим максимальную величину производной и умножаем его коэффициент 0.1. Получившиеся значение будет является пороговым для нахождения начала переходного процесса. Дальше используя numpy.where находим все индексы элементов, которые больше самого большой разницы, умноженной на коэффициент.

Берем из этого массива самые первый элемент, который и будет являться индексом элемента из вектора времени, который указывает на начало переходного процесса. Дальше с помощью библиотеки Matplotlib и его инструмента pyplot строем график переходного процесса и с помощью вертикальной линии, указываем на точку начала переходного процесса.

На рис. 2 и 3 изображены результаты работы предложенной программы график переходного процесса и вертикальная линия, указывающая точку начала переходного процесса. Найденное время начала переходного процесса составило 8.71786с.

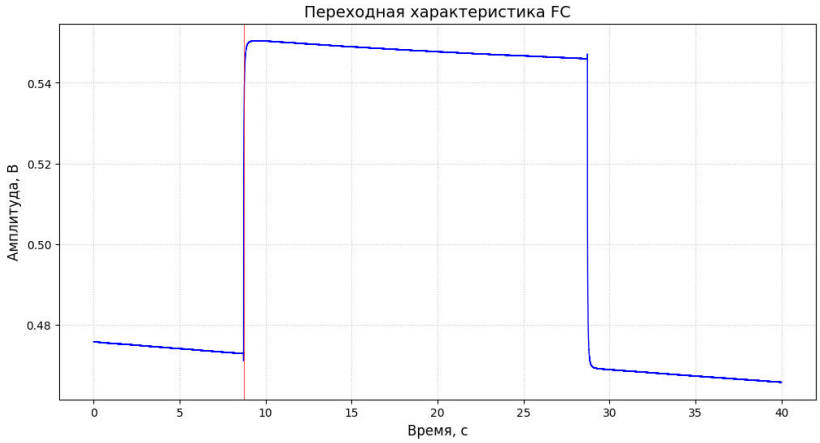


Рис. 1. График полного измеренного сигнала.

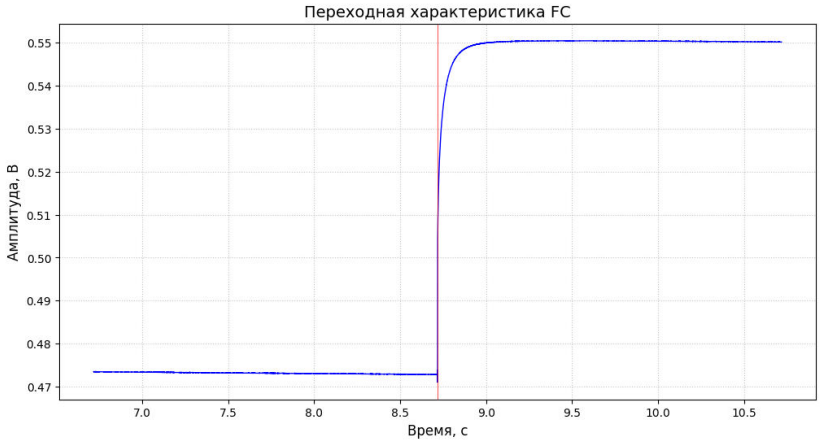


Рис. 2. Увеличенный Рис.1. в 20 раз в точки начала переходного процесса.

Так же после нахождение начала переходного процесса можно будет найти амплитуду и крутизну этого переходного процесса. Но стоит учитывать, что измерения не идеальны и во время начала могут быть небольшие шумы, как это видно на рис. 2, и для избегания этих шумов можно будет взять по 10% с каждой стороны переходного процесса. Тем самым мы сможем избежать сильных шумов, а на значения крутизны и амплитуды это не повлияет, так как они для переходного процесса не измены. Так же для устранения шумов был использован метод усреднения для начала переходного процесса так как именно там наибольшее количество шумов. И итоговый вариант расположен на рис. 3.

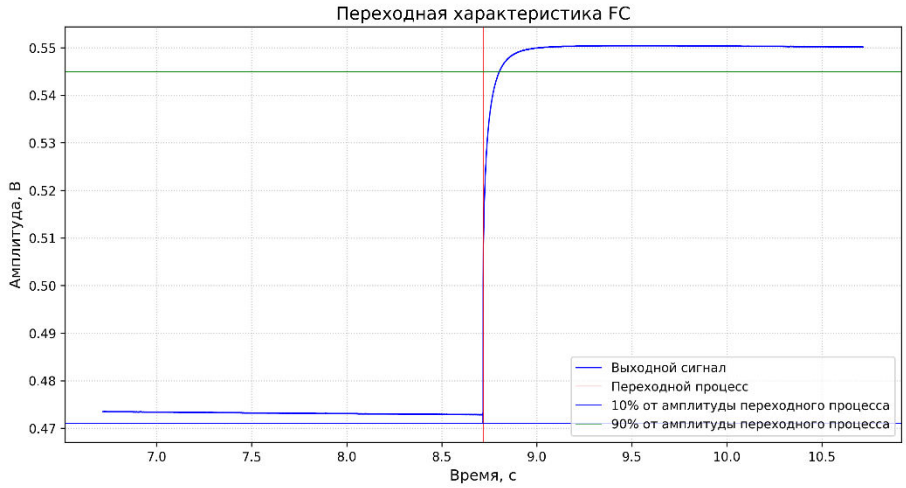


Рис. 3. Итоговый вариант графика.

Главный плюсы этого это автономность и скорость точного определения начала переходного процесса. Так же данный способ можно будет запустить в облачном сервисе Google Colab в обычном Jupyter Notebook и Python коде. Кроме того, полученный код может запускаться непосредственно на аппаратной платформе Raspberry Pi. Из-за чего данный способ также является одним из самых менее требовательных. Так же за счет поровой обработки можно будет уменьшить влияние собственных шумов измерительной аппаратуры, наблюдаемых при измерении переходного процесса.

Минус же данного способа эта требование к наличию специализированного оборудования для точных измерений переходного процесса с высокой частотой дискретизации. Однако следует отметить, что анализ имеющихся на рынке средств позволит реализовать потенциал предложенных технических решений. Точность определения момента начала релаксационного процесса во многом будет определяться частотой дискретизации АЦП, уровнем собственных шумов измерительной аппаратуры и наводок.

Таким образом, данный способ облегчит анализ переходного процесса и также на основе этого способа можно будет создать более подробный анализ переходного процесса. Представленные результаты будут востребованы при дальнейшей реализации систем релаксационного контроля электрохимических источников энергии.

Заключение

В представленной работе решена задача обнаружения момента начала релаксационного переходного процесса, его амплитуды и постоянной времени по экспериментальным данным. Предложен алгоритм, основанный на пороговой обработке производной сигнала напряжения. При выборе величины порога должна учитываться величина собственных шумов данных и измерительной аппаратуры. Анализ амплитуды и постоянной времени осуществляется в программе, написанной на языке Python, с использованием полного сигнала релаксационного процесса.

Предложенный алгоритм найдет свое применение в задачах оперативного контроля и диагностики электрохимических источников тока, таких как топливные элементы и литиевые аккумуляторы.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А.Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Lithium Battery Transient Response as a Diagnostic Tool / E. Denisov, R. Nigmatullin, Y. Evdokimov, G. Timergalina // Journal of Electronic Materials. – 2018. – Vol. 47, No. 8. – P. 4493-4501. – DOI 10.1007/s11664-018-6346-y. – EDN KNMFPB.

2. *Никишина Г.В*. Диагностика электрохимических источников тока на основе анализа переходных процессов, вызванных изменениями нагрузки / Г.В. Никишина, Е.С. Денисов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2021. – Т. 77, № 2. – С. 74-81. – EDN IIKQQM.

3. *Denisov E*. Electrochemical Power Sources Relaxations Related with Step-like Load Variation / E. Denisov, G. Nikishina, A. Demidov // Proceedings - 2020 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBEREIT 2020, Yekaterinburg, 14–15 мая 2020 года. – Yekaterinburg, 2020. – P. 230-233. – EDN CMCFQT.

4. Degradation root cause analysis of PEM fuel cells using distribution of relaxation times / Zuo J., Steiner N.Y., Li Z. and Hissel D. // Applied Energy. – 2025. – Vol. 378. – P.124762.

5. Investigation of transient behaviors in PEMFC from a perspective of the extended irreversible thermodynamics / Shen Y., He T., Fu J., Wei C., Sun X. // Energy Conversion and Management. – 2025. – Vol. 325. – P. 119391.

6. *Fornberg B*. Generation of Finite Difference Formulas on Arbitrarily Spaced Grids / B. Fornberg // Mathematics of Computation. – 1988. – Vol. 51, Iss. 184. – P. 699-706.

ALGORITHM FOR DETECTING THE MOMENT OF THE BEGINNING OF THE TRANSIENT PROCESS IN CONTROL AND DIAGNOSTICS PROBLEMS

Khabibullin R.R.
Supervisors: Denisov E.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
(Kazan national research technical university named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper solves the problem of automatic detection of the onset of transient processes for use in relaxation diagnostics systems of electrochemical energy sources. The proposed algorithm is implemented in the Python programming language using the Numpy library. The developed software is adapted for implementation on the basis of microprocessor systems such as Raspberry Pi.

УДК 681.5.08

КВАЗИРАСПРЕДЕЛЕННЫЙ RC-ДАТЧИК С РАДИАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ

Шафигуллин И.Д.
Научный руководитель: Денисов Е.С., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе рассматривается оригинальная реализация квазираспределенного резистивного и резистивно-емкостного датчиков с радиальной структурой. Приведены алгоритмы коммутации зондирующего тока и измерительного оборудования, а также примеры опросов чувствительных элементов датчика.

Квазираспределенный резистивный датчик с радиальной структурой

Применение квазираспределенных датчиков в процессах контроля и диагностики физических объектов является актуальной задачей. В последнее время широкое применение находят квазираспределенные датчики с древовидной структурой, однако при использовании таких датчиков возникает проблема равномерного распределения чувствительных элементов датчика по объекту измерения. Для устранения данного недостатка предлагается рассмотреть оригинальную структуру квазираспределенного резистивного датчика с радиальной структурой (рисунок 1).

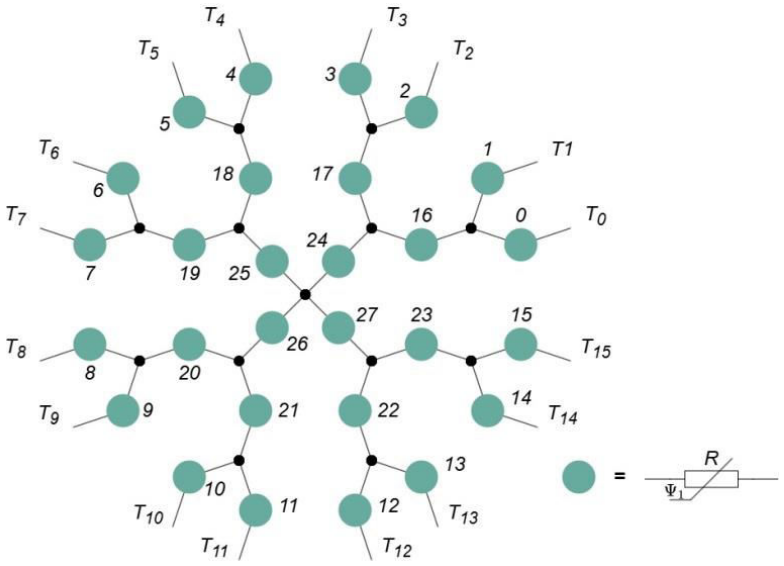


Рисунок 1. Квазираспределенный резистивный датчик с радиальной структурой

Представленная на рисунке 1 структурная схема квазираспределенного резистивного датчика с радиальной структурой состоит из 28 резистивных чувствительных элементов, которые представлены в виде пронумерованных элементов и 16 терминалов (T_i), предназначенных для подключения измерительных цепей.

Коммутация зондирующего тока и измерительного оборудования в квазираспределенном датчике с радиальной структурой происходит согласно следующим алгоритмам. Для зондирующего тока алгоритм имеет следующий вид:

$$T_{2^n \cdot 4j} \div T_{2^n \cdot (4j+2)}, \tag{1.1}$$

$$T_{2^n \cdot (4j+1)} \div T_{2^n \cdot (4j+3)}. \tag{1.2}$$

Для первого случая подключения токов коммутация измерительных цепей оборудования будет следующей:

$$T_{2^n \cdot (4j)+(2^n-1)} \div T_{2^n \cdot (4j+1)+(2^n-1)}, \tag{1.3}$$

$$T_{2^n \cdot (4j+3)+(2^n-1)} \div T_{2^n \cdot (4j+2)+(2^n-1)}. \tag{1.4}$$

Для второго случая:

$$T_{2^n \cdot (4j+1)+(2^n-1)} \div T_{2^n \cdot (4j)+(2^n-1)}, \tag{1.5}$$

$$T_{2^n \cdot (4j+2)+(2^n-1)} \div T_{2^n \cdot (4j+3)+(2^n-1)}. \tag{1.6}$$

В представленных алгоритмах фигурируют две переменные: n – номер уровня, в котором располагается чувствительный элемент и j – номер области с 4-мя чувствительными элементами. Далее представлен рисунок 2 с пояснениями каждой переменной (n и j соответственно).

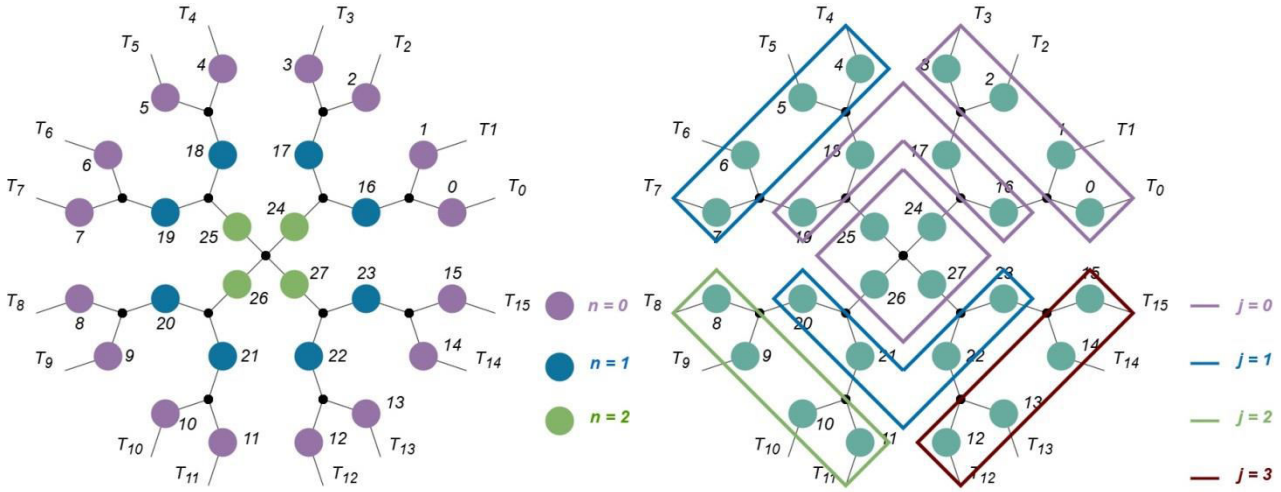


Рисунок 2. Структура датчика с пояснением переменной n и j

Рассмотрим данный метод на примере измерении электрического сопротивления чувствительного элемента 18. Для этого необходимо пропустить через исследуемый чувствительный элемент зондирующий ток ($T_0 \div T_4$) согласно (1.1), и подключить измерительное оборудование к терминалам $T_6 \div T_5$ согласно (1.4) (рисунок 3).

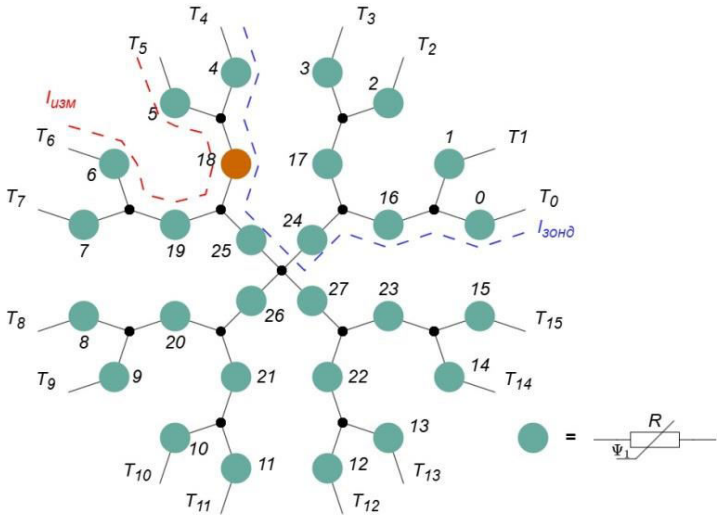


Рисунок 3. Пример протекания зондирующего и измерительного токов

Определение соответствующих терминалов, к которым должны быть подключены зондирующий ток и измерительное оборудование представлены далее:

Зондирующий ток:

$$\begin{cases} n=1; j=0 \\ T_{2^n\cdot 4j} \div T_{2^n\cdot(4j+2)} \end{cases} \Rightarrow T_0 \div T_4 . \tag{1.7}$$

Измерительное оборудование:

$$\begin{cases} n=1; j=0 \\ T_{2^n\cdot(4j+3)+\left(2^n-1\right)} \div T_{2^n\cdot(4j+2)+\left(2^n-1\right)} \end{cases} \Rightarrow T_6 \div T_5 . \tag{1.8}$$

Электрическое сопротивление чувствительного элемента 18 определяется как отношение падения напряжения между терминалами T_5 и T_6 (U_{T5T6}) к величине зондирующего тока $I_{зонд}$:

$$R_{18} = \frac{U_{T5T6}}{I_{зонд}} . \tag{1.9}$$

Преимуществом квазираспределенного датчика с радиальной структурой в сравнении с древовидной является возможность равномерного расположения чувствительных элементов по объекту измерения. Предложенный алгоритм коммутации зондирующего тока и измерительного оборудования позволяет унифицировать процесс опроса датчика [1].

Квазираспределенный резистивно-емкостной датчик с радиальной структурой

Согласно техническому заданию необходимо разработать квазираспределенный резистивно-емкостной датчик. После рассмотрения существующих структур квазираспределенных датчиков определенно, что квазираспределенный датчик с радиальной структурой обладает бóльшими преимуществами по сравнению с древовидной, матричной и сеточной структурами. Поэтому предлагается в качестве структуры разрабатываемого квазираспределенного резистивно-емкостного датчика использовать радиальную структуру.

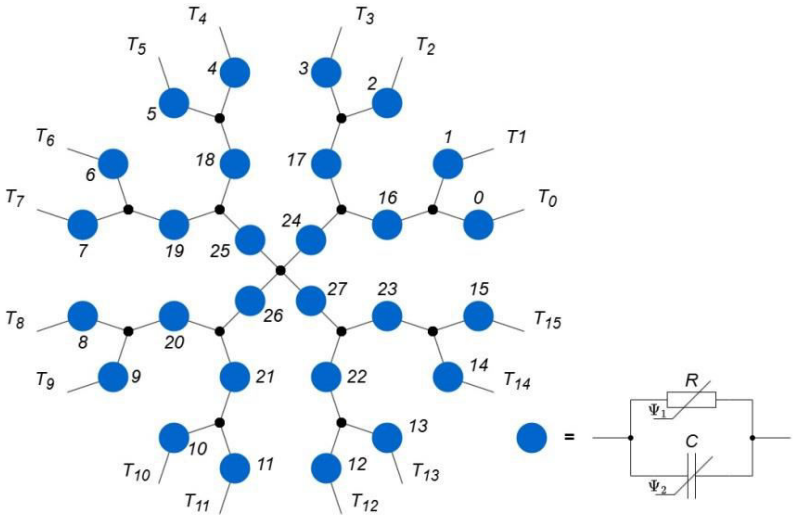


Рисунок 4. Квазираспределенный резистивно-емкостной датчик с радиальной структурой

Далее представлен пример измерения электрических сопротивления и емкости чувствительного элемента 27. Измерение параметров чувствительного элемента проводится следующим образом: через исследуемый чувствительный элемент пропускается зондирующий ток ($T_4 \div T_{12}$) согласно (1.2) и подключается измерительное оборудование к терминалам $T_{15} \div T_{11}$ согласно (1.6) (рисунок 5).

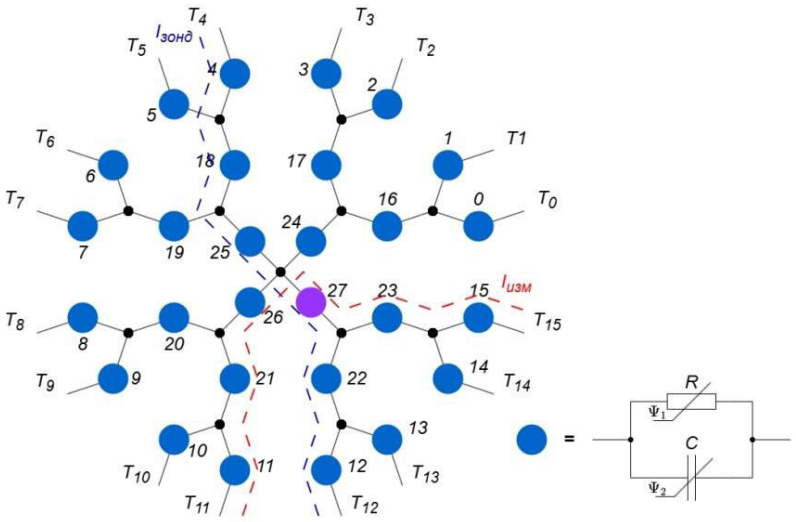


Рисунок 5. Пример протекания зондирующих и измерительных токов

Определение соответствующих терминалов, к которым должны быть подключены зондирующий ток и измерительное оборудование представлено далее:

Зондирующий ток:

$$\begin{cases} n = 2; j = 0 \\ T_{2^n \cdot (4j+1)} \div T_{2^n \cdot (4j+3)} \end{cases} \Rightarrow T_4 \div T_{12}. \tag{1.10}$$

Измерительное оборудование:

$$\begin{cases} n = 2; j = 0 \\ T_{2^n \cdot (4j+3)+\left(2^n-1\right)} \div T_{2^n \cdot (4j+2)+\left(2^n-1\right)} \end{cases} \Rightarrow T_{15} \div T_{11}. \tag{1.11}$$

В течение промежутка времени равного 5τ, после подключения зондирующего тока и измерительного оборудования, конденсатор чувствительного элемента 27 заряжается [3]. После того как конденсатор полностью зарядится, проводится измерение электрического

сопротивления чувствительного элемента 27, которое определяется как отношение падения напряжения между терминалами T_{15} и T_{11} (U_{T15T11}) к величине зондирующего тока $I_{зонд}$:

$$R_{27} = \frac{U_{T15T11}}{I_{зонд}}. \quad (1.12)$$

После расчета электрического сопротивления чувствительного элемента 27 проводится измерение электрической емкости этого чувствительного элемента. Для этого отключается зондирующий ток и проводится измерение постоянной времени τ, которая в свою очередь определяется как промежуток времени, в течение которого уровень спада составляет 63,8 % от максимального.

На основе постоянной времени τ и электрического сопротивления R_{27} исследуемого чувствительного элемента определяется его электрическая емкость:

$$C_{27} = \frac{\tau}{R_{27}}. \quad (1.13)$$

В случаях если период дискретизации измерительного оборудования больше постоянной времени чувствительного элемента ($T_{диск} > \tau$) последнее берется заведомо в n раз больше, чтобы выполнялось следующее условие:

$$T_{диск} < n \cdot \tau. \quad (1.14)$$

Далее представлена таблица зависимости постоянного времени τ от уровня спада в процентах.

Таблица 1

Зависимость постоянного времени от уровня спада

$n\tau$	Уровень спада, %
τ	63,2
2τ	86,5
3τ	95,0
4τ	98,2
5τ	99,3
6τ	99,8

Благодаря такому способу становятся возможным проведения измерений электрической емкости чувствительных элементов при $T_{диск} > \tau$.

Рассмотренная структура квазираспределенного *RC* датчика с радиальной структурой позволяет решить проблему равномерного расположения чувствительных элементов по объекту исследования, которая имеется в квазираспределенных датчиках с древовидной структурой. Разработанный алгоритм опроса чувствительных элементов квазираспределенного датчика позволяет унифицировать процесса опроса.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А.Н. Туполева-КАИ («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Шафигуллин, Ин.Д.* Алгоритм опроса чувствительных элементов квазираспределенного датчика с древовидно-радиальной структурой / Ин.Д. Шафигуллин // материалы XII Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2025. – Казань, 2025. – С. 412-413.

2. *Денисов Е.С.* Квазираспределённый резистивный датчик с древовидной структурой / Е.С. Денисов, И.Д. Шафигуллин, Ю.К. Евдокимов // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 2. – С. 117-121.

3. Патент № 2811329 C2 Российская Федерация, МПК G01R 27/26, G01R 27/16. Квазираспределенный RC датчик и способ измерения распределенных физических полей: № 2022112040: заявл. 04.05.2022: опубл. 11.01.2024 / Ю.К. Евдокимов, Е.С. Денисов, И.Д. Шафигуллин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ". – EDN PRQAOT.

4. *Денисов Е.С.* Схемотехническая реализация квазираспределенного RC датчика с древовидной структурой и особенности его применения / Е.С. Денисов, Ю.К. Евдокимов, И.Д. Шафигуллин // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2022. № 8. – С. 6-14.

QUASI-DISTRIBUTED RC SENSOR WITH RADIAL STRUCTURE

Shafigullin I.D.

Supervisor: Denisov E.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper discusses the original implementation of quasi-distributed resistive and resistive-capacitive sensors with a radial structure. Algorithms for commutating the probing current and measuring equipment are given, as well as examples of polling the sensor's sensitive elements.

УДК 621.3+681.5

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА – АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЙ

Шуйский Р.А.

Научный руководитель: Шафикова А.И., старший преподаватель

(*Лениногорский филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Лениногорск)*

Аннотация. Статья посвящена разработке электронного устройства, контролирующего ключевые показатели микроклимата помещений. В статье описаны: основные требования к функционалу, разработка аппаратной части и электронной схемы. Подробно описан разработанный программный функционал устройства.

Поддержание высокой трудоспособности всегда было важной задачей, ведь именно от производительности труда во многом зависит качество жизни современного человека. Многочисленные исследования показывают, что на работоспособность значительное влияние оказывают условия труда, особенно производственный микроклимат (микроклимат помещений) и его ключевые характеристики: температура, влажность и химический состав воздуха. «Русский исследователь И. И. Флавицкий в 1884 г. выявил комплексное воздействие метеорологических факторов на человека. Это обстоятельство означает, что ощущение теплового комфорта появляется, если параметры микроклимата находятся в определенном сочетании» [1].

Нормальная температура окружающей среды – одно из важнейших условий комфортной деятельности. Нарушение температурного режима означает и нарушение теплообмена человека с окружающей средой, что влечёт за собой такие последствия, как: слабость, тошнота, головная боль, головокружение, рвота, учащение пульса и дыхания, которые сильно понижают трудоспособность.

Ещё одним важным параметром является относительная влажность воздуха. Слишком низкий её уровень не только является источником дискомфорта, но и может привести к различным заболеваниям. «Если влажность составляет менее 40 %, то слизь движется с

небольшой скоростью, налипая на оболочки. В результате сокращается подвижность эпителия, что способствует проникновению в легкие бактерий и вирусов» [1].

Однако наиболее важным является соблюдение норм химического состава воздуха. Например, превышение количества углекислого газа в помещении приводит к изменениям в центральной нервной, кровеносной, дыхательной системах, что серьёзно снижает производительность труда и может принести значительный ущерб здоровью. «Выявление гигиенически обоснованного воздухообмена в помещении основано на замещении в воздухе углекислого газа CO2, избыток и недостаток которого во вдыхаемом воздухе одинаково вредно отражается на состоянии организма. Его работоспособность и физиологические функции существенно не изменяются, если содержание углекислого газа во вдыхаемом воздухе составляет 0,04–0,5 %» [1].

Эффективным решением для контроля качества микроклимата является электронное устройство с датчиками, отслеживающими эти параметры и сигнализирующее о любых отклонениях от установленных норм.

Согласно вышеизложенным рекомендациям, было разработано электронное устройство, обладающее следующим функционалом:

1. Прибор должен измерять показатели температуры, влажности и химического состава воздуха (CO, CO_2 и подобные углеродосодержащие газы).

2. Прибор должен иметь легко настраиваемые под конкретное помещение пределы норм показателей.

3. Прибор должен подавать хорошо слышимый звуковой сигнал в случае выхода контролируемых показателей за пределы норм.

4. Прибор должен обладать автономностью и не требовать вмешательства со стороны для своей обычной работы.

5. Прибор должен иметь возможность управлять внешней аппаратурой, отвечающей за поддержание микроклимата.

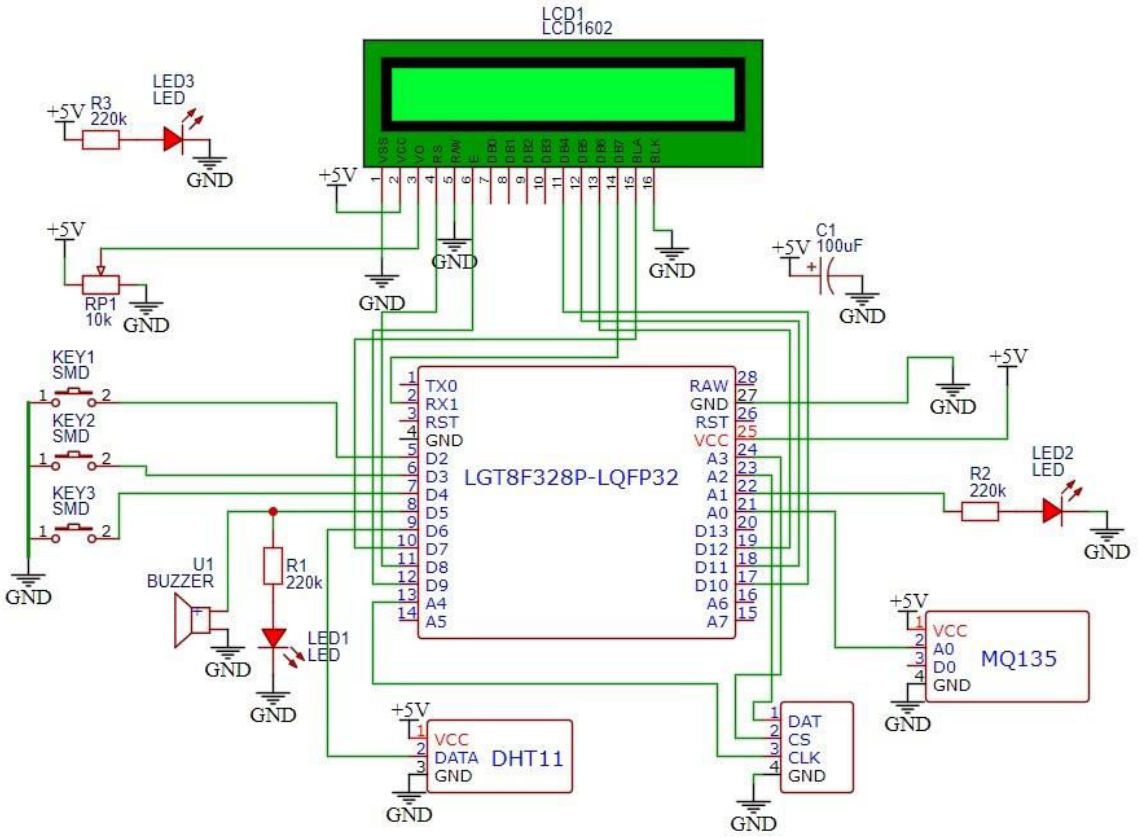


Рисунок 1 Принципиальная электронная схема устройства

С учётом данных требований была разработана аппаратная часть устройства, электронная схема которого включает в себя следующие комплектующие (Рис. 1):

1. Плата с микроконтроллером LGT8F328P и стабилизатором напряжения ASM1117
2. Жидкокристаллический контрастный дисплей LCD1602 с белыми символами на синем фоне
3. Резистивный датчик температуры и влажности DHT11
4. Полупроводниковый датчик химического состава атмосферы MQ135
5. Три тактовые кнопки управления
6. Пьезоизлучатель, отвечающий за звуковую индикацию
7. Яркие светодиоды, отвечающие за световую индикацию
8. Последовательный порт для подключения внешней аппаратуры
9. Разъём USB Type-C для подачи на устройство питания

Рассмотрим принципы работы некоторых составных компонентов:

1. Терморезистивный датчик температуры воздуха (NTC-термистор (Negative Temperature Coefficient)) – этот датчик работает на основе зависимости электрического сопротивления материала от температуры. «Термистор – это терморезистор – резистор, который меняет свое сопротивление в зависимости от температуры» [2]. На основе таких датчиков собираются резистивные делители, которые преобразуют изменение сопротивления датчика в изменение потенциала (напряжения между выходом датчика и землёй) на его выходе, который через АЦП поступает в микроконтроллер.

2. Резистивный датчик влажности – принцип работы данного датчика основывается на изменении электрического сопротивления материала, чувствительного к влажности воздуха. «Чувствительный к влажности компонент, имеет два электрода с влагоудерживающей подложкой (обычно соль или проводящий пластиковый полимер), зажатой между ними. По мере поглощения водяного пара подложка высвобождает ионы, что, в свою очередь, увеличивает проводимость между электродами. Изменение сопротивления между двумя электродами пропорционально относительной влажности. Более высокая относительная влажность уменьшает сопротивление между электродами, в то время как более низкая относительная влажность увеличивает это сопротивление» [2]. Сопротивление компонента также преобразуется в напряжение посредством резистивного делителя.

3. Полупроводниковый датчик газа. Чувствительный элемент данного датчика состоит из керамической микротубы с покрытием из оксида алюминия $\left(AL_2O_3\right)$ и нанесённого на неё чувствительного слоя диоксида олова $\left(SnO_2\right)$. Внутри тубы проходит нагревательный элемент, который нагревает чувствительный слой до температуры, при которой он начинает реагировать на определяемый газ. Поглощённые частицы газа влияют на число свободных электронов в проводнике, вызывая изменение его электропроводности (сопротивления), которое далее, посредством стандартного делителя напряжения с нагрузочным резистором определённого номинала, преобразуется в изменение напряжения на выходе датчика.

Далее было разработано программное обеспечение, обеспечивающее и организующее функционирование всех компонентов и датчиков, входящих в состав готового устройства. В качестве среды разработки была выбрана «Arduino IDE» (Arduino Integrated Development Environment), как наиболее подходящая для выполнения вышепоставленных задач по времени их реализации.

Разработанная программа предоставляет пользователю возможность калибровки показателей датчиков в реальном времени, имеет настраиваемые пределы максимальных и минимальных значений для каждого отслеживаемого показателя микроклимата в отдельности, реализован программный гистерезис показателей, обеспечивающий дополнительную стабильность снятия показаний. Для дополнительной автономности были реализованы режимы прогрева и автопрогрева, автоматически прогревающие датчик углекислого газа заданный промежуток времени при подаче питания на устройство, что

делает работу устройства полностью автоматической. Имеется возможность калибровки параметров датчика углекислого газа (сопротивление датчика при чистом воздухе, номинал нагрузочного резистора) с ориентировкой на автоматически рассчитанные значения. Были реализованы настройки временных интервалов перед отключением экрана в режиме ожидания и повторной подачей сигнала после активно-ждущего режима (если показатели не пришли в норму) и возможность сохранить все настройки в энергонезависимую память, что даёт устройству возможность автоматически возобновлять работу после отключения электроэнергии.

Также устройство оборудовано последовательным портом для управления внешней аппаратурой, поддерживающей микроклимат в помещении, по которому передаются данные о состоянии его параметров (находятся ли они в пределах установленных норм). В основу данного порта положен принцип работы интерфейса «SPI» (Serial Peripheral Interface). Разъём порта содержит три контакта шины (данные, тактирование и начало/конец передачи данных) и один контакт общего заземления. Посредством данного порта подключённому устройству передаётся байт данных. В переданном байте за каждое отклонение отвечает отдельный бит, например: превышение температуры – это логическая единица во втором по счёту бите, слишком низкий уровень влажности – это единица в третьем и т. д. Если все параметры находятся в пределах нормы, то внешнему устройству передаётся пакет данных, состоящий из нулей. Данная система передачи данных значительно сокращает количество контактов порта и позволяет подключать в качестве периферийных устройств не только приборы на базе микроконтроллеров, но и более бюджетные схемы, состоящие из одного сдвигового регистра (например, 74HC595), способного взаимодействовать с данной шиной напрямую и обрабатывающего приведённые пакеты данных (Рис. 2).

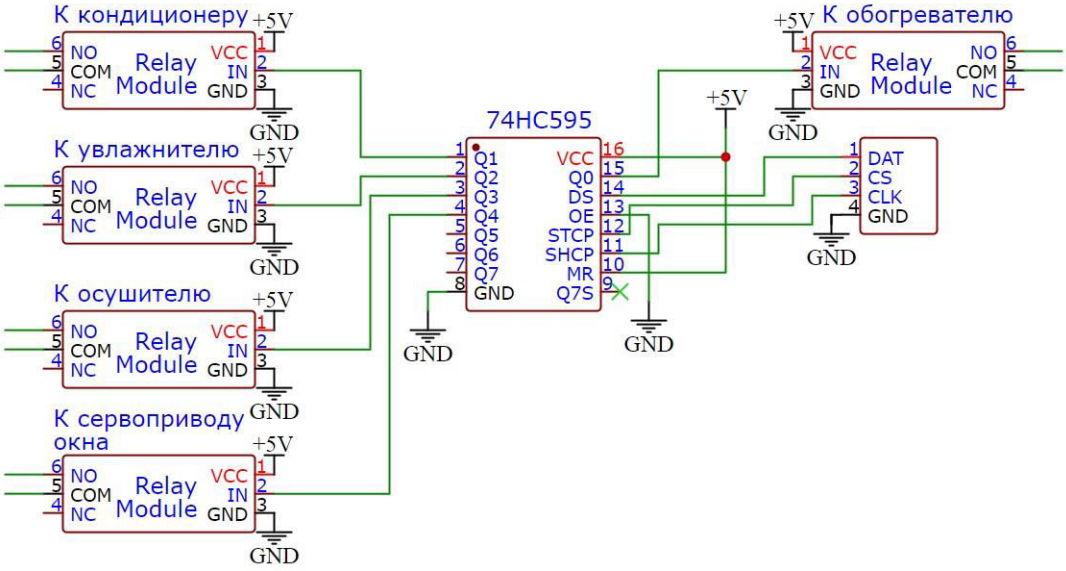


Рисунок 2 Принципиальная электронная схема периферийного устройства

Был разработан интуитивно понятный пользователю интерфейс (Рис. 3), который включает в себя следующие режимы работы:

1. Информационный режим – этот режим предназначен для отображения текущих параметров окружающей среды при нормальных показателях микроклимата. Когда этот режим активен, на экране отображаются значения параметров с пометкой "норма". Для экономии электроэнергии экран автоматически отключается через заданный период бездействия, переводя устройство в обычный режим.

2. Обычный режим – основной режим работы устройства, характеризующийся минимальным энергопотреблением. В этом режиме экран и некоторые периферийные

устройства отключены, датчики опрашиваются каждые 5 секунд. Для выхода из обычного режима достаточно удерживать любую клавишу.

3. Режим сигнализации – режим активируется при выходе любого контролируемого параметра за установленные пределы норм. При этом подаётся хорошо слышимый звуковой сигнал и на экране отображается информация о параметре, вышедшем за допустимые пределы. Нажатие любой кнопки переводит устройство в активно-ждущий режим.

4. Активно-ждущий режим – в этот режим устройство переходит, когда необходимо дождаться нормализации вышедших за пределы норм показателей, например, завершения проветривания или прогрева помещения. В активно-ждущем режиме экран остается включенным, отображая текущие показатели микроклимата с пометкой "не норма!" и оставшееся время до повторной активации режима сигнализации. Это позволяет пользователю непрерывно отслеживать процесс нормализации микроклимата.

5. Режим меню – режим, в котором пользователю представляется список из основных настроек (общие, настройки интервалов, прогрева и т.п.).

6. Режим настроек – режим, в котором можно сконфигурировать большинство параметров устройства, включая допустимые нормы максимальных и минимальных значений температуры, влажности и содержания углеродосодержащих газов в атмосфере, откалибровать их текущее значение, а также настроить величину гистерезиса для каждого показателя. Настройки сохраняются в энергонезависимой памяти, что позволяет устройству автоматически возобновлять работу после отключения питания без участия пользователя.

7. Режим настройки интервалов – режим, в котором можно задать временные промежутки перед гашением экрана в простой и повторный переход в режим сигнализации из активно-ждущего режима.

8. Режим прогрева – в данном режиме пользователь может вручную выставить время с шагом в 10 минут, в течение которого устройство перейдёт в ждущий режим на заданный промежуток времени и будет только прогревать датчик углекислого газа. Выход из режима происходит по удержанию любой кнопки устройства.

9. Режим автопрогрева – принципиально не отличается от обычного прогрева, разница в том, что автопрогрев, если он включён в настройках, включается автоматически при подаче на устройство питания.

10. Режим настройки автопрогрева – режим, в котором пользователь может включить/отключить данную функцию, а также настроить длительность автопрогрева.

11. Режим настройки (калибровки) датчика углекислого газа – в данном режиме пользователь может откалибровать установленный в устройстве датчик углекислого газа, указать сопротивление датчика при чистом воздухе и номинал нагрузочного резистора. Во время настройки каждого из этих параметров, в качестве дополнительного ориентира для калибровки, в правом углу экрана указывается автоматически рассчитанное значение параметра. После чего на экран выводится рассчитанное значение углекислого газа и даётся возможность откатить изменения. В случае утверждения изменений, новые калибровочные значения записываются в постоянную память устройства.

Рисунок 3 Пример пользовательского интерфейса

Далее был разработан корпус готового устройства с тремя механическими кнопками, посадочными местами под датчики, светодиоды индикации работы устройства (питание,

прогрев, выход за пределы нормы), жидкокристаллический экран, последовательный порт для подключения внешней аппаратуры и разъём питания USB Type-C (Рис. 4). Также корпус оборудован встроенным кронштейном для крепления на стену, выполненным одной деталью с задней крышкой корпуса (Рис. 5). Данная крышка крепится к стене с помощью двух отверстий под саморезы/винты, после чего устройство крепится к крышке посредством четырёх винтов по бокам корпуса.

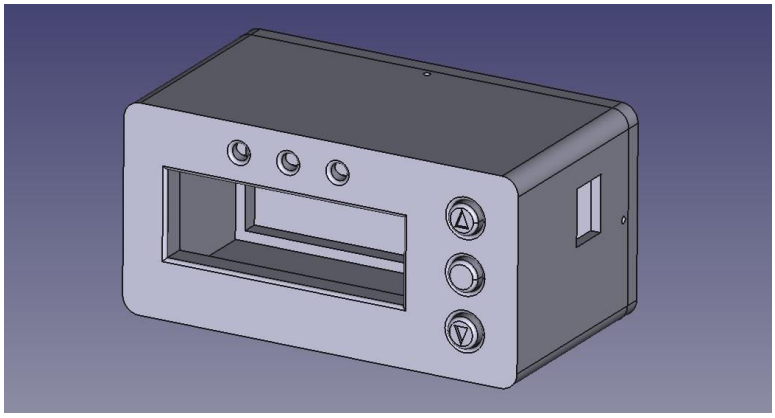


Рисунок 4 Корпус контроллера микроклимата

3D модель корпуса была спроектирована в САПР (Системе Автоматизированного Проектирования) «FreeCAD» (Free Computer-Aided Design) с использованием параметрической системы моделирования. «Параметрическое моделирование (параметризация) — моделирование (проектирование) с использованием параметров элементов модели и соотношений между этими параметрами» [3]. В качестве технологии производства корпуса опытного образца была выбрана 3D-печать, как наиболее подходящая для мелкосерийного производства прототипов. «Одним из основных применений 3D печати в производстве является прототипирование. С помощью аддитивного производства можно сократить время разработки нового продукта и значительно сэкономить средства.» [3].

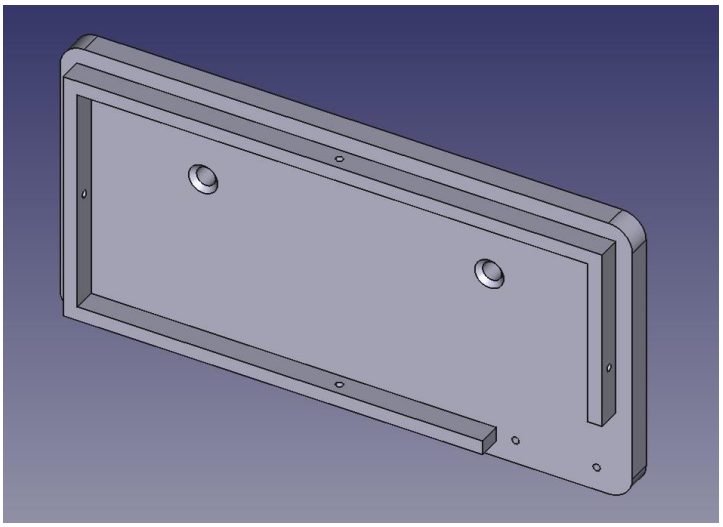


Рисунок 5 Кронштейн, встроенный в корпус контроллера

В результате проделанной работы было создано устройство – типовой контроллер качества микроклимата помещений (производственного микроклимата), способный управлять внешней аппаратурой, отвечающей за поддержание микроклимата в помещении. Было разработано удобное в эксплуатации программное обеспечение, позволяющее максимально подстроить готовое устройство под конкретные условия эксплуатации. Был

спроектирован эргономичный корпус, обеспечивающий устройству необходимую защиту от внешних воздействий и удобство эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Аборнев Д.В.* Основы обеспечения микроклимата зданий (включая теплофизику зданий): учебное пособие. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2018. – 188 с.

2. *Лаврищев А.В.* Разработка и программирование систем автоматического управления на базе блоков и контроллеров модуля ARDUINO. Лабораторный практикум для студентов бакалавриата по направлению подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», по программе «Программирование микропроцессоров», очной формы обучения: учебное пособие: в 2 частях / А. В. Лаврищев, А. Н. Коваленко. — Красноярск: СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2024 — Часть 2 — 2024. — 86 с.

3. *Семиглазов В.А.* 3D Технологии: учебно-методическое пособие / В.А. Семиглазов. — Москва: ТУСУР, 2023. — 75 с.

DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC DEVICE – AN AUTOMATIC CONTROLLER OF ROOMS MICROCLIMATE

Shuyskiy R.A.

Supervisor: Shafikova A.I., Senior lecturer

(*Leninogorsk Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI", Leninogorsk*)

Abstract. The article is devoted to the development of an electronic device that controls main indicators of indoor climate. The article describes the basic requirements for functionality, the development of the hardware and electronic circuit. The developed software functionality of the device is described in detail.

УДК 007.5

ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ РОБОТА-РЫХЛИТЕЛЯ ДЛЯ ЗЕРНОХРАНИЛИЩА

Юртунбаев Д.Р., Егоров Г.И.

Научный руководитель: Денисов Е.С. доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Рассмотрены конструкция и принцип действия робота-рыхлителя для зернохранилищ. Описана система автономной навигации, алгоритмы управления и особенности обработки информации от датчиков. Представлены технические характеристики устройства и показано его влияние на снижение потерь зерна и улучшение микроклимата в хранилище.

Современные зернохранилища сталкиваются с проблемами неравномерного распределения зерна, избыточной влажности и образования комков зерна, что приводит к ухудшению качества продукции и значительным финансовым потерям. Традиционные методы, базирующиеся на ручном рыхлении, не обеспечивают достаточной эффективности обработки, что особенно критично при больших объемах хранения. В связи с этим автоматизация этого процесса приобретает стратегическое значение для повышения эффективности агропромышленного комплекса. Разработка робота-рыхлителя зернохранилища позволяет обеспечить равномерное перераспределение зерновой массы, улучшение аэрации и поддержку оптимального микроклимата, что в совокупности способствует снижению потерь до 30–50% и повышению экономической эффективности [1].

Предлагаемая система роботизированного рыхлителя представляет собой интегрированное устройство, в основе которого лежит современная мехатроника и интеллектуальные алгоритмы управления. Робот выполнен из высокопрочных материалов, устойчивых к механическим повреждениям, воздействию пыли и влаги. Его габариты (до 1,2 м в длину, 0,8 м в ширину, 1 м в высоту) и масса (около 50 кг) обеспечивают маневренность и устойчивость даже в условиях ограниченного пространства зернохранилищ.

Два шнека преобразуют вращательное движение электродвигателей в механическое воздействие для перераспределения зерновой массы и способствуют аэрации зерна, снижая уровень влажности и предотвращая развитие микрофлоры (плесени, бактерий).

Для точного позиционирования и перемещения внутри зернохранилища робот оснащён радиомодулями на базе DWM1000, видеокамерами и инфракрасными сенсорами для обнаружения препятствий. Эти элементы в режиме реального времени обеспечивают получение трехмерных координат объекта, позволяя роботу корректировать траекторию движения и обходить препятствия. Дополнительно встроены датчики температуры и влажности, которые непрерывно анализируют микроклимат хранения зерна и предоставляют данные для адаптивного регулирования работы шнеков.

Система пространственной ориентации и построения маршрута мобильного робота в зернохранилище представляет собой интегрированную архитектуру, основанную на ультраширокополосных радиомодулях DWM1000. Согласно техническим характеристикам, эти модули определяют расстояние с погрешностью до 10 см. в диапазоне расстояний до 300 метров, это позволяет разработать дальномерные системы позиционирования для больших помещений [2]. Система представляет из себя один активный маяк, установленный на платформе робота, и три стационарные метки, закреплённые по периметру хранилища. Измерение времени пролёта сигнала (ToF) позволяет выполнять оценку местоположения посредством триангуляции с погрешностью порядка 10–30 см, что обеспечивает надёжное автономное функционирование робота. Полученные и первично обработанные данные о позиционировании робота поступают на сервер, где обрабатываются ещё раз, совместно с показаниями влажности зерна с построением карты зернохралища (рис. 1).

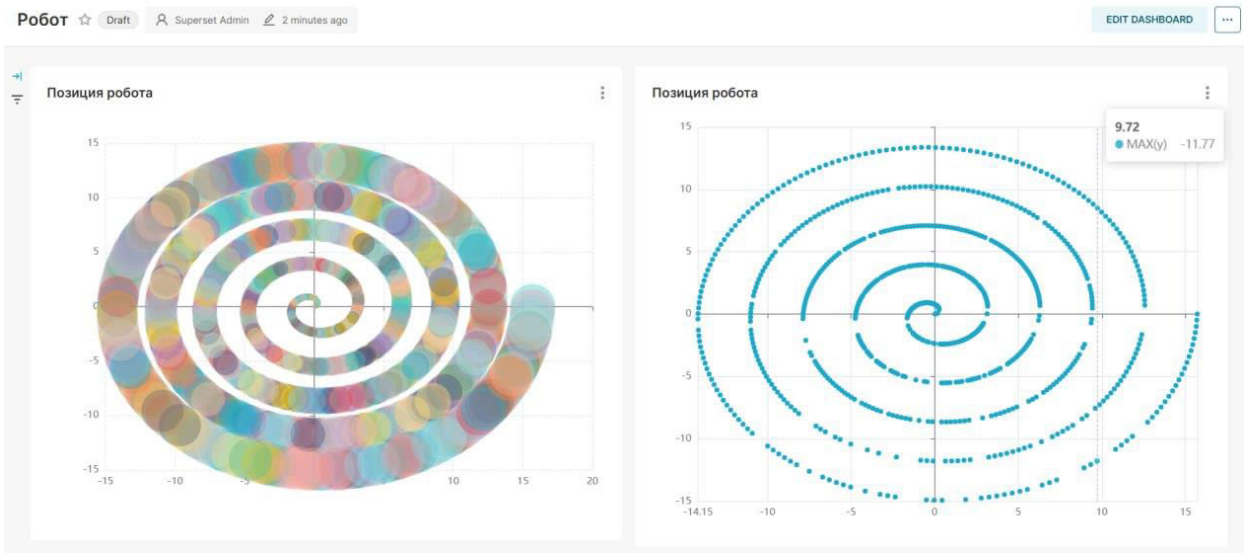


Рис. 1. Интерфейс карты перемещения робота

Центральный процессор на базе ARM Cortex-A53 под управлением операционной системы Linux (с применением ROS/ROS2) служит «мозгом» устройства. Он получает информацию от всех сенсоров, осуществляет предварительную обработку данных и, используя алгоритмы машинного обучения, принимает решения по оптимизации маршрута, регулировке интенсивности работы силовой установки и периодическому обновлению стратегий обработки. Это позволяет роботу адаптироваться к меняющимся условиям

хранения и максимально эффективно использовать энергию. Литий-ионная аккумуляторная батарея обеспечивает автономное функционирование устройства до 3 часов без подзарядки. Структурная схема предложенной системы представлена на рис. 2.

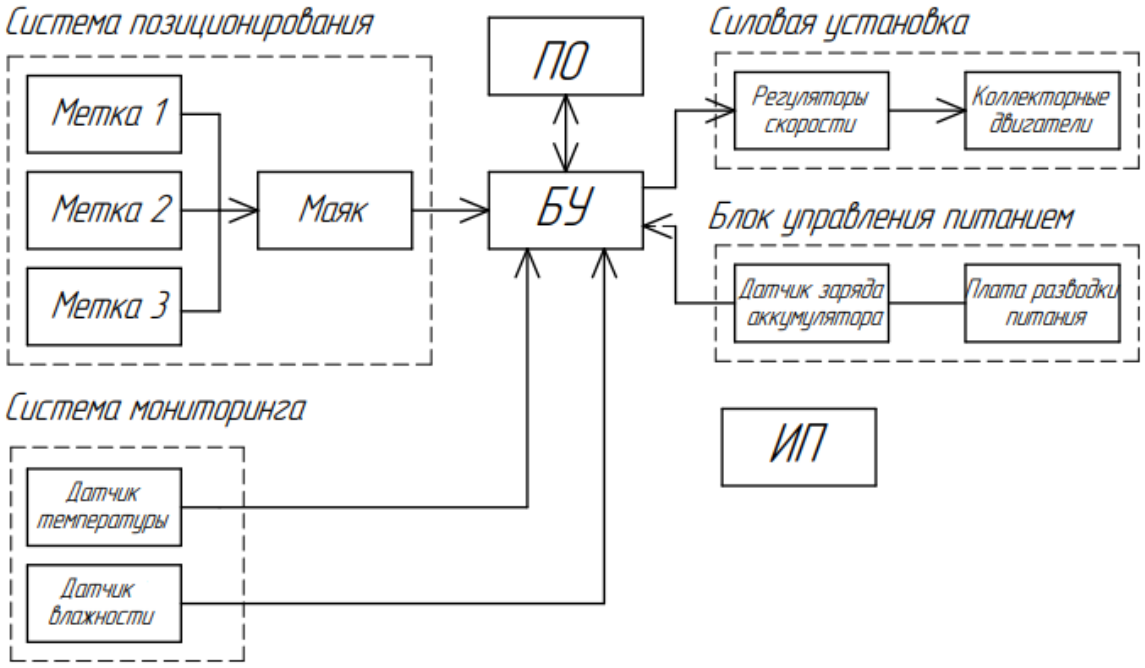


Рис. 2. Структурная схема системы робота-рыхлителя зернохранилищ

Строение робота рыхлителя можно поделить на несколько подсистем: система мониторинга, система позиционирования, блок управления, программное обеспечение, силовая установка, блок управления питанием, источник питания.

В качестве блока управления был выбран микрокомпьютер Raspberry Pi. Этот блок отвечает за сбор и обработку данных от системы мониторинга, системы позиционирования и блока управления питанием. Программное обеспечение представляет из себя систему, позволяющую реализовывать функцию управления, агрегирование и анализ данных с датчиков и последующая их передача на сервер по беспроводному интерфейсу. Система мониторинга включает в себя датчики температуры и влажности, необходимых для анализа состояния зерна. Полученные данные из системы мониторинга в дальнейшем используются для составления карты влажности зернохранилища.

Надежность работы данной системы во многом определяется аккумуляторной батареей. Для контроля уровня заряда аккумулятора предполагается использовать датчики напряжения и потребляемого тока, на рисунке 1 они объединены в блок контроля заряда аккумуляторной батареи. Для оценки технического состояния аккумуляторной батареи предполагается использовать анализ релаксаций, вызванных переменной нагрузкой [5].

Преобразователь напряжения интегрирован в блок источника питания, он используется для понижения напряжения с целью питания систем позиционирования и мониторинга.

Блок управления анализирует поступающие данные и формирует команды, которые координируют работу силовой установки и механизмов перераспределения зерна, одновременно корректируя маршрут робота для оптимальной работы в реальном времени. Для перемещения робота используется силовая установка, состоящая из регуляторов скорости и коллекторных моторов.

Архитектура роботизированного рыхлителя зернохранилища реализована по принципу модульной иерархии, обеспечивающей функциональную изоляцию подсистем и их взаимную совместимость. Каждый компонент — от сенсорного блока до исполнительных

механизмов — обладает определённой степенью автономности, что повышает отказоустойчивость системы в целом. Информационные потоки организованы с учётом приоритизации: критически важные данные (показания сенсоров безопасности, команды управления движением) обрабатываются в режиме реального времени с минимальной задержкой, тогда как вторичные данные (статистические показатели, отчётные пакеты) передаются асинхронно. Такой подход обеспечивает оптимальный баланс между надёжностью функционирования, скоростью реакции и эффективностью использования вычислительных ресурсов, что является ключевым условием для эксплуатации системы в условиях агрессивной среды зернохранилищ.

Предложенная система робота-рыхлителя зернохранилища представляет собой перспективное решение для автоматизации агротехнических процессов. Интеграция современных технологий автономной навигации, интеллектуальных алгоритмов управления и надежных механических решений позволяет существенно улучшить условия хранения зерна. Благодаря равномерному перераспределению продукта, обеспечивается оптимизация аэрации и снижение влажности, что ведет к сокращению потерь зерна на 30–50% и повышению качества конечного продукта. Дальнейшая интеграция системы в реальные производственные процессы открывает широкие возможности для повышения конкурентоспособности отечественного сельского хозяйства.

Дополнительно следует отметить, что разработанная система обладает высоким потенциалом для интеграции в комплексные платформы «умного сельского хозяйства». Встраивание робота-рыхлителя в единую цифровую экосистему агропредприятия позволит не только автоматизировать процессы внутри зернохранилища, но и объединить их с данными о состоянии полей, урожайности и логистике. Такой подход создаёт предпосылки для формирования сквозных систем управления агропроизводством, где решения принимаются на основе комплексного анализа информации в режиме реального времени.

Перспективным направлением развития является также расширение функционала робота за счёт установки дополнительных модулей, например, систем газоанализа для контроля концентрации углекислого газа и кислорода, либо модулей для отбора проб зерна с целью оценки его качества. Это позволит превратить устройство из специализированного рыхлителя в многофункциональную платформу мониторинга и обслуживания зернохранилищ. В совокупности такие усовершенствования обеспечат дальнейшее снижение потерь продукции, повышение энергоэффективности и устойчивое развитие агропромышленного комплекса.

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательский технического университета имени А. Н. Туполева («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Фейденгольд В.Б., Алексеева Л.В.*, *Закладной Г.А., Львова Л.С., Темирбекова С.А.* Меры борьбы с потерями зерна при заготовках, послеуборочной обработке и хранении на элеваторах и хлебоприемных предприятиях / Под ред. В.Б. Фейденгольда. - М.: ДеЛи принт, 2007. – 320 с.

2. *Хисматулина З.С.* Исследование точности СВЧ-системы позиционирования внутри помещений и способов ее повышения / З.С. Хисматулина, Е.С. Денисов, И.Д. Шафигуллин // Южно-Сибирский научный вестник. – 2022. – № 6(46). – С. 250-255.

3. *Denisov E.* Peculiarities of Time of Flight Indoor Positioning based on DWM1000 Modules / E. Denisov, Z. Khismatulina, I. Shafigullin // Proceedings - 2021 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems, Ufa, 16–18 ноября 2021 года. – Ufa, 2021. – P. 376-379.

4. *Юртунбаев Д.Р.* Автоматизированная система ориентации квадрокоптера в пространстве с использованием фильтра Калмана / Д.Р. Юртунбаев, Е.С. Денисов // Нигматуллинские чтения - 2023: Сборник докладов Международной научной конференции,

Казань, 09–12 октября 2023 года. – Казань: Академия наук Республики Татарстан, 2023. – С. 111-113.

5. *Никишина Г.В.* Диагностика электрохимических источников тока на основе анализа переходных процессов, вызванных изменениями нагрузки / Г.В. Никишина, Е.С. Денисов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2021. – Т. 77, № 2. – С. 74-81. – EDN IIKQQM.

SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX OF THE ROBOTIC RIPPER

Yurtunbaev D.R., Egorov G.I.

Supervisor: Denisov E.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The design and the principle of operation of the work-ripper for granaries are considered. An autonomous navigation system, control algorithms, and features of processing information from sensors are described. The technical characteristics of the device are presented and its effect on reducing grain losses and improving the microclimate in the storage is shown.

УДК 620.91

ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЯХ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Ягин Г.В.[1], Шафигуллин И.Д.[2]

Научный руководитель: Денисов Е.С., доцент, к. т. н.

(*1. Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение Лицей №146 «Ресурс», г. Казань,*

2. Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данном исследовании представлена информация о солнечных панелях, их типах, принципе работы, преимуществах и недостатках. Экспериментально определена степень влияния различных факторов на производительность солнечных панелей. С помощью полученных данных составлены таблицы, наглядно показывающие изменение мощности.

Введение

Глобальное изменение климата и истощение запасов ископаемого топлива делают поиск альтернативных источников энергии задачей очень важной для будущего планеты [1]. Солнечную энергетику можно считать одним из наиболее перспективных направлений развития альтернативной энергетики. Однако эффективность преобразования энергии в солнечных панелях зависит от множества факторов, которые необходимо учитывать для достижения максимальной производительности и целесообразности использования данной технологии.

Основной целью исследования является изучение механизма выработки электроэнергии в солнечных панелях и анализ влияния различных факторов на её эффективность. Для раскрытия темы исследования и выполнения его целей важно понять, что такое свет и как он преобразуется в электричество.

Свет — это электромагнитное излучение, поток волн, воспринимаемый человеческим глазом. Луч света состоит из летящих с огромной скоростью фотонов. Каждый фотон — это крошечный сгусток энергии и одновременно маленький отрезок электромагнитной волны [1].

Солнечная батарея, или *солнечная фотоэлектрическая панель* — объединение фотоэлементов — полупроводниковых устройств, прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический ток.

Самые распространенные солнечные элементы состоят из двух слоёв. В одном находится избыток электронов, поэтому ее называют полупроводником n-типа (от слова «negative», из-за отрицательного заряда электронов). В другой пластине недостаток электронов, ее называют полупроводником p-типа (от «positive»). На границе слоев возникает p-n переход, который запрещает электронам переходить из одной области в другую. Когда фотоны попадают на пластину полупроводника, их энергия поглощается электронами. Дополнительная энергия позволяет им вырваться из атомов, но не из вещества. В материале появляется много свободных зарядов (еще больше дырок в p-типе, и еще больше электронов в n-типе). Все стремится прийти к равновесию, но p-n переход может пропускать заряды только в одном направлении (электроны из p в n), поэтому из одной пластины в другую заряд не перетекает. Но при подключении к ним внешнюю цепь, в ней возникает электрический ток [2]. Как и любой вид энергии, солнечная энергия имеет свои преимущества и недостатки.

Преимуществами солнечной энергии включают в себя [3]: 1. *Возобновляемость*: в масштабах человеческой жизни Солнце можно считать неисчерпаемым источником энергии; 2. *Экологичность*: выработка электроэнергии в солнечных электростанциях не производит вредных выбросов в атмосферу, в отличие от электростанций, работающих на традиционных источниках энергии (уголь, газ). Однако некоторые типы солнечных панелей содержат вредные для природы материалы, такие как свинец, кадмий, галлий и т.д. с которыми возникают проблемы при производстве и утилизации панелей, например, солнечные панели на основе теллурида кадмия (CdTe). Но всё же считается, что вред для экологии у солнечной энергии всё равно меньше, чем у традиционных источников энергии; 3. *Доступность в удаленных районах*.

Недостатками солнечной энергии являются [3]: 1. *Зависимость от погодных условий*; 2. *Высокая начальная стоимость*: помимо не самой дешёвой установки панелей, сами панели стоят очень дорого, и в итоге срок окупаемости солнечной электростанции для частного дома составляет, в зависимости от различных условий, примерно 5–10 лет.

Существует три наиболее часто использующихся вида солнечных батарей:

1 Монокристаллические кремниевые батареи.

2. Поликристаллические кремниевые батареи.

3. Тонкопленочные солнечные батареи.

Как было сказано ранее, погодные условия и другие внешние факторы сильно влияют на выработку электроэнергии в солнечных панелях и соответственно являются одной из главных проблем солнечной энергетики.

Основными внешними факторами, влияющими на производительность, являются:

1. *Уровень освещенности*: под освещённостью подразумевается количество солнечного света, которое попадает на панель. Чем выше освещенность солнечного элемента, тем больше электроэнергии он будет производить. Уровень освещённости – это фактор, объединяющий в себе несколько других факторов, таких как погодные условия (облачность, осадки, влажность), затенённость и загрязнение атмосферы.

2. *Температура*: чем горячее материал ячейки, тем больше сопротивление и тем медленнее электроны могут проходить через него. При ежедневном производстве высокие температуры вызывают падение напряжения и, как следствие, падение мощности.

3. *Угол падения света*: наклон солнечных панелей может сильно повлиять на общую производительность системы. Максимальная производительность достигается при перпендикулярном падении солнечных лучей на поверхность панели. Чем больше угол отклонения от перпендикуляра, тем меньше энергии поглощается, так как часть излучения отражается.

4. *Загрязнение поверхности*: пыль, грязь, снег, листья и другие загрязнения на поверхности панели препятствуют проникновению солнечного света к фотоэлементам, уменьшая количество поглощаемой энергии.

5. *Спектральный состав солнечного излучения*: фотоэлементы наиболее эффективно

поглощают излучение в определенной части спектра (видимый и ближний инфракрасный диапазон). Изменение спектрального состава солнечного света (например, при рассеянии в атмосфере, особенно во время восхода и заката) влияет на эффективность поглощения фотонов и, следовательно, на производительность панели.

Экспериментальная часть исследования

Практическая часть работы посвящена экспериментальному исследованию влияния некоторых из описанных внешних факторов на производительность солнечной панели. Были проведены измерения ключевых характеристик – мощности, силы тока и напряжения – при варьировании угла падения света и степени загрязнения поверхности панели.

В экспериментах использовались: лампа накаливания мощностью 100 Вт, мультиметр, монокристаллическая солнечная батарея, песок с пылью и кисть.

Характеристики солнечной батареи:

$$P_{макс} = 12Bm, U_{тр} = 6B, I_{тр} = 2A, U_{ос} = 8,64B, I_{sc} = 2,16A. \quad (1.1)$$

В первом эксперименте определялась зависимость мощности от степени загрязнения. Последовательность действий при измерении заключается в том, что для загрязнения панели на неё помещалось и равномерно распределялось фиксированное, заранее рассчитанное количество пыли с песком. Затем проводились замеры напряжения и силы тока при данном уровне загрязнения.

Объём пыли с песком, добавляемой перед измерениями равен объёму столовой ложки и его масса равна примерно 11 грамм.

Примеры загрязнения панели представлены на рисунке 1: слева на панели представлено загрязнение в 11г песка, справа загрязнение в 44г песка.

Рисунок 1. Примеры загрязнения панели

С помощью мультиметра были измерены напряжение и сила тока при различных условиях. Затем, по полученным данным были рассчитаны мощность каждой из батареи.

Зависимость напряжения, мощности и силы тока от загрязнения приведена на таблице 1. Выходная мощность батареи в процентном соотношении относительно максимальной указана в столбце 5.

Таблица 1

Зависимость напряжения, мощности и силы тока от загрязнения

m, г	U, В	I, А	P, Вт	P, %
0	7,2	1,5	10,8	100
11	6,75	0,51	3,443	31,9
22	6,62	0,24	1,589	14,7
33	6,26	0,14	0,876	8,1
44	5,94	0,06	0,356	3,3

Во втором эксперименте определялась зависимость мощности от степени пылевого загрязнения. В отличие от эксперимента №1, песок удалялся, и на панели оставалось только слой пыли. Также были проведены замеры напряжения и силы тока при данном уровне загрязнения. Примеры пылевого загрязнения от 11г до 33 г представлены на рисунке 2.

Рисунок 2. Примеры пылевого загрязнения панели

Зависимость напряжения, мощности и силы тока от пылевого загрязнения приведены в таблице 2. Выходная мощность батареи в процентном соотношении относительно максимальной указана в столбце 5.

Таблица 2

Зависимость напряжения, мощности и силы тока от пылевого загрязнения

m, г	U, В	I, А	P, Вт	P, %
11	7	0,8	5,6	51,9
22	6,8	0,6	4,08	37,8
33	6,7	0,45	3,015	27,9

В третьем эксперименте определялась зависимость напряжения и силы тока солнечной батареи от угла падения лучей. Солнечная панель была помещена на горизонтальный стол и на неё под различными углами на расстоянии 30 см светила лампа накаливания.

Зависимость напряжения, мощности и силы тока от угла падения света приведены в таблице 3. Выходная мощность батареи в процентном соотношении относительно максимальной указана в столбце 5.

Таблица 3

Зависимость напряжения, мощности и силы тока от угла падения света

Угол	U, В	I, А	P, вт	P, %
90°	6,4	0,15	0,96	100
60°	6,35	0,1	0,635	66,2
45°	6,25	0,07	0,4375	45,6
30°	6,05	0,05	0,3025	31,5

Результаты практической работы наглядно показывают важность ухода за панелями. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение влияния других факторов, таких как температура, спектральный состав света и использование различных типов солнечных панелей, подключенные систем аккумуляции энергии и систем их контроля [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гагарин. А.П.* Свет // Физическая энциклопедия / Гл. ред. А. М. Прохоров. – Большая Российская энциклопедия 1994 — Т.4. — С.460. — 704 с.

2. Массовая радио-библиотека / А.Я. Глиберман, А.К. Зайцева. «Кремниевые солнечные батареи», 1961. С. 25–30.

3. Преимущества и недостатки солнечной энергетики / Ч. Гульчарыев, М. Бегенджова, Х. Сяхетмедов, Я. Чарыева // Концепция "общества знаний" в современной науке: Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Самара, 18 ноября 2023 года. – Стерлитамак: Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований", 2023. – С. 132-134.

4. Особенности реализации метода контроля технического состояния литиевых источников тока на основе анализа релаксационных процессов, вызванных изменением нагрузки / Е.С. Денисов, Г.В. Никишина, Р.Р. Енилиев, Т.П. Никишин // Контроль. Диагностика. – 2023. – Т. 26, № 7(301). – С. 36-43.

SOLAR POWER SOURCES AND FACTORS AFFECTING THEIR PERFORMANCE

Yagin G.V.[1], Shafigullin I.D.[2]

Supervisor: Denisov E.S., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

([1]*Municipal autonomous educational institution Lyceum No.146 “Resource", Kazan*

[2]*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. This study provides information about solar panels, their types, operating principle, advantages and disadvantages. The degree of influence of various factors on the performance of solar panels is experimentally determined. Using the data obtained, tables are compiled that clearly show the change in power.

СЕКЦИЯ 22
РАДИОЭЛЕКТРРОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

УДК 621.396.677

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ, РАЗМЕЩЕННОЙ НА БПЛА

Бабаев А.Д.

Научный руководитель: Лаврушев В.Н., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлены результаты разработки и исследования параметров антенной решетки для беспилотного летательного аппарата (БПЛА), предназначенной для обнаружения положения неподвижного маяка-ретранслятора. Описана конструкция разработанной антенны, методика моделирования и исследования ключевых параметров: диаграммы направленности (ДН), коэффициента стоячей волны (КСВ), коэффициента усиления (КУ) в рабочем диапазоне частот. Результаты работы могут быть использованы при создании систем навигации, управления и передачи данных для БПЛА.

1. Введение

В докладе исследуется проблема создания антенны для БПЛА, работающего на неподвижный маяк. Проблема создания антенн для БПЛА является актуальной, но сложной задачей. Сложность решения поставленной задачи обусловлена конфигурацией и размерами БПЛА и антенной системы.

Целью работы является разработка антенны соответствующей заданным требованиям.

В процессе исследования данной антенны, поставлены следующие задачи:

1) Размеры антенны должны быть минимальными для заданной длины волны.
2) Антенная решетка должна иметь максимальный коэффициент усиления.
3) Определение метода пеленгации.
4) Обеспечение требуемого согласования в полосе частот.
5) Антенная решетка должна иметь специализированную диаграмму направленности.
6) Определение типа антенны и специального отдельного излучателя [1].

В процессе работы над докладом были проанализированы несколько методов пеленгации неподвижного маяка. Например, были проанализирован метод обнаружения за счет использования кардиоидной ДН, метод использования суммарно-разностного обнаружения источника излучения и сопровождения цели и др. В данной работе предлагается метод обнаружения источника излучения с использование разностной ДН. В виду того, что маяк является неподвижным, то использование антенны только с разностной диаграммой направленности позволяет с большой вероятностью решить поставленную задачу, так как при потере маяка, его обнаружение в азимутальной плоскости можно произвести за счет механики БПЛА. После наведения БПЛА направляется на маяк по минимуму сигнала. Для того, чтобы обеспечить вышеуказанные требования при создании антенны использовалось электродинамическое моделирование.

В качестве антенны была выбрана линейная антенная решетка (ЛАР) с разностной ДН. В качестве отдельного излучателя использовался полуволновый вибратор. В качестве материала диэлектрика выбран фольгированный фторопласт ФФ-4, использовалась несимметричная полосковая линия передачи [2,3].

2. Электродинамическая модель эквидистантной антенны

Данные использовавшиеся при создании модели:

1) Толщина диэлектрика платы h=2 мм;
2) Толщина металлизации T=50 мкм (0,05 мм);
3) Диэлектрическая проницаемость диэлектрической пластины ε=2,1;
4) Реализация на несимметричных полосковых линиях.

Предполагаемые характеристики для антенной решетки:

1) Количество излучателей N=4;

2) Рабочая частота f=2 ГГц, соответствующая ей длина волны λ=150 мм;
3) Равномерное амплитудное распределение;
4) Фазовое распределение φ_1=0 φ_2=0°, φ_3=180°, φ_4=180°;
5) Расстояние между излучателями d ≤ 50мм.

По заданным характеристикам получен следующий множитель решетки (Рис. 1):

Рис. 1. Множитель решетки ЛАР

Электродинамическая модель состоит из:

1) Платы делителя мощности;
2) Секции излучателей из 4 излучателей.

Для получения заданного фазового и амплитудного распределения использовалась конструкция делителя мощности на несимметричной полосковой линии с использованием ступенчатых трансформаторов на отрезках линии длиной λ/4. Делитель состоит из трёх частей с коэффициентом деления К=0,5-0,5 (Рис.2), трансформаторов с 150 Ом на 75 Ом, секции фазовращателя на 180° (Рис.3), линий ведущих к излучателям [4-6].

Была исследована зависимость коэффициента усиления ЛАР от длины вибратора l/λ. Выбран укороченный полуволновый вибратор длиной λ/3 (Рис.4), плата разработана под этот тип излучателей.

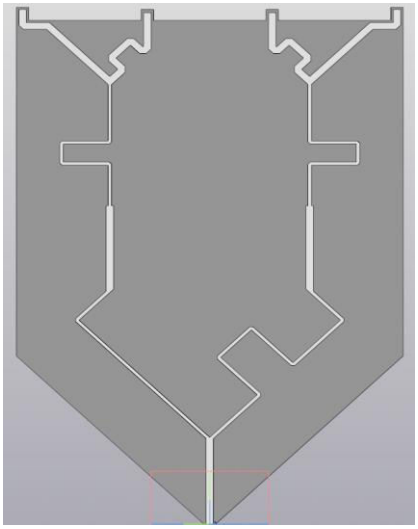


Рис.2 Плата делителя мощности

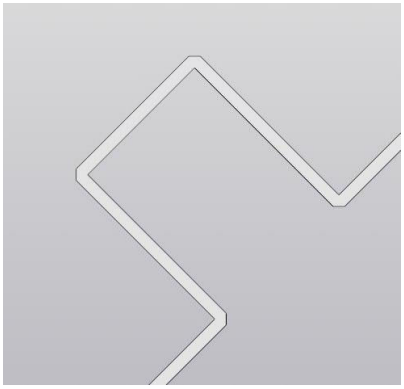


Рис.3 Секция фазовращателя на 180°

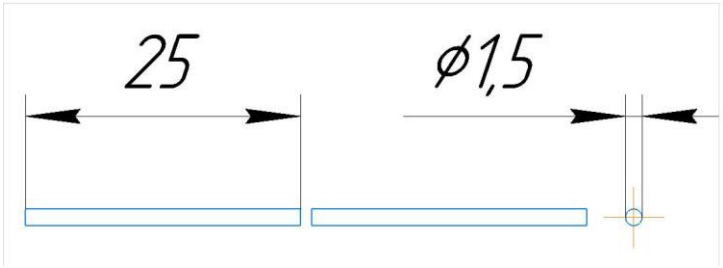


Рис. 4. Укороченный диполь из вибраторов длиной λ/3

Выводы: Спроектирована плата делителя мощности линейной антенной решетки для системы обнаружения БПЛА. Выбран тип излучателя для антенной решетки, подобраны параметры для него.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Устройства СВЧ для радиоэлектронных систем: учебное пособие / А.А. Авксентьев, Н.Г. Воробьев, Г.А. Морозов, Н.Е. Стахова; под ред. докт. техн. наук Г.А. Морозова Изд. 2-е, испр. И доп. - Казань. Изд-во Казан. гос. Техн. ун-та, 2014. -135 с.

2. Конструкции устройств СВЧ бортовых радиосистем: учеб. пособие по дисциплине «Конструкции и техника СВЧ» / А.А. Авксентьев, Н.Г. Воробьев, Г.А. Морозов; Казан. авиац. ин-т им. А. Н. Туполева, Каф. радиоуправления. — Казань: КАИ, 1985. — 70 с. : ил.

3. Антенна и устройства СВЧ: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов. - М: Высш. шк., 1988. - 432с.: ил.

4. Справочник по расчету и конструированию СВЧ С74 полосковых устройств / С.И. Бахарев, В.И. Вольман, Ю.Н. Либ и др.; Под ред. В.И. Вольмана. - М.: Радио и связь, 1982. - 328 с., ил.

5. Конструирование экранов и СВЧ устройств: Учебник К65 для вузов / А.М. Чернушенко, Б.В. Петров, Л.Г. Малорацкий и др., Под ред. А.М. Чернушенко. - М.: Радио и связь, 1990. - 352с.: ил.

6. Конструирование и расчет полосковых устройств. Учебное пособие для вузов. Под редакцией чл. - корр. АН БССР проф. И.С. Ковалева. М.: «Сов. Радио». 1974. -296 с.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF ANTENNA ARRAY PARAMETERS PLACED ON THE UAV

Babaev A.D.

Supervisor: Lavrushev V.N., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents the results of the development and research of the antenna array parameters for an unmanned aerial vehicle (UAV) designed to detect the position of a stationary repeater beacon. The design of the developed antenna, the methodology of modeling and

research of key parameters are described: radiation pattern (RP), standing wave ratio (SWR), gain coefficient (GC) in the operating frequency range. The results of the work can be used to create navigation, control and data transmission systems for UAVs.

УДК 629.783

СИСТЕМА УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В УДАЛЕННЫХ РЕГИОНАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Бойко А.А.

Научный руководитель: Бобина Е.А., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе рассматривается система удаленного мониторинга нефтегазовой промышленности в удаленных регионах с использованием спутниковой связи. Для реализации удаленного мониторинга была использована гибридная система связи с использованием наземной и спутниковой технологии передачи данных. Рассмотрен алгоритм работы микроконтроллера для фильтрации и приоритезации информационных пакетов.

1. Введение

Система удаленного мониторинга объектов — это целый комплекс технологий, которые позволяют осуществить наблюдение за местом или объектом, расположенных на расстоянии. В данную систему обычно входят датчики и камеры, информация от которых, с помощью спутниковой системы связи передается в центр управления, где операторы обрабатывают полученную информацию и при обнаружении проблем совершают дальнейшие действия. Для реализации такого мониторинга идеально подходит гибридная схема передачи данных и использование микроконтроллера, который фильтрует пакеты данных.

2. Архитектура гибридной системы удаленного мониторинга

Архитектура системы удаленного мониторинга объектов с использованием спутниковой связи представляет собой три основных части [1].

- Пользовательский сегмент

На каждом участке производства установлены датчики, контролирующие показатели окружающей среды или критические изменения на производстве:

Термометры: необходимы для мониторинга как температуры окружающей среды в целом, так и температуры содержимого цистерн.

Датчики давления: контролируют давление в цистернах с газом или нефтью.

Сейсмографы: передают информацию о сейсмической активности в районе производства.

Инфракрасные камеры: контролируют температуру отдельных частей конструкций, для которых перегревание может оказаться критическим.

Нивелиры: необходимы для контроля и прогнозирования изменений в надежности грунта, например, оползни и оттаивание в районах вечной мерзлоты.

Данные с этих датчиков считываются микроконтроллером, после чего отправляются на локальный шлюз в виде сформированных пакетов.

- Земной сегмент

Данный сегмент состоит из базовых станций, которые получают информацию со спутников или наоборот передают ее на спутники.

- Космический сегмент

Сегмент содержит спутники-ретрансляторы, позволяющие передавать информацию между базовыми наземными станциями (Рис. 1).

3. Алгоритм работы микроконтроллера, фильтрующего пакеты.

Для мониторинга важно разделять пакеты данных по их типу, для того чтобы более приоритетная информация поступала в центр контроля как можно скорее.

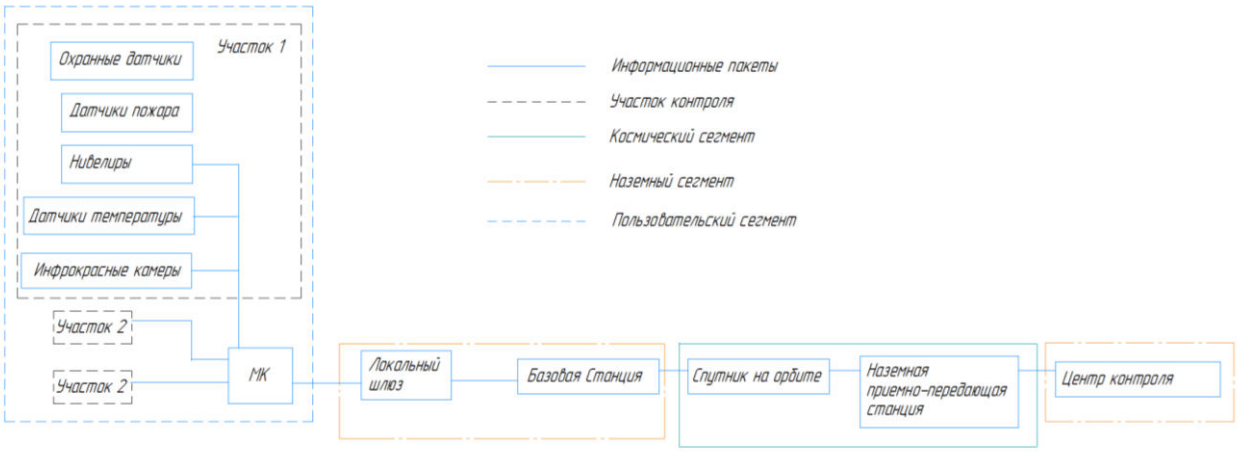


Рис. 1. Архитектура системы удаленного мониторинга нефтегазовой промышленности

Для того чтобы оператор из мог своевременно реагировать на изменения на участке контроля, необходимо сортировать пакеты данных по приоритетности прежде, чем передавать их на локальный шлюз. Реализовать это можно с помощью 8-разрядного микроконтроллера с архитектурой RISC-V, который имеет открытый исходный код и является очень распространенным в настоящее время [2]. Микроконтроллер работает последовательно, это означает что информационные пакеты будут обрабатываться поочередно, а не все вместе. Как только сигнал поступает на МК, происходит анализ, с какого же датчика поступила информация, если это информация с датчика класса А, то этот информационный пакет будет сразу же направлен на локальный шлюз, для передачи в центр контроля, в другом случае будет происходить опрос следующих датчиков. Практически для каждого датчика установлены пороговые значения минимума и максимума или эталоны, при опросе датчика, значение с него сравнивается с этими ограничениями, если все в порядке, то данные будут направлены в буфер, а если же значение достигает предела, то тогда данная информация будет незамедлительно направлена на локальный шлюз. После опроса всех датчиков произойдет проверка буфера, если данные в нем хранятся более чем 10 минут, тогда они будут направлены на локальный шлюз, а если прошло менее 10 минут, то микроконтроллер продолжит опрашивать датчики с самого начала, накапливая информацию в буфере. Виды приоритетов информационных пакетов:

Приоритет А - пакеты экстренных данных (отключение электричества, отклонение от нормы сейсмографа, превышение нормальных показателей температуры в цистернах).

Приоритет Б - пакеты средней важности (критическое падение температуры окружающей среды, превышение нормальных значений давления в цистернах).

Приоритет В - пакеты низкой важности (контроль температуры, записи с инфракрасных камер и нивелиров).

Данное распределение пакетов по приоритетам позволит грамотно распределять трафик в системе. Фильтрация пакетов происходит с помощью сетевого экрана или микроконтроллера (Рис. 2).

4. Заключение

В результате проведённой работы была разработана подробная архитектура системы удаленного мониторинга объектов в удалённых регионах. В данной системе так же присутствует микроконтроллер, для которого был создан алгоритм работы. Данная система

подойдет для мониторинга нефтеперерабатывающего производства в регионах с плохо инфраструктурой сотовой связи и низкой плотностью населения.

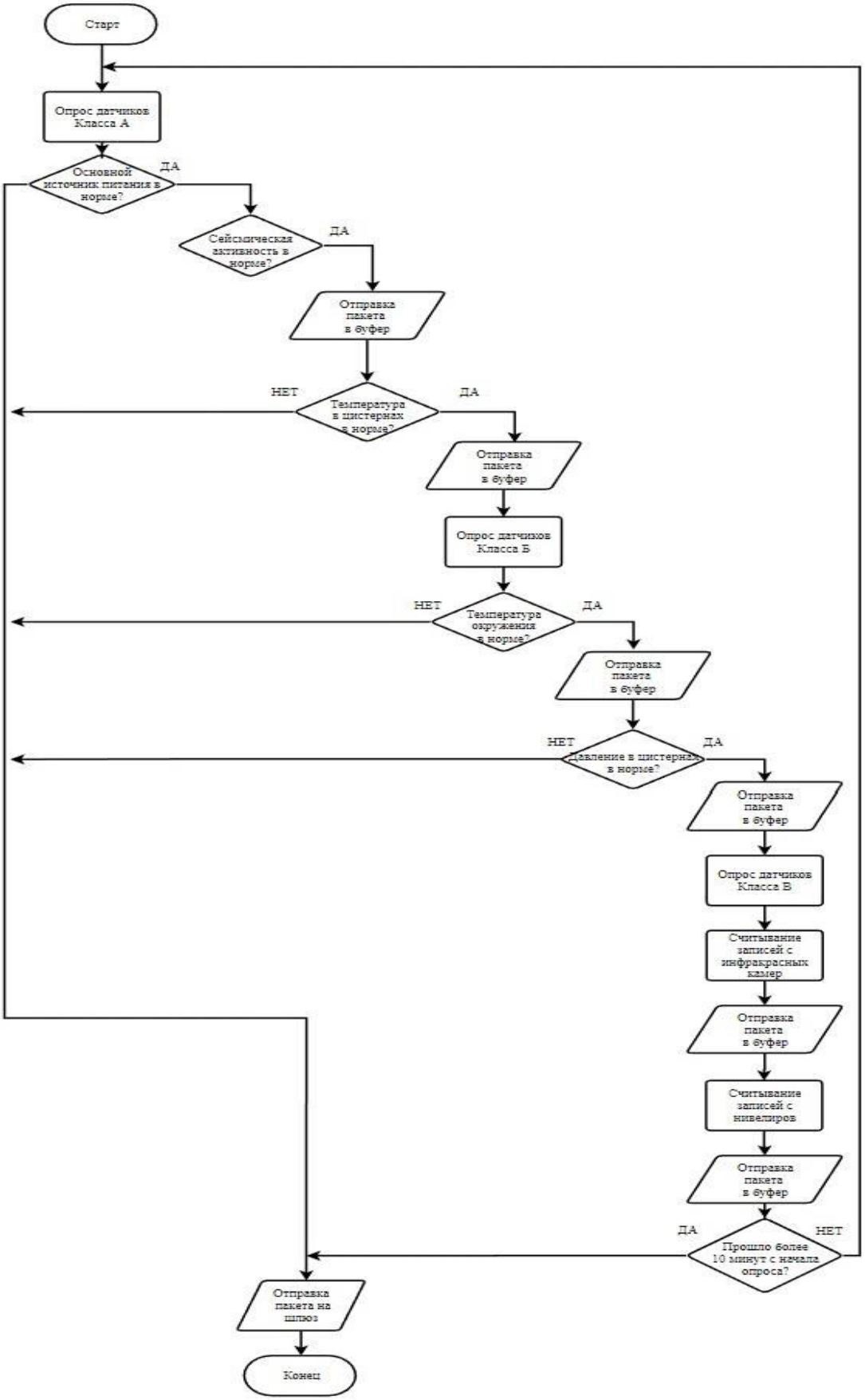


Рис. 2. Алгоритм работы микроконтроллера

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Бабин Н.Н.* Средства и комплексы систем спутниковой связи: учебное пособие / Н.Н. Бабин, О.В. Воробьев, Г.Г. Павлова. — Санкт-Петербург: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2020. URL: https://e.lanbook.com/book/180186 (дата обращения 17.05.25).

2. *Фролов В.А., Галактионов В.А., Санжаров В.В.* Исследование технологии RISC-V //Труды Института системного программирования РАН. – 2020. – Т. 32. – №. 2. – С. 81-98.

REMOTE MONITORING SYSTEM FOR THE OIL AND GAS INDUSTRY IN REMOTE REGIONS USING SATELLITE COMMUNICATIONS

Boyko A.A.

Supervisor: Bobina E.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper examines the architecture of a remote monitoring system for oil and gas production facilities in remote regions. To implement the scheme in remote regions with poor infrastructure, a hybrid communication system is used in conjunction with satellite and terrestrial technologies. The algorithm of operation of a microcontroller for sorting information packets at the control site is considered. As a result, the architecture of the remote monitoring system and the algorithm of operation of the necessary microcontroller were compiled.

УДК 629.783

СПУТНИКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В УДАЛЁННЫХ

Бойко А.А.

Научный руководитель: Бобина Е.А., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе проведён анализ спутниковых технологий передачи данных с целью применения их для мониторинга сельскохозяйственных объектов, расположенных в отдалённых регионах. Рассмотрены как уже внедрённые системы, так и перспективные разработки, находящиеся на стадии исследований. По результатам анализа выявлено, что технологии HTS демонстрируют наибольший потенциал для решения задач мониторинга.

1. Введение

Актуальность развития спутниковых технологий передачи данных обусловлена их стремительным прогрессом и всё более широким внедрением в повседневную жизнь. Преимуществом таких технологий является независимость от наземной инфраструктуры, что позволяет обеспечить стабильную передачу данных даже в отдалённых регионах, где слабо развита или отсутствует наземная связь, а также в экстремальных ситуациях (например, при стихийных бедствиях). Спутниковые системы передачи данных находят всё большее применение в военной сфере, авиации и морской навигации благодаря повышенной защищённости передаваемых данных и устойчивости к помехам. Особый интерес представляет организация мониторинга на сельскохозяйственных землях, расположенных в труднодоступных регионах. Именно в таких условиях спутниковая связь представляется наиболее привлекательным решением для передачи данных с объектов непосредственно в центр обработки.

Следует отметить, что, хотя на практике прямое подключение датчиков к спутниковым каналам может быть ограничено высокой стоимостью соответствующих модулей, данная работа ориентирована на анализ существующих и перспективных спутниковых технологий.

2. Анализ спутниковых технологий передачи данных

В данной работе рассмотрены основные технологии спутниковой передачи данных, представленной на Рис. 1, каждая из которых имеет свои преимущества и ограничения. Основной для работы системы удаленного мониторинга сельскохозяйственных объектов является передача информационных пакетов. Для этого применяются различные технологии передачи данных, как наземные, так и спутниковые, образуя полноценную систему. Сейчас существует несколько систем высокоскоростной передачи данных между абонентами в сети. В зависимости от типа пакетов необходимо использовать разные технологии. Данный анализ позволит определить, какая из популярных спутниковых технологий, наилучшим образом подходит для создания системы удаленного мониторинга сельхоз объектов.

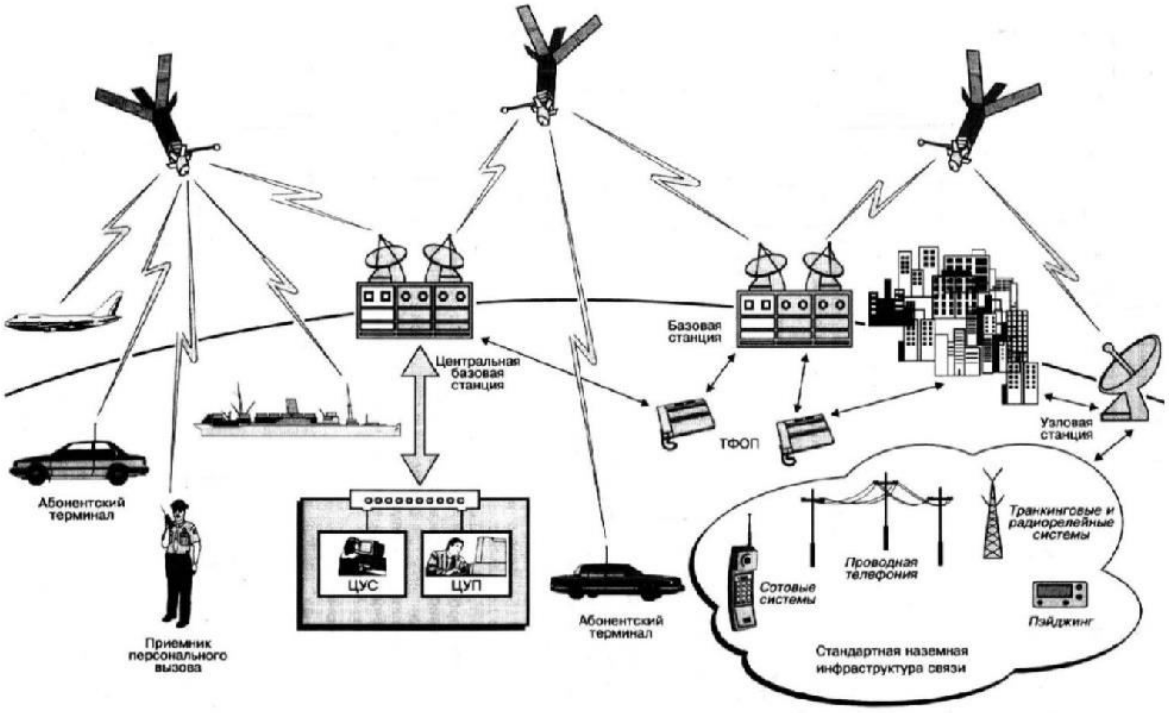


Рис. 1. Организация системы спутниковой связи [1].

Высокопроизводительный спутник HTS (High Throughput Satellite). Эти спутники обладают пропускной способностью, многократно превосходящей возможности традиционных аппаратов при использовании одинакового объёма выделенных частот. Например, если обычный спутник способен передавать порядка 2 Гбит/с, то аппараты серии Intelsat IX показывают скорость до 4 Гбит/с [2]. Такая производительность особенно важна при передаче больших объёмов данных с объектов мониторинга. HTS-спутники намного производительнее за счет:

- Повторного использования частот (frequency reuse);
- Использования большого набора высокоэнергичных точечных лучей;
- Снижения стоимости передачи бита информации, независимо от спектральной емкости.

VSAT (very small aperture terminal) — это технология, которая позволяет системе обойтись без крупных наземных станций, терминал будет устанавливаться непосредственно у конечного пользователя. Такие станции имеют высокую автономность, они не нуждаются в постоянном обслуживании квалифицированным персоналом, что снижает затраты на их эксплуатацию. Такую технологию обычно используют в частных сетях, и она является очень востребованной как на российском рынке, так и за рубежом [3].

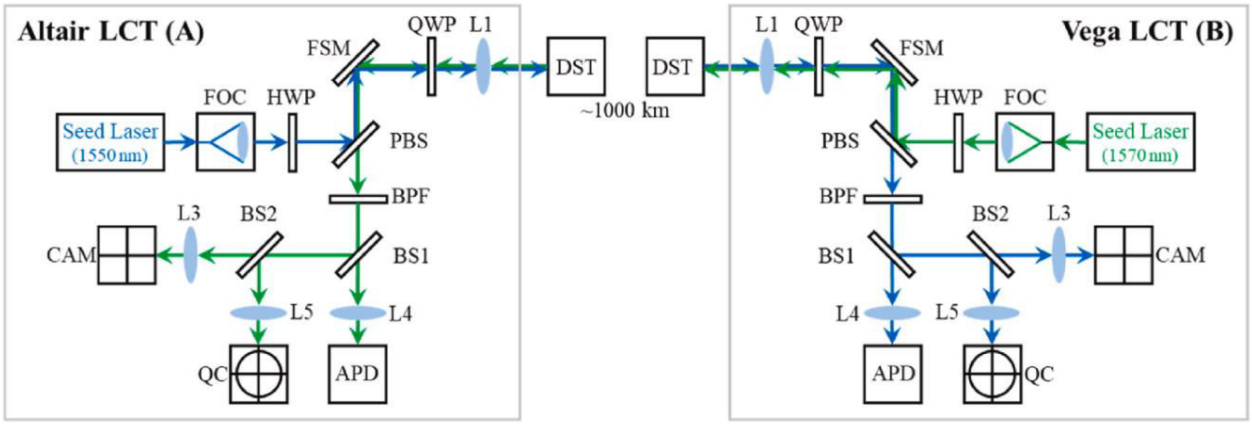
Технология передачи данных ATM обеспечивает асинхронную передачу данных с высокой пропускной способностью до 622 Мбит/с. Данную технологию используют для

построения высокоскоростных сетей, способных объединять локальные сети в рамках одной организации или между различными организациями. Для подключения к сети АТМ требуется специальная сетевая карта, а в качестве среды передачи данных используется оптический кабель [4].

Существуют также перспективные технологии спутниковой передачи данных, находящиеся на стадии исследований и не имеющие широкого коммерческого применения.

Квантовая связь основана на использовании квантовых свойств частиц, например, фотонов и явлений квантовой суперпозиции и квантовой запутанности. Информация в данной системе, закодированная в квантовых состояниях, а носителями этой информации являются квантовые системы, находящиеся в различных квантовых состояниях. Такие системы способны обеспечивать мгновенную синхронизацию состояния частиц, независимо от расстояния между ними [5].

Лазерная связь использует лазеры для передачи информации посредством световых волн. Организация спутниковой связи с использованием лазеров представлена на Рис. 2. Такой подход характеризуется высокой пропускной способностью и способностью передавать данные на большие расстояния с минимальными потерями сигнала. Несмотря на многочисленные преимущества, лазерные системы связи сталкиваются с некоторыми техническими проблемами, такими как необходимость точной системы наведения и стабилизации, влияние атмосферных условий на качество связи, а также высокая стоимость разработки и внедрения этих систем [6].



Seed Laser - источник лазера
QWP (Quarter Wave Plate) - четвертьволновая пластина
BS* (Beam Splitter) - светоделитель
FSM (Fast Steering Mirror) - зеркало быстрого наведения
L3/4/5 (focusing Lens) - фокусирующая линза
QC (Quadrant Cell) - фотоприемник с квадрантными ячейками
L1 (collimating Lens) - коллимационная линза
FOC (Fiber Optic Coupler) - волоконно-оптический соединитель
HWP (Half Wave Plate) - полуволновая пластина
PBS (Polarisation Beam Splitter) - поляризованный светоделитель
APD (Avalanche Photodiode Detector) - лавинный фотодиодный детектор
DST (Deployable Space Telescope) - развертываемый космический телескоп
CAM (short-wave-infrared CAMera) - коротковолновая инфракрасная камера

Рис. 2. Организация спутниковой связи с использованием лазерных технологий [6]

Спутники с искусственным интеллектом (ИИ). В этой системе ИИ анализирует данные в реальном времени и предлагает оператору меры по оптимизации работы спутника. Такой подход может повысить эффективность обработки и принятия решений за счёт автоматизации процессов управления. На данный момент использование такого вида спутников не сильно распространено, однако в бедующем это может сильно расширить возможности использования спутниковых систем связи [7].

Для выбора оптимальной спутниковой технологии для мониторинга сельскохозяйственных объектов в удалённых регионах целесообразно учитывать следующие параметры:

• Скорость передачи данных. Оценивается максимальная скорость, с которой технология способна передавать данные. Для онлайн мониторинга очень важен показатель скорости передачи данных. Операторы в центре контроля должны получать данные как можно быстрее, чтобы своевременно реагировать на критические изменения.

• Хранение и буферизация данных. Поддержка интеграции с системами хранения информации гарантирует надёжную работу системы в условиях нестабильного канала связи. Также, крайне важно предусмотреть возможность последующего архивирования и аналитики собранной информации.

• Безопасность данных. Обеспечение защиты передаваемой информации от несанкционированного доступа и кибератак. Для гарантии конфиденциальности и безопасности передаваемых данных возможно использование методов шифрования, проверку подлинности устройств и механизмов контроля доступа.

• Зона покрытия. Анализируется географический охват сети, в том числе и в условиях отсутствия развитой наземной инфраструктуры связи.

• Стоимость. Этот критерий учитывает все затраты, включающие как первоначальные капитальные затраты на оборудование и внедрение технологии, так и текущие эксплуатационные расходы.

• Надёжность передачи. Этот параметр характеризует устойчивость рассматриваемой технологии к внешним помехам, потерям пакетов информации и другим сбоям. Данный параметр гарантирует, что даже в самых неблагоприятных условиях информация будет доставлена в целостном виде.

• Задержка. Данный параметр характеризует время, которое требуется технологии для передачи данных от объекта мониторинга до конечного центра обработки. Для быстрого реагирования критически важно минимизировать задержку на сколько это возможно, особенно для аварийных оповещений или критически важных сигналов.

• Энергоэффективность. Характеризует потребление энергии устройствами, которые используют данную технологию. Очень важно, чтобы выбранная технология обеспечивала минимальное энергопотребление, это будет позволять устройствам работать длительное время без подзарядки.

• Простота интеграции. Данный критерий оценивает, насколько легко выбранную технологию встроить в разрабатываемую систему. Простота интеграции снижает сложность разработки прототипа и ускоряет время его внедрения, а также делает ее более гибкой.

Исходя из результатов анализа, можно сделать вывод что технология HTS является наиболее производительной и подходит для создания системы удаленного мониторинга сельскохозяйственных объектов. За счет высокой скорости передачи и низкой задержки данная технология обеспечивает возможность онлайн мониторинга. Важным аспектом является большая зона покрытия, так как система позволит организовать удаленный мониторинг даже в районах с отсутствием инфраструктуры.

3. Заключение

Исследование показало, что рассмотренные спутниковые технологии передачи данных обладают значительным потенциалом для организации мониторинга сельскохозяйственных объектов в отдалённых регионах. Среди рассмотренных решений наибольшие преимущества показала технология HTS, которая способна обеспечить высокую пропускную способность и стабильную связь даже при отсутствии развитой наземной инфраструктуры. Дальнейшие исследования позволят оценить практическую эффективность выбранных технологий и определить перспективы их развития в данной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Бабин Н.Н.* Средства и комплексы систем спутниковой связи: учебное пособие / Н.Н. Бабин, О.В. Воробьев, Г.Г. Павлова. — Санкт-Петербург: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2020. — 155 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/180186 (дата обращения: 15.04.2025).

2. Лекция по технологиям HTS [Электронный ресурс]. URL: http://komin.ru/files/A%20High%20Throughput%20Satellite%20Teach-In.pdf (дата обращения: 20.05.25).

3. *Журавле А.Е.* Инфокоммуникационные системы. Аппаратное обеспечение: учебник для вузов / А.Е. Журавлев, А.В. Макшанов, А.В. Иванищев. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2024. — ISBN 978-5-507-50110-6. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/412106 (дата обращения: 20.05.25).

4. Моделирование локальных вычислительных сетей: методические указания / составители М.Ю. Сергеев, Т.И. Сергеева. - Воронеж: ВГТУ, 2023. — 38 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/340391 (дата обращения: 20.05.25).

5. *Гринц В.И., Малышев Д.О* Спутниковые системы на основе квантовых линий связи / Электронная техника и технологии. // Текст: Электронный // КиберЛенинка: Научная электронная библиотека— URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sputnikovye-sistemy-na-osnove-kvantovyh-liniy-svyazi/viewer (дата обращения: 20.05.25).

6. *Аничкин А.Д.* Применение лазерных систем связи для передачи данных в космическом пространстве / А.Д. Аничкин, В.Л. Оленев // Системный анализ и логистика. – 2024. – № 3(41). – с. 17-24.

7. *Ромашкина Н.П.* Спутниковые системы управления с применением искусственного интеллекта. / Вопросы кибербезопасности. 2023. №6(58) / DOI: 10.21681/2311-3456-2023-6-128-137 / Текст: электронный // URL: https://cyberrus.info/wp-content/uploads/2023/12/vokib-2023-6-st10-s128-137.pdf (дата обращения: 20.05.25).

SATELLITE DATA TRANSMISSION TECHNOLOGIES FOR MONITORING OF AGRICULTURAL OBJECTS IN REMOTE REGIONS

Boyko A.A.

Supervisor: Bobina E.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper analyzes satellite data transmission technologies with the purpose of their application for monitoring of agricultural facilities located in remote regions. Both already implemented systems and promising developments that are still at the research stage are considered. According to the results of the analysis it was found that HTS technologies demonstrate the greatest potential for solving monitoring tasks.

УДК 621.398

УСТРОЙСТВО ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ КАРДИОСИГНАЛОВ

Бурков Н.В., Сергеев И.К.

Научный руководитель: Овчинников А. Л., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В докладе представлена устройство для непрерывного мониторинга артериального давления (АД) по сигналам электрокардиограммы (ЭКГ) и фотоплетизмограммы (ФПГ). Описаны метод оценки, положенный в основу измерения регрессионная модель для оценки АД, а также основные принципы, положенные в основу технической реализации устройства. Представлены основные достоинства устройства и ограничения для его применения.

1. Введение

Повышенное кровяное артериальное давление (АД), или артериальная гипертензия, является критическим заболеванием, которое значительно повышает риск развития серьезных заболеваний головного мозга, почек, сердца [1]. Постоянное измерение АД и мониторинг его изменений необходимы для раннего вмешательства при артериальной гипертензии и других сердечно-сосудистых заболеваниях. Традиционные неинвазивные методы измерения АД, использующие надувные манжеты (сфигмоманометрия и осциллометрия) имеют ряд ограничений и неудобств, особенно если пациенты нуждаются в регулярных измерениях. Кроме того, они не обеспечивают непрерывности измерений. Для устранения этих недостатков проводятся многочисленные исследования, направленные на создание и внедрение эффективных методов косвенной оценки АД, использующие безманжетные неинвазивные измерения. Наиболее распространенными из них являются методы оценки АД по сигналам электрокардиограммы (ЭКГ) и фотоплетизмограммы (ФПГ) [2].

Высокий уровень развития элементной базы для неинвазивного измерения кардиосигналов позволяет создавать компактные носимые устройства с высокой точностью измерения сигналов ЭКГ и ФПГ. Это открывает возможность отказаться от традиционных манжетных тонометров и перейти на новые устройства, реализующие методы косвенной оценки АД на основе неинвазивного измерения кардиосигналов.

2. Описание метода

В основе используемого устройством метода оценки АД лежит зависимость его значения от времени прохождения пульсовой волны (PAT) [3].

Время прохождения пульсовой волны можно определить, как время распространения давления по артериальному дереву от сердца до периферийной точки на теле человека. Начало пульсовой волны фиксируется с помощью сигнала ЭКГ по появлению R-пика. А приход пульсовой волны в периферийную точку определяется по сигналу фотоплетизмограммы.

При гипотезе, что эластичность сосудов во времени не меняется, значение АД зависит от PAT линейно: чем выше давление, тем быстрее распространяется пульсовая волна по сосудам, и тем меньше PAT. Кроме того, увеличение уровня АД можно обнаружить по изменению сердечного ритма: при повышении давления пульс увеличивается [3,4].

Таким образом, имея в наличии записи сигналов ЭКГ и фотоплетизмограммы (ФПГ), можно получить два важнейших параметра, характеризующих сердечно-сосудистую систему человека: артериальное давление (через время прохождения пульсовой волны и частоту сердечных сокращений) и частоту сердечных сокращений (HR).

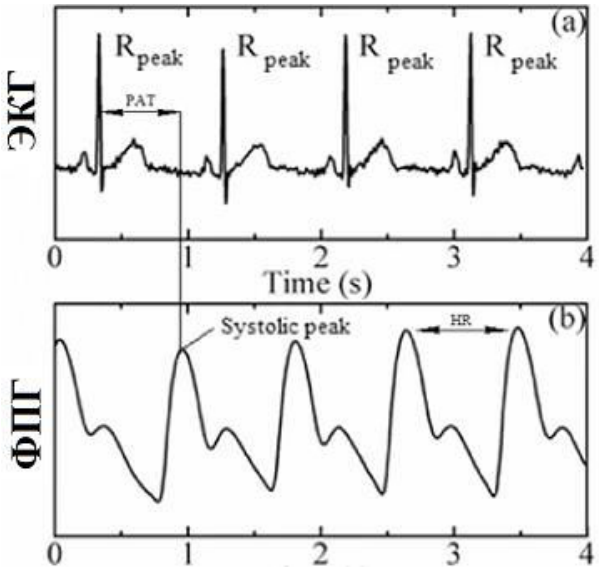


Рис. 1. Записи сигналов ЭКГ и ФПГ

Существующие электронные сенсоры позволяют достаточно просто обнаружить и измерить параметры кардиосигналов.

Значение HR можно определить, как по интервалу между соседними R-пиками на ЭКГ, так и по интервалу между соседними систолическими пиками на сигнале ФПГ. Как правило, для вычисления значения HR, используется усреднение по 10 соседним межпиковым интервалам записи сигнала. Определение пиков на сигналах ЭКГ и ФПГ осуществляется с помощью известного алгоритма Пана-Томпкинса (Рис. 1) [5].

Ввиду того, что АД по своей природе зависит от очень многих факторов (скорости распространения пульсовой волны, состояния сосудов, свойств крови, характеристик работы сердечной мышцы и пр.), для оценки его значений по параметрам кардиосигналов используются различные эмпирические модели. Как правило, в этих моделях предполагается, постоянство эластичности сосудов во время измерения. В нашей работе использовалась линейная регрессионная модель, связывающая оценки артериального давления со значениями PAT и HR следующими выражениями:

$$SBP = A_1 \cdot PAT + B_1 \cdot HR + C_1, \quad (1)$$

$$DSP = A_2 \cdot PAT + B_2 \cdot HR + C_2, \quad (2)$$

где: SBP – систолическое давление; DSP - диастолическое давление; A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2 – неизвестные коэффициенты регрессии.

Достоинством модели является простота получения измеряемых параметров и возможность ее реализации на микроконтроллерах.

Значения коэффициентов регрессии определяются в два этапа. На первом проводится общее обучение модели на большой базе данных, содержащих результаты многопараметрических измерений сердечно-сосудистой системы пациентов больниц [6, 7]. На втором этапе проводится индивидуальная калибровка для конкретного пользователя (5-6 измерений совместно с манжетным тонометром). Поскольку с течением времени характеристики сосудов могут незначительно меняться требуется периодически проводить калибровку алгоритма, используя в качестве эталонных значений АД результаты измерений с помощью манжетного тонометра.

Тестирование рассматриваемой модели на реальных значениях сигналов ЭКГ и ФПГ показало отклонение оценок АД от результатов измерений с помощью манжетного тонометра в пределах 11%.

3. Аппаратная реализация

Одним из основных достоинств описанного метода оценки АД является доступность и широкая номенклатура аппаратной базы для измерения сигналов ЭКГ и ФПГ, а также высокий уровень развития методов их обработки (фильтрация помех, определение опорных (характерных) точек сигналов и т.п.).

В сигнале ЭКГ, как было показано выше, информативным параметром является только R-пик. В этой связи для съема ЭКГ сигналов достаточно использовать измерение кардиограммы по самой схеме – по отведению I: «левая рука-правая рука». Для ее реализации достаточно использовать только два электрода. Данный способ широко используется в носимых кардиомониторах и позволяет получить точные измерения ЭКГ сигнала.

Для получения пульсовой волны необходима периферийная точка на теле человека, которая, с одной стороны, будет достаточно удалена от сердца (по длине сосудов). С другой стороны, была бы удобна для установки фотоплетизмографического датчика и давала бы возможность получить ФПГ сигнал достаточно высокого уровня. По этим критериям наиболее оптимальным местом установки ФПГ датчика измерения пульсовой волны является указательный палец правой руки.

Такая схема измерения сигналов ЭКГ и ФПГ позволяет сделать компактное устройство носимое устройство, удобное для использования.

Устройство выполнено в виде чехла для смартфона, внутри которого размещены

сенсоры, аккумулятор и электронная плата. Снаружи чехла закреплены электроды для съема сигналов ЭКГ и ФПГ датчик – для съема пульсовой волны. Схема измерения реализована на микроконтроллере MAX86150 [8]. Преимуществом данного микроконтроллера является возможность синхронной регистрации сразу двух сигналов – ЭКГ и ФПГ, при относительно невысокой стоимости.

В измерительной плате данные после съёма проходят предварительную фильтрацию и буферизацию в микроконтроллере. Длительность измерения сигналов ограничена интервалом 20 сек, что обусловлено размером буфера микроконтроллера. Затем данные передаются на смартфон по каналу Bluetooth, посредством встроенного в микроконтроллер модема.

Обработка сигналов с помощью математической модели (1),(2) осуществляется с помощью предварительно загруженной на мобильный телефон программы. На этом этапе определяются параметры, необходимые для оценки АД: точки на оси времени, соответствующие R-пикам ЭКГ, систолическим пикам пульсовой волны на ФПГ, время прохождения пульсовой волны, а также частота сердечных сокращений. Далее используется индивидуально откалиброванная линейная модель (1), (2) с уже известными коэффициентами регрессии, которая по значению PAT и HR оценивает систолическое и диастолическое давление.

Полученные значения частоты сердечного ритма, систолического и диастолического отображаются на экране телефона, а при наличии интернет-соединения - автоматически отправляются на сервер. На сервере данные агрегируются, строятся тренды, отслеживается отклонения и осуществляется другая обработка, необходимая для получения информации о состоянии сердечно-сосудистой системы.

4. Заключение

Безманжетное измерение АД на основе неинвазивного контроля кардиосигналов открывает большие возможности для создания носимых компактных, надежных, простых в эксплуатации и относительно недорогих устройств, имеющих точность оценки давления на уровне характеристик традиционных манжетных тонометров. Однако для широкого внедрения данного устройства требуется проведение ряда дополнительных исследований. Оценка АД зависит от точности измерения PAT. Поэтому алгоритм критичен к погрешностям определения пиков кардиосигналов. Особенно это касается определения систолического пика сигнала ФПГ. Кроме того, текущий алгоритм, реализованный в устройстве, прошел проверку только для людей с выраженной артериальной гипертензией. Поэтому в дальнейшем необходимы дополнительные исследования по оценке точности его работы для различных категорий людей с нормальным уровнем АД. Задача непрерывного контроля сердечно-сосудистой системы организма актуальна для многих практических приложений. Особенно востребован неинвазивный непрерывный контроль АД при функциональной диагностике здорового организма в задачах спортивной медицины. Кроме того, используемая в устройстве модель оценки АД предполагает неизменность эластичности сосудов во времени. Данное условие на практике не выполнимо. Поэтому описываемое в докладе устройство требует не только предварительной индивидуальной настройки для конкретного пользователя, но и проведение периодической калибровки. В этой связи, необходимы дополнительные исследования для определения оптимального времени, затрачиваемого на проведение калибровки, и оптимального межкалибровочного периода устройства.

Представленные в докладе результаты получены в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Timmis A. et al*. European Society of Cardiology: cardiovascular disease statistics 2019 //European heart journal. – 2020. – Т. 41. – №. 1. – С. 12-85.

2. *Lin J. et al.* Wearable sensors and devices for real-time cardiovascular disease monitoring //Cell reports physical science. – 2021. – Т. 2. – №. 8.

3. *Анисимов А.А., Сергеев Т.В.* Алгоритм оценки артериального давления по времени распространения пульсовой волны //Биотехносфера. – 2015. – №. 4 (40). – С. 57-61.

4. *Baek H.J.* et al. Enhancing the estimation of blood pressure using pulse arrival time and two confounding factors //Physiological measurement. – 2009. – Т. 31. – №. 2. – С. 145.

5. *Обухов С.А., Степанов В.П.* Алгоритм обнаружения QRS-комплекса на электрокардиограмме в реальном времени //Инженерный журнал: наука и инновации. – 2019. – №. 5 (89). – С. 5.

6. *Charlton P.H. et al.* Pulse Wave Database (PWDB): A database of arterial pulse waves representative of healthy adults. – 2019.

7. *Charlton P.H. et al*. Modeling arterial pulse waves in healthy aging: a database for in silico evaluation of hemodynamics and pulse wave indexes //American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology. – 2019. – Т. 317. – №. 5. – С. H1062-H1085.

8. MAX86150 evaluation kit – Evaluates: MAX86150. Текст: электронный – 2017. – URL: https://www.micro-semiconductor.com/datasheet/06-MAX86150EVSYS.pdf (дата обращения 01.06.2025).

A DEVICE FOR CONTINUOUS MONITORING OF BLOOD PRESSURE BASED ON THE PARAMETERS OF CARDIAC SIGNALS

Burkov N.V. Sergeev I.K.

Supervisor: Ovchinnikov A.L, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The report presents a device for continuous monitoring of blood pressure (BP) based on electrocardiogram (ECG) and photoplethysmogram (PPG) signals. The estimation method used as the basis for measuring the regression model for estimating blood pressure, as well as the basic principles underlying the technical implementation of the device, are described. The main advantages of the device and limitations for its use are presented.

УДК 62-529

СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ПО ИЗЛУЧАЕМОМУ ЗВУКУ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Гордеева Д.А., Егоров В.В.

Научный руководитель: Золотенкова М.К., ассистент

(Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет), г. Москва)

Аннотация. Система предназначена для обнаружения объектов с заданным типичным фоновым шумом и служит как для маркировки присутствия объекта в зоне слышимости, так и для его определения относительно системы при помощи 4 разнесённых микрофонов и нейросети. Был собран альфа-датасет, обучена нейронная сеть, а также построены графики кривых обучения.

Разрабатываемая система предназначена для обнаружения объектов с заданным типичным фоновым шумом и служит как для маркировки присутствия объекта в зоне слышимости, так и для его определения на сетке плоскости лево-право-верх-низ. Для этого используется 4 разнесённых микрофона, параллельно передающих данные на обработчика сигнала в реальном времени, откуда данные с 4 каналов поступают на вход нейросети. На Рисунке 1 приведён эскиз расположения микрофонов на наземном исполнении установки. В

источнике [1] используется аналогичное число микрофонов, однако не применяется нейросетевой подход в определение местоположения объекта.

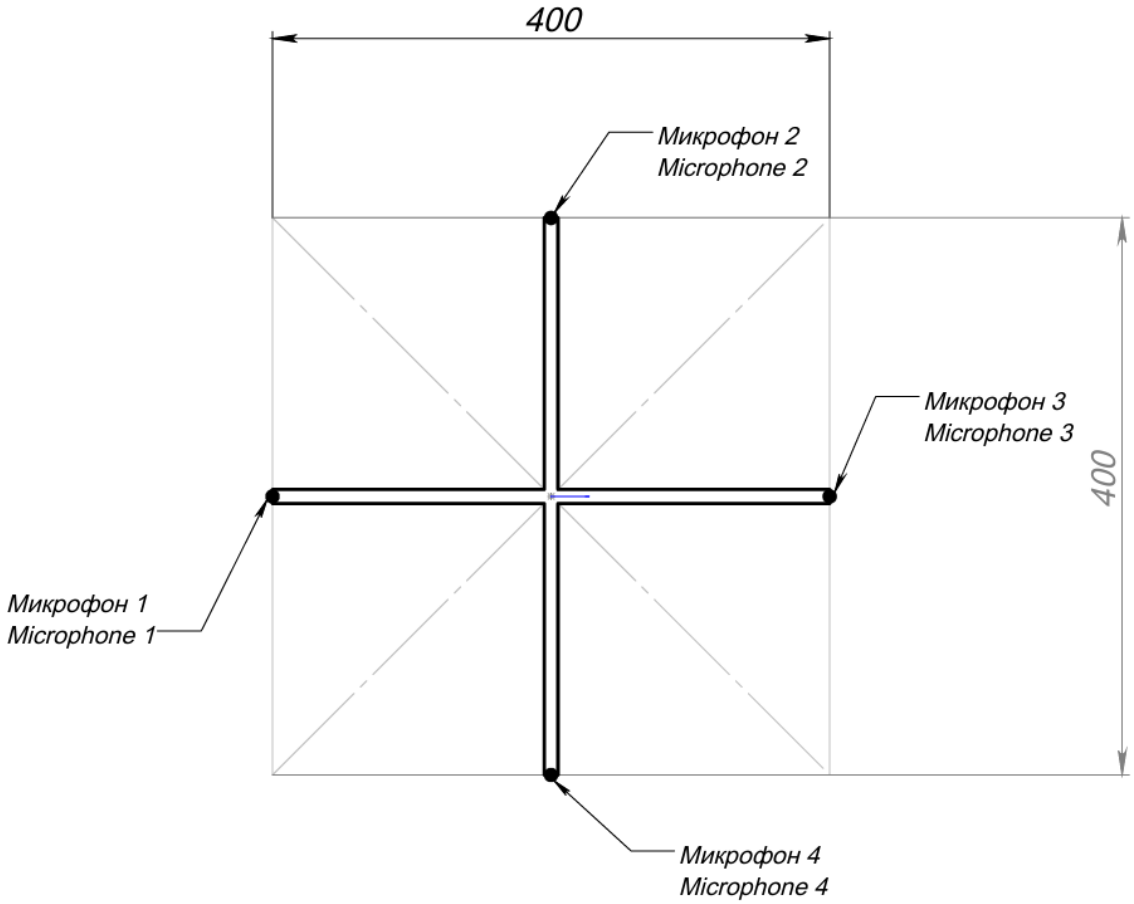


Рисунок 1. Эскиз расположения микрофонов на наземной установке

Нейросеть определяет местоположение объекта относительно установки и передаёт координаты в основной управляющий контроллер или бортовой компьютер. Данная система может быть установлена и на наземную платформу, и на БПЛА с некоторыми модификациями. Её применение подходит для тех случаев, когда применение стандартных оптических датчиков по какой-либо причине затруднено, например, в тёмное время суток или же в тех случаях, когда искомый объект не находится в движении и необходимо определить его исключительно по уровню шума. Потенциальное применение возможно в качестве части охранной системы, в качестве системы надзора за уровнем шума во дворах спальных районов, в сфере дефектоскопии и др. На первом этапе работы было необходимо проверить возможность работы подобной системы, а именно обучить нейросеть определять местоположение объекта относительно центра. Для этого вручную был собран тестовый датасет, состоящий из 363 образцов стереосигналов, записанных с двух микрофонов, разнесённых друг от друга на расстояние 40 см. 182 образцов, представляли из себя определённый звуковой сигнал длительностью в 1 секунду, звучащий громче из левого динамика; другие 181 соответственно из правого. После этого на данном датасете была обучена нейронная сеть при помощи библиотеки PyTorch на языке python.

Для улучшения качества модели при обучении вместо использования изначальных аудиофайлов применялось преобразование образцов в mel-спектрограммы [2] таким образом, что на каждый образец данных приходилось по 2 mel-спектрограммы: одна на левый канал, вторая на правый (Рисунки 2, 3):

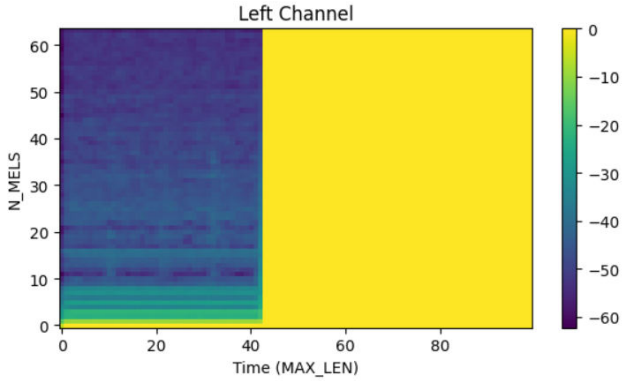


Рисунок 2. Вывод mel-спектрограммы для первого образца (левый канал)

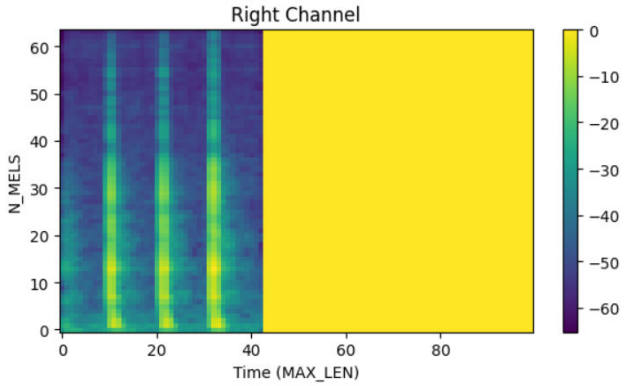


Рисунок 3. Вывод mel-спектрограммы для первого образца (правый канал)

На оси X идёт отсчёт по времени в шагах, на оси Y – частоты в момент времени. Ось частот на mel-спектрограмме представлена в мелах, которые лучше отражают логарифмическую зависимость восприятия звуковых сигналов человеческим ухом.

На Рисунках 4,5 представлены график зависимости функции потерь от номера эпохи и график зависимости точности от номера эпохи соответственно, из которых видно, что значение ошибки постепенно падает, в то время как точность на тестовой выборке возрастает и достигает за 10 эпох значения в 94.59% при шаге обучения lr = 0.000001. Это может говорить об успешном обучении модели.

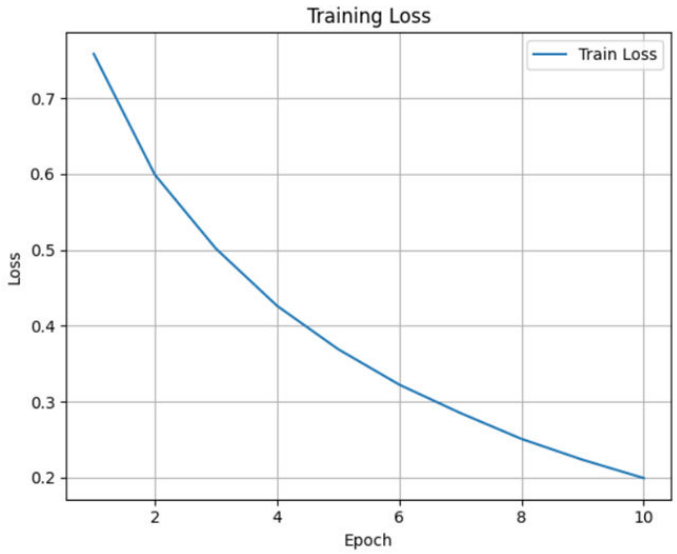


Рисунок 4. График зависимости значения ошибки при обучении от эпохи

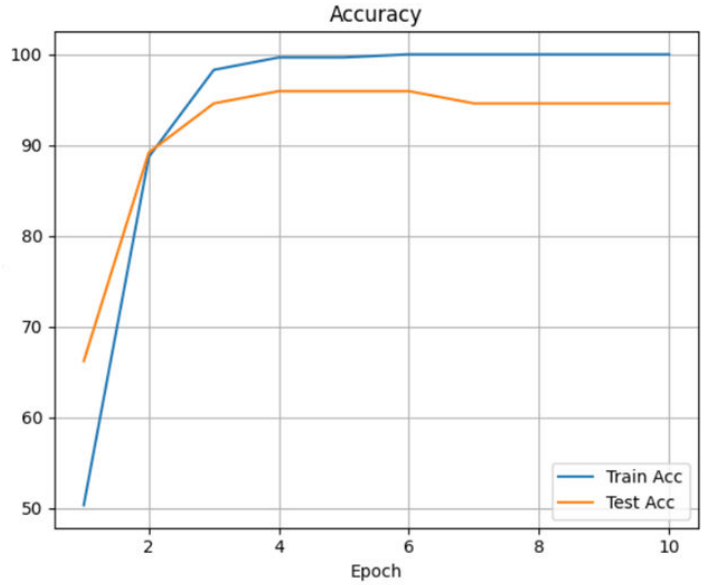


Рисунок 5. График зависимости точности модели от номера эпохи

В работе используется свёрточная нейронная сеть, спроектированная с помощью библиотеки torch на языке Python. Данные подаются на вход сети с помощью загрузчика данных (Dataloader) по 10 штук за раз с включенным параметром перемешивания shuffle = true. Единица данных, подаваемая на вход нейросети, состоит из спектрограммы для левого канала данных, спектрограммы для правого канала данных и метки класса: L или R. На выходе нейросеть реализует бинарную классификацию. Дополнительно были построены SHAP-диаграммы для определения влияния каждого из каналов на итоговый результат.

В качестве дальнейшего развития проекта планируется сбор датасета для многоклассовой классификации нескольких целевых объектов, доработка архитектуры нейросети с учётом изменения конструкции установки для лучшего снятия сигналов в пространстве и проведение соответствующего исследования, связанного с изучением влияния геометрических параметров установки на её принимающую способность. Также планируется проведение исследований по решению таких проблем как влияние реверберации, интерференции и фонового шума.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гаврилов М.И., Пестов А.А., Соловьев П.С.* Звуковая локация и ее цифровой // Журнал Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2008. № 48. С. 25-28.

2. *Ashames M., Ergin S.* Mel-Spectrograms and Data Augmentation for Spoken Digit Classification. 1st International Conference on Advances in Engineering, Architecture, Science and Technology, Erzurum Technical University, 2021. pp. 101-108.

SYSTEM FOR DETERMINING THE LOCATION OF AN OBJECT BY EMITTED SOUND USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Gordeeva D.A., Egorov V.V.

Supervisor: Zolotenkova M.K., assistant

(*Moscow aviation institute, Moscow*)

Abstract. The system is designed to detect objects with a given typical background noise and serves both to mark the presence of an object in the hearing zone and to determine it relative to the system using 4 spaced microphones and a neural network. An alpha dataset was collected, a neural network was trained, and learning curve graphs were constructed.

УДК 621.396

АВТОМАТИЧЕСКИЙ РАДИОМОСТ НА ОСНОВЕ LORA-СВЯЗИ И GPS-НАВЕДЁННЫХ ОПОРНО-ПОВОРОТНЫХ УСТРОЙСТВ

Добросоцкий Н.М., Малышев Д.О., Лапыгина О.В.
Научный руководитель: Гаипов К.Э., доцент, к. т. н.
(Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск)

Аннотация. В работе рассматривается автономная система, которая самостоятельно наводит две направленные антенны друг на друга. Узлы на базе модемов T-Beam V1.2 обмениваются координатами по LoRa-каналу 433 МГц, вычисляют азимут и угол места оператора и передают команды контроллеру GRBL, вращающему опорно-поворотные устройства (ОПУ).

Связь в труднодоступной местности осложняется тем, что узконаправленные антенны необходимо точно ориентировать в пространстве. Ручное наведение требует опыта и времени, а погрешности приводят к резкому снижению уровня приёма [1]. В работе предлагается автономный «радио-мост», в котором каждое устройство само определяет координаты партнёра и поворачивает антенну без участия оператора. Подход основан на модемах LoRa, доказавших дальнобойность до десятков километров при малой потребляемой мощности [2].

Аппаратная архитектура

Система состоит из четырёх основных узлов (рис. 1):

1. T-Beam V1.2 – модем LoRa с ESP32 и GPS.
2. Плагин ESP32 — программный модуль Meshtastic для вычисления углов.
3. Контроллер GRBL — преобразует команды G-кода в импульсы драйверов шаговых двигателей.
4. Двухосевой ОПУ — механически ориентирует антенну по азимуту и углу мест.

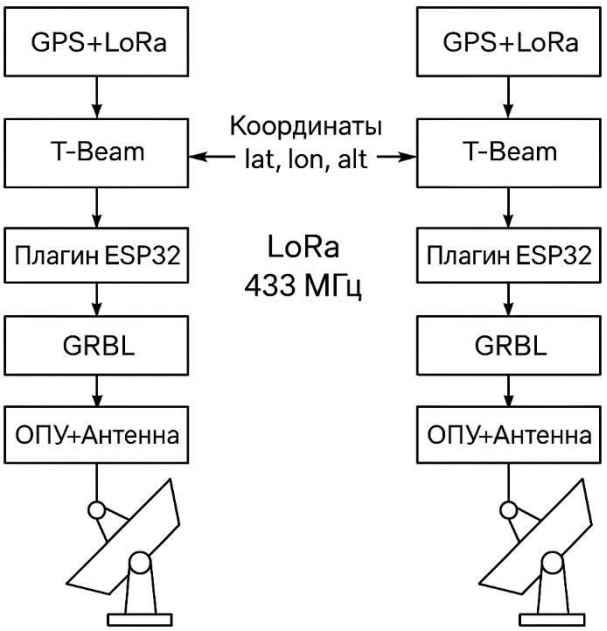


Рис. 1. Структурная схема системы автоматического радиомоста

T-Beam определяет собственные координаты, передаёт их по LoRa соседнему узлу, принимает координаты партнёра, вычисляет требуемое направление и формирует команду G0 X<α> Y<θ>, где α — азимут, θ — угол места. Скорость обмена по UART между T-Beam и GRBL устанавливается 115 200 бит/с для исключения необходимости конвертеров уровней.

Программное обеспечение

Программное обеспечение узла сформировано по двухуровневому принципу. В качестве базовой платформы избрана открытая прошивка Meshtastic v2.3.0 (Рис. 2), обеспечивающая приём спутниковых навигационных данных, формирование и шифрование координатных пакетов, а также их передачу по радиоканалу LoRa (433 МГц) с использованием протокола Protobuf [2]. Данное решение позволяет оперировать готовым стеком сетевых функций, существенно сокращая объём самостоятельной разработки.

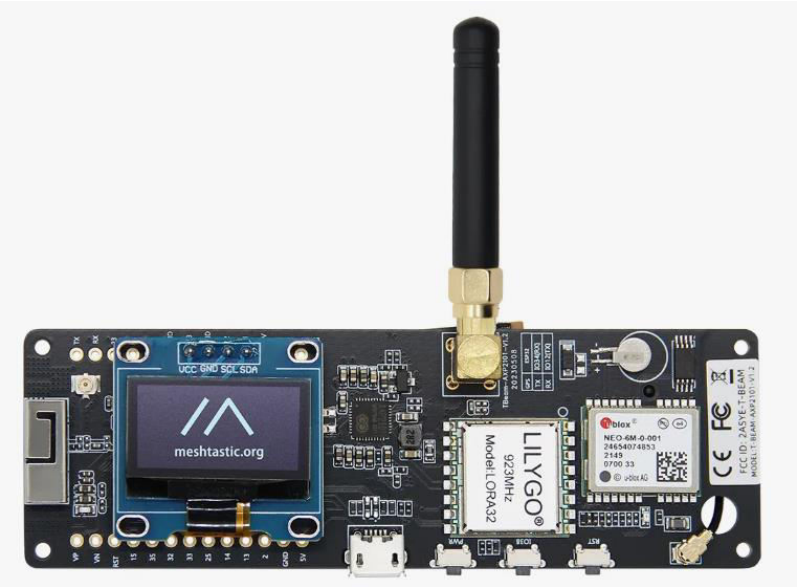


Рис. 2. Внешний вид программного модуля Meshtastic для вычисления углов

Над базовой прошивкой реализован пользовательский модуль GrblDriverModule, интегрированный в программный каркас Meshtastic посредством механизма plug-in. Модуль выполняет следующие операции.

При поступлении пакета типа «Position» производится извлечение широты, долготы и высоты удалённого узла.

На основе координат двух точек рассчитываются азимут и угол места по классическим формулам гаверсинуса и арктангенса [3], допуская среднюю погрешность не более 0,2° при погрешности GPS по высоте ±15 м.

Полученные углы конвертируются в текстовую команду G-кода вида G0 Xα Yθ, где α и θ указаны с точностью 0,01°.

Команда передаётся через второй аппаратный последовательный порт ESP32 (UART1, 115 200 бит/с) в контроллер GRBL, управляющий шаговыми приводами опорно-поворотного устройства.

Получение ответа «ok» от GRBL подтверждает успешное принятие команды; при отсутствии подтверждения в течение 300 миллисекунд инициируется повторная отправка.

Таким образом, Meshtastic отвечает за коммуникационные функции, а надстройка – за преобразование координат в управляющие сигналы исполнительного механизма. Вся вычислительная нагрузка размещена на процессоре ESP32, что исключает необходимость применения дополнительных микроконтроллеров и снижает энергопотребление узла. По результатам испытаний в лабораторном стенде цикл «приём координат → поворот антенны» занимает не более 1,8 с, что удовлетворяет требованиям к оперативному наведению антенн в диапазоне дистанций до 30 км.

Принцип работы алгоритма

Принцип работы системы автоматического позиционирования направленных антенн делятся на 8 этапов:

После подачи питания плата T-Beam запускает микроконтроллер ESP32, приёмник

GPS и радиочип SX1278. GPS за 20-30 секунд получает эфемериды и определяет текущие координаты с точностью ≈ ±5 м по горизонтали и ±15 м по высоте [4].

Каждые 10 с. прошивка Meshtastic упаковывает широту, долготу и высоту в протокольное сообщение Protobuf длиной 18 байт. Этот формат экономичен и допускает сквозную маршрутизацию между несколькими узлами [2].

Радиочип SX1278 модулирует пакет методом CSS (chirp spread spectrum) и отправляет его в эфир на частоте 433,050 МГц с мощностью 17 дБм. Благодаря высокой чувствительности приёмника (до −137 дБм при SF12) LoRa-сигнал преодолевает 5–10 км свободного пространства при антеннах 15 dBi [4].

Второй T-Beam принимает пакет, подтверждает его получение и извлекает координаты удалённого узла. Если пакет потерян, через 2,5 с выполняется автоматическая повторная передача (ALOHA-подобная переотправка).

Встроенный плагин на ESP32 переводит координаты из десятичных градусов в радианы и по формулам гаверсинуса и арктангенса вычисляет: Азимут (α) – угол вращения по горизонтали; 0 = истинный север; Угол места (θ) – вертикальный угол подъёма антенны. На дистанции 5 км один градус азимута соответствует отклонению по краю ширины луча на ≈ 87 м, поэтому точность расчёта 0,2 даёт избыточный запас при типовой ширине луча 6–20 [3].

ESP32 формирует строку G0 Xα Yθ (пример: G0 X123.45 Y8.20) и отправляет её по UART 1 (115 200 бит/с) в контроллер GRBL. Диалог завершается ответом «ok».

GRBL переводит углы в количество шагов моторчиков с учётом введённых параметров 100/101. Драйверы DRV8825 подают импульсы на шаговые двигатели, и антенна плавно поворачивается в нужное положение. Путь от получения координат до фиксации антенны занимает ≈ 1,5–2 с.

Цикл повторяется. Если операторы переместились на 20–30 м, новые координаты придут уже через 10 с, и антенны автоматически подправят своё направление без вмешательства человека.

Перспективы применения

Аварийная связь. При отсутствии наводнений традиционные сотовые сети часто недоступны. Два рюкзака с нашей системой разворачиваются за 5–10 минут и обеспечивают «мост» через зону разрушений, позволяя спасателям обмениваться координатами и текстовыми сообщениями.

Походы и альпинизм**.** Группы, идущие по разным склонам гор, сохраняют связь, даже когда не видят друг друга. Антенны автоматически компенсируют движение по маршруту и разницу высот.

Научные экспедиции**.** В Арктике, пустынях или на болотах временные метеостанции передают данные на базовый лагерь с минимальным энергопотреблением и без обслуживающего персонала.

Сельские IoT-шлюзы**.** Фермерские датчики влажности и поливочные контроллеры находятся на расстоянии нескольких км. Узконаправленная связь повышает радиус действия и экономит батарею, а автоматическое наведение избавляет от точной установки мачт.

Студенческие и хобби-проекты. Соревнования по дальнобойным радиомостам (например, HackRF LoRa Cup) становятся проще: участники концентрируются на программных оптимизациях, а механика работает «из коробки».

Заключение

В представленной работе разработана и детально описана концепция полностью автономного радиомоста, основанного на передаче GPS-координат по LoRa-каналу и автоматическом наведение опорно-поворотных устройств с помощью контроллера GRBL. Ключевым инженерным решением стало использование единой платы T-Beam V1.2 одновременно в роли GPS/LoRa-модема и вычислительного ядра: это позволило исключить внешние микроконтроллеры и уменьшить число соединений до трёх проводов (UART + GND).

Проведён аналитический расчёт, показавший, что стандартная погрешность GPS по высоте (±15 м) вносит угловую ошибку не более 0,2 на дистанциях свыше 2 км — величину, многократно меньшую ширины главного лепестка популярных направленных антенн 15–25 dBi. Следовательно, система гарантирует уверенное взаимное наведение без дополнительных датчиков давления и магнитного компаса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Petäjäjärvi J., Mikhaylov K., Roivainen A.* и др. Оценка дальности и модели затухания для технологии LoRa // Труды 14-й конф. ITS Telecommunications. – 2016. – С. 55–59.

2. Meshtastic Project Documentation. URL: https://meshtastic.org (дата обращения: 30.04.2025).

3. *Sinnott R.W.* Virtues of the Haversine // Sky and Telescope. – 1984. – Т. 68, № 2. – С. 159.

4. *Kaplan E., Hegarty C.* Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications. – 3-е изд. – Artech House, 2017.

AUTOMATIC RADIO BRIDGE BASED ON LORA COMMUNICATION AND GPS-GUIDED PIVOTING DEVICES

Dobrosotsky N.M., Malyshev D.O., Lapygina O.V.

Supervisor: Garipov K.E., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.

(Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetnev)

Abstract. The paper considers an autonomous system that independently directs two directional antennas at each other. Nodes based on T Beam V1.2 modems exchange coordinates via the LORA channel 433MHz, calculate the azimuth and angle of the operator's seat and transmit commands to the GRBL controller, which rotates the rotary support devices.

УДК 621.391

ВЛИЯНИЕ ДИСБАЛАНСА КЛАССОВ НА ОБНАРУЖЕНИЯ BPSK-СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Загидуллин К.М.

Научный руководитель: Д.П. Данилаев, профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Цель работы — изучить, как дисбаланс классов влияет на процесс обучения сверточных нейронных сетей (CNN) и, как следствие, на эффективность обнаружения BPSK-сигналов в зашумленных каналах. Обнаружение сигнала — определение наличия BPSK-сигнала в смеси с шумом, в отличие от распознавания, классифицирующего тип сигнала. Сравниваются сбалансированный (50% сигнал, 50% шум) и несбалансированный (20% сигнал, 80% шум) наборы данных. Производительность оценивается по вероятности обнаружения (P_d). Эксперименты показывают, что дисбаланс снижает P_d из-за смещения модели, но взвешивание классов компенсирует этот эффект. Результаты применимы для радиоконтроля и систем связи.

Обнаружение сигналов с бинарной фазовой манипуляцией (BPSK) в зашумленных каналах — задача определения наличия сигнала в смеси с шумом, в отличие от распознавания, идентифицирующего тип сигнала (например, BPSK или QPSK). Сверточные нейронные сети (CNN) улучшают помехоустойчивость, извлекая признаки из временных рядов, но дисбаланс классов в обучающих данных (преобладание шума) искажает процесс

обучения, снижая способность модели обнаруживать сигналы. Цель статьи — оценить влияние дисбаланса на обучение CNN и предложить методы компенсации.

Дисбаланс классов — неравное распределение образцов, например, 20% сигнала и 80% шума, что влияет на обучение нейросети. Во время обучения модель оптимизируется под мажоритарный класс (шум), игнорируя миноритарный (сигнал) [1]. Это приводит к иллюзии высокой точности, так как сеть чаще предсказывает шум, даже если сигнал присутствует редко, особенно на длительных временных интервалах.

CNN извлекают локальные признаки через сверточные слои и классифицируют сигнал/шум через полносвязные слои. При дисбалансе модель, обученная на несбалансированных данных, может считать себя точной, предсказывая шум в большинстве случаев, но теряет чувствительность к редким сигналам, особенно если они появляются разово на большом временном интервале [2]. Это затрудняет обнаружение из-за недостаточной адаптации к миноритарному классу.

Сравнивались два набора данных:

• Сбалансированный: 50% сигнал (BPSK), 50% шум.

• Несбалансированный: 20% сигнал, 80% шум.

BPSK-сигналы моделировались с гауссовым шумом (AWGN) при SNR от 0 до 10 дБ, длина образцов — 128 отсчетов.

Использовалась следующая архитектура CNN (Рисунок 1):

• Входной слой: 128 отсчетов.

• Сверточный слой 1: 32 фильтра, ядро 3, ReLU.

• Сверточный слой 2: 64 фильтра, ядро 3, ReLU.

• Полносвязный слой: 128 нейронов, ReLU.

• Выходной слой: 2 нейрона (сигнал/шум), softmax.

Обучение проводилось с кросс-энтропийной функцией потерь и оптимизатором Adam. Для компенсации дисбаланса применялось взвешивание классов, увеличивающее вес миноритарного класса (сигнал).

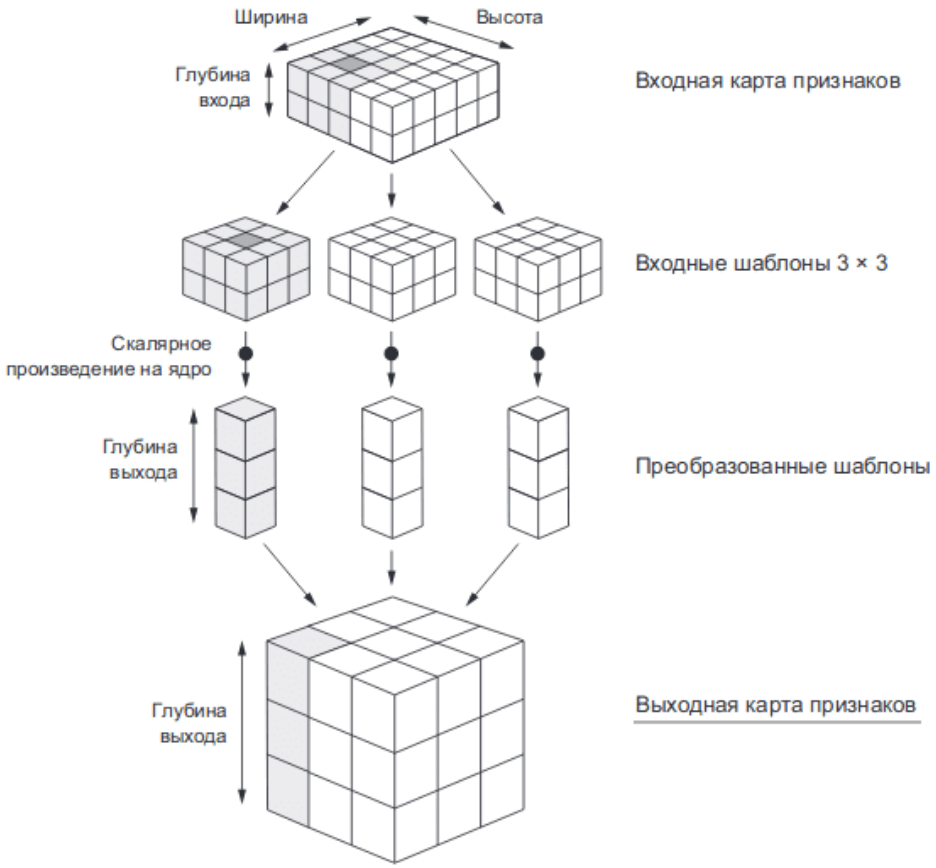


Рис. 1. Принцип работы сверточной нейронной сети

Производительность оценивалась по вероятности обнаружения (P_d) — доле верно обнаруженных сигналов.

Эксперименты показали, что дисбаланс классов существенно влияет на производительность модели, это показано на Рисунках 2,3.

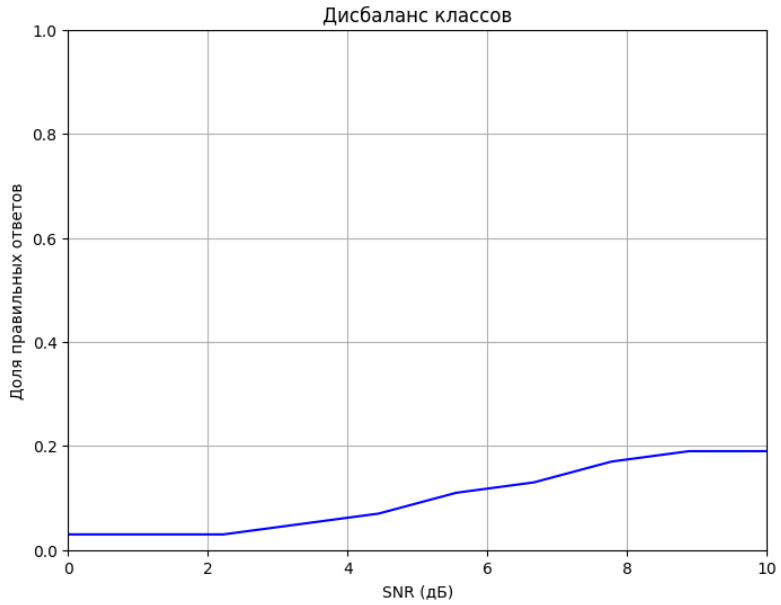


Рис. 2. Зависимость P_d от SNR для несбалансированного набора данных

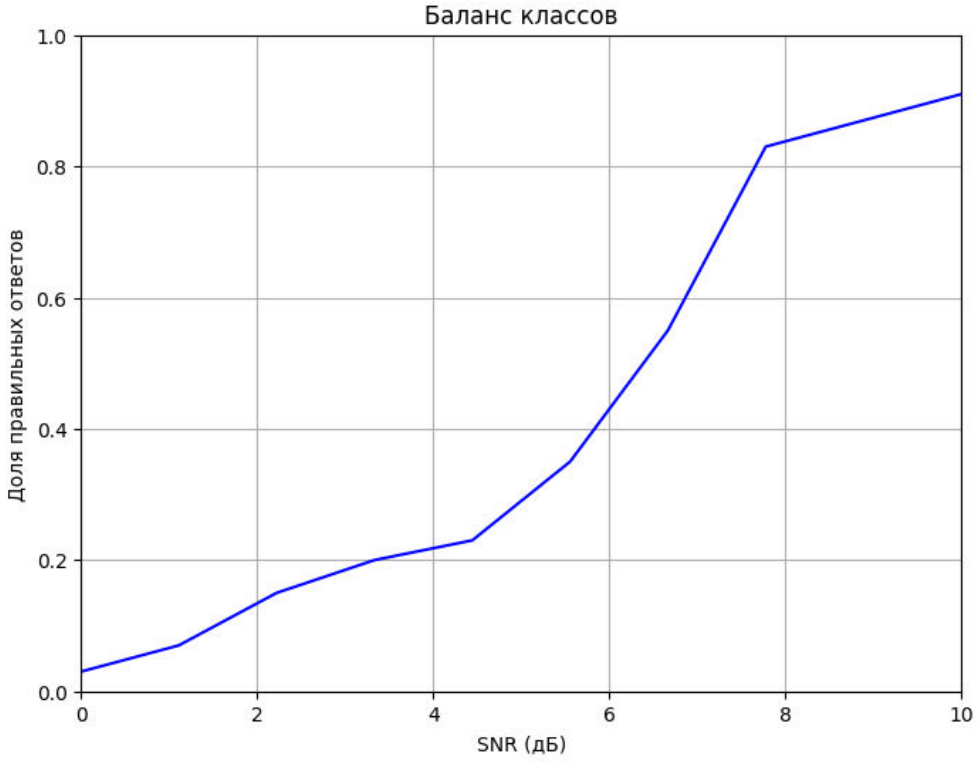


Рис. 3. Зависимость P_d от SNR для сбалансированного набора данных

Полученные результаты показывают, что при не сбалансированном наборе данных вероятность обнаружения (P_d) растет медленно с увеличением SNR и достигает значения около 0.2 при 10 дБ. Для сбалансированного набора данных P_d также увеличивается с ростом SNR, достигая около 0.8 при 10 дБ. Это указывает на то, что дисбаланс классов существенно влияет на эффективность обнаружения сигнала, особенно в условиях низкого SNR, где

несбалансированный набор демонстрирует более высокую вероятность обнаружения по сравнению со сбалансированным [3]. Колебания значений P_d на обоих наборах остаются заметными, что может быть связано с шумом в данных.

Дисбаланс классов существенно снижает эффективность обучения сверточных нейронных сетей (CNN), что в конечном итоге приводит к уменьшению вероятности обнаружения BPSK-сигналов. Этот эффект особенно выражен при высоком преобладании шума (20%/80%), как видно на графиках при низком значении SNR. Причина заключается в том, что нейросеть, сталкиваясь с несбалансированными данными, склонна предсказывать весь сигнал как шум, что дает ей иллюзию высокой точности — около 80% предсказаний оказываются правильными просто из-за доминирования класса шума. Это сильно сбивает процесс обучения, заставляя модель игнорировать редкие сигналы, особенно в условиях слабого отношения сигнал/шум. Взвешивание классов эффективно компенсирует этот недостаток, значительно повышая P_d за счет увеличения веса миноритарного класса сигнала.

Полученные результаты подтверждают высокую применимость CNN в задачах радиоконтроля и систем связи, демонстрируя их потенциал в реальных условиях. В дальнейшем рекомендуется углубленно исследовать методы аугментации данных, такие как генерация синтетических сигналов, а также применение ансамблевых подходов, которые могут способствовать дальнейшему повышению P_d и устойчивости модели к дисбалансу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Сарманбетов С., Максутова А., Сагидолда Ы., Жексебай Д., Кожагулов Ы.* Классификация модулированных радиосигналов на основе сверточных нейронных сетей. Инженерный журнал Satbayev University, 2021, 143 (2), 98–105. DOI: https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.i2.13.

2. *Кожагулов Е., Жексебай Д., Намазбаев А. и Сарманбетов С.* Эффективная классификация цифровой модуляции с использованием сверточных нейронных сетей. Вестник КазНПУ им. Абая. Серия физико-математических наук, 2024, 86 (2), 201–210. DOI: https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.86.2.019.

3. *Константинов А.Ф., Дьяконова Л.П.* Сравнительный анализ методов снижения дисбаланса классов при построении моделей машинного обучения в финансовом секторе //Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2025. – Т. 27. – №. 1. – С. 143-151.

EFFECT OF CLASS IMBALANCE ON BPSK SIGNAL DETECTION USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Zagidullin K.M.

Supervisor: Danilaev D.P., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The aim of the paper is to study how class imbalance affects the learning process of convolutional neural networks (CNNs) and, as a consequence, the efficiency of detecting BPSK signals in noisy channels. Signal detection is the detection of the presence of a BPSK signal in a mixture with noise, as opposed to recognition, which classifies the type of signal. Balanced (50% signal, 50% noise) and unbalanced (20% signal, 80% noise) data sets are compared. Performance is evaluated in terms of probability of detection (P_d). Experiments show that imbalance reduces P_d due to model bias, but class weighting compensates for this effect. The results are applicable to radio control and communication systems.

УДК 621.391

ВЫБОР АРХИТЕКТУРЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ QPSK СИГНАЛА

Загидуллин К.М.
Научный руководитель: Данилаев Д.П., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается задача обнаружения QPSK сигнала в условиях шума с использованием нейронных сетей. Основное внимание уделяется выбору архитектуры нейронной сети, включая многослойный персептрон (MLP), свёрточные нейронные сети (CNN) и трансформеры. Проводится сравнительный анализ этих архитектур по критериям быстродействия, вычислительной сложности, реализуемости на аппаратных платформах и эффективности обнаружения сигнала. Особое внимание уделяется трансформерам, которые демонстрируют высокую эффективность в обработке временных последовательностей благодаря механизму внимания. На основе анализа предлагается использование трансформеров для задач с высокой степенью шума.

Современные системы связи, использующие квадратурную фазовую манипуляцию (QPSK), сталкиваются с проблемой обработки сигналов в условиях значительного шума, что существенно затрудняет их точное обнаружение и декодирование. QPSK, как метод модуляции, широко применяется в цифровых системах связи благодаря своей высокой спектральной эффективности, однако шумовые помехи могут значительно снижать вероятность правильного восстановления сигнала. Гипотеза данного исследования заключается в том, что использование нейронных сетей, особенно архитектур, способных эффективно обрабатывать временные зависимости, таких как трансформеры, позволяет повысить помехоустойчивость и точность обнаружения QPSK сигнала. В работе рассматриваются различные архитектуры нейронных сетей, их преимущества и ограничения применительно к задаче обнаружения QPSK сигнала в дискретных системах связи. Особое внимание уделяется анализу трансформеров, которые, благодаря механизму внимания, могут эффективно выделять ключевые характеристики сигнала даже в условиях сложного шума.

Традиционные методы обработки сигналов, такие как согласованная фильтрация и алгоритмы максимального правдоподобия, часто оказываются недостаточно эффективными в условиях низкого отношения сигнал/шум (SNR). В последние годы нейронные сети продемонстрировали значительный потенциал в решении задач обработки сигналов, предлагая более гибкие и адаптивные подходы. Гипотеза данного исследования заключается в том, что использование нейронных сетей, особенно архитектур, способных эффективно обрабатывать временные зависимости, таких как трансформеры, позволяет значительно повысить помехоустойчивость и точность обнаружения QPSK сигнала. В данной работе рассматриваются три архитектуры нейронных сетей — многослойный персептрон, свёрточные нейронные сети и трансформеры — с точки зрения их применимости к задаче обнаружения QPSK сигнала в дискретных системах связи. Особое внимание уделяется трансформерам, которые благодаря механизму внимания способны эффективно выделять ключевые характеристики сигнала даже в условиях сложного шума. Также анализируются такие критерии, как быстродействие, вычислительная сложность, реализуемость на аппаратных платформах и общая эффективность обнаружения сигнала.

Для решения задачи обнаружения QPSK сигнала в условиях шума были проанализированы три архитектуры нейронных сетей: многослойный персептрон, свёрточные нейронные сети и трансформеры. Выбор архитектуры осуществлялся на основе следующих критериев: быстродействие, определяющее возможность работы в реальном времени; вычислительная сложность, влияющая на энергопотребление и требования к вычислительным ресурсам; реализуемость на аппаратных платформах, таких как сигнальные

процессоры и ПЛИС; а также эффективность, измеряемая через вероятность ошибки бит (BER) и устойчивость к шуму в условиях различного SNR.

Многослойный персептрон (MLP) представляет собой одну из наиболее простых и широко используемых архитектур нейронных сетей. Благодаря своей структуре, состоящей из нескольких полносвязных слоёв, MLP обладает низкой вычислительной сложностью и хорошо подходит для задач классификации сигналов, включая демодуляцию QPSK. Эта архитектура эффективно разделяет классы сигналов в многомерном пространстве, что позволяет использовать её для определения фазовых состояний QPSK сигнала (0°, 90°, 180°, 270°). MLP быстро обучается даже на ограниченных наборах данных, что делает его привлекательным для начальных этапов исследования или систем с ограниченными вычислительными ресурсами. Однако неспособность MLP учитывать временные зависимости в структуре сигнала существенно ограничивает его применение в условиях сложного шума, такого как многолучевые помехи или нестационарный шум. Это делает MLP менее подходящим для задач, где требуется анализ последовательностей данных или выделение долгосрочных зависимостей [1].

Свёрточные нейронные сети (CNN) демонстрируют более высокую производительность в задачах обработки сигналов благодаря их способности анализировать временно-частотные представления, такие как спектрограммы или преобразования Фурье. CNN эффективно извлекают локальные особенности сигнала, такие как фазовые переходы или амплитудные характеристики, что делает их устойчивыми к шумовым помехам. В контексте QPSK сигнала CNN могут быть использованы для анализа двумерных представлений сигнала, например, созвездий, что позволяет улучшить точность классификации в условиях умеренного шума. Однако высокая вычислительная сложность CNN, связанная с необходимостью обработки большого числа параметров в свёрточных слоях, затрудняет их реализацию на аппаратных платформах, особенно в системах реального времени. Ограничения по энергопотреблению и вычислительным ресурсам делают CNN менее предпочтительными для встраиваемых систем, таких как радиоприёмники или спутниковые терминалы.

Трансформеры, в отличие от предыдущих архитектур, используют механизм внимания, который позволяет эффективно обрабатывать временные последовательности выделять ключевые характеристики сигнала, игнорируя несущественные шумовые компоненты. Эта особенность делает трансформеры особенно подходящими для анализа QPSK сигналов в условиях высокого уровня шума. Механизм внимания позволяет модели фокусироваться на наиболее значимых частях входной последовательности, что улучшает точность обнаружения сигнала. Это наглядно показано на Рисунке 1. Хотя обучение трансформеров требует значительных вычислительных ресурсов, современные подходы, такие как снижение размерности, использование разреженных механизмов внимания или оптимизированных библиотек, позволяют адаптировать их для работы на сигнальных процессорах и ПЛИС. Кроме того, трансформеры демонстрируют высокую масштабируемость и гибкость, что делает их перспективными для задач, требующих обработки больших объемов данных или адаптации к различным условиям шума. Для количественной оценки эффективности архитектур были рассмотрены метрики, такие как вероятность ошибки бит (BER) и отношение сигнал/шум (SNR). Трансформеры показали лучшие результаты в условиях низкого SNR, что подтверждает их преимущество в сложных шумовых сценариях. Например, при моделировании обнаружения QPSK сигнала в канале с аддитивным белым гауссовским шумом (AWGN) трансформеры обеспечили более низкую вероятность ошибки по сравнению с многослойным персептроном и свёрточными сетями. Это связано с их способностью учитывать долгосрочные зависимости в сигнале, что особенно важно для QPSK, где фазовые переходы требуют точного анализа временной структуры [2,3].

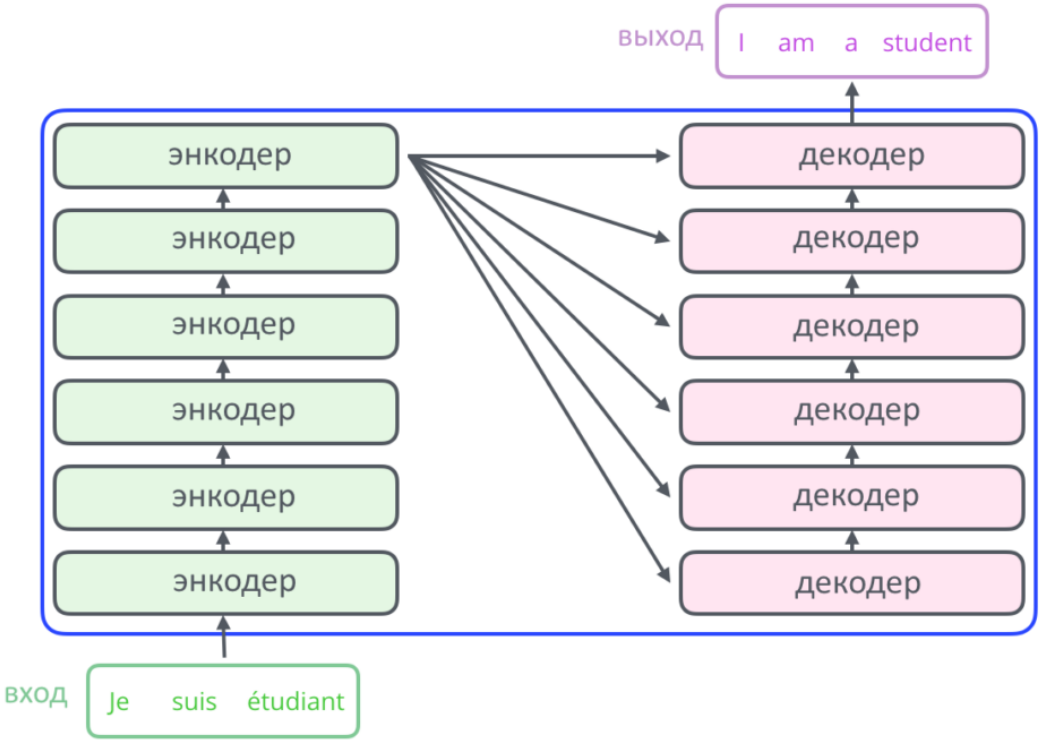


Рис. 1. Принцип работы архитектуры трансформер

Проведенный анализ показывает, что трансформеры превосходят многослойный персептрон и свёрточные нейронные сети по точности обнаружения QPSK сигнала в условиях высокого шума. Их уникальная способность к обработке временных последовательностей и устойчивость к шумовым помехам делают их предпочтительным выбором для данной задачи. Несмотря на высокую вычислительную сложность, современные оптимизации позволяют минимизировать эти ограничения, делая трансформеры реализуемыми даже в системах с ограниченными ресурсами.

Проведенный анализ подтверждает гипотезу о том, что использование нейронных сетей, в частности трансформеров, позволяет значительно повысить помехоустойчивости точность обнаружения QPSK сигнала в условиях шума. Трансформеры демонстрируют наилучшие результаты благодаря своей способности эффективно анализировать временные зависимости и выделять ключевые характеристики сигнала, что особенно важно в сложных шумовых условиях. Их применение оправдано для задач, требующих высокой точности и устойчивости к шумовым воздействиям, таких как обнаружение QPSK сигнала в системах связи с низким отношением сигнал/шум.

В дальнейшем целесообразно сосредоточиться на оптимизации трансформеров для их реализации на аппаратных платформах, таких как сигнальные процессоры и ПЛИС. Это может включать разработку облегченных версий моделей, использование разреженных механизмов внимания или интеграцию с другими методами обработки сигналов, такими как традиционные алгоритмы цифровой обработки сигналов (DSP). Также перспективным направлением является исследование гибридных архитектур, сочетающих преимущества трансформеров с другими нейронными сетями, например, свёрточными, для достижения оптимального баланса между точностью, быстродействием и вычислительной сложностью. Дополнительно стоит изучить адаптацию трансформеров к различным типам шумов и модуляций, чтобы расширить их применимость в современных системах связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Kozhagulov E., Zhexebay Д., Namazbayev A. and Sarmanbetov* C. Effective classification of digital modulation using convolutional neural networks. Bulletin of Abai KazNPU. Series of

Physical and Mathematical sciences. 2024, 86, 2 (Jun. 2024), 201–210. DOI: https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.86.2.019.

2. *Криксина А.А.* Применение нейросетевых технологий для организации выбора оптимального метода помехоустойчивого кодирования в канале связи / А.А. Криксина, А.В. Левенец // Информационные технологии XXI века — Хабаровск, 2018.

3. *Homa Arab. A* Hybrid LSTM-ResNet Deep Neural Network for Noise Reduction and Classification of V-Band Receiver Signals / Homa Arab, Iman Ghaffari, Romaric Mvone Evina, Serioja Ovidiu Ta-tu, Steven Dufour // IEEE Access.— 2022. — Volume 10. — Pp. 14797–14806.

CHOISE OF NEURAL NETWORK ARCHITECTURE FOR QPSK SIGNAL DETECTION

Zagidullin K.M.

Supervisor: Danilaev D.P., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences,

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper addresses the task of QPSK signal detection under noisy conditions using neural networks. The primary focus is on selecting a neural network architecture, including multilayer perceptron (MLP), convolutional neural networks (CNN), and transformers. A comparative analysis of these architectures is conducted based on performance, computational complexity, hardware implementation feasibility, and signal detection efficiency. Special attention is given to transformers, which demonstrate high effectiveness in processing temporal sequences due to their attention mechanism. Based on the analysis, the use of transformers is proposed for tasks with high noise levels.

УДК 621.391.8

ПРИМЕНЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ ГНСС

Краснов М.А.

Научный руководитель: Чумаров С.Г., доцент, к. т. н.

(Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)

Аннотация. В статье рассматривается применение непрерывного вейвлет-преобразования для фильтрации навигационных сигналов ГЛОНАСС, подверженных воздействию гауссовского шума. Исследование демонстрирует эффективность метода CWT с использованием аналитического вейвлета Морле и мягкой пороговой обработки коэффициентов в условиях различной зашумлённости.

Современные глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), такие как GPS, ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou, играют ключевую роль в навигации, геодезии, транспорте, авиации и многих других областях [1]. Однако качество работы ГНСС напрямую зависит от уровня принимаемых сигналов. Основная проблема заключается в том, что ГНСС-сигналы имеют очень низкую мощность при приеме на поверхности Земли (около -130...-160 dBm), что делает их уязвимыми к различным видам помех и шумов.

Для подавления шумов и повышения качества сигналов применяются разнообразные методы цифровой обработки [2,3]. Традиционные подходы (преобразование Фурье или использование фильтров), отличаются относительной простотой реализации [2,4], однако их эффективность снижается при работе с нестационарными помехами. Более продвинутые адаптивные алгоритмы – включая фильтр Калмана, винеровский фильтр и метод наименьших среднеквадратичных ошибок – демонстрируют лучшие результаты в подавлении шума, но требуют значительных вычислительных ресурсов и сложных настроек.

Особое место среди современных методов занимает вейвлет-фильтрация [5,6], которая объединяет высокую точность анализа сигнала с гибкой адаптацией к различным

типам шумов. Благодаря способности одновременно учитывать локальные и частотные особенности сигнала, вейвлет-преобразование становится всё более популярным инструментом в задачах очистки данных, особенно при работе с нестационарными и импульсными помехами. Использование вейвлет-фильтрации позволяет разложить сигнал на различные масштабные уровни, обеспечивая эффективную обработку нестационарных данных. Существует несколько основных типов вейвлет-преобразования, каждый из которых обладает своими особенностями и применяется в различных задачах [7].

Одним из базовых методов является непрерывное вейвлет-преобразование (CWT), которое анализирует сигнал на всех возможных масштабах, позволяя получить детализированное представление частотного содержимого. Метод обеспечивает высокую временную и частотную разрешающую способность, что делает его незаменимым инструментом при анализе нестационарных сигналов. CWT позволяет выявлять локальные особенности сигнала, такие как резкие перепады фазы или амплитуды и другие временные неоднородности, которые могут быть потеряны при использовании классических методов.

Особенно эффективным в задачах шумоподавления и восстановления сигнала оказывается использование комплексных вейвлетов, таких как аналитический вейвлет Морле, поскольку они обеспечивают информацию не только об амплитуде, но и о фазе сигнала. Это особенно важно при демодуляции и последующем восстановлении информационной последовательности.

Для оценки эффективности применения CWT в задаче фильтрации сигналов проводится моделирование навигационного сигнала ГЛОНАСС в среде MATLAB. При этом учитываются реальные технические характеристики системы, что позволяет максимально приблизить результаты моделирования к практическим условиям эксплуатации.

Модулирующая последовательность ГЛОНАСС стандартной точности для диапазона L1 формируется путём сложения по модулю два двух двоичных сигналов: навигационного сообщения и кода дальномерного запроса. Такой подход обеспечивает уникальность сигнала для каждого спутника и одновременно позволяет реализовать эффективное разделение сигналов в приёмнике. После получения модулирующей последовательности следующим этапом становится её преобразование в аналоговый радиосигнал с использованием BPSK-модуляции. Для этого битовая последовательность преобразуется в соответствующие фазовые сдвиги несущего колебания: логический ноль соответствует фазе 0°, а логическая единица – фазе 180°. Таким образом, формируется сигнал BPSK, соответствующий техническим характеристикам системы ГЛОНАСС.

Для моделирования реальных условий распространения сигнала, к сформированному BPSK-сигналу добавляется аддитивный белый гауссовский шум, имитирующий помехи, возникающие при передаче и обработке сигнала. Это позволяет оценить устойчивость метода фильтрации на основе CWT в условиях различного уровня зашумлённости и проверить его эффективность в сравнении с традиционными алгоритмами.

Для восстановления полезной информации из зашумлённого сигнала использовалось CWT с мягкой пороговой обработкой коэффициентов. Суть этого метода заключается в том, что вейвлет-коэффициенты, которые по модулю меньше заданного порога, обнуляются, а абсолютные величины остальных коэффициентов уменьшаются на величину порога.

В рамках данной работы было проведено исследование применения CWT с аналитическим вейвлетом Морле для фильтрации сигналов ГЛОНАСС, подверженных воздействию гауссовского шума. Выбор вейвлета Море объясняется тем, что он обладает хорошей временной и частотной локализацией, а также является комплексным, что позволяет сохранять информацию о фазе сигнала.

На рис. 1 представлен исходный BPSK-сигнал, сформированный в соответствии с техническими характеристиками системы ГЛОНАСС. Сигнал имеет чётко выраженные фазовые перепады, характерные для двоичной модуляции, и служит эталоном для последующего сравнения. Рис. 2 демонстрирует тот же сигнал после наложения гауссовского шума на уровне 15 dB, имитирующей реальные помехи в канале связи. Форма сигнала

становится менее упорядоченной, фазовые скачки размыты, что затрудняет его интерпретацию и дальнейшую обработку. На Рис. 3 представлен результат фильтрации зашумлённого сигнала BPSK с использованием CWT и мягкой пороговой обработки коэффициентов. Такой метод позволил эффективно восстанавливать исходную структуру сигнала, сохраняя чёткие фазовые перепады, характерные для BPSK-модуляции. Полученное значение среднеквадратичной ошибки после фильтрации составило 0.1636, что свидетельствует о высокой точности восстановления.

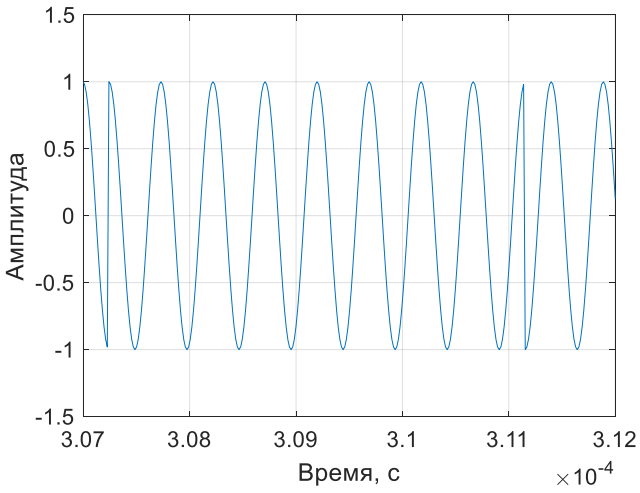


Рис. 1. Исходный BPSK-сигнал

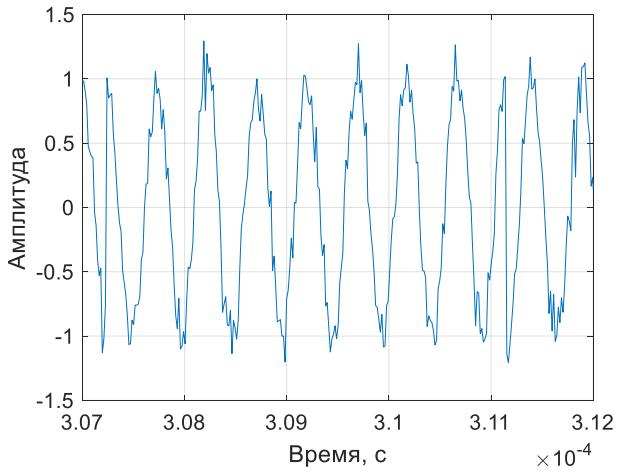


Рис. 2. Смесь гауссовского шума и исходного BPSK-сигнала

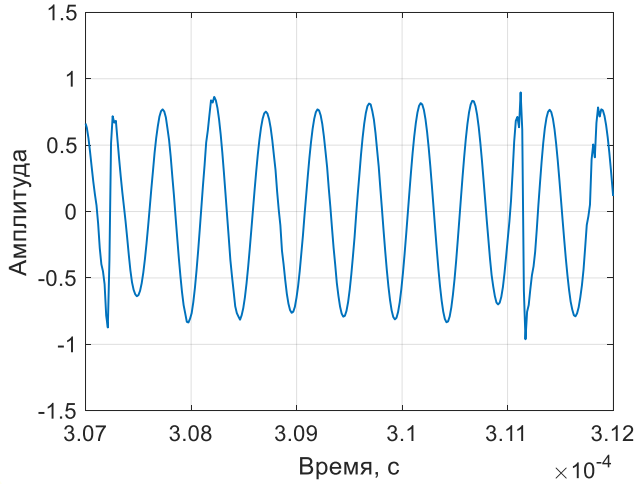


Рис. 3. Фильтрация зашумлённого сигнала CWT

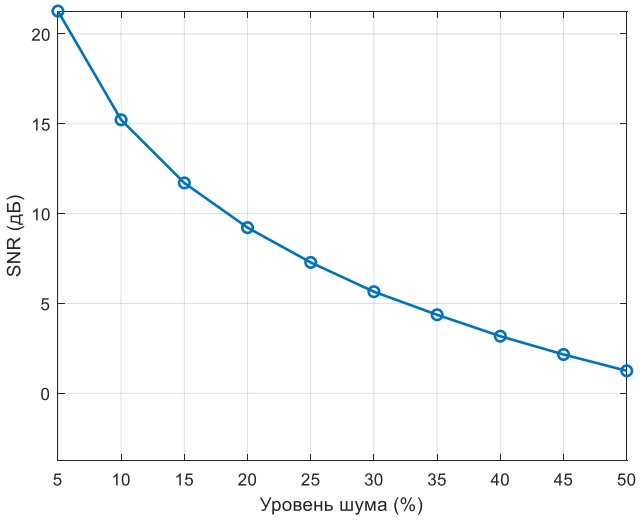


Рис. 4. График зависимости SNR от уровня шума

Рис. 4, отражающий зависимость SNR от уровня шума, дополнительно подтверждает устойчивость предложенного метода к различным уровням зашумлённости. Это особенно актуально для систем ГНСС, где сигналы имеют низкую мощность и часто подвергаются воздействию нестационарных помех. Использование CWT представляет собой перспективный подход к фильтрации навигационных сигналов, позволяющий повысить точность и надёжность их приёма в сложных условиях. Рассмотренные методы фильтрации могут быть рекомендованы для применения в современных приёмниках ГНСС, особенно в задачах, связанных с высокоточной навигацией и позиционированием. Использование алгоритмов [8,9], увеличивающих скорость CWT, позволяет производить обработку сигнала в режиме реального времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова, 4-е, перераб, и доп. – М.: Радиотехника, 2010. – 800 с.

2. *Ďuriš V., Semenov V.I., Chumarov S.G.* Application of continuous fast wavelet transform for signal processing. 1st. ed., London: Sciemcee Publishing, 2021, 181 p.

3. *Ďuriš V., Semenov V.I., Chumarov S. G.* Wavelet transform of signals with VBA applications. Ste-Con: Karlsruhe, GmbH, Germany, 2022, 1st. ed., 203 p.

4. *Viliam Ďuriš, Vladimir I. Semenov, Sergey G. Chumarov*. Application of Discrete and Fast Fourier Transforms to Increase the Speed of Multiscale Image Analysis. TEM Journal, 2024, 13(1), 349-354.

5. *Viliam Ďuriš, Vladimir I. Semenov, Sergey G. Chumarov*. Wavelets and digital filters designed and synthesized in the time and frequency domains. Mathematical Biosciences and Engineering, 2022, 19(3): 3056-3068.

6. *Семенов В.И., Чумаров С.Г.* От конструирования вейвлетов на основе производных функции Гаусса к синтезу фильтров с конечной импульсной характеристикой // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2024. Т. 24, № 2. С. 306–313.

7. Viliam Ďuriš, Sergey G. Chumarov, Gennady M. Mikheev, Konstantin G. Mikheev, Vladimir I. Semenov. The Orthogonal Wavelets in the Frequency Domain Used for the Images Filtering. IEEE Access, vol. 8, 2020 – PP. 211125-211134.

8. *Ďuriš V., Chumarov S.G., Semenov* V.I. Increasing the Speed of Multiscale Signal Analysis in the Frequency Domain. Electronics 2023, 12, 745.

9. *Чумаров С.Г., Семенов В.И., Охоткин Г.П., Лысов П.С.* Способы увеличения скорости непрерывного вейвлет-преобразования при решении задач декомпозиции и реконструкции сигналов // Вестник Поволжского государственного технологического

университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2021. №4 (52). С.42-51.

APPLICATION OF CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM FOR GNSS SIGNAL FILTERING

Krasnov M.A.
Supervisor: Chumarov S.G., Candidate of Engineering Science
(I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary)

Abstract. The article discusses the use of continuous wavelet transform for filtering GLONASS navigation signals exposed to Gaussian noise. The study demonstrates the effectiveness of the CWT method using the analytical Morlet wavelet and soft threshold processing of coefficients in conditions of various noise levels.

УДК 621.396.677

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С РАЗНОСТНОЙ ДИАГРАММОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ НА ПЛАНАРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЯХ

Курбангалиев Б.И.
Научный руководитель: Лаврушев В.Н., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлены результаты разработки и исследования параметров антенной решетки для беспилотного летательного аппарата (БПЛА), предназначенной для обнаружения положения по одному из углов наземного неподвижного маяка-ретранслятора. Описана конструкция разработанной антенны, методика моделирования и исследования ключевых параметров (диаграммы направленности, коэффициента стоячей волны, коэффициента усиления) в рабочем диапазоне частот. Результаты работы могут быть использованы при создании систем навигации, управления и передачи данных для БПЛА.

В докладе исследуется проблема создания антенны для БПЛА, работающего на неподвижный маяк. Проблема создания антенн для БПЛА является актуальной, но сложной задачей. Сложность решения поставленной задачи обусловлена конфигурацией и размерами БПЛА.

Целью работы является разработка антенны соответствующей заданным требованиям.

В процессе исследования данной антенны, поставлены следующие задачи:

1. Размеры антенны должны быть минимальными для данной длины волны;
2. Антенна должна иметь максимальный коэффициент усиления при минимальных размерах;
3. Определение метода пеленгации;
4. Обеспечение требуемого согласования в полосе частот;
5. Фазированная антенная решетка должна иметь специализированную диаграмму направленности;
6. Определение типа антенны и специального отдельного излучателя [1].

В процессе работы над докладом были проанализированы несколько методов пеленгации неподвижного маяка. Например, были проанализирован метод обнаружения за счет использования кардиоидной диаграммы направленности, метод использования суммарно-разностного обнаружения источника излучения и сопровождения цели и др. В данной работе предлагается метод обнаружения источника излучения с использование

разностной диаграммой направленности. В виду того, что маяк является неподвижным, то использование антенны только с разностной диаграммой направленности позволяет с большой вероятностью решить поставленную задачу, так как при потере маяка, его обнаружение в азимутальной плоскости можно произвести за счет механики БПЛА. После наведения БПЛА направляется на маяк по минимуму сигнала. Для того, чтобы обеспечить вышеуказанные требования при создании антенны использовалось электродинамическое моделирование.

В качестве антенны была выбрана линейная антенная решетка с разностной диаграммой направленности. В качестве отдельного излучателя использовался планарный излучатель. В качестве материала диэлектрика выбран ФЛАН-10, использовалась несимметричная полосковая линия передачи [2].

Электродинамическая модель эквидистантной антенны

Данные использовавшиеся при создании модели:

- Толщина диэлектрика платы h=2 мм;
- Толщина металлизации T=50 мкм (0,05 мм);
- Диэлектрическая проницаемость диэлектрической пластины ε=10;
- Реализация на несимметричных полосковых линиях.

Предполагаемые характеристики для антенной решетки:

- Количество излучателей N=4;
- Рабочая частота f=2 ГГц, соответствующая ей длина волны λ=150 мм;
- Равномерное амплитудное распределение;
- Фазовое распределение φ_1=0º, φ_2=0 º, φ_3=180 º, φ_4=180 º;
- Расстояние между излучателями d≤50 мм.

По данным характеристикам получили следующий множитель решетки (Рис. 1):

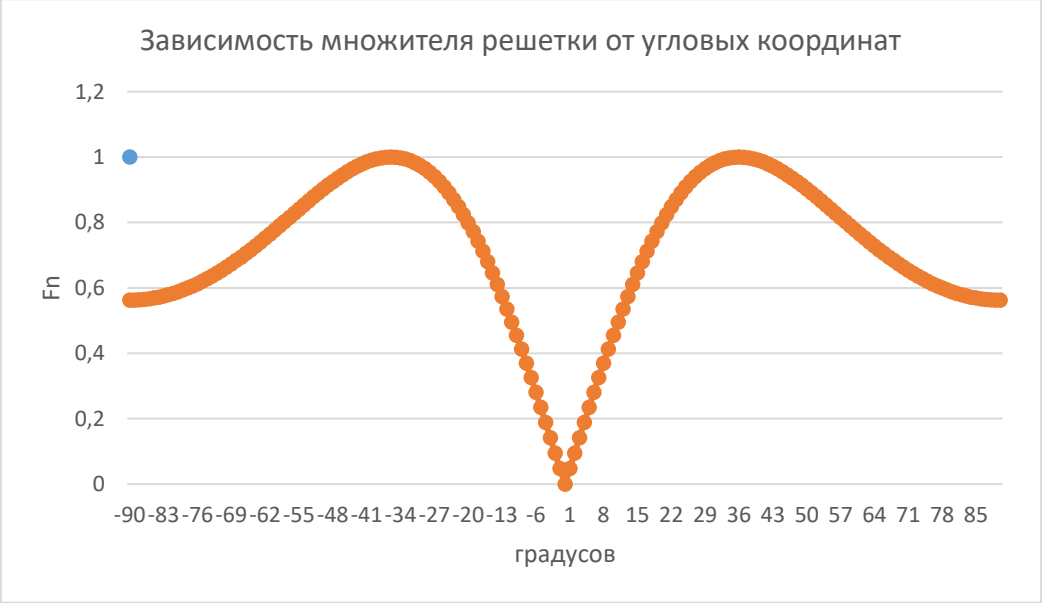


Рис. 1. Множитель решетки. Минимум на 0 градусов

Электродинамическая модель состоит из:

- Платы делителя мощности, с фазовращающей секцией на 180 градусов для двух излучателей;
- Полотна излучателей из 4 излучателей.

Тип излучателя – планарный [3]. По результатам электродинамического моделирования получили модель, представленную на Рис. 2.

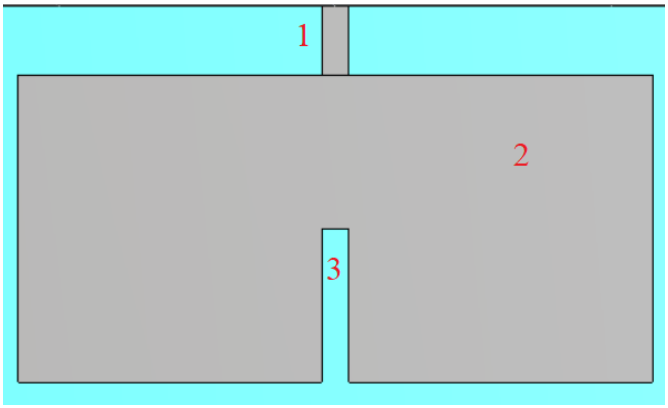


Рис. 2. Планарный излучатель

Планарный излучатель состоит из:

1) Линии подведения мощности, шириной W=1,85 мм, соответствующей 50 Ом при ε= 10 ($\varepsilon_{эфф}$ = 6,75), длиной l = 5 мм;

2) Пластины (самого излучателя) размерами 46 х 22,3 мм^3;

3) Прорези для согласования длиной в половину длины пластины l=11,15 мм и толщиной W=2 мм.

Коэффициент стоячей волны и диаграмма направленности отдельного излучателя представлены на Рис. 3, 4.

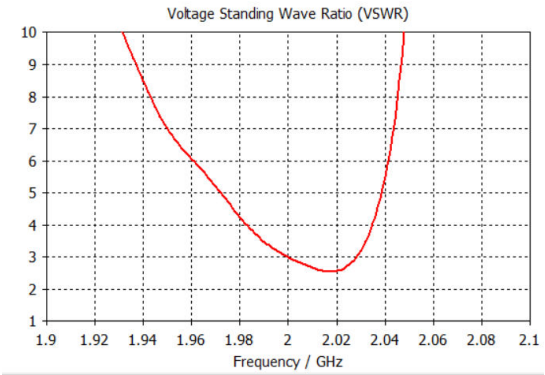


Рис. 3. Коэффициент стоячей волны (КСВ) для отдельного излучателя на 50 Ом

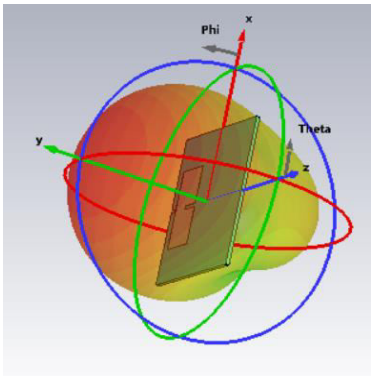


Рис. 4. Диаграмма направленности отдельного излучателя

Так как ширина излучателя равна $W_{изл}$=46 мм и в идеале требуется d<$W_{изл}$. Применяя эквидистантную линейную антенную решетку, заранее можем рассчитать минимальный размер в ширину нашей антенной решетки по формуле (1):

$$L = (N-1)*d = 3*46мм = 138мм, \quad (1)$$

где N - кол-во излучателей, d – расстояние между излучателями.

Соответственно меньшего размера мы добиться не сможем из-за ограничений размеров излучателя.

Рассмотрим нашу плату фазовращателя [4-6], она состоит из следующих элементов:

1) Делители мощности, с делением 0,5 на 0,5, с одним плечом на 50 Ом и двумя плечами на 100 Ом (Рис. 5);

2) Трансформаторы плавные со 100 Ом на 50 Ом (Рис. 6);

3) Фазовращающая секция, обеспечивающая сдвиг по фазе на 180 градусов, сопротивлением 50 Ом (Рис. 7);

Общий вид платы вместе с излучателями представлен на Рис. 8.

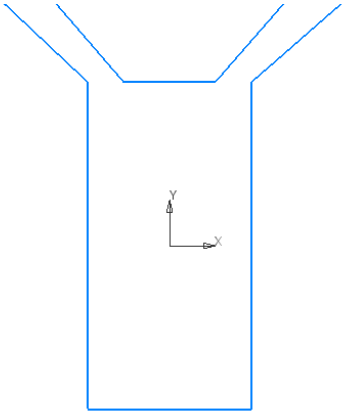


Рис. 5. Делитель мощности

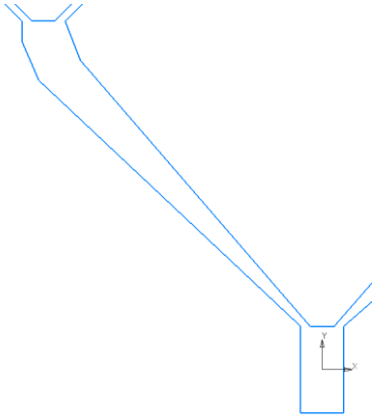


Рис. 6. Плавный трансформатор, согласующий два последовательных делителя мощности

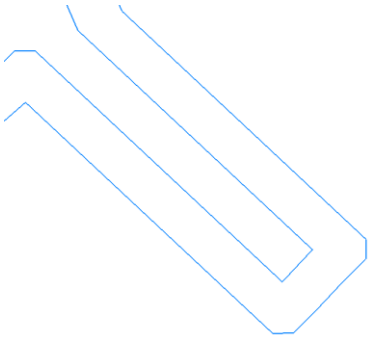


Рис. 7. Секция фазовращения, обеспечивающая для двух излучателей сдвиг по фазе на 180 градусов по сравнению с другими двумя

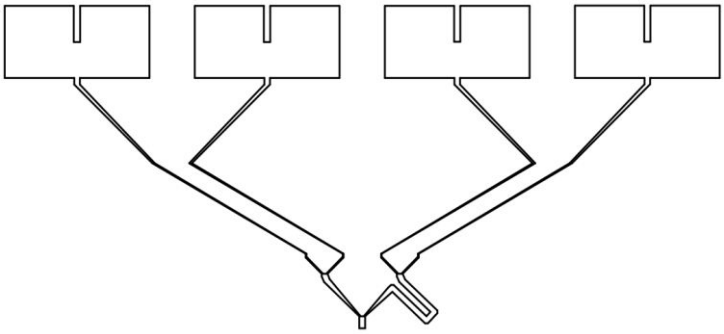


Рис. 8. Общий вид на плату вместе с излучателями

Полная электродинамическая модель представлена на Рис. 9, полученное для неё значение коэффициента стоячей волны представлено на Рис. 10.

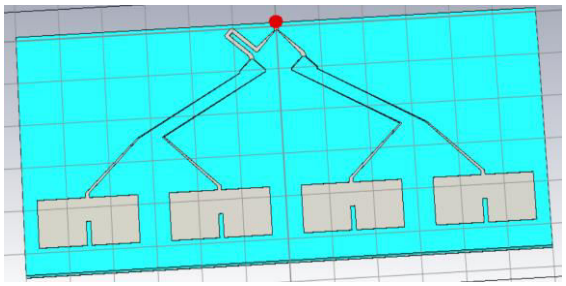


Рис. 9. Полная электродинамическая модель

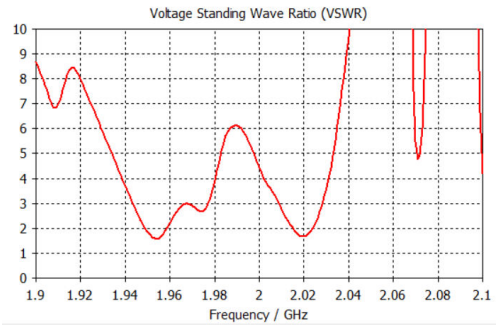


Рис. 10. Полученный коэффициент стоячей волны (КСВ) для полной электродинамической модели. КСВ = 4,5 на 2 ГГц

По результатам моделирования получили следующие диаграммы направленности (Рис. 11-14).

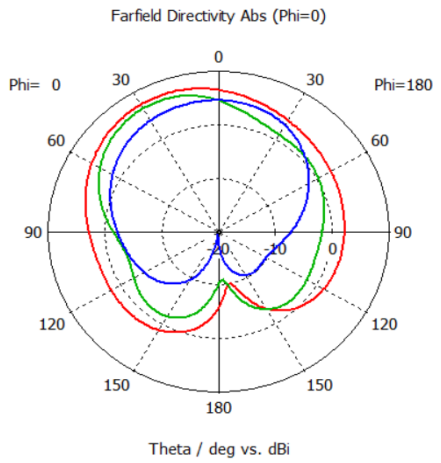


Рис. 11. Сечение диаграммы направленности. Красная для f = 1,5 ГГц Зеленая - f = 2 ГГц, Синяя - f = 2,5 ГГц

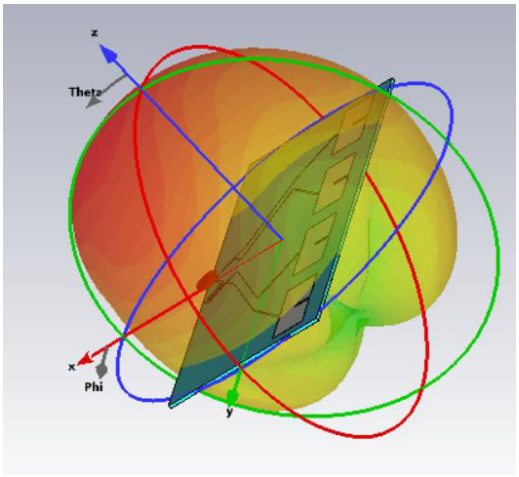


Рис. 12. Трехмерная диаграмма направленности

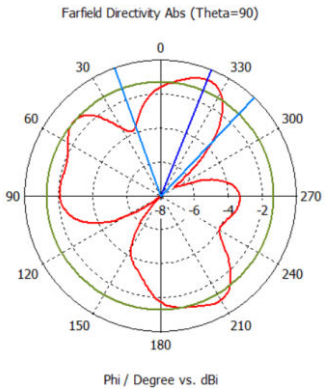


Рис. 13. Сечение диаграммы направленности ɵ=90º

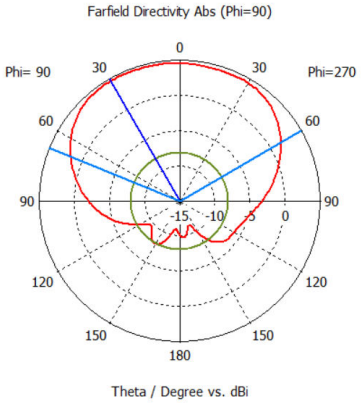


Рис. 14. Сечение диаграммы направленности φ=90º

Получили разностную диаграмму направленности с самым ярко выраженным минимум в сечении φ=0º. Положение минимума не так важно, так как можно физически повернуть плату фазовращателя для обеспечения нужного положения минимума.

Выводы: Спроектировали и провели электродинамическое моделирование для антенной решетки на основе планарных излучателей с разностной диаграммой направленности. Получили предполагаемые геометрические размеры для антенной решетки при моделировании (240x112x2,05 мм^3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Устройства СВЧ для радиоэлектронных систем: учебное пособие / А.А Авксентьев, Н.Г. Воробьев, Г.А. Морозов, Н.Е. Стахова; под ред. докт. техн. наук Г.А. Морозова - Изд. 2-е, испр. И доп. - Казань. Изд-во Казан. гос. Техн. ун-та, 2014. -135 с.

2. Конструкции устройств СВЧ бортовых радиосистем : учеб. пособие по дисциплине «Конструкции и техника СВЧ» / А.А. Авксентьев, Н.Г. Воробьев, Г.А. Морозов; Казан. авиац. ин-т им. А. Н. Туполева, Каф. радиоуправления. — Казань: КАИ, 1985. — 70 с.

3. Антенна и устройства СВЧ: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов. - М: Высш. шк., 1988. – 432 с.:ил.

4. Справочник по расчету и конструированию СВЧ С74 полосковых устройств / С.И. Бахарев, В.И. Вольман, Ю.Н. Либ и др.; Под ред. В.И. Вольмана. - М.: Радио и связь, 1982. - 328 с., ил.

5. Конструирование экранов и СВЧ устройств: Учебник К65 для вузов / А.М. Чернушенко, Б.В. Петров, Л.Г. Малорацкий и др., Под ред. А.М. Чернушенко. - М.: Радио и связь, 1990. – 352 с.: ил.

6. Конструирование и расчет полосковых устройств. Учебное пособие для вузов. Под редакцией И.С. Ковалева. М.: «Сов. Радио». 1974. – 296 с.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF ANTENNA ARRAY PARAMETERS WITH A DIFFERENCE RADIATION PATTERN ON PLANAR EMITTERS

Kurbangaliev B.I.

Supervisor: Lavrushev V.N, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents the results of the development and research of the parameters of an antenna array for an unmanned aerial vehicle (UAV) designed to detect the position of a ground-based stationary beacon-repeater in one of its angles. The paper describes the design of the developed antenna, as well as the methodology for modeling and researching key parameters (such as radiation patterns, standing wave ratio, and gain) within the operating frequency range. The results of this work can be used in the development of navigation, control, and data transmission systems for UAVs.

УДК 621.396.49

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ТОЧЕК ДИФРАКЦИИ В МОДЕЛИ ТРАССИРОВКИ ЛУЧЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ВОЗБУЖДЕНИЯ ЛУЧЕЙ

Немцев Е.А.

Научный руководитель: Спирина Е.А., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Для определения возможных точек дифракции в модели трассировки лучей на основе метода возбуждения лучей разработан математический аппарат и реализующий его алгоритм определения объектов карты, от грани которых возможна дифракция падающих и отраженных лучей.

Для оценки матрицы канала беспроводных сетей связи широко используется модель трассировки лучей. В работах [1, 2] для нахождения точек отражения падающих лучей от объектов карты использовался метод зеркальных изображений. Для повышения достоверности оценки матрицы канала при наличии прямой видимости между передатчиком и приемником в работах был добавлен учет дифрагированных лучей согласно рекомендации МСЭ-R P.526-15 [3]. Эта рекомендация использовалась при попадании объектов карты в зону Френеля падающего и (или) отраженного лучей. Однако анализ импульсной характеристики, полученной авторами в результате эксперимента, показал наличие не учитываемых в работе [1] лучей. Так как время задержки луча пропорционально расстоянию, которое проходит луч, то этому времени соответствует набор точек отражения, лежащих на поверхности некоторого эллипсоида вращения. На рис.1 приведен пример возможного распространения неучтенного луча.

Анализ приведенного на рис. 1 примера показал, что этот неучтенный луч может быть получен в случае дифракции отраженного луча, не приходящего в точку расположения приемника. Однако метод зеркальных изображений не позволяет определять такие точки отражения. Следовательно, для учета таких лучей может быть использован метод возбуждения лучей, согласно которому из передатчика с определенным шагом испускается пучок лучей во все стороны.

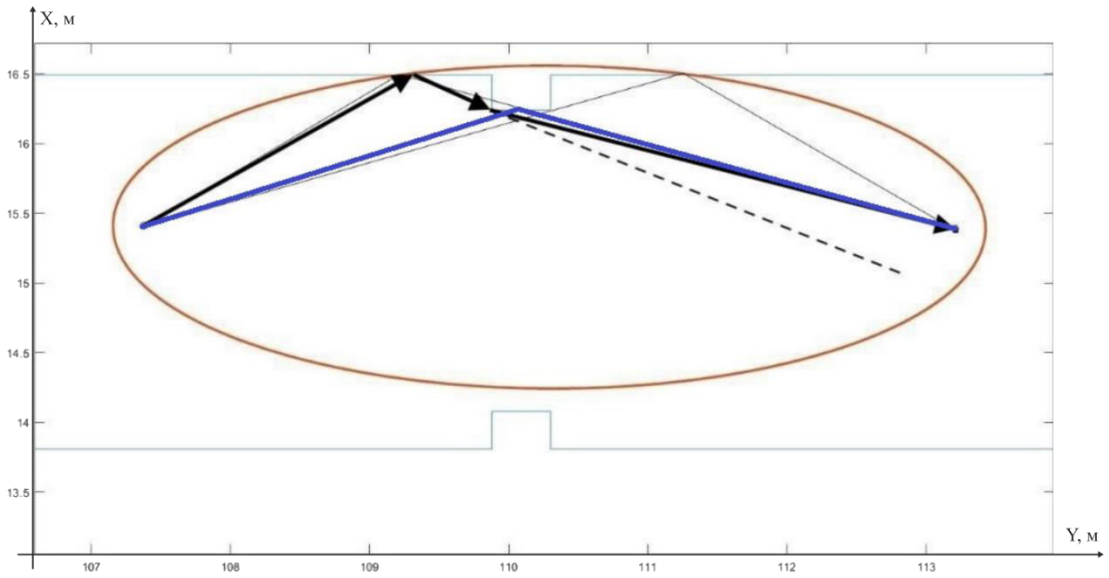


Рис. 1. Пример возможного распространения неучтенного луча

В работе будут учитываться не только прямой и отраженные лучи, приходящие в точку приемника, но и лучи, дифрагированные от граней объектов карты.

В этом случае для определения лучей, приходящих в точку расположения приемника, необходимо решить две задачи:

1. Нахождение списка падающих и отраженных лучей, испускаемых передатчиком.
2. Определение объектов, попадающих в зону Френеля этих лучей.

В этой работе рассматривается решение второй задачи. Исходными данными является список падающих и отраженных лучей, каждая пара из которых задается парой векторов, а также 3D карта в формате программы NetMAPEditor [4]. Каждый из векторов Luch задается начальной точкой Luch.P и вектором приращения Luch.D. Карта включает список объектов, каждый из которых задается списком плоскостей Planes. Каждая плоскость Planes описывается замкнутой ломанной линией CN, ограничивающей ее, и направляющим вектором DR. Каждая линия ломаной CN[I] задается вектором L, а также содержит ссылки на номер соседней плоскости P и номер отрезка в соседней плоскости C.

В рамках работы необходимо разработать математический аппарат и реализующей его алгоритм определения объектов карты, от граней которых возможна дифракция падающих и отраженных лучей, и реальных точек отражения.

Для определения объектов, от которых возможна дифракция лучей, вокруг каждого вектора Luch строится минимальная зона Френеля и определяется расстояние между этим вектором и объектами карты, находящимися между передатчиком и приемником. Если расстояние меньше радиуса зоны Френеля, то на этой грани объекта методом зеркальных изображений строится реальный отраженный луч. А затем, согласно работе [1], рассчитываются параметры дифрагированного луча.

Радиус зоны Френеля R в ближайшей к грани объекта точке определяется согласно следующему выражению:

$$R = \sqrt{\frac{l \cdot \left(|\text{Luch.D}| - l\right)}{|\text{Luch.D}|} \cdot \frac{c}{f}}\ , \qquad (1)$$

где l – расстояние от точки начала вектора Luch.P до точки вектора Luch ближайшей к грани объекта, c – скорость света, f – частота.

Следовательно, для определения объектов, попадающих в зону Френеля необходимо определить расстояние l от точки начала вектора Luch.P до точки вектора Luch ближайшей к каждой грани каждого объекта и расстояние r от этой точки до самой грани.

Для этого проводится перебор всех векторов ломаной CN[I].L. Расстоянием r от вектора Luch до вектора ломаной CN[I].L является их взаимный перпендикуляр VecR[I].

Первоначально определим VecR[I] как вектор, соединяющий точку CN[I].L.P с точкой Luch.P. Далее находим нормированную проекцию CN[I].L.P на Luch, которую обозначим P1[I], а также проекцию Luch. P на CN[I].L – P2[I].

При вычислении VecR[I] необходимо рассмотреть два варианта взаимного положения вектора Luch и плоскости объекта (рис. 2).

В первом случае перпендикуляр между векторами Luch (на рис.2 обозначен как Luch2) и CN[I].L пересекает оба эти вектора:

$$\begin{cases} 0 \le P1[I] \le 1 \\ 0 \le P2[I] \le 1 \end{cases}. \tag{2}$$

В этом случае VecR[I] будет реальным перпендикуляром между Luch и CN[I].L. Для его формирования к VecR[I] прибавляется Luch.D, умноженный на P1[I], и вычитается CN[I].L.D, умноженный на P2[I].

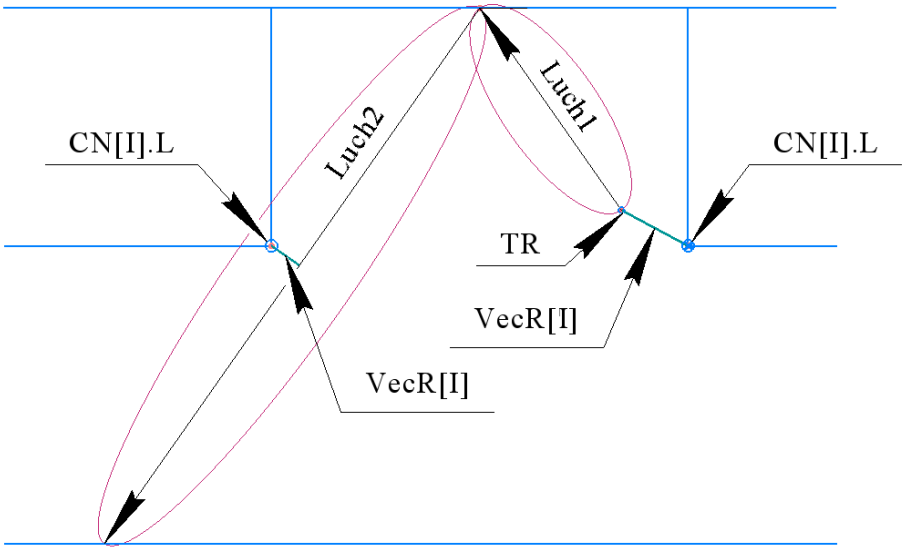


Рис. 2. Варианты взаимного положения вектора Luch и плоскости объекта

Во втором случае перпендикуляр между векторами Luch и CN[I].L не пересекает один или оба из этих векторов (P1[I]<0 или P1[I]>1 или P2[I]<0 или P2[I]>1). В этом случае если P1[I]>1, то к VecR[I] прибавляется Luch.D, а в случае P2[I]>1 из VecR[I] вычитается CN[I].L.D. Так как для Luch1 на рис.2 P1[I]<0, а 0<P2[I]<1, т.е. ни одно из выше перечисленных условий не выполняется, то расстоянием от Luch1 до CN[I].L будет расстояние между точкой TR и вектором CN[I].L.

Таким образом, выражения для вычисления VecR[I] примут следующий вид:

$$\begin{gathered} P1[I] = \max\{0, \min\{1, P1[I]\}\}, \\ P2[I] = \max\{0, \min\{1, P2[I]\}\}, \\ VecR[I] = VecR[I] + P1[I] \cdot Luch.D - P2[I] \cdot CN[I].L.D. \end{gathered} \tag{3}$$

Длина полученного вектора VecR[I] является расстоянием между Luch и CN[I].L, а расстояние l равняется расстоянию между точкой Luch.P и концом вектора VecR[I]. Начало вектора VecR[I] является возможной точкой дифракции.

Искомые расстояния l и r, а также координаты точки дифракции определяются из условия получения минимального значения длины вектора VecR[I].

$$\begin{gathered} J = \arg\min_{I} \{|VecR[I]|\}, \\ r = |VecR[J]|, \\ l = P1[J] \cdot |Luch.D|, \\ DIF = CN[J].L.P + P2[J] \cdot CN[J].L.D. \end{gathered} \tag{4}$$

Дифракция на грани объекта существует при выполнении следующего условия:

$$r < \sqrt{\frac{l \cdot \left(\left|\text{Luch.D}\right| - l\right)}{\left|\text{Luch.D}\right|} \cdot \frac{c}{f}} \quad . \tag{5}$$

Для определения реальной точки отражения используется алгоритм, основанный на методе зеркальных изображений, приведенный в [2], в который вместо координат точки расположения приемника подставляются координаты точки дифракции.

Таким образом, в работе разработан математический аппарат и реализующей его алгоритм определения объектов карты, от граней которых возможна дифракция падающих и отраженных лучей, а также реальных точек отражения, позволяющий учесть влияние дифракции в модели трассировки лучей с использованием метода возбуждения лучей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Оценка параметров каналов связи с использованием модели трассировки лучей в гетерогенных сетях связи / С.В. Козлов, Е.А. Спирина, Е.А. Немцев, А.А. Спирина // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2024. – Т. 29, № 4. – С. 54-67. – DOI 10.18127/j5604128-202404-05. – EDN RLQGTP.

2. *Немцев Е.А*. Повышение достоверности оценок матрицы канала в случае наличия прямой видимости между передатчиком и приемником / Е.А. Немцев // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2025: материалы XII Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Казань, 10-11 апреля 2025г. – Казань: ИП Сагиева А.Р., 2025. – С. 755-757.

3. Рекомендация МСЭ-R P.526-15 «Распространение радиоволн за счет дифракции» Электронная публикация. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-15-201910-I!!PDF-R.pdf

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019663931 Российская Федерация. Программа NetMAPEditor: № 2019662376: заявл. 08.10.2019: опубл. 25.10.2019 / С.В. Козлов, Е.А. Спирина; заявитель ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» – EDN IRYEDE.

DETERMINING POSSIBLE DIFFRACTION POINTS IN A RAY TRACING MODEL USING THE RAY EXCITATION METHOD

Nemtsev E.A.

Supervisor: Spirina E.A., Full professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. To determine possible diffraction points in the ray tracing model based on the ray excitation method, a mathematical apparatus and an algorithm for determining map objects from whose facets diffraction of incident and reflected rays is possible have been developed.

УДК 621.396.49

МОДЕЛЬ ТРАССИРОВКИ ЛУЧЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ВОЗБУЖДЕНИЯ ЛУЧЕЙ

Спирина А.А.

Научный руководитель: Козлов С.В., профессор, д. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. С целью учета дополнительных лучей в модели трассировки лучей предложено использовать метод возбуждения лучей. Разработан инструментарий, позволяющий получить совокупность испускаемых и отраженных лучей на основе цифровой 3D карты.

В настоящее время в беспроводных сетях связи матрица канала часто оценивается с использованием модели трассировки лучей. Проверка эффективности использования этой модели для оценки матрицы канала MIMO систем проводилось в работе [1] для случая наличия прямой видимости между передатчиком и приемником. При этом учитывались только однократно отраженные лучи, не прошедшие через препятствия. В выводах работы [1] указывается, что для повышения достоверности оценки матрицы канала необходимо провести дополнительные исследования. В работах [2, 3] для повышения достоверности оценок матрицы канала дополнительно учитывались однократно отраженные лучи, прошедшие через одно препятствие, а также лучи, дифрагированные от объектов карты (рис.1).

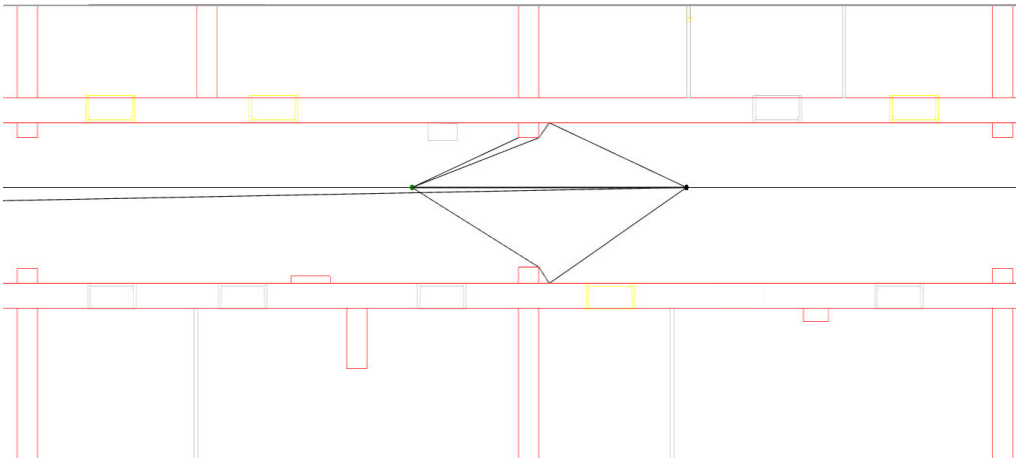


Рис. 1. Схема хода лучей согласно модели трассировки лучей, приведенной в [2]

При этом в работах [1 – 3] точки отражения лучей, приходящих в точку расположения приемника, определялись методом зеркальных изображений.

Для верификации полученных в работе [2] результатов было проведено экспериментальное измерение импульсной характеристики канала в тех же условиях, что и в работе [1]. Для этого с помощью портативного 2-портового векторного анализатора цепей R&S FSH8 снимались зависимости амплитуды и фазы коэффициента передачи канала от частоты в полосе 1 ГГц, на основе которых с помощью обратного преобразования Фурье была получена импульсная характеристика канала. Экспериментально полученная импульсная характеристика канала h(t), а также времена прихода лучей, полученные с использованием модели трассировки лучей, приведены на рис. 2.

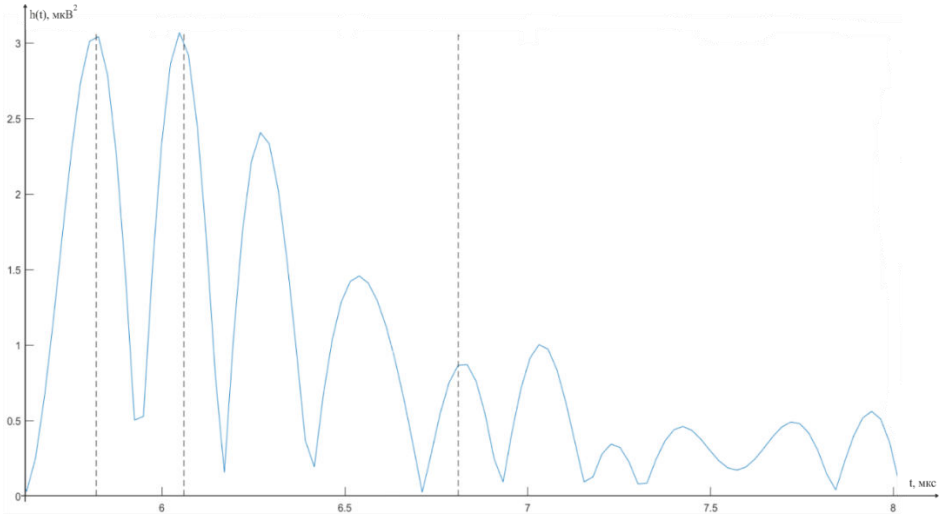


Рис. 2. Экспериментально полученная импульсная характеристика канала, а также времена прихода лучей, полученные с использованием модели трассировки лучей

Анализ приведенных на рис.2 данных показывает, что количество лучей, полученных с использованием модели, приведенной в работе [2], оказалось меньше, чем в реальности. Следовательно, используемый в работах [1 – 3] метод зеркальных изображений не позволяет определить все точки отражения лучей, приходящих в точку расположения приемника. Поэтому для определения дополнительных точек отражения лучей воспользуемся методом возбуждения лучей [4]. Согласно этому методу из точки расположения передатчика с определенным шагом испускаются лучи во все стороны. Эти лучи в процессе распространения могут отражаться от объектов карты.

Для реализации модели трассировки лучей с использованием метода возбуждения лучей необходимо разработать инструментарий для определения совокупности испускаемых (падающих) и отраженных лучей на основе цифровой 3D карты. Каждая пара лучей (падающий и отраженный) в этом случае задается парой векторов, каждый из которых задается начальной точкой и вектором приращения. Для нахождения этих векторов необходимо определить возможные точки отражения испускаемых лучей от объектов карты. Однако количество таких векторов в списке получается очень большим, что затрудняет применение этого метода на практике. Поэтому в работе предлагается рассматривать только однократное отражение лучей от плоскостей объектов, обращенных к передатчику и находящихся в прямой видимости от него. В этом случае возможные точки отражения лежат на пересечении проекции вектора, соединяющего передатчик с приемником, с плоскостью объекта.

Таким образом, для получения списка векторов необходимо решить следующие задачи:

1) Определение плоскости объекта, обращенной к передатчику.
2) Проецирование вектора, соединяющего передатчик с приемником, на плоскость объекта.
3) Нахождение пересечения найденной проекции вектора с плоскостью объекта.
4) При наличии пересечения формирование массива точек отражения от плоскости выбранного объекта.
5) Определение первоначального списка векторов.
6) Исключение из списка векторов лучей, пересекающих объекты.

Исходными данными для решения этих задач является 3D карта, выполненная в программе NetMAPEditor [5], которая включает в себя список объектов. Каждый объект, в свою очередь, содержит список плоскостей Planes. Каждая плоскость Planes описывается замкнутой ломаной линией CN, ограничивающей ее, и направляющим вектором DR. Каждая линия ломаной CN[I] задается вектором L, а также содержит ссылки на номер соседней плоскости P и номер отрезка в соседней плоскости C. Каждый вектор L задается своей начальной точкой P и приращением D. Каждая точка и приращение имеют по три координаты (x,y,h).

Для определения плоскости объекта обращенной к передатчику необходимо проанализировать все плоскости всех объектов карты. Если плоскость объекта обращена к передатчику, то скалярное произведение нормали плоскости DR и вектора, соединяющего любую точку плоскости объекта с точкой расположения передатчика, окажется положительным. Следовательно, все плоскости объектов, имеющих нулевое или отрицательное значение этого скалярного произведения, будут отброшены.

Для проецирования вектора Linia, соединяющего передатчик с приемником, на плоскость объекта, первоначально находим проекцию точки расположения передатчика Linia.P. Для этого найденное скалярное произведение умножаем на вектор нормали плоскости объекта, и суммируем полученное значение с координатами передатчика. Далее аналогично находим проекцию точки расположения приемника на плоскость объекта. Приращение проекции Linia.D определяется как разность координат проекций приемника и передатчика.

Для нахождения пересечения найденной проекции Linia с плоскостью объекта необходимо первоначально определить точки пересечения Linia со всеми отрезками ломанной CN[I]. Для этого первоначально проверяется, не параллельны ли вектора Linia.D и CN[I].L.D? Для этого вычисляется скалярное произведения вектора DR с векторным произведением векторов Linia.D и CN[I].L.D. Так как точки возможного отражения не могут лежать на отрезки ломанной CN[I], то при параллельности векторов Linia.D и CN[I].L.D (полученное скалярное произведение равно 0) пересечения не фиксируются.

В противном случае находятся значения t1 – расстояние от начальной точки Linia.P до точки пересечения, и значение t2 – коэффициент пропорциональности, на который нужно умножить CN[I].L.D для попадания из точки CN[I].L.P в точку пересечения. Если пересечение существует, т.е значение $0 \le t1 \le |Linia.D|$, а значение $0 \le t2 \le 1$, то определяются координаты точки пересечения путем суммирования точки начала Linia.P и произведения единичного вектора Linia.D на t1. Найденные точки и их значения t1 записываются в массив.

Далее проводится сортировка полученного массива точек в порядке возрастания t1. На основании полученного массива точек и координат проекций передатчика и приемника на плоскость объекта находятся точки входа и выхода вектора проекции Linia в плоскость и формируется массив отрезков вектора проекции Linia, которые лежат в плоскости объекта.

Далее при не нулевой длине полученного массива отрезков формируется массив точек отражения от плоскости выбранного объекта, путем разбиения длины отрезка с заданным шагом.

Определение первоначального списка векторов осуществляется на основе полученного массива точек отражения. Вектора падающих лучей получаются путем соединения точки расположения передатчика с точкой отражения из массива. Отраженный луч формируется согласно правилам отражения электромагнитных волн.

Для исключения из списка векторов лучей, пересекающих объекты, проверяется наличие точек пересечения векторов падающих лучей с объектами карты. Если пересечения определяются, то данные пары векторов отбрасываются.

Таким образом, разработанный инструментарий позволяет получить совокупность испускаемых (падающих) и отраженных лучей на основе цифровой 3D карты, необходимую для реализации модели трассировки лучей с использованием метода возбуждения лучей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. A. Ziganshin, S.V. Kozlov and E.A. Spirina, Assessing the Effectiveness of the Ray Tracing Model in Planning MIMO Systems, 2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO, Kaliningrad, Russia, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/SYNCHROINFO51390.2021.9488404.

2. Оценка параметров каналов связи с использованием модели трассировки лучей в гетерогенных сетях связи / С.В. Козлов, Е.А. Спирина, Е.А. Немцев, А.А. Спирина // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2024. – Т. 29, № 4. – С. 54-67. – DOI 10.18127/j5604128-202404-05. – EDN RLQGTP.

3. *Немцев Е.А*. Повышение достоверности оценок матрицы канала в случае наличия прямой видимости между передатчиком и приемником / Е.А. Немцев // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2025: материалы XII Международной молодежной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Казань, 10-11 апреля 2025г. – Казань: ИП Сагиева А.Р., 2025. – С. 755-757.

4. Рекомендация МСЭ-R P.1238-12 «Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования систем радиосвязи внутри помещений и локальных зоновых радиосетей в диапазоне частот 300 МГц – 450 ГГц» Электронная публикация. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1238-12-202308-I!!PDF-R.pdf.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019663931 Российская Федерация. Программа NetMAPEditor: № 2019662376: заявл. 08.10.2019: опубл.

25.10.2019 / С.В. Козлов, Е.А. Спирина; заявитель ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ». – EDN IRYEDE.

RAY TRACING MODEL USING THE RAY EXCITATION METHOD

Spirina A.A.
Supervisor: Kozlov S.V., Full Professor, Doctor of Engineering Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In order to account for additional rays in the ray tracing model, it is proposed to use the ray excitation method. A toolkit has been developed to obtain a set of emitted and reflected rays based on a digital 3D map.

УДК 621.396.677

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С РАЗНОСТНОЙ ДИАГРАММОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ НА ЩЕЛЕВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЯХ

Степанов А.А.
Научный руководитель: Лаврушев В.Н., доцент, к. т. н..
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе представлены результаты разработки и исследования параметров антенной решетки для БПЛА, предназначенной для обнаружения положения по одному из углов наземного неподвижного маяка-ретранслятора. Описана конструкция разработанной антенны, методика моделирования и исследования ключевых параметров (ДН, КСВ, КУ) в рабочем диапазоне частот. Результаты работы могут быть использованы при создании систем навигации, управления и передачи данных для БПЛА.

В докладе исследуется проблема создания антенны для БПЛА, работающего на неподвижный маяк. Проблема создания антенн для БПЛА является актуальной, но сложной задачей. Сложность решения поставленной задачи обусловлена конфигурацией и размерами БПЛА.

Целью работы является разработка антенны, соответствующей заданным требованиям.

В процессе исследования данной антенны, поставлены следующие задачи:

- Размеры антенны должны быть минимальными для данной длины волны;
- Антенна должна иметь максимальный КУ при минимальных размерах;
- Определение метода пеленгации;
- Обеспечение требуемого согласования в полосе частот;
- ФАР должна иметь специализированную ДН;

Определение типа антенны и специального отдельного излучателя [1].

В процессе работы над докладом были проанализированы несколько методов пеленгации неподвижного маяка. Например, был проанализирован метод обнаружения за счет использования кардиоидной ДН, метод использования суммарно-разностного обнаружения источника излучения и сопровождения цели и др. В данной работе предлагается метод обнаружения источника излучения с использование разностной ДН. В виду того, что маяк является неподвижным, то использование антенны только с разностной ДН позволяет с большой вероятностью решить поставленную задачу, так как при потере маяка, его обнаружение в азимутальной плоскости можно произвести за счет механики БПЛА. После наведения БПЛА направляется на маяк по минимуму сигнала. Для того, чтобы

обеспечить вышеуказанные требования при создании антенны использовалось электродинамическое моделирование.

В качестве антенны была выбрана ЛФАР с разностной ДН. В качестве отдельного излучателя использовался щелевой излучатель. В качестве материала диэлектрика выбран стеклотекстолит ($\varepsilon = 4$), использовалась симметричная полосковая линия передачи [2].

Электродинамическая модель эквидистантной антенны

Данные использовавшиеся при создании модели:

- Толщина диэлектрика платы h=2 мм;
- Толщина металлизации T=50 мкм (0.05 мм);
- Диэлектрическая проницаемость диэлектрической пластины $\varepsilon = 4$;

Реализация на несимметричных полосковых линиях [3].

Предполагаемые характеристики для антенной решетки:

- Количество излучателей N=4;
- Рабочая частота f=2 ГГц, соответствующая ей длина волны λ=150 мм;
- Равномерное амплитудное распределение;
- Фазовое распределение φ_1=0°, φ_2=0°, φ_3=180°, φ_4=180°;
- Расстояние между излучателями d≤50мм.

По данным характеристикам получили следующий множитель решетки (Рис. 1):

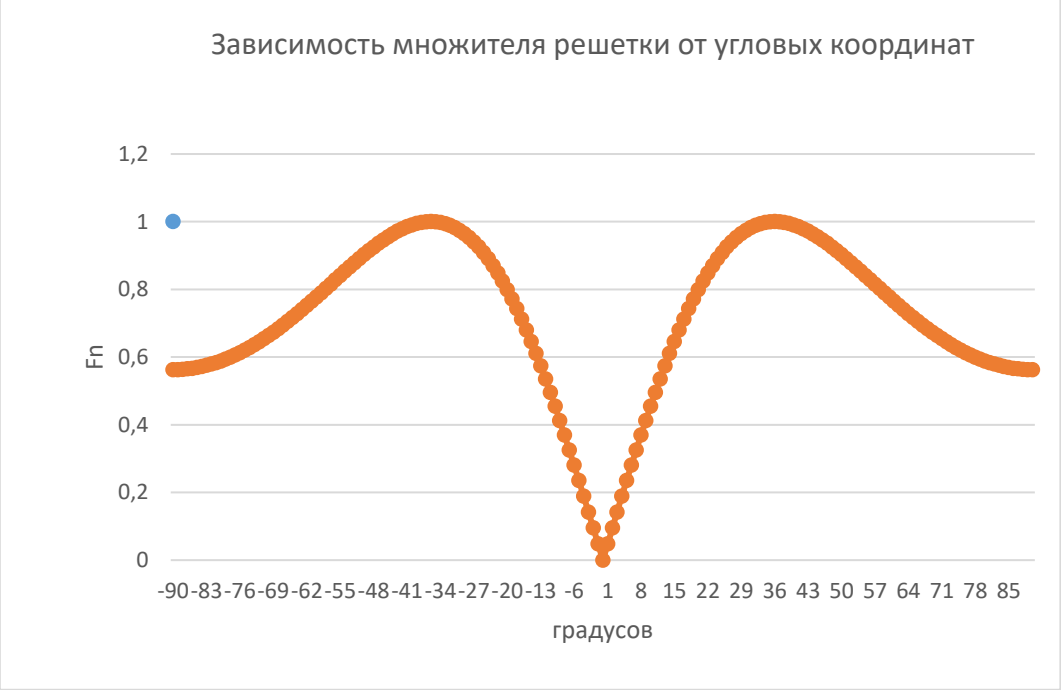


Рис. 1. Множитель решетки. Минимум на 0 градусов

Электродинамическая модель состоит из:

- Платы делителя мощности, с фазовращающей секцией на 180 градусов для двух излучателей;
- Полотна излучателей из 4 излучателей.

Тип излучателя – щелевой. По результатам электродинамического моделирования получили модель, представленную на Рис. 2:

Щелевой излучатель состоит из:

- Щель шириной W=8 мм, соответствующей 50 Ом при ε=4 длиной *l*=33,8 мм;
- Пластина размерами 60 х 60 мм^2;
- Длина полоска, который выходит за пределы щели *l*=4 мм и толщиной примерно W=1,9 мм [4-6].

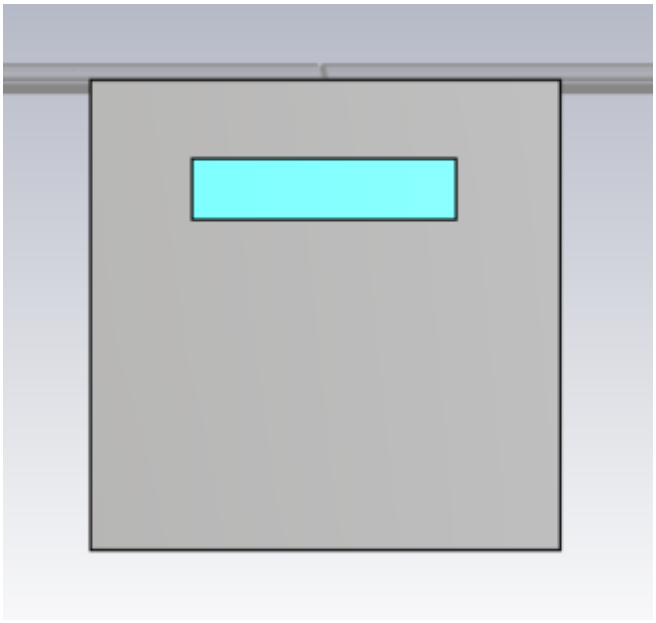


Рис. 2. Щелевой излучатель

На Рис. 3-4 приведены исследуемые параметры излучателя, а на Рис. 5 – разработанная схема делителя мощности.

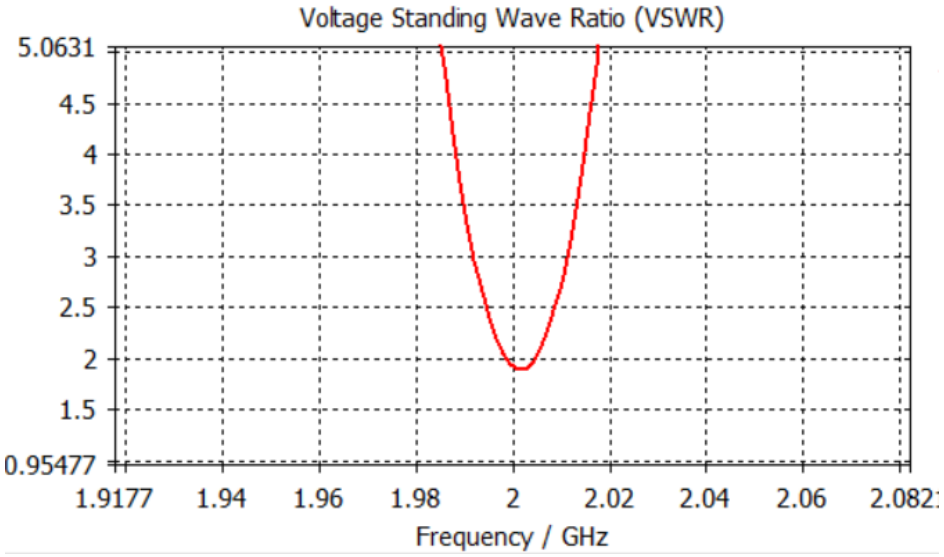


Рис. 3. КСВ для щелевого излучателя

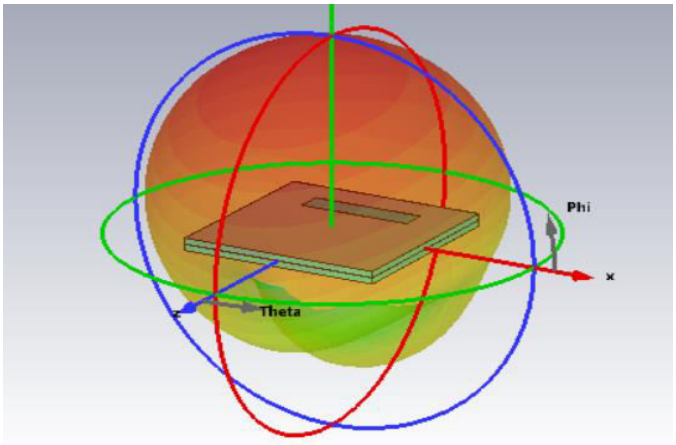


Рис. 4. ДН для щелевого излучателя

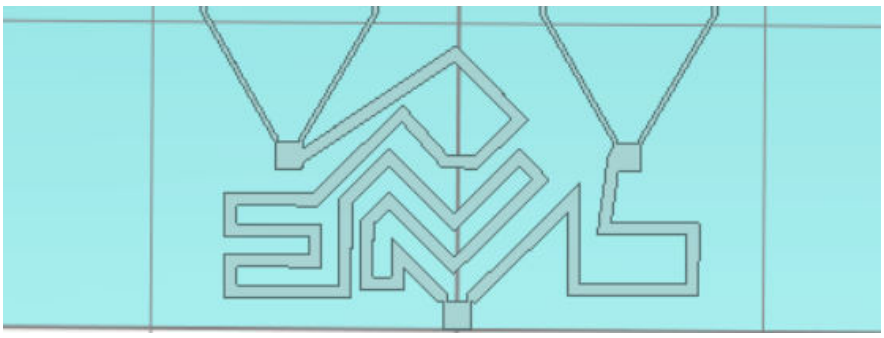


Рис. 5. Делитель мощности

Выводы: Спроектировано и проведено электродинамическое моделирование для элементов антенной решетки на основе щелевых излучателей с разностной диаграммой направленности. Спроектирована плата делителя мощности, на котором был размещен и изучен щелевой тип излучателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Устройства СВЧ для радиоэлектронных систем: учебное пособие / А.А Авксентьев, Н.Г. Воробьев, Г.А. Морозов, Н.Е. Стахова; под ред. докт. техн. наук Г.А. Морозова - Изд. 2-е, испр. И доп. - Казань. Изд-во Казан. гос. Техн. ун-та, 2014. -135 с.

2. Конструкции устройств СВЧ бортовых радиосистем : учеб. пособие по дисциплине "Конструкции и техника СВЧ" / А.А. Авксентьев, Н.Г. Воробьев, Г.А. Морозов ; Казан. авиац. ин-т им. А. Н. Туполева, Каф. радиоуправления. — Казань: КАИ, 1985. — 70 с.

3. Антенна и устройства СВЧ: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов. - М: Высш. шк., 1988. - 432с.:ил.

4. Справочник по расчету и конструированию СВЧ С74 полосковых устройств / С.И. Бахарев, В.И. Вольман, Ю.Н. Либ и др.; Под ред. В.И. Вольмана. - М.: Радио и связь, 1982. - 328 с., ил.

5. Конструирование экранов и СВЧ устройств: Учебник К65 для вузов / А.М. Чернушенко, Б.В. Петров, Л.Г. Малорацкий и др., Под ред. А.М. Чернушенко. - М.: Радио и связь, 1990. - 352с.: ил.

6. Конструирование и расчет полосковых устройств. Учебное пособие для вузов. Под редакцией чл. - корр. Академии наук БССР проф. И.С. Ковалева. М.: «Сов. Радио». 1974. - 296с.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF ANTENNA ARRAY PARAMETERS WITH A DIFFERENTIAL RADIATION PATTERN ON SLIT RADIATORS

Stepanov A.A.

Supervisor: Lavrushev V.N., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper presents the results of the development and research of the parameters of an antenna array for a UAV designed to establish and maintain reliable radio communication with a ground-based fixed repeater beacon. The design of the developed antenna, the method of modeling and investigation of key parameters (DN, SWR, CU) in the operating frequency range are described. The results of the work can be used to create navigation, control and data transmission systems for UAVs.

УДК 621.396.1: 004.92

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УСЛОВИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В ИНТЕРЕСАХ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Терешкина М.А.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Актуальность работы объясняется нарастающими требованиями к надежности и помехоустойчивости каналов связи в авиационно-космической сфере. Существующие системы прогноза часто используют упрощенные двумерные модели, не учитывающие влияние трёхмерного рельефа типа земной поверхности и динамических изменений в атмосфере [1]. В данной статье предлагается подход к созданию интерактивного программного обеспечения на основе WebGL-технологий (CesiumJS), интегрирующего точные 3D-модели местности, данные актуальных метеорологических прогнозов и параметры ионосферы [2].

Современные аэрокосмические системы ставят повышенные требования к надежности радиосвязи, особенно при управлении беспилотными летательными аппаратами в сложных условиях городской застройки и горного рельефа. Традиционные подходы к планированию радиосвязи, основанные на упрощенных двумерных моделях, не обеспечивают достаточной точности прогнозирования условий распространения радиоволн.

Распространение радиоволн в реальных условиях описывается сложными физическими моделями, учитывающими дифракцию, рефракцию и отражение электромагнитных волн [3]. Для УКВ-диапазона критически большое значение имеет учет влияния рельефа местности и объектов городской инфраструктуры. Расчет зоны радиовидимости выполняется на основе алгоритма трассировки лучей с учетом уравнения дифракции Кнудсена-Френеля:

$$I = I_0 \frac{1+\cos\theta}{2} * \frac{\sin^2(\pi / \lambda * (1+\cos\theta))}{(\pi / \lambda * (1+\cos\theta))^2}, \quad (1)$$

где I – интенсивность сигнала, I_0 – начальная интенсивность, θ – угол дифракции, λ – длина волны.

Разрабатываемый комплекс состоит из трех основных модулей (Рис.1):

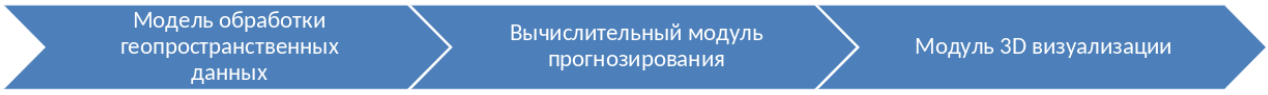


Рис. 1. Архитектура программного комплекса

В качестве основы для модуля 3D-визуализации выбран API WebGL, как лучшая бесплатная открытая веб-среда с такими характеристиками, как: мощность, доступность и высокая производительность [4].

Для реализации данного модуля была выбрана библиотека CesiriumJS. CesiriumJS – это высокоуровневая библиотека языка скриптов JavaScript для создания интерактивных 3D-глобусов, которая использует WebGL для аппаратного ускорения графики [5]. Библиотека предоставляет встроенную поддержку глобусов, картопроекций, загрузки данных WMS, WMTS, а также форматов геопространственных данных, таких как GeoJSON, KML и CZML для временных данных.

Основой системы является алгоритм расчета радиовидимости, учитывающий цифровую модель рельефа (ЦМР) и трехмерные объекты. Для интеграции метеорологических данных используется интерполяция по методу Кригинга:

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(s_i), \quad (2)$$

где $Z(s_0)$ – прогнозируемое значение, λ_i – весовые коэффициенты, $Z(s_i)$ – измеренные значения.

Предлагаемый программный комплекс будет находить непосредственное применение в решении задач космической отрасли, где надежная связь и точное позиционирование являются определяющими факторами.

Одной из главных задач является моделирование уровня сигнала со спутниковой связи (например, группировок Starlink, OneWeb) с учетом атмосферных условий. Комплекс позволит рассчитывать зону радиовидимости между наземным терминалом и спутником, учитывая влияние тропосферных и ионосферных эффектов на распространение сигнала в Ku- и Ka-диапазонах. Это позволит оптимально выбирать местоположение наземных станций и планировать время установления связи [6].

Солнечные вспышки, корональные выбросы массы, геомагнитные бури оказывают резкое воздействие на работу спутников и систем связи. Интеграция в комплекс данных о солнечной активности и состоянии магнитосферы Земли позволит визуализировать их воздействие в реальном времени: полярные сияния, ионосферные возмущения(моделирование внезапных ионосферных возмущений, вызванных солнечными вспышками, которые приводят к поглощению радиоволн и ухудшению связи на дневной стороне Земли), влияние на СВЧ-диапазон(отображение вариаций полного электронного содержание ионосферы, вызывающих ошибки в измерениях спутниковых навигационных систем, критичных для посадки летательных аппаратов и высокоточного позиционирования) [7].

Для реализации проекта важно продумать план разработки (Таблица 1):

Таблица 1

Подробный план разработки проекта

Этап I. Разработка ядра системы и базовой визуализации	**Этап II. Интеграция данных и расширение функционала**	**Этап III. От прототипа к продукту и перспективы**
Интеграция CesiumJS: настройка сцены и реализация базовых элементов управления камерой.	Интеграция метеоданных: подключение к одному из открытых метео-API, визуализация базовых погодных слоев на глобусе.	Оптимизация и тестирование: нагрузочное тестирование API, оптимизация алгоритмов для работы с большими территориями, тестирование интерфейса на удобность.
Разработка модуля работы с геоданными: написание скриптов Python для загрузки и предобработки цифровых моделей рельефа для тестового полигона, конвертация данных в формат, пригодный для загрузки в Cesium.	Разработка модуля прогнозирования(бэкенд): реализация простых моделей влияния погодных условий на распространение УКВ-волн (например, учет коэффициента ослабления сигнала при дожде), модификация API расчета видимости, чтобы он возвращал не просто бинарный ответ, а расчетный уровень сигнала.	Документирование: написание пользовательской инструкции, создание технической документации по API.
Реализация алгоритма трассировки луча: разработка на JavaScript	Улучшение фронтенда: создание интерфейса для выбора метеоусловий,	Планирование дальнейшего развития: внедрение машинного обучение (сбор

функции расчета линии прямой видимости между двумя точками на основе ЦМР, интеграция этого алгоритма в бэкенд.	визуализация не просто линии, а зоны Френеля и прогнозируемого уровня сигнала вдоль трассы.	данных для тренировки моделей прогноза помех), поддержка КВ-диапазона(интеграция моделей ионосферы и данных о солнечной активности), расширение анализа(добавление расчета для сетей).
Базовая визуализация результатов: создание на фронтенде инструмента для размещения точек передатчика и приема, визуализация расчитанной линии между точками, вывод текстового результата расчета в развернутом и понятном виде.	Подготовка инфраструктуры: контейнеризация приложения с помощью Docker, выкладка прототипа на тестовый хостинг (например, GitHub и Yandex облако).	-
Итог: работающий прототип, который для выбранного участка местности может рассчитать и наглядно показать, есть ли прямая радиовидимость между двумя точками.	Итог: прототип превращается в систему, которая не только считает геометрическую видимость, но и прогнозирует качество сигнала с учетом простых атмосферных условий.	Итог: готовый для использования веб-инструмент.

Предлагаемое программное решение представлено на Рис. 2.

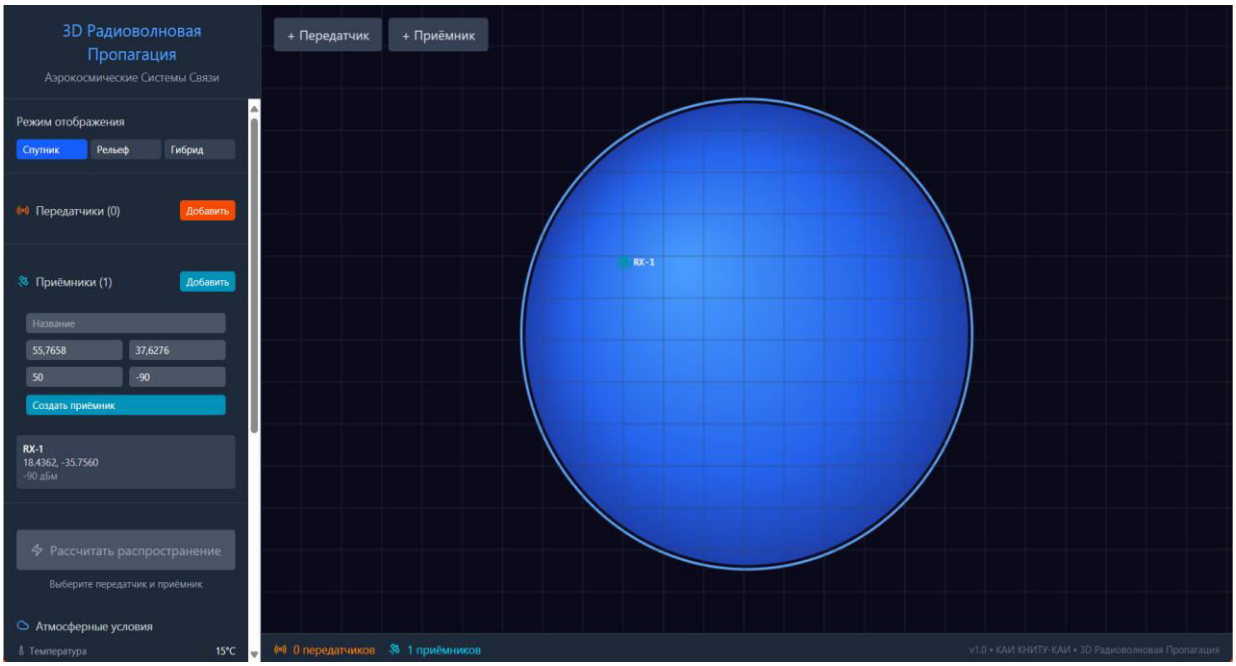


Рис. 2. Прототип программного комплекса

В будущем такой программный комплекс, который будет учитывать всё, что происходит на Земле и в ближнем космосе, существенно повысит точность планирования установления радиосвязи за счет использования точных 3D-моделей местности и учета

динамических атмосферных параметров. Перспективы развития системы включат интеграцию машинного обучения для улучшения точности прогнозов и расширение функционала для работы с КВ-диапазоном, также внедрение искусственного интеллекта позволит автоматизировать часть работы синоптиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Как синоптики делают прогноз погоды и почему он не всегда точный: [Электронный ресурс] // РБК Тренды. URL: https://trends.rbc.ru/trends/innovation/62fbb00c9a79476b8c626b15. (Дата обращения: 30.08.2025).

2. *Maral G., Bousquet M*. Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology. 6th Edition. – Wiley, 2020. – 800 p.

3. *Л.А. Нафедьев* Виртуальный лабораторный практикум по дифракции света для учащихся 11-х классов // Казань: КФУ, 2023. 84 с.

4. WebGL: OpenGL ES for the Web [Электронный ресурс] // The Khronos Group. URL: https://www.khronos.org/webgl/. (Дата обращения: 30.08.2025).

5. CesiumGS: An open-source JavaScript library for world-class 3D globes and maps [Электронный ресурс] // Kevin Ring. URL: https://github.com/CesiumGS. (Дата обращения: 30.08.2025).

6. *Богданов Н.А.* Влияние солнечной активности на системы связи и навигации // Космические исследования. 2020. Т. 58. 3. С. 210-225.

7. *Крюкова С.В., Симакина Т.Е*. Оценка методов пространственной интерполяции метеорологических данных // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). - 2018. - №. 1 (46). - С. 144-151.

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE COMPLEX FOR 3D VISUALIZATION AND PREDICTION OF RADIO WAVE PROPAGATION CONDITIONS FOR AEROSPACE COMMUNICATION

Tereshkina M.A.

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The relevance of the work is explained by the growing requirements for the reliability and noise immunity of communication channels in the aerospace industry. Existing forecast systems often use simplified two-dimensional models that do not take into account the influence of three-dimensional terrain and dynamic changes in the atmosphere [1]. This article proposes an approach to creating interactive software based on WebGL technologies (CesiumJS) that integrates accurate 3D terrain models, real-time meteorological forecasts, and ionosphere parameters [2].

УДК 621.396.6

РАЗРАБОТКА ШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ ВИВАЛЬДИ, КАК ЭЛЕМЕНТА АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ, СФОКУСИРОВАННОЙ В ЗОНЕ БЛИЖНЕГО ИЗЛУЧЕННОГО ПОЛЯ

Фархутдинов В.В.

Научный руководитель: Веденькин Д.А., доцент, к. т. н

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань*)

Аннотация. В докладе рассматривается разработка антенны Вивальди, предназначенной для использования в составе антенной решетки с фокусировкой в зоне ближнего излученного поля (ЗБИП). Описан патент антенны, ее электродинамическая

модель, разработанная в программе CST Studio Suite, а также смоделирована фокусировка в ЗБИП с помощью программы, написанной на языке программирования Python.

Современные радиотехнические системы, включая радиолокационные комплексы, системы связи и радиоэлектронной борьбы, предъявляют высокие требования к антенным устройствам. Одним из перспективных направлений является разработка широкополосных антенных решеток, способных эффективно работать в ближней зоне излучения. Особый интерес в этом контексте представляют антенны Вивальди, обладающие уникальным сочетанием широкополосности, компактности и направленных свойств.

Антенны Вивальди, благодаря своей экспоненциальной апертуре, обеспечивают стабильные характеристики в широком частотном диапазоне, что делает их идеальными кандидатами для использования в составе антенных решеток с фокусировкой в ближнем поле. Такие системы востребованы в медицинской диагностике, системах безопасности, ближнепольной радиолокации и других приложениях, где требуется точное управление распределением электромагнитного поля.

В данной работе представлена разработка и исследование антенны Вивальди как элемента антенной решетки, фокусированной в зоне ближнего излученного поля. Рассмотрены электродинамическое моделирование в CST Studio Suite, анализ характеристик одиночного излучателя и антенной решетки, а также программная реализация алгоритма фокусировки на языке Python. Особое внимание уделено оптимизации параметров антенны для достижения минимального уровня боковых лепестков и максимальной эффективности в рабочем диапазоне частот 3.5-6.5 ГГц.

Результаты исследования демонстрируют перспективность использования антенн Вивальди в составе фокусирующих антенных систем, обеспечивающих высокую пространственную селективность и управляемость электромагнитным полем в ближней зоне. Разработанные решения могут найти применение в современных радиотехнических комплексах специального и гражданского назначения.

Антенны Вивальди (излучатели на основе симметричных щелевых линий, далее – антенны Вивальди) обладают необходимыми техническими характеристиками: 1) малые габаритные размеры; 2) малый вес излучателя; 3) необходимая диаграмма направленности, создаваемая на всем диапазоне рабочих частот; 4) способность излучать сверхкороткие импульсы. Кроме заявленных требований, необходимо отметить и простоту конструкции данного типа излучателей, а также возможность работы в широком диапазоне частот. Суммируя данные достоинства, целесообразно рассчитать и рассмотреть излучатель подобного типа для дальнейшего моделирования и возможной апробации. Рабочая полоса при расчете больше всего зависит от выбранной частоты. Как правило, она ухудшает согласование на выходе. Также рабочая полоса зависит от изменения максимума диаграммы направленности, расширения луча и других параметров. Широкополосными антеннами принято считать такие антенны, рабочая полоса которых должна составлять от 10–50 % номинальной частоты. Антенна Вивальди считается широкополосной антенной и рассматривается как излучатель сверхкоротких импульсов в ряде работ. Учитывая вышесказанное, нужно учесть, что выбранная рабочая частота – 8 ГГц (а действующий неблагоприятно на электронные радиоэлементы частотный диапазон от 5 до 8 ГГц) для дальнейших расчетов.

Антенна Вивальди с кругом (или кольцевая антенна Вивальди) — это модификация классической антенны Вивальди, в которой добавлен круглый или кольцевой элемент для улучшения характеристик, таких как ширина полосы пропускания, направленность или согласование импеданса. Конструкция (копланарной) антенны Вивальди (материал печатной платы показан здесь прозрачным) представлен на рисунке 1 [1].

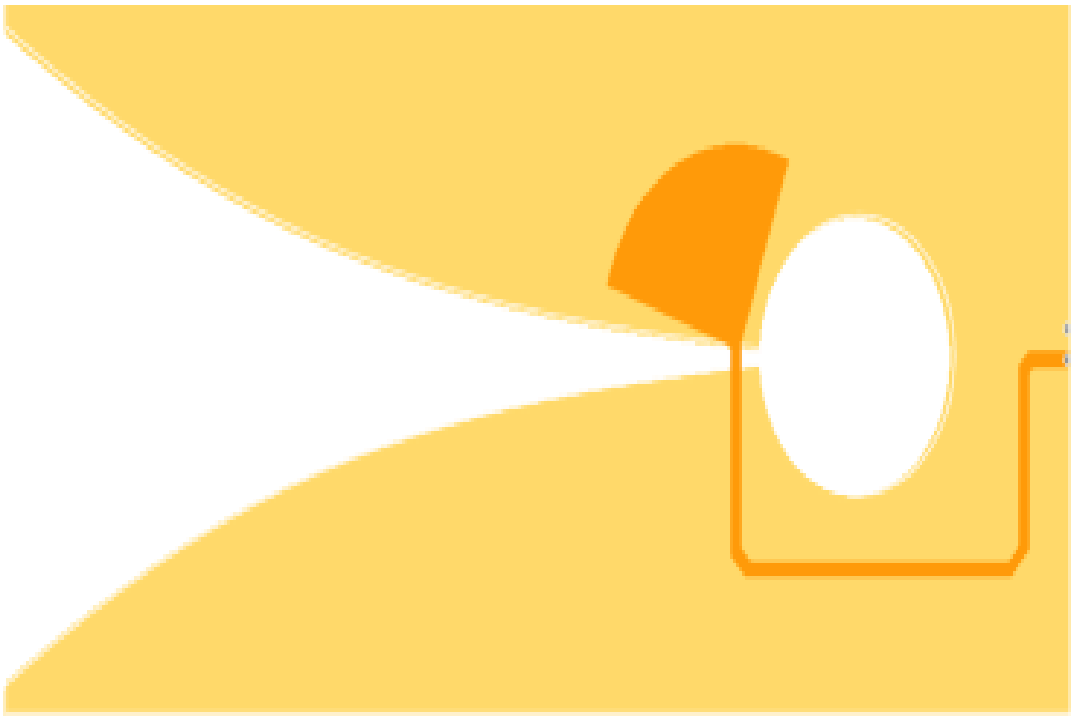


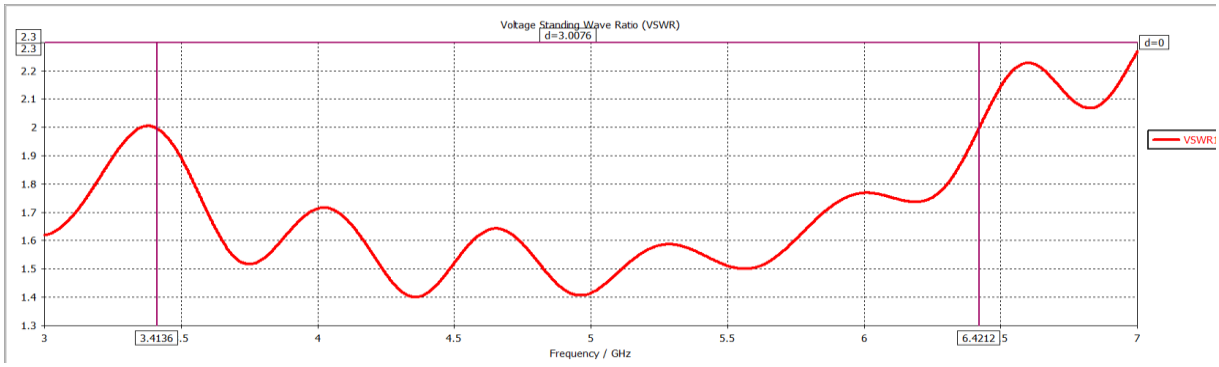
Рис. 1. Конструкция (копланарной) антенны Вивальди (материал печатной платы показан здесь прозрачным) [1]

Конструктивные параметры антенны включают круглый (кольцевой) элемент, который может быть выполнен в виде металлического кольца, диска или прорези, что позволяет улучшить её согласующие и направленные свойства. Длина антенны определяет нижнюю границу рабочего частотного диапазона, в то время как ширина апертуры влияет на верхнюю граничную частоту, обеспечивая широкополосные характеристики. Важным требованием к антенне является поддержание коэффициента стоячей волны (КСВ) не выше 2 в заданной полосе частот, что обеспечивает эффективное согласование с фидерной линией и минимизацию энергетических потерь.

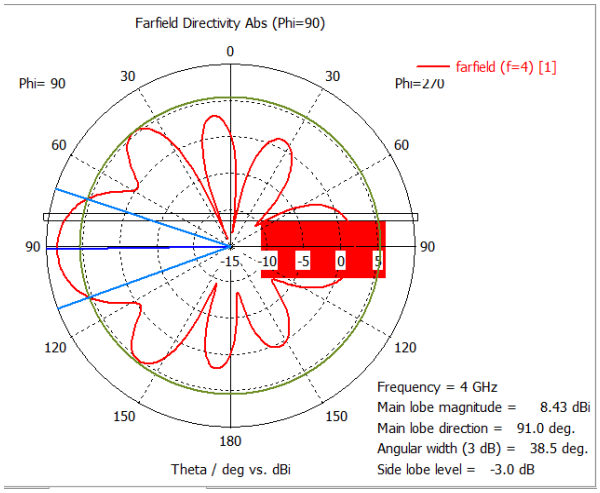
Модель антенны готова к использованию: ее можно запустить для анализа требуемых характеристик, представленных на рисунке 2.

На рисунке 2 а) представлены графики параметров КСВ (VSWR), анализ которых показывает, что удовлетворительные характеристики (КСВ $\leq$ 2) достигаются в частотном диапазоне 3,5–6,5 ГГц. Центральная частота этой рабочей зоны находится на отметке 5 ГГц, при этом общая ширина полосы составляет 3 ГГц, что соответствует относительной широкополосности 60%.

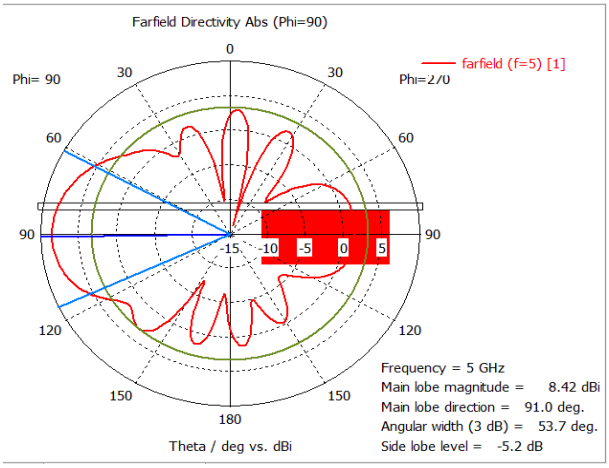
На графиках 4 ГГц, 5 ГГц и 6 ГГц мы видим, что диаграмма направленности изменяется незначительно. Главный лепесток диаграммы направленности имеет усиление 8,42 dBi и направлен под углом 91 градус, что указывает на смещенный максимум излучения относительно оси 0°. Ширина главного лепестка составляет 53,7 градуса по уровню -3 дБ, что характеризует умеренно направленные свойства антенны. Направление антенны является истинно верным и именно тот угол 91 градус должен быть для дальнейшей фокусировки, которая нам понадобится для дальнейшей работы выпускной квалификационной работы. Уровень боковых лепестков равен -5,2 дБ, что свидетельствует о наличии заметных побочных излучений. Диаграмма показывает асимметричное распределение излучения с основным лепестком, смещенным к 91 градусу. Наблюдаются выраженные боковые лепестки с уровнем всего -5,2 дБ относительно главного, что может указывать на определенные компромиссы в конструкции антенны.



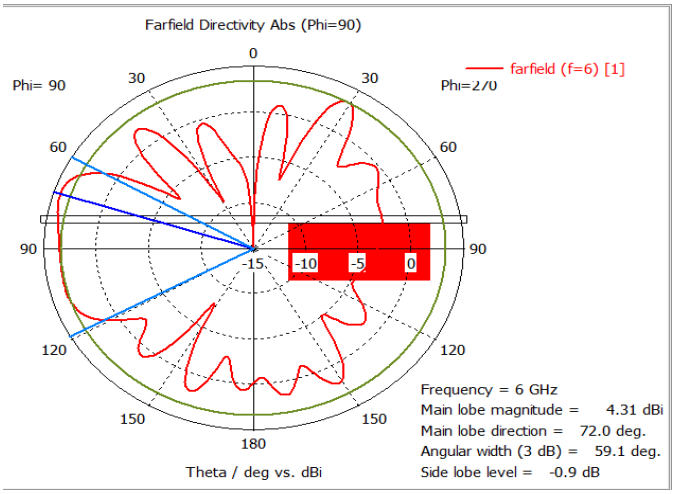
а)



б)



в)

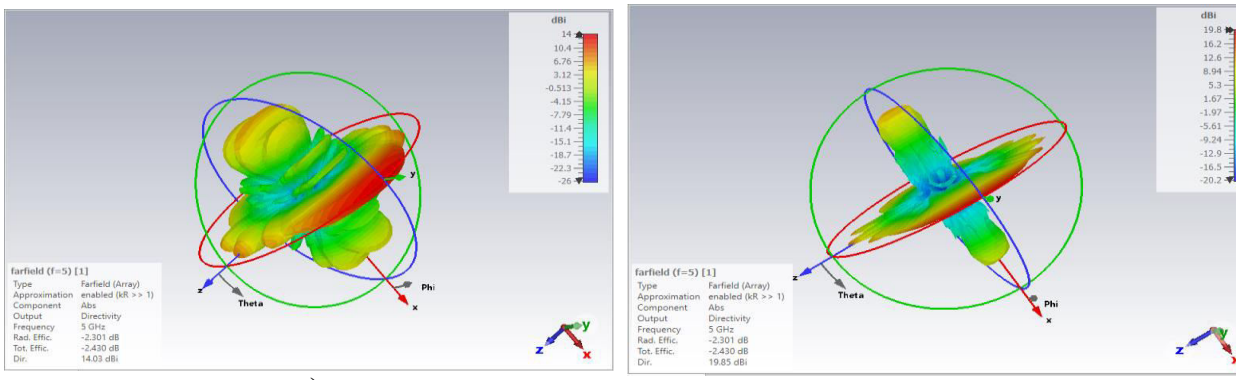


г)

Рис. 2. Характеристики антенны Вивальди: а) график КСВ антенны, б) ДН антенны при 4 ГГц, в) ДН антенны при 5 ГГц, г) ДН антенны при 6 ГГц

Программный комплекс CST Studio Suite предоставляет широкие возможности для проектирования и анализа антенных решёток различной конфигурации. С его помощью можно создавать модели на основе как стандартных излучающих элементов (диполей, микрополосковых антенн, рупоров), так и пользовательских конструкций, разработанных непосредственно в среде CST или импортированных из других САПР. Ключевой особенностью является возможность задания амплитудно-фазового распределения по элементам решётки, что позволяет моделировать электронное сканирование луча и формирование заданных диаграмм направленности. Также можно с помощью функции Array

Factor смоделировать на базе диаграммы направленности одного элемента диаграмму направленности. На рисунке 4 представлена антенна Вивальди а) 4 антенны и б) 16 антенн.



а) б)

Рис. 3. Антенна Вивальди а) 4 антенны и б) 16 антенн

Прежде чем приступать к программированию нужно понять, что у нас есть и построить блок-схему. Из *CST* были выгружены данные диаграмм направленности, которые представляют из себя данные фокусировки в плоскости Θ, в каждом градусе. Эти данные будут в будущем у излучателей в программе.

Поле антенной решётки в дальней зоне (ДН) определяется суперпозицией полей всех элементов с учётом их амплитуд, фаз и взаимного влияния:

$$E_{resh}(x,y,z) = \sum_{n=1}^{N} \left[I_n \cdot E_n(x,y,z) \cdot e^{-jk(R_\phi - R(x,y,z)} \right],$$

где I_n – комплексный ток в n-м элементе (амплитуда и фаза);
$E_n(x,y,z)$ – ДН отдельного элемента (без учёта взаимной связи);
k – волновое число;
$R(x,y,z)$ – положение n-го элемента в решётке;

На основе вышеупомянутых данных строем блок-схему, изображенную на рисунке 5.

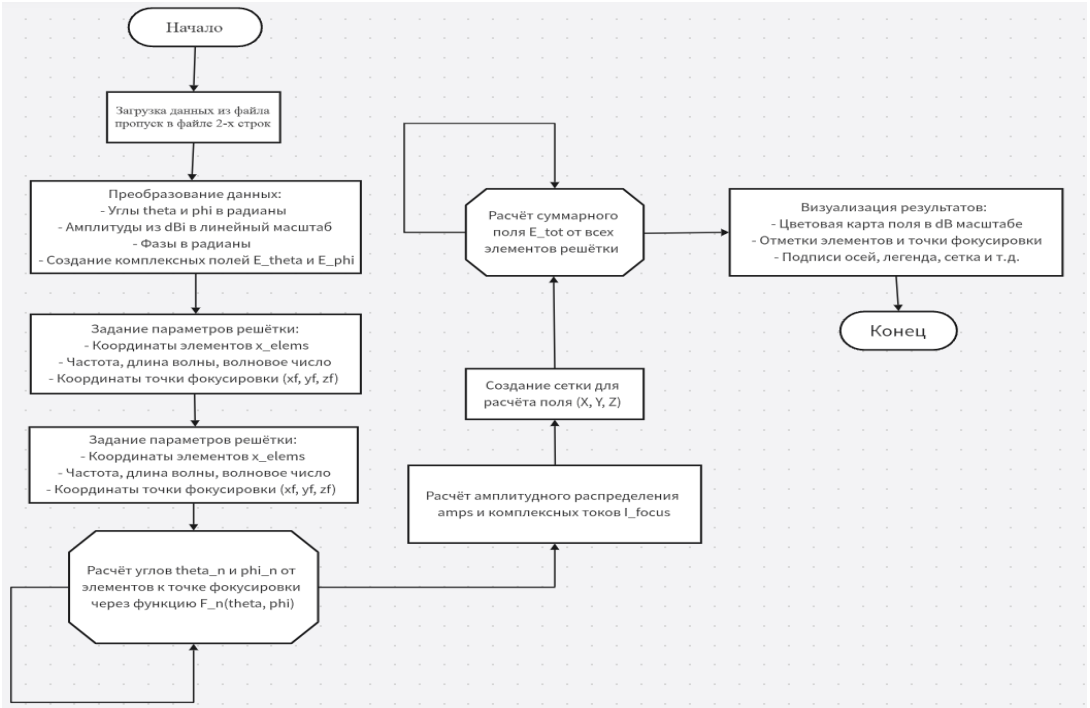


Рис. 4. Блок-схема

Программа начинает работу с загрузки данных из текстового файла, игнорируя первые две строки служебной информации. Основные данные включают углы theta и phi, амплитуды и фазы излучения. Эти значения преобразуются в радианы и переводятся в линейный масштаб, после чего формируются комплексные представления полей E_theta и E_phi. Эти поля используются для дальнейшего моделирования диаграммы направленности антенны.

На следующем этапе программа настраивает параметры антенной решетки. Пользователь вводит координаты излучающих элементов, рабочую частоту, длину волны и точку фокусировки. Эти параметры определяют геометрию системы и ее электромагнитные свойства. На их основе рассчитываются расстояния от каждого элемента до точки фокусировки и требуемое фазовое распределение для формирования направленного луча.

Ключевая часть вычислений включает определение направлений theta_n и phi_n от каждого элемента к точке фокусировки. Для этого используется интерполяционная функция F_n(theta, phi), которая на основе загруженных данных определяет амплитуду поля в заданных направлениях. На основе этих расчетов формируются амплитудное распределение и комплексные токи для каждого излучателя с учетом индивидуальных характеристик антенны.

Для визуализации результатов строится расчетная сетка в пространстве вокруг антенной решетки. Программа вычисляет вклад каждого элемента в общее поле, используя ранее заданные параметры. Итоговое поле E_tot представляет собой суперпозицию полей всех излучающих элементов.

Завершающий этап включает графическое отображение результатов. С помощью цветовой карты и графиков распределения по осям X и Z показывается поле в децибелах. На график наносятся метки расположения элементов решетки и точки фокусировки. Для удобства анализа добавляются подписи осей, легенда и координатная сетка. Результат работы программы представлен на рисунке 5.

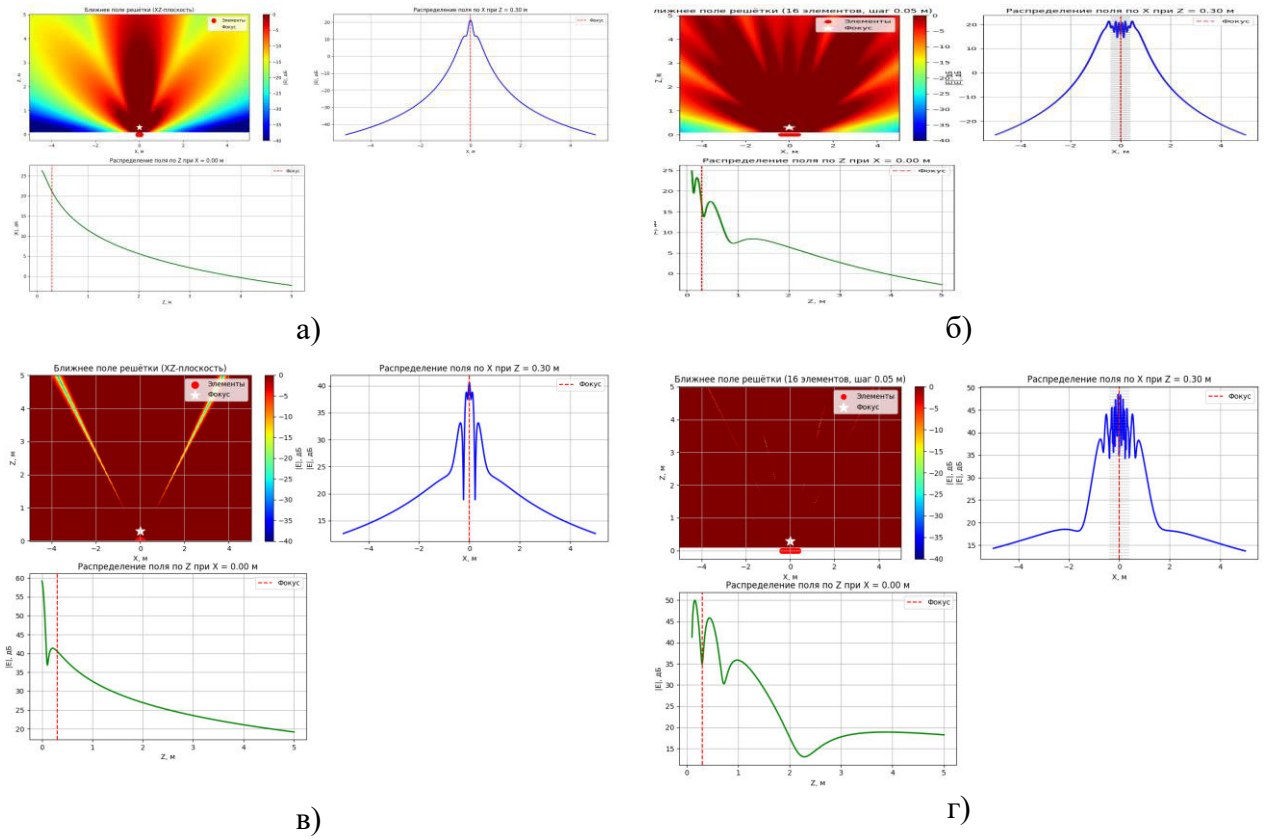


Рис. 5. Результат работы программы: равномерное распределение а) 4 излучателя, б) 16 излучателей, антенна Вивальди в) 4 излучателя, г) 16 излучателей

Антенны Вивальди в решётке демонстрируют аналогичную трансформацию, но с важными особенностями. 4-х элементная конфигурация создаёт веерообразную диаграмму с выраженной асимметрией - узкой в одной плоскости и расширенной в другой. При этом сохраняется проблема с боковыми лепестками, которые теперь распределяются в более широком угловом секторе.

16-ти элементная решётка превращает антенну Вивальди в своеобразный «плоский излучатель». Диаграмма становится резко анизотропной - практически плоской в рабочей плоскости θ, сохраняя при этом острую направленность в перпендикулярной плоскости. Это создаёт уникальный «линейный» луч, идеальный для задач построчного сканирования или создания линейных зон покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Патент 209563. Российская Федерация, МПК H01Q 1/00. Антенна Вивальди: № 2021117108: заявл. 2021.08.31: опубл. 2022.03.17 / Ю. Г. Антонов. — 1 с.

DEVELOPMENT OF A BROADBAND ANTENNA VIVALDI AS AN ELEMENT OF AN ANTENNA ARRAY FOCUSED IN THE NEAR-FIELD AREA

Farkhutdinov V.V.

Supervisor: Vedenkin D.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The report discusses the development of a Vivaldi antenna designed for use as part of a near-field focused antenna array. The patent of the antenna, its electrodynamic model, developed in the CST Studio Suite program, is described, as well as focusing in TNFA is modeled using a program written in the Python programming language.

УДК 621.396.6

РАЗРАБОТКА ШИРОКОПОЛОСНОЙ СПИРАЛЬНОЙ КОНИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ, КАК ЭЛЕМЕНТА АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ, СФОКУСИРОВАННОЙ В ЗОНЕ БЛИЖНЕГО ИЗЛУЧЕННОГО ПОЛЯ

Фархутдинов В.В.

Научный руководитель: Веденькин Д.А., доцент, к. т. н

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань*)

Аннотация. В докладе рассматривается разработка спиральной конической антенны, предназначенной для использования в составе антенной решетки с фокусировкой в зоне ближнего излученного поля (ЗБИП). Описан патент антенны, ее электродинамическая модель, разработанная в программе CST Studio Suite, а также смоделирована фокусировка в ЗБИП с помощью программы, написанной на языке программирования Python.

Современные радиотехнические системы, включая радиолокационные станции, системы связи и радиоэлектронной борьбы, предъявляют высокие требования к антенным устройствам. Одним из ключевых направлений развития антенной техники является создание широкополосных антенных решеток, способных эффективно работать в ближней зоне излучения. Такие антенны востребованы в задачах фокусированного воздействия на объекты, ближнепольного сканирования и формирования управляемых диаграмм направленности.

Особый интерес представляют спиральные конические антенны, сочетающие в себе широкополосность, круговую поляризацию и компактность. Их использование в составе антенных решеток позволяет реализовать фокусировку электромагнитного поля в заданной области, что актуально для медицинских приложений, систем беспроводной передачи

энергии и специализированных радиолокационных комплексов. Однако проектирование таких антенн требует учета взаимного влияния элементов, точного управления фазовым распределением и оптимизации геометрических параметров.

В данной работе представлена разработка широкополосной спиральной конической антенны, предназначенной для использования в составе антенной решетки с фокусировкой в ближней зоне. Рассмотрены электродинамическое моделирование в CST Studio Suite, анализ характеристик антенны и программная реализация алгоритма фокусировки на языке Python. Результаты исследования демонстрируют перспективность предложенной конструкции для практического применения в современных радиосистемах.

Изобретение (спиральная коническая антенна) относится к антенной технике, в частности к коническим спиральным антеннам космических аппаратов. Антенна содержит два эквиугольных спиральных излучателя, выполненных в виде лент, и симметрирующее устройство, расположенное по оси антенны и выполненное в виде круглого коаксиального волновода, на конце которого размещены два выходных проводника. Узкие концы излучателей электрически подсоединены к выходным проводникам симметрирующего устройства, а широкие концы — к кромке круглого электропроводящего диска. Выходные проводники симметрирующего устройства образованы двумя симметрично расположенными на внешнем проводнике симметрирующего устройства продольными щелями. Между концом одного из выходных проводников и концом внутреннего проводника коаксиального волновода установлена электропроводящая перемычка. Внешний проводник симметрирующего устройства, спиральные излучатели и диск выполнены в виде единой детали, изготовленной по аддитивной технологии послойным лазерным сплавлением. Технический результат —упрощение процесса изготовления и уменьшение времени изготовления антенны, а также повышение надежности эксплуатации антенны [1]. Общий вид антенны представлен на рисунке 1.

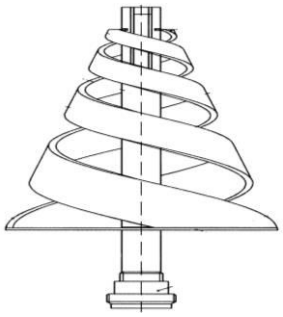


Рис. 1. Общий вид антенны [1]

Формирование конической спиральной антенны требует точного геометрического построения с использованием двух ключевых элементов: профильной кривой, задающей поперечное сечение витка, и кривой траектории, вдоль которой выполняется развертка профиля с обязательным соблюдением условий перпендикулярности профиля касательной к траектории, плавности изменения геометрических параметров и точного соответствия заданному шагу спирали, что в совокупности обеспечивает требуемые электродинамические характеристики антенны.

Формирование конической спиральной антенны завершается созданием симметричной конструкции с помощью функции зеркального отражения исходной спирали. При этом особое внимание уделяется точности совмещения элементов и сохранению геометрических параметров на всей поверхности антенны. Важным этапом является установка дискретного порта питания на малое кольцо конструкции, который обеспечивает эффективное возбуждение электромагнитных волн в рабочем диапазоне частот.

Для улучшения направленных свойств антенны и снижения уровня боковых лепестков на большее кольцо устанавливается медная экранирующая пластина. Ее форма и размеры тщательно подбираются для достижения оптимального компромисса между габаритами

антенны и ее электродинамическими характеристиками. В результате формируется законченная конструкция конической спиральной антенны. Полученная антенная система, представленная на рисунке 2.

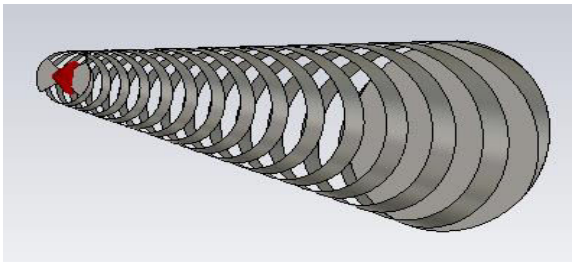
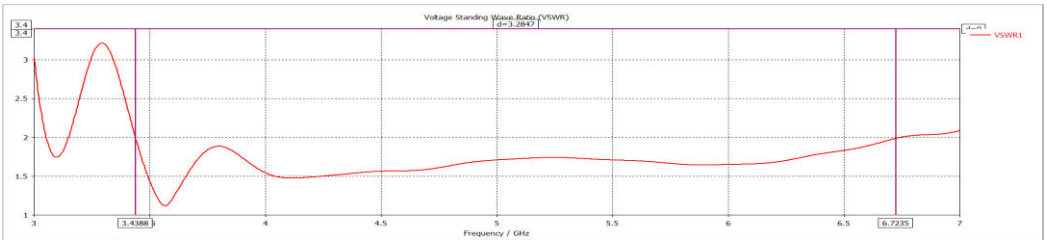
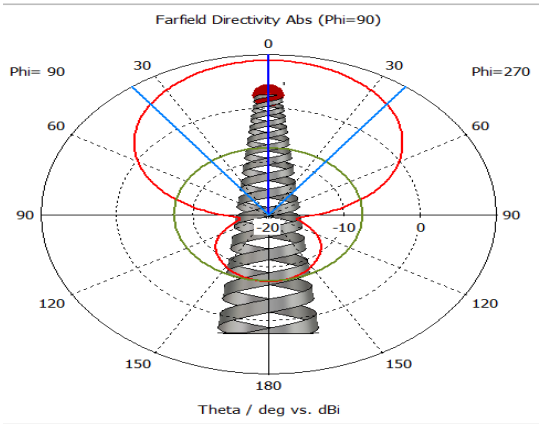


Рис. 2. Конусная спиральная антенна

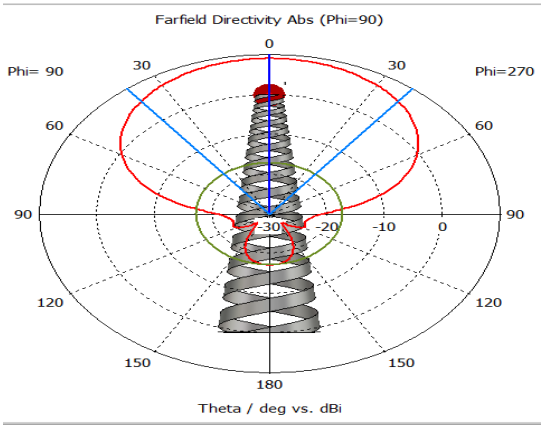
Модель антенны готова к использованию: ее можно запустить для анализа требуемых характеристик, представленных на рисунке 3.



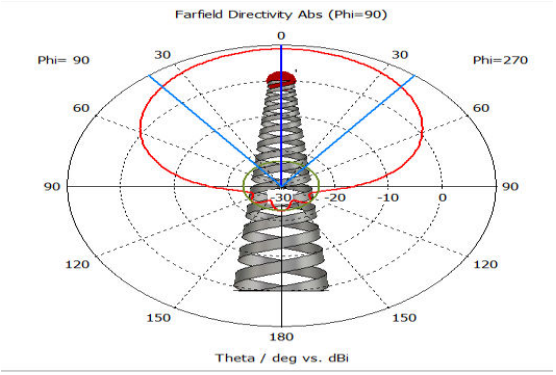
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Характеристики конусной спиральной антенны:
а) график КСВ антенны, б) ДН антенны при 4 ГГц,
в) ДН антенны при 5 ГГц, г) ДН антенны при 6 ГГц

На графике КСВ (*VSWR*) рисунке 3 а) приемлемый диапазон с коэффициентом стоячей волны не более 2 наблюдается в полосе частот от 3,5 до 6,5 ГГц. Средняя частота этого диапазона составляет 5 ГГц, а абсолютная полоса пропускания достигает 3 ГГц, что соответствует относительной широкополосности 60%. Такой показатель свидетельствует о хороших частотных характеристиках системы, позволяющей эффективно работать в широком спектре.

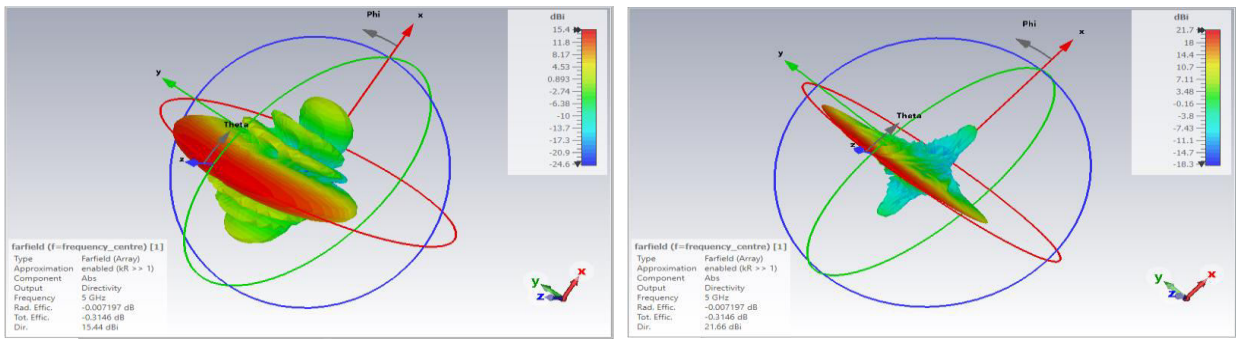
Низкочастотный диапазон 3,1–3,2 ГГц не подходит для применения из-за крайне узкой полосы пропускания — всего 0,1 ГГц. Отношение полосы к средней частоте (~3,15 ГГц) составляет примерно 3,2%, что значительно ниже требуемого уровня. Такая узкополосность делает данный участок непригодным для задач, где необходима высокая гибкость и широкий рабочий диапазон.

Таким образом, оптимальным решением является использование высокочастотного диапазона 3,5–6,5 ГГц с широкополосностью 60%. Этот участок обеспечивает стабильные параметры передачи и соответствует техническим требованиям, в отличие от низкочастотного сегмента, который исключается из-за недостаточной эффективности и узкой полосы пропускания.

На графиках 4 ГГц, 5 ГГц и 6 ГГц мы видим, что диаграмма направленности почти не изменяется. Антенна демонстрирует четко выраженную направленность с максимумом излучения в направлении 0° и усилением 8,96 dBi. Ширина главного лепестка составляет 76,5° по уровню -3 дБ, что обеспечивает широкий угол охвата. Уровень боковых лепестков крайне низкий (-26,1 dB), что свидетельствует о минимальных паразитных излучениях и высокой эффективности антенны.

График построен для азимутального угла *Phi*=90°, отображая зависимость усиления от угла *Theta* (от 0° до 180°). Диаграмма симметрична относительно главного направления (0°), с плавным снижением усиления к краям. Отсутствие выраженных боковых лепестков (-26,1 dB) подчеркивает качество конструкции антенны, минимизирующей рассеянное излучение.

Программный комплекс *CST Studio Suite* предоставляет широкие возможности для проектирования и анализа антенных решёток различной конфигурации. С его помощью можно создавать модели на основе как стандартных излучающих элементов (диполей, микрополосковых антенн, рупоров), так и пользовательских конструкций, разработанных непосредственно в среде *CST* или импортированных из других САПР. Ключевой особенностью является возможность задания амплитудно-фазового распределения по элементам решётки, что позволяет моделировать электронное сканирование луча и формирование заданных диаграмм направленности. Также можно с помощью функции *Array Factor* смоделировать на базе диаграммы направленности одного элемента диаграмму направленности. На рисунке 4 представлена спиральная коническая антенна а) 4 антенны и б) 16 антенн.



а) б)

Рис. 4. Спиральная коническая антенна а) 4 антенны и б) 16 антенн

Прежде чем приступать к программированию нужно понять, что у нас есть и построить блок-схему. Из *CST* были выгружены данные диаграмм направленности, которые

представляют из себя данные фокусировки в плоскости Θ, в каждом градусе. Эти данные будут в будущем у излучателей в программе.

Поле антенной решётки в дальней зоне (ДН) определяется суперпозицией полей всех элементов с учётом их амплитуд, фаз и взаимного влияния:

$$\mathbf{E_{resh}(x,y,z)} = \sum_{\mathbf{n=1}}^{\mathbf{N}} \left[\mathbf{I_n \cdot E_n(x,y,z) \cdot e^{-jk(R_\phi - R(x,y,z)} } \right],$$

где I_n – комплексный ток в n-м элементе (амплитуда и фаза);
$E_n(x,y,z)$ – ДН отдельного элемента (без учёта взаимной связи);
k – волновое число;
$R(x,y,z)$ – положение n-го элемента в решётке;

На основе вышеупомянутых данных строем блок-схему, изображенную на рисунке 5.

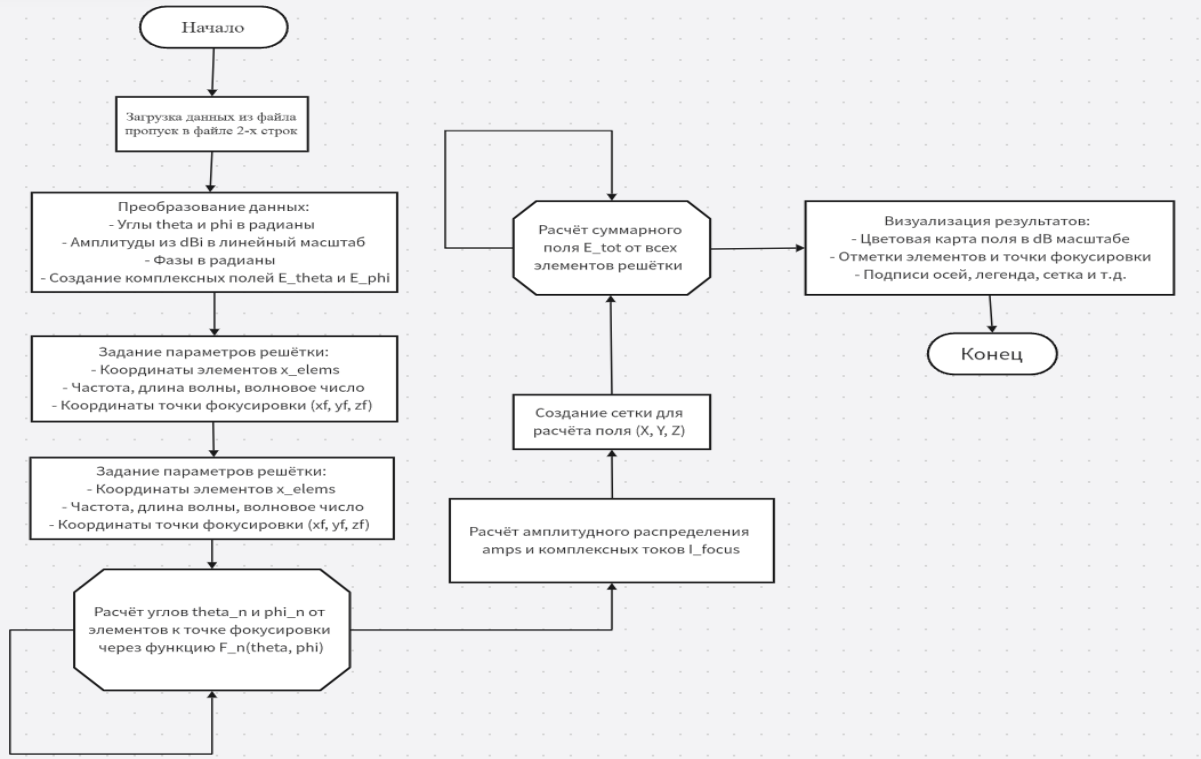


Рис. 5. Блок-схема

Программа начинает работу с загрузки данных из текстового файла, автоматически пропуская первые две строки, содержащие служебную информацию. Основные данные включают углы theta и phi, амплитуды и фазы излучения. Эти значения преобразуются в радианы и переводятся в линейный масштаб для удобства расчетов. На этом этапе формируются комплексные представления полей E_theta и E_phi, которые используются для моделирования диаграммы направленности антенны.

После подготовки данных программа переходит к настройке параметров антенной решетки. Пользователь задает координаты излучающих элементов, рабочую частоту, длину волны и точку фокусировки. Эти параметры определяют геометрию системы и ее электромагнитные характеристики. На их основе рассчитываются расстояния от каждого элемента до точки фокусировки и необходимое фазовое распределение для формирования направленного излучения.

Основные вычисления включают определение направлений theta_n и phi_n от каждого элемента к точке фокусировки. Для этого используется интерполяционная функция F_n(theta, phi), которая по загруженным данным определяет амплитуду поля в заданных направлениях. На основе этих расчетов формируется амплитудное распределение и

комплексные токи для каждого излучающего элемента, учитывающие индивидуальные характеристики антенны.

Для визуализации результатов создается расчетная сетка в пространстве вокруг антенной решетки. Программа вычисляет вклад каждого элемента в общее электромагнитное поле, используя ранее определенные параметры. Результатом становится комплексное поле E_tot, представляющее собой сумму полей всех излучающих элементов.

Финальный этап включает графическое представление результатов. С помощью цветовой карты и графиков распределения по осям X и Z отображается поле в децибелах, с нанесением меток расположения элементов решетки и точки фокусировки. Для удобства анализа добавляются подписи осей, легенда и координатная сетка. Результат работы программы представлен на рисунке 6.

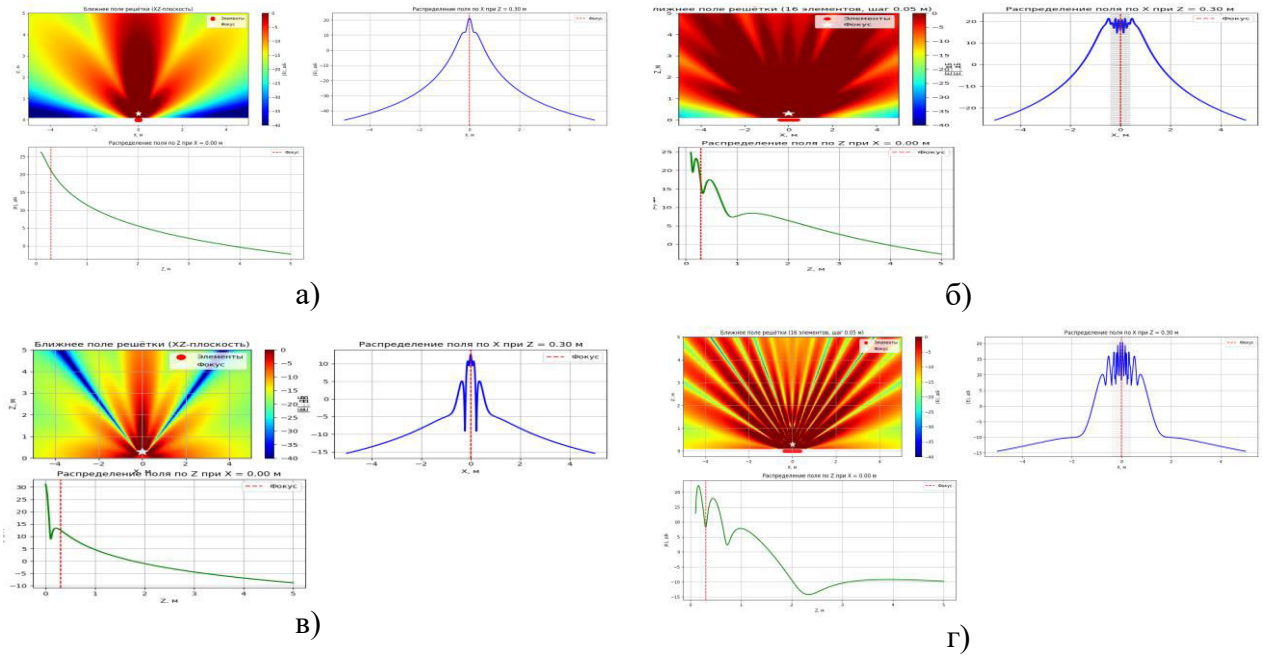


Рис. 6. Результат работы программы: равномерное распределение а) 4 излучателя, б) 16 излучателей, спиральная коническая антенна в) 4 излучателя, г) 16 излучателей

При объединении в антенную решётку спиральные конические антенны демонстрируют интересную трансформацию диаграммы направленности. В 4-х элементной конфигурации происходит не сужение, а расширение диаграммы по углу θ с одновременным уплощением главного лепестка. Это создаёт характерную «веерную» форму излучения, где энергия распределяется в более широком секторе, но с повышенной концентрацией в определённой плоскости.

При переходе к 16-ти элементной решётке эффект уплощения усиливается. Диаграмма становится практически плоской в выбранной плоскости θ, формируя узкий «ножевой» луч. Это особенно ценно для задач сканирования поверхности или создания плоских зон покрытия. Однако при этом сохраняется широкий охват по азимутальному углу, что делает такую конфигурацию уникальной для специализированных применений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Патент 2017281. Российская Федерация, МПК H01Q 11/08. Коническая спиральная антенна двойной поляризации: № 4862124/09: заявл. 27.08.1990: опубл. 30.07.1994 / В. Н. Бобров. - 5 с.

DEVELOPMENT OF A BROADBAND SPIRAL CONICAL ANTENNA AS AN ELEMENT OF AN ANTENNA ARRAY FOCUSED IN THE NEAR-FIELD AREA

Farkhutdinov V.V.

Supervisor: Vedenkin D.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences.

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

Abstract. The report discusses the development of a spiral conical antenna designed for use as part of an antenna array with focusing in the near-field radiated field. The patent of the antenna, its electrodynamic model, developed in the CST Studio Suite program, is described, as well as focusing in TNFA is modeled using a program written in the Python programming language.

УДК 621.311.243

КПД ФОКУСИРОВКИ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ НА НАЗЕМНЫЙ РАДИОМАЯК ПРИ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ЭНЕРГИИ

Шарифулин А.Р.

Научный руководитель: Потапова О.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассматриваются системы беспроводной передачи энергии и исследуется эффективность перехвата поля, облучающего наземные ректенны. Оцениваются значения КПД (коэффициент полезного действия) системы для случаев сфокусированного и несфокусированного возбуждения ФАР (фазированная антенная решётка) и разных высот расположения спутников.

В настоящее время наблюдается значительная активность в области микроволновой и миллиметровой передачи энергии, что предвещает ускорение инноваций и открывает большие возможности в областях эффективного использования альтернативных источников энергии, распределения гражданской энергии, а также создания новых архитектур для военного базирования [1].

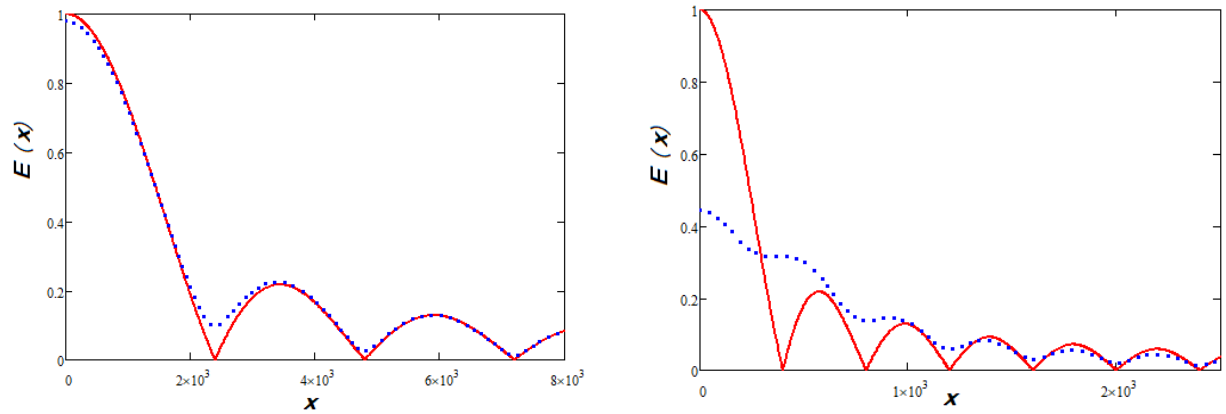
Концепция масштабной передачи энергии через свободное пространство была выдвинута Николой Тесла на рубеже 20-го века [2]. В последние десятилетия наблюдается значительное усиление активности в области передачи энергии по беспроводным каналам по всему миру: в Японии, Южной Корее, Китае и США. Беспроводная передача мощности имеет своей целью передачу полезной электроэнергии, которая может использоваться для подачи электроэнергии от космической солнечной электростанции (Solar power satellite (SPS)) в любое место, где ее трудно генерировать, например, на беспилотные летательные аппараты или аэростаты, удаленные промышленные установки и т.д.

Принцип организации беспроводной передачи энергии сводится к сбору солнечной энергии на орбите с помощью солнечной батареи, преобразованию этой энергии в СВЧ-излучение твердотельной фазированной антенной решетки (ФАР), формирующей узкий луч, и обратному преобразованию энергии полотном из приемных выпрямительных антенн (ректенн), находящихся на Земле.

Энергетическое излучение не нуждается в инфраструктуре, необходимой для транспортировки энергии от источника энергии к потребителю энергии. Это достоинство, однако, сопровождается требованием обеспечения необходимых размеров передающих и приемных апертур для минимизации эффекта дифракции. Эффективность сбора лучей (определяемая как доля мощности, излучаемой передающей апертурой, которая попадает на поверхность принимающей апертуры) представляет собой компромисс между расстоянием передачи и площадью приемной апертуры: любая мощность, проецируемая за край приемной апертуры, теряется

Теоретический достижимый предел эффективности передачи [3] предполагает выравнивание размеров передающей и приемной апертур и оптимизацию амплитудного и фазового распределения передатчика (фокусировку луча на наземную ректенну) [4].

Излучающая спутниковая ФАР формирует поле в виде пуча, пятно которого на поверхности Земли имеет форму эллипса [5] эксцентриситет которого изменяется при движении станции по орбите. При пребывании спутника в точке апогея или перигея пятно на приемной антенне имеет структуру концентрических колец с самым “ярким” центральным пятном и серией “угасающих” по мере удаления окружающих боковых колец. В случае фокусировки передающей антенны на наземную ректенну, эти «кольца» ярко выражены, если же фокусировка отсутствует, выраженность указанных колец будет сильно зависеть от высоты расположения спутника: если спутник расположен на геостационарной орбите (при H=36000 км) «кольца» остаются практически неизменными (рис. 1 а), при низкой орбите спутника (при H=6000 км), распределение поля по приемной ректенне заметно сглаживается (рис. 1б).



а) H=36000 км б) H=6000 км

Рис. 1. Распределение поля фокального пятна для разных высот спутника
Сплошная линия – сфокусированное излучение,
точечная линия – несфокусированное излучение

Для увеличения КПД передачи [6] необходимо, чтобы ректенны максимально перехватывали распределенную по земной поверхности мощность. Но это требует неоправданно больших размеров приемных ректенн. Целью данной работы являлась оценка зависимости эффективности перехватываемого поля от числа «перехватываемых» фокальных пятен.

Под эффективностью перехватываемого поля понималось отношение мощности облучающего поля в пределах площади, занятой ректеннами, к мощности по безграничной площади. Исследовались следующие высоты расположения спутников: H=36000 км, H=12000 км, H=6000 км. Рассматривались 2 варианта ФАР: квадратная со стороной a=1,5 км и круглая с диаметром d=1,5 км. Передающая ФАР фокусировалась в центр ректенны (точку с координатами x=0, y=0).

Напряженность поля сфокусированной ФАР рассчитывалась по формуле:

$$E_{сф} = \left| \int_{S'} e^{-ik[r(H,\xi,\eta,x,y)-r(H,\xi,\eta,0,0)]} \right| \quad (1)$$

ФАР при синфазном возбуждении:

$$E_{сф} = \left| \int_{S'} e^{-ikr(H,\xi,\eta,x,y)} \right| \quad (2)$$

где $r(H,\xi,\eta,x,y)$ – расстояние между точкой (ξ,η) на ФАР и точкой (x,y) на ректенне,
H – высота спутника.

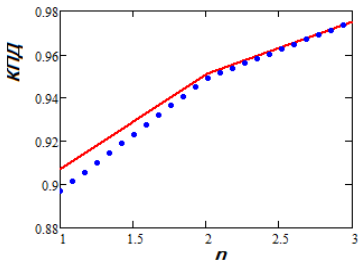
КПД перехватываемого поля оценивался следующим образом:

$$КПД = \frac{P_1}{P_1 + P_2} \quad (3)$$

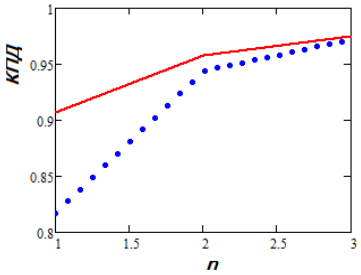
где P_1 – мощность, перехватываемая ректенной, и соответствующая ближайшим к центру «кольцам» (первому, первому и второму, и т.д.),

P_2 – мощность, не перехватываемая ректенной (учитывалась мощность, распределенная по площади, линейный размер которой в 10 раз превышал размер первого фокального кольца).

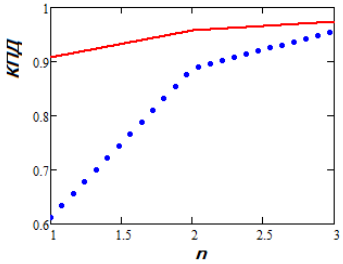
На рис. 2 а, б, в показаны зависимости изменения КПД от числа перехватываемых ректенной «пятен» при сфокусированном и несфокусированном излучении квадратной ФАР для разных высот расположения спутников.



а) H=36000 км



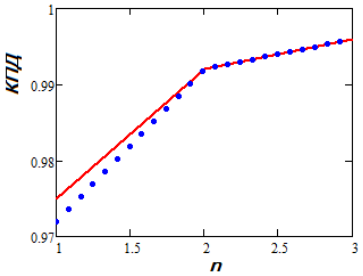
б) H=12000 км



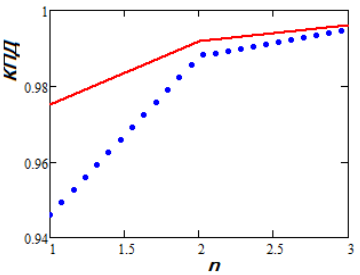
в) H=6000 км

Рис. 2. Зависимость КПД от числа «перехватываемых» пятен для квадратной ФАР

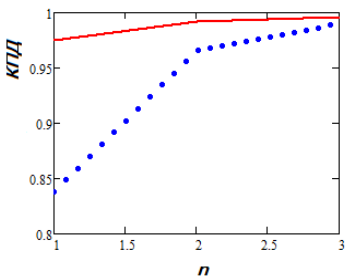
На рис. 3 а, б, в показаны аналогичные зависимости изменения КПД при сфокусированном и несфокусированном излучении круглой ФАР для разных высот расположения спутников.



а) H=36000 км



б) H=12000 км



в) H=6000 км

Рис. 3. Зависимость КПД от числа «перехватываемых» пятен для круглой ФАР

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Увеличение числа перехватываемых ректенной фокальных колец до трех, позволяет достичь значения КПД перехвата равного 98% в случае квадратной ФАР и более 99% для круглой ФАР.

2. Независимо от высоты расположения спутника, разница между сфокусированным и синфазным возбуждением ФАР уменьшается при увеличении числа перехватываемых фокульных пятен.

3. Наибольшая выгода от сфокусированного возбуждения ФАР достигается, когда размер ректенны позволяет перехватить энергию только ближайшего к центру ректенны фокального пятна. В этом случае эффективность сфокусированного возбуждения наиболее заметна при небольших высотах расположения спутника.

4. В случае круглой ФАР снижение КПД при несфокусированном возбуждении меньше, чем в случае ФАР квадратной формы.

Таким образом, сфокусированная фазированная антенная решетка создает узконаправленный пучок радиоволн, направленный в сторону наземных ректенн, и способна обеспечить довольно высокие значения КПД системы передачи солнечной энергии со спутниковой солнечной электростанции на Землю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *P. Jaffe et al.,* Opportunities and challenges for space solar for remote installations, NRL Rep. MR-8243-19-9813, Oct. 2019.

2. *M. Cheney,* Tesla, Man Out of Time. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1981, 320 p.

3. *W.C. Brown,* The technology and application of free-space power transmission by microwave beam, Proc. IEEE, vol. 62, no. 1, pp. 11–25, Jan. 1974.

4. *Сёмина Е.М.* Фокусировка поля спутниковой антенной решетки на наземный радиомаяк // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2024 (ПРЭФЖС-2024): Материалы XI Международной молодёжной научно-технической конференции. Казань, 11-12 апреля 2024. С. 113-114. - URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=72753750&pff=1.

5. Пат.RU2713129C1 - Система передачи энергии на Землю с орбитальной солнечной электростанции [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2713129C1_20200203?ysclid=lq6kvf8voi731454].

6. Пат.SU1094110 – Ректенна – [Электронный ресурс] Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/SU1094110A1_19840523.

EFFICIENCY OF FOCUSING ANTENNA SYSTEM ONTO GROUND BEACON DURING WIRELESS ENERGY TRANSMISSION

Sharifulin A.R.

Supervisor: Potapova O.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper considers wireless energy transmission systems and investigates the efficiency of interception of the field irradiating ground-based rectennas. The system efficiency values are estimated for cases of focused and unfocused excitation of the phased array and different satellite altitudes.

УДК 621.391.8

ФИЛЬТРАЦИЯ СИГНАЛОВ ГЛОНАСС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Шельпов Д.Д.

Научный руководитель: Глебов Р.С., ассистент

(Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)

Аннотация. В работе рассматривается фильтрация сигналов ГНСС при помощи дискретного вейвлет преобразования. Проведен анализ и сравнение качества фильтрации с использованием вейвлетов Добеши разных порядков.

В современных системах глобальной навигации, таких как система ГЛОНАСС, важное значение имеет точность и надежность принимаемых сигналов. Однако реальные условия распространения сигнала, помехи от окружающей среды и оборудование могут существенно снижать качество принятых данных [1]. Одной из актуальных задач является фильтрация шума из полезного сигнала, особенно при наличии сложных типов шума. Сигналы ГЛОНАСС передаются в формате, использующем псевдослучайные М-последовательности, которые обеспечивают высокую помехоустойчивость и возможность разделения сигналов от разных спутников. Это позволяет точно определять время задержки сигнала при его приеме и, как следствие, повышает точность вычисления координат.

Современными методами решения задачи выделения полезного сигнала [2] на фоне помех является вейвлет-преобразование [3,4]. Вейвлет-преобразование также широко используется в различных областях науки и техники, таких как обработка изображений [5], сжатие аудиоданных и т.д. Для решения этой задачи применяется дискретное вейвлет-преобразование – математический метод анализа сигналов, позволяющий разложить сигнал на различные частотные компоненты с учетом временного разрешения. В отличие от преобразования Фурье, которое дает только частотную информацию, вейвлет-преобразование вейвлет-преобразование сохраняет временную локализацию [6]. В зависимости от конкретных задач используются различные типы вейвлетов. Например, вейвлет Хаара является самым простым и эффективен для базовой обработки сигналов, но плохо передает плавные изменения. Вейвлеты Добеши и Симлеты обеспечивают более точное представление сигнала с минимальными искажениями, что делает их востребованными в задачах восстановления данных. Коэфлеты обладают высокой точностью разложения и применяются в областях, где требуется минимальная фазовая ошибка.

В статье использовалось дискретное ВП на основе вейвлета Добеши для фильтрации сигнала ГЛОНАСС. Выбор вейвлета Добеши обусловлен его хорошими аппроксимационными свойствами. Этот вейвлет имеет различные поряки. Чем выше порядок db, тем более гладкой становится форма сигнала и тем лучше подавляется шум, но высокий порядок вейвлета Добеши ухудшает временную локализацию и требует большей производительности вычислительной техники. В работе в среде Matlab проведено исследование псевдослучайной М-последовательности (рис. 1) с добавлением гауссовского шума (рис. 2), используемый в сигналах ГНСС. В частности, в работе использовался вейвлет db4 (рис. 3), db10 (рис. 4) и db20 (рис. 5), которые показали хорошие результаты при обработке сигналов с резкими перепадами и нестационарными характеристиками.

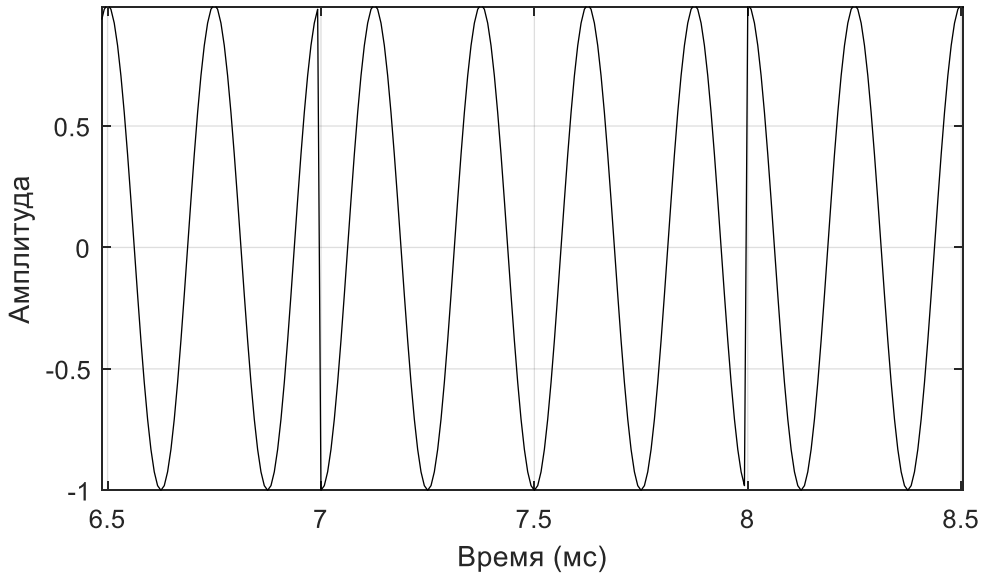


Рисунок 1. Псевдослучайная М-последовательности

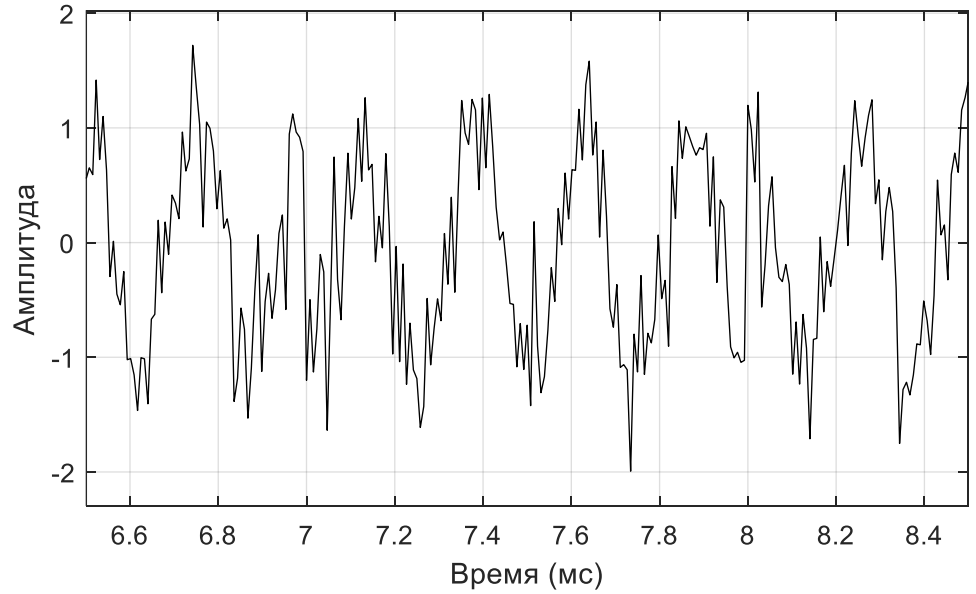


Рисунок 2. Модулированная М-последовательность

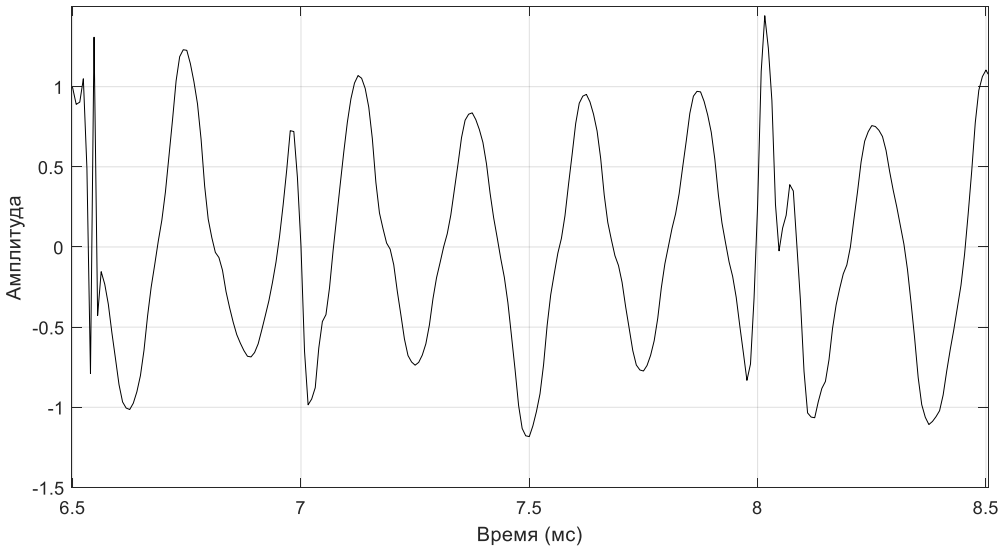


Рисунок 3. Фильтрация вейвлетом db4

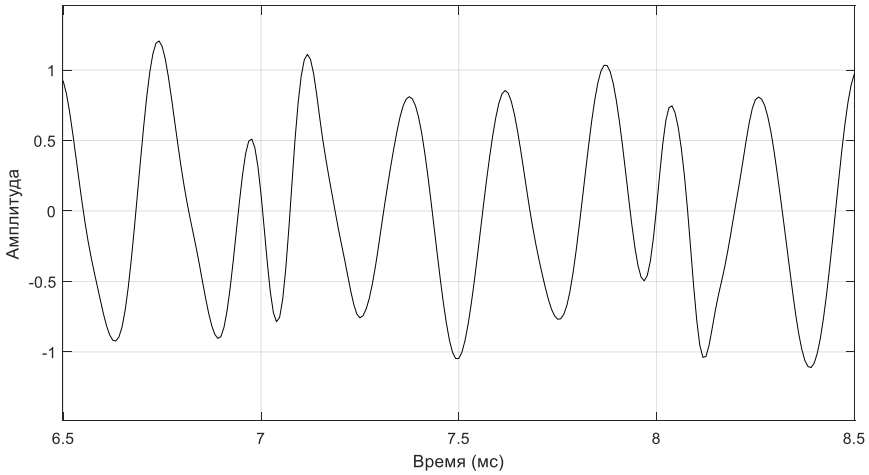


Рисунок 4. Фильтрация вейвлетом db10

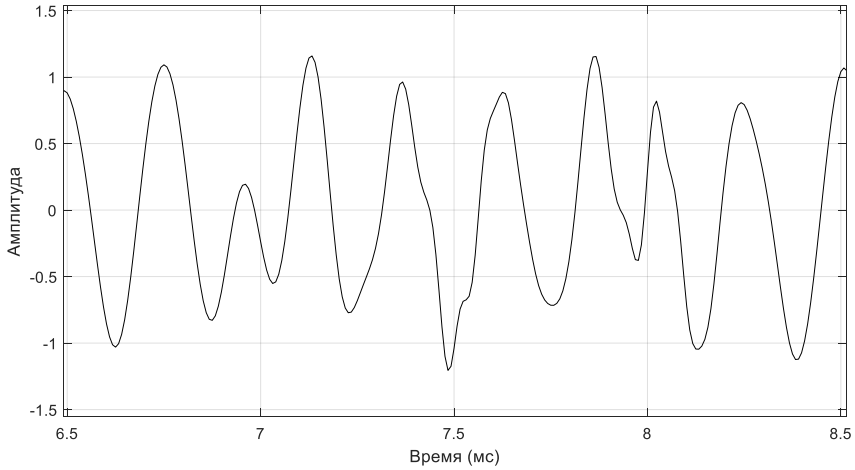


Рисунок 5. Фильтрация вейвлетом db20

Оценка качества фильтрации определялось по отношению средней мощности сигнала к средней мощности шума (SNR). Результаты моделирования показывают, что с увеличением порядка вейвлета SNR также увеличивается (табл. 1). Однако резкие фазовые переходы лучше просматриваются при использовании вейвлета db4. Графический и численный анализ показал эффективность всех трёх вейвлетов, каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Проведенные исследования подтверждают перспективность использования вейвлет-фильтрации для повышения помехоустойчивости. Также перспективным является использование алгоритмов ВП в частотной области [7-9].

Таблица 1

Результат вычисления SNR

Условие моделирования	SNR, дБ
Без шума	5,62
Вейвлет db4	4,71
Вейвлет db10	5,06
Вейвлет db20	5,33

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова, 4-е, перераб, и доп. – М.: Радиотехника, 2010. – 800 с.

2. *Семенов В.И., Чумаров С.Г.* От конструирования вейвлетов на основе производных функции Гаусса к синтезу фильтров с конечной импульсной характеристикой // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2024. Т. 24, № 2. С. 306–313.

3. *Ďuriš V., Semenov V.I., Chumarov S.G.* Application of continuous fast wavelet transform for signal processing. 1st. ed., London: Sciemcee Publishing, 2021, 181 p.

4. *Ďuriš V., Semenov V.I., Chumarov S.G.* Wavelet transform of signals with VBA applications. Ste-Con: Karlsruhe, GmbH, Germany, 2022, 1st. ed., 203 p.

5. *Viliam Ďuriš, Sergey G. Chumarov, Gennady M. Mikheev, Konstantin G. Mikheev, Vladimir I. Semenov*. The Orthogonal Wavelets in the Frequency Domain Used for the Images Filtering. IEEE Access, vol. 8, 2020 – PP. 211125-211134.

6. *Viliam Ďuriš, Vladimir I. Semenov, Sergey G. Chumarov*. Application of Discrete and Fast Fourier Transforms to Increase the Speed of Multiscale Image Analysis. TEM Journal, 2024, 13(1), 349-354.

7. *Ďuriš V., Chumarov S.G., Semenov V.I.* Increasing the Speed of Multiscale Signal Analysis in the Frequency Domain. Electronics 2023, 12, 745.

8. *Чумаров С.Г., Семенов В.И., Охоткин Г.П., Лысов П.С.* Способы увеличения скорости непрерывного вейвлет-преобразования при решении задач декомпозиции и реконструкции сигналов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2021. №4(52). С.42-51.

9. *Viliam Ďuriš, Vladimir I. Semenov, Sergey G. Chumarov*. Wavelets and digital filters designed and synthesized in the time and frequency domains. Mathematical Biosciences and Engineering, 2022, 19(3): 3056-3068.

GLONASS SIGNAL FILTERING USING DISCRETE WAVELET TRANSFORM

Shelpov D.D.

Supervisor: Glebov R.S., Assistant

(I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary)

Abstract. The paper considers the filtering of GNSS signals using a discrete wavelet transform. The analysis and comparison of the filtration quality using Daubechies wavelets of different orders is carried out.

СЕКЦИЯ 23
ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК В СФЕРЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОММУНИКАЦИИ

УДК 172

THE ETHICS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: ISSUES IN DESIGNING DECISION-MAKING ALGORITHMS FOR AUTONOMOUS SYSTEMS

Abdrahmanov A.A., Shakirov E.F.
Supervisor: Urmanova L.E., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. This article analyzes the problems that arise in the development of decision-making algorithms for autonomous systems equipped with artificial intelligence, with an emphasis on the mandatory consideration of moral principles and potential consequences.

Artificial intelligence should be understood as a complex system consisting of various algorithms and software capable of simulating human mental functions such as reasoning, learning and decision making. Unlike classical computer programs that operate on the basis of pre-written instructions, artificial intelligence systems have the ability to adapt to current data, extract knowledge from experience and independently make decisions in various situations. Meanwhile, unlike humans, artificial intelligence does not have emotions, consciousness or any moral beliefs, which raises significant ethical questions related to its use in systems. A neural network is considered not just a technology, but a tool that can have a significant impact on the lives of specific people and the functioning of society as a whole.

The active development of artificial intelligence and its implementation in various fields of activity ultimately leads to the creation of autonomous systems. Autonomous systems are a complex of self-governing systems that are capable of making independent decisions and performing various types of tasks without direct human participation. The basis of these systems is artificial intelligence; They perceive the environment using sensors, analyze the received data, generate their actions in advance and implement them, adapting to changing conditions. Autonomous systems are used in many areas of activity, such as: transport (autopilot in cars), robotics, healthcare (robot surgeon), agriculture (crop monitoring), energy (optimization of energy systems), etc.

This article discusses the main problems that arise when developing ethical decision-making algorithms for autonomous systems, as well as possible approaches to solving them.

One of the main obstacles to the creation of autonomous systems is the development of principles and standards that will help ensure the safety and ethical use [1]. Ethics, in most cases, is a complex and multifaceted system of rules and various values, which depends on the culture, the specific situation and personal beliefs. Standardization of moral principles requires the so-called translation of philosophical moral concepts into a certain mathematical formula and then into an algorithm. As an example, consider an autonomous surgical robot that is programmed to minimize harm to a patient during surgery. This algorithm must take into account various factors, such as the likelihood of tissue damage or potential complications. However, the algorithm may encounter a situation where it minimizes one type of harm but increases the likelihood of another, i.e., reducing blood loss may increase the duration of the operation, during which time the risk of infection increases. In addition, ethical principles can often conflict with each other, and in such cases, compromises must be found. A popular example is the “trolley dilemma,” a thought experiment used in ethics and moral philosophy to discuss the dilemma between two moral choices. Such dilemmas pose questions for AI developers about priorities and how to resolve various ethical conflicts.

In addition, artificial intelligence is trained on large amounts of data. If this data contains biases and stereotypes, the algorithm will subsequently reproduce these biases in its decisions. For example, in the areas of employment, healthcare or justice, this can lead to unfair treatment of certain groups of people [2]. It is important to understand that bias can be expressed both overtly and covertly, which makes it very difficult to detect and eliminate it in a timely manner.

In addition, it is necessary to consider the potential consequences of decisions made, which

can be both positive and negative, and it is also necessary to model and assess the risks associated with the use of autonomous systems in advance. Such systems must be able to foresee and take into account not only the final result of their actions, but also the implicit consequences in the future that may affect people and the environment. It is important to note that the decision-making process must be transparent and understandable for a person to ensure the possibility of control and accountability.

Therefore, to solve the ethical problems associated with the development of decision-making algorithms for autonomous systems, a comprehensive approach is needed, including the development of moral choice rules, assessment of the consequences of decisions made, system training, and a number of other aspects. Such measures will ensure that autonomous systems comply with ethical standards and reduce the risks associated with their use. It is worth noting that the development of ethical algorithms is an ongoing process that requires constant monitoring, adaptation, and improvement.

The following approaches are proposed to solve this problem:

First, reinforcement learning is a technique that allows systems to improve their skills through trial and error by interacting with the environment, receiving rewards for correct answers and penalties for incorrect ones during the learning process. To ensure ethical behavior of the agent (system or program being trained), it is necessary to introduce ethical restrictions into the penalty and reward function. For example, you can set penalties for actions that cause harm to people. However, developing such an effective function is a very difficult task, since it is necessary to take into account various ethical principles and avoid accidental consequences. In particular, if you set too strict restrictions, the algorithm will stop taking risks altogether, which in some cases can turn into a problem. To solve this problem, you can use hierarchical machine learning with reinforcement, where the highest level will be responsible for ethical behavior, and the lower one - for achieving goals. It turns out that the highest level sets restrictions and controls the actions of the lower one, ensuring compliance with ethical standards.

Secondly, formal verification is a technique that allows you to mathematically prove that an algorithm meets certain requirements. From the point of view of artificial intelligence ethics, formal verification can be used to check the algorithm for discrimination or violation of other ethical principles. To formally verify ethical properties, you can use modeling the behavior of the algorithm using logical formulas and make sure that these formulas are executed for any initial data. Third, explainable AI is a research area that develops methods to explain why an AI system made a particular decision. Explainable AI makes it possible to make decision-making processes more transparent and understandable for people, thereby increasing trust in autonomous systems. To implement this area, it is proposed to use a method for visualizing decision-making processes, which will allow you to clearly understand what factors influenced the autonomous system. For example, you can develop a system that would show what exactly an autonomous car relied on when making a maneuver. Fourth, the choice of “moral theory” is a systematized set of ideas that offer an explanation of the nature of morality and the principles that should underlie moral judgments and actions. They provide a structured approach to understanding what is right and wrong and help make morally sound decisions.

The main types of moral theories include:

1) Utilitarianism – maximizing the common good. The algorithm strives to ensure that the greatest number of people receive the maximum benefit, even if this may harm a small group of people. In the utilitarian scheme, each situation is assigned a numerical value that indicates the degree of benefit or harm for each person involved. The problem with this theory is that it is difficult to measure and compare the well-being of different people. This can lead to discrimination against a minority if the well-being of the majority is given priority. For example: an autonomous car, when an accident is inevitable, chooses to save a crowd of people, even if this leads to damage to the car and its passengers.

2) Deontology – compliance with moral rules and duties. The algorithm strictly adheres to the laid down rules regardless of the consequences. These rules can be formulated as logical

statements or formal instructions. The problem with this theory is that these instructions can be contradictory or partial, since it is almost impossible to consider all possible situations. This can lead to unpleasant consequences if you strictly follow the rules and do not take into account the context. For example: an autonomous car must always follow the rules of the road, even if this may lead to a serious accident.

3) Virtue ethics – the development of moral qualities. The algorithm is developed taking into account such virtues as honesty, mercy, justice. Instead of rules, the algorithm will focus on them. The task in this case is that the system, when choosing an option, can consider them all, taking into account how much it corresponds to certain virtues, and make a choice based on the assessment. The problem with this theory is the difficulty of defining and grouping virtues. It is necessary to fully understand the context of the situation. For example: a support chatbot shows patience and empathy, helping users resolve an issue, even if they ask repetitive questions.

In most cases, the most effective is to use a combination of different moral theories. For example, an algorithm can be guided by utilitarian considerations, but at the same time adhere to certain deontological rules in order to protect the rights of minorities.

Fifth, the “Moral Compass” is a simple and clear tool that significantly improves the ethical performance of autonomous systems. It consists of several parts:

1) “Ethical Situations Database” – a huge repository of various real-life examples in which people face moral dilemmas. They present various situations and indicate what options were taken, as well as what consequences they led to.

2) “Consequence Assessment System” – this is the core of the moral compass, which is responsible for forecasting and analyzing the consequences of each possible action. Its task is not only to predict what will happen, but also to assess the consequences of actions from an ethical point of view. To begin with, it collects data, analyzing the current situation using all possible sources of information, then models all scenarios of actions that can occur, and ultimately evaluates the consequences from an ethical point of view.

3) “Moral Choice Rule” – a simple set of rules that helps the system make decisions. These rules are based on established moral principles, such as: “Do no harm”, “Be merciful”, etc. For example, one of the rules may state that one should strive to minimize harm. 4) “Decision-making process” – after the system has assessed all possible courses of action, the decision-making process begins. It selects the best and most ethical of all the proposed courses of action. It checks it again to ensure that the choice is logical. It explains its choice by generating a report and monitors the implementation of actions to identify any unforeseen consequences or errors. In the event of negative consequences, the system revises its choice and analyzes its error so as not to repeat it in the future.

Sixth, it is recommended to create an “Ethical Control Committee” that will act as a supervisory body and will control the activities of autonomous systems. It will consist of many specialists who will represent different fields and independently control the ethical functionality of artificial intelligence. The main task of this committee is to maintain autonomous systems in ethical standards. The committee will control the system throughout its entire life cycle, starting from the development stage and ending with the operation of the same system. Their activities will be aimed at identifying and quickly preventing any ethical risks. Committee members will perform a number of functions to achieve this goal: they will regularly carry out preventive maintenance and check the autonomous system for unfair or unethical decisions. This process will consist of analyzing the decisions made and assessing the consequences. Committee members will develop new rules for the ethical choice of the autonomous system, thereby adapting existing principles to changing conditions in the process of developing artificial intelligence. The committee will also consider and process user complaints, and thereby take into account new ideas and suggestions. Thus, by receiving user feedback on the system's operation, it is possible to promptly respond to any problems that arise.

The committee members will participate in the training and improvement of the "Moral Compass", making a huge contribution to the development of more efficient algorithms and

increasing the ethical sustainability of the system. The "Ethical Control Committee" plays a very important role in ensuring the ethical development of autonomous systems. Its work is aimed at ensuring that artificial intelligence always acts ethically and serves the benefit of society.

As a result of the analysis, the following recommendations can be made for developers of autonomous systems:

It is necessary to take into account ethical considerations and think through ethical issues at the early stages of development. It is necessary to involve ethics experts in your development, who will help to find possible ethical problems and offer optimal solutions. It is also recommended to test autonomous systems in various scenarios, which will help to identify unforeseen ethical problems and develop a plan to eliminate them in a timely manner. It is recommended to leave the decision-making process open - this way a person will understand why the autonomous system made a particular choice. It is also necessary to use additional tools to improve the operation of the system.

In conclusion, it should be noted that creating algorithms for autonomous systems that take into account moral principles and potential consequences is a task that requires a special approach that combines machine learning with reinforcement and formal verification. Also, the use of explainable artificial intelligence is an important aspect for providing transparency of such a system. If used correctly and competently in the development process, this will allow us to create autonomous systems that will not only be effective, but also meet the highest ethical standards, minimizing potential risks.

REFERENCES:

1. *Maksimov G.S.* Ethics of the creation and use of artificial intelligence: problems of autonomy and responsibility // Practical philosophy: state and prospects: Collection of materials of the VII scientific conference. Simferopol, 2024. Pp. 396-399.

2. *Kuleshov I.N., Sarleysky A.V., Kalinin D.A., Tyatukov R.L., Kuzovkov D.A.* Ethics of artificial intelligence: dilemmas and challenges in the era of autonomous systems // Mathematics and mathematical modeling: Collection of materials of the XVIII All-Russian youth scientific and innovative school. Sarov, 2024. Pp. 384-385.

ЭТИКА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ

Абдрахманов А.А., Шакиров Э.Ф.

Научный руководитель: Урманова Л.Э., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье анализируются проблемы, возникающие при разработке алгоритмов принятия решений для автономных систем, оснащенных искусственным интеллектом, с акцентом на обязательном учете моральных принципов и потенциальных последствий.

УДК 407

THE ROLE OF SPECIALISED PROFESSIONAL ENGLISH IN DEVELOPING THE COMPETENCES OF FUTURE MARKETERS

Akhmetzyanov A.Kh.

Supervisor: Afonina E.V., Associate Professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. English has been the international language of business and economics, playing a key role in the professional development of modern specialists. This is especially true for economic

disciplines, where professional activity is often associated with international contacts, the globalization of markets and the need for constant exchange of information between specialists from different countries. Future specialists in the field of marketing and economics face a number of problems related to insufficient training in the field of professionally oriented English language proficiency. Modern educational programs of Russian universities are gradually adapting to the requirements of employers, but the level of foreign language proficiency often remains below the required standard.

The role of specialized languages in the modern world is constantly increasing, especially in the context of globalization and strengthening international relations. For successful actions in the international arena, specialists need not only to possess general conversational and business English skills, but also to master profoundly a specialized professional language corresponding to their main professional activity. Economics and marketing professionals use a large number of specialized terms and concepts related to financial accounting, marketing strategies, project management, and other fields on a daily basis. Proficiency in professional English becomes the basis of professional identity and a condition for further career growth.

Economists and marketers are in constant interaction with information in English, whether it is international documentation, contracts, business correspondence or research papers. The ability to speak fluently, write and understand specialized texts becomes a criterion of professional maturity and readiness for active professional activity. Accordingly, specialized languages are becoming a tool not only for communication, but also for the formation of professional identity, which makes the issue of teaching them extremely important and relevant.

Specialized Professional English (Professional English for Specific Purposes, ESP) is a special segment of the language used by specialists within the same field of activity. Its structure is determined by a set of terms, formulas, stable phrases and stylistic characteristics adopted in a specific professional field.

Economics and marketing specialists are characterized by the widespread use of special terminology and specific vocabulary related to financial and business management, the market of goods and services, advertising and sales. Terms such as marketing mix, brand positioning, SWOT analysis, and supply chain management are embedded firmly in the everyday professional vocabulary of specialists.

Special emphasis is placed on the ability to read scientific articles easily, official documents, corporate reports, analytical reviews, and other types of texts dealing with economic and marketing issues. It is necessary not only to recognize the terms usage, but also to utilizethem skillfully in your own speech and written documentation.

However, the process of mastering specialized professional English is complicated by a number of objective and subjective factors. Firstly, the variety of specific terms and abbreviations creates a problem of understanding even the simplest texts. Secondly, the dependence of professional communication on the cultural context poses difficult tasks for students to adapt and interpret messages conveyed by means of the English language. [1]

Here is an example of a situation that confirms the important role of professional English. Imagine that a company opens a branch in another country and is looking for a marketing department employee. One of the candidates has excellent personal qualities and technical skills, but has a poor command of specialized terminology. The other candidate demonstrates good communication skills in English, is well acquainted with modern marketing trends and confidently handles terms like target market, competitive advantage, product differentiation. Obviously, the second candidate is preferable for the employer, as he is able to integrate into the team faster and take up duties.

This underlines the need for a special approach to the formation of professional competencies of future marketing economists, which implies the mandatory inclusion of elements of specialized professional English in the educational process.

The influence of specialized professional English on the formation of professional competencies is due to several key factors:

1. The international integration of the economy and the increasing interdependence of markets require a single standard of communication, which is English. Competence in the use of specialized English allows specialists to take a leading position in the competitive struggle.

2. Modern enterprises strive to attract personnel who are able to make high-quality international contacts, therefore, preference is given to professionals who speak professional English.

3. The constant development of professional fields generates the emergence of new terms and ways of transmitting information, which forces specialists to improve their proficiency in specialized English.

4. The wide availability of information resources in English dictates the need for constant updating of knowledge and maintaining a high level of language proficiency.

5. Interaction with international institutions and organizations obliges specialists to have advanced skills in translating and interpreting specialized texts.

Thus, it can be argued that specialized professional English plays a significant role in the formation of professional competencies, the formation of professional identity and ensuring successful professional activity. [2]

Features of the professions of an economist and a marketer: professional competencies and knowing English. The modern economy requires a high level of professionalism from specialists, including deep knowledge of economics, marketing technologies, business management and financial analysis. Economists and marketers work in international companies, participate in negotiations with foreign partners, study foreign markets, introduce new technologies and innovative solutions, write analytical reports and presentations, conduct business correspondence and documentation in English. These factors make proficiency in specialized English a prerequisite for successful employment and career advancement.

The professional competencies of a future specialist presuppose the presence of:

1) deep understanding of economic theory and practice;

2) the ability to analyze economic processes and data;

3) ability to develop company development strategies;

4) highly qualified in conducting research and decision-making;

5) good command of business terminology and professional communication in English.

Specialized professional English provides such key aspects of education as:

1) active participation in the international business environment;

2) the ability to fluently read specialized literature and scientific publications in English;

3) the ability to negotiate and communicate with representatives of foreign companies;

4) knowledge of industry standards and documentation rules;

5) understanding cultural differences and the ability to adapt to international trade conditions.

Thus, proficiency in professionally oriented English is becoming one of the most important factors for the competitiveness of young professionals in the modern world. [3]

The professional language is characterized by the presence of a large number of highly specialized terms, abbreviations and stable expressions used exclusively within a specific industry. For economists, this specificity is manifested in the presence of special expressions and concepts related to financial transactions, marketing strategies, economic analysis, and management decisions. Possession of such elements increases the level of competence and makes a university graduate a sought-after specialist in the global labor market.

For example, a specialist should be familiar with terms such as:

1) Market Segmentation — dividing the target market into separate groups of consumers with different needs and preferences;

2) SWOT Analysis — assessment of Strengths, Weaknesses, Opportunities, and threats;

3) Target Audience — a group of people targeted by an advertising campaign or product;

4) Return on Investment (ROI) — an indicator of the effectiveness of capital investments;

5) Gross Domestic Product (GDP) — the total volume of production of goods and services within the country.

In addition to terminology, it is important to use characteristic phrases and turns of speech adopted in business communication. For example, the letter often uses expressions like «I would like to draw your attention to ...», «We are pleased to inform you that ...», «Please read the attached necessary documents ...»).

The use of special terms and expressions helps specialists to be integrated successfully into the global professional community, ensuring clarity and accuracy of the presentation of thoughts.

Employers' requirements for proficiency in professional English. Employers place high demands on the level of foreign language proficiency of employees working in international companies or interacting with foreign colleagues. According to various studies, about 70% of large enterprises require a advanced level of English among candidates for jobs in economics and marketing.

The main expectations of employers regarding proficiency in professional English include:

1) free reading of specialized literature and scientific publications;

2) conducting high-level negotiations and presentations;

3) preparation of reports, letters and other documentation in English;

4) the ability to navigate the international regulatory framework and regulations;

5) understanding and applying the principles of cross-cultural communication. [4]

A survey of managers of the largest Russian and foreign companies showed that the most appreciated candidates are those who are able not only to speak English fluently, but also to confidently apply special terms and competently build a dialogue in a business environment. The importance of these qualities is emphasized by the increasing competition in the labor market and the increasing number of vacancies involving work in a multicultural environment.

This highlights the importance of including professionally oriented English in the curricula of higher education institutions that train personnel for the economic and marketing sectors.

The main directions of studying professional English. For students of economics to successfully master professional English, it is important to pay attention to the following aspects:

1. Study of special terminology: mastering key concepts and expressions used in financial reporting, budgeting, risk analysis and investment projects.

For example, terms like ROE (Return on Investment), NPV (Net Present Value), SWOT analysis, and brand positioning become part of the student's active vocabulary.

2. Developing skills in reading and analyzing professional literature: regular reading of articles, reports, and research in English develops understanding of the text and helps to adapt to the peculiarities of the business writing style.

For example, the analysis of the World Bank's report on the prospects of the global economy, acquaintance with the publications of the Harvard Business Review and the Economist allow students to deepen their knowledge and broaden their horizons.

3. Practice of oral speech and presentation skills: active participation in conferences, symposiums, trainings and debates in English improves the ability to speak publicly, defend one's position in a reasoned manner and convince the audience.

For example, annual scientific seminars and forums organized by universities in cooperation with leading international organizations provide an opportunity for students to apply their knowledge in practice.

4. Mastering the basics of business etiquette and rules of communication: understanding cultural differences and the specifics of business interaction in English-speaking countries contributes to the formation of an effective behavior strategy in situations of business meetings, telephone conversations and electronic correspondence.

For example, students study the specifics of conducting negotiations in the UK and the USA, mastering the principles of politeness, relevance of addresses and communication style.

The effectiveness of teaching specialized professional English depends on the choice of appropriate methods and techniques that take into account the characteristics of the target audience and the specifics of each individual discipline. There are three main methods of teaching specialized professional English:

1. The traditional method based on the systematic study of grammar, vocabulary and listening. This method is aimed at consistently mastering the basics of a specialized language and is suitable for novice users.

2. The contextual-thematic method, which provides for the study of individual topics and the corresponding enrichment of the lexical stock of students. It is used to achieve deeper knowledge and increase professional horizons.

3. The project-activity method, which consists in performing specific tasks and projects related to professional activity. It allows students to gain practical experience and practice communication skills in English. [5]

The combination of these methods is considered to be the most productive, allowing for the comprehensive development of specialized professional English language skills.

One of the effective learning tools is the development of training scenarios and situationally modeled exercises that simulate real work situations. For example, students are invited to play out negotiation scenarios with foreign partners or make commercial proposals in English. Such exercises can significantly expand communication skills and prepare students for real professional experience.

Thus, specialized professional English is a key element of the professional training of future marketers and economists. Mastering it significantly increases the chances of a successful career in the context of globalization and high competition in the labor market. To achieve the necessary competence, it is important to study specialized terminology in depth, develop written and oral communication skills, become familiar with the cultural peculiarities of business communication, and constantly monitor modern professional literature. The training should include an integrated approach combining traditional methods with interactive forms of classes, providing preparation for real professional activity.

REFERENCES:

1. *Brown G., Leongard D.* Effective Communication in the Workplace // Psychology of Intercultural Communication. Translated from English. Moscow: AST-Press Book, 2021. — 287 p.

2. *Korman O.V.* Fundamentals of Psycholinguistic Text Analysis. St Petersburg: European University Publishing House, 2020. — 315 p.

3. *Kulagin Yu.A.* Strategy of Communicative Behavior of an International Professional. Moscow: Prospekt, 2022. — 256 p.

4. *Mayers J., Hausmann B.* Language of Business Communication: Theory and Practice. St Petersburg: Al'yans-Arkheo, 2020. — 340 p.

5. *Makarov P.N.* Structure of Psyche and Professional Development. St Petersburg: Science, 2023. — 420 p.

РОЛЬ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА В ФОРМИРОВАНИИ КОМПЕТЕНЦИЙ БУДУЩИХ МАРКЕТОЛОГОВ

Ахметзянов А.Х.

Научный руководитель: Афонина Е.В., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Английский язык является международным языком бизнеса и экономики, играя ключевую роль в профессиональном развитии современных специалистов. Особенно это касается экономических дисциплин, где профессиональная деятельность часто связана с международными контактами, глобализацией рынков и необходимостью

постоянного обмена информацией между специалистами разных стран. Будущие специалисты в области маркетинга и экономики сталкиваются с рядом проблем, связанных с недостаточной подготовкой в области профессионально ориентированного владения английским языком. Современные образовательные программы российских вузов постепенно адаптируются к требованиям работодателей, однако уровень владения иностранным языком зачастую остается ниже требуемого стандарта.

УДК 378.2

EFFECTIVE EMAIL COMMUNICATION IN MULTILINGUAL WORK ENVIRONMENTS

Borisov D.A.
Supervisor: Furer O.V., Associate Professor, Candidate of Philological Sciences
(Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics, Samara)

Abstract. This study analyzes communication patterns in 150+ multinational corporations to identify critical barriers in multilingual email correspondence. We reveal how linguistic complexity, cultural misinterpretation, and technical inconsistencies reduce communication efficiency by 40-60%. The proposed framework integrates linguistic standardization protocols, culturally adaptive templates, and AI-assisted tools, demonstrating 55-75% improvement in clarity and 50% reduction in response time during controlled implementations. Actionable solutions address subject line optimization, tone adaptation, and structural formatting across diverse linguistic contexts.

1. Introduction: Navigating Complexity in Global Correspondence

The centrality of email communication in international business operations remains unchallenged, serving as the indispensable primary coordination mechanism for geographically dispersed teams and cross-border partnerships. However, this ubiquity often masks a complex web of significant operational challenges arising from profound linguistic diversity, deep-seated cultural divergence, and inconsistent technical practices. These multifaceted complexities manifest not as isolated incidents, but as systemic issues through frequent misinterpretations of nuanced language, critically mismatched expectations regarding professional formality and rapport-building, and recurring procedural inconsistencies that collectively undermine workflow efficiency and erode trust. The cumulative impact includes not only delayed decision cycles, repeated clarifications, and operational friction but also occasional interpersonal conflicts stemming from unintended tone perceptions and unspoken assumptions. This report systematically addresses these multifaceted challenges through a series of actionable, integrated frameworks designed for practical implementation across various organizational contexts and scales. The proposed solutions place particular emphasis on harmonizing communication practices to achieve operational coherence without compromising the cultural authenticity and individual voice of the correspondents, thereby fostering an inclusive and effective global communication ecosystem.

2. Comprehensive Analysis of Communication Barriers

2.1 Linguistic Complexity and Comprehension Gaps

Professional correspondence in multilingual environments encounters substantial and persistent hurdles rooted in fundamental language asymmetry. Beyond basic vocabulary differences, these challenges include profound ambiguity from idiomatic expressions and cultural metaphors that resist direct translation, specialized jargon and terminology with subtly varying interpretations across industries and regions, and divergent syntactic patterns that create significant comprehension barriers. Complex, multi-clause sentence structures with embedded subordinate clauses and passive constructions often obscure intended meanings and agency, while culturally specific abbreviations, acronyms, and colloquialisms familiar to native speakers remain cryptic and alienating to international colleagues. The inherent absence of visual and auditory cues in written text further compounds these issues, eliminating critical paralinguistic signals such as facial

expressions, gesture, and vocal intonation that might otherwise clarify intent, denote sarcasm, or signal collegiality in face-to-face interactions. These layered linguistic obstacles necessitate a deliberate, strategic structuring of content and a heightened awareness of lexical choices to ensure maximal accessibility and comprehension across a wide spectrum of language proficiency levels, from fluent non-native speakers to those with more foundational skills.

2.2 Cultural Dimensions Influencing Interpretation.

Cultural frameworks fundamentally shape expectations and perceptions regarding professional correspondence, creating invisible yet powerful barriers that transcend pure language proficiency. Formality and hierarchy conventions vary dramatically across regions, ranging from strict, protocol-bound communication in hierarchical societies—where the use of titles, honorifics, and prescribed structures is mandatory—to more relaxed, first-name-based exchanges in egalitarian environments where such formality might be perceived as cold or distant. Similarly, deeply ingrained norms governing directness and context create immense potential for friction; some cultures value explicit, unambiguous requests and factual transparency, while others strongly prefer nuanced, indirect formulations that preserve harmony and allow for face-saving. Temporal perceptions further differentiate communication practices, as expectations regarding response urgency and availability range from near-immediate replies signifying respect and engagement to multi-day windows being considered perfectly professional and respectful of focused work time. These cultural variables do not operate in isolation but interact complexly with linguistic factors, creating layered interpretation challenges where identical phrasing may inadvertently convey disrespect, excessive urgency, passivity, or aggression across different cultural boundaries.

2.3 Technical and Procedural Inconsistencies

Operational and technical inconsistencies introduce systematic, daily friction into the mechanics of global email exchanges, often impeding progress before the substantive content of a message is even considered. Divergent date and time formatting conventions (e.g., MM/DD/YYYY vs. DD/MM/YYYY, 12-hour vs. 24-hour clock) are a perennial source of critical scheduling errors and missed deadlines. Incompatible file-naming practices and versioning protocols create document management chaos, leading to teams working from outdated drafts or wasting time reconciling conflicting edits. Attachment handling etiquette varies significantly between organizations and individuals, with some favoring direct attachment of large files and others requiring the use of cloud-based storage links, causing confusion and broken links. Signature standards lack universal application, ranging from minimalist contact information to comprehensive legal disclaimers, job titles, and social media links, creating an unprofessional and disjointed external image. These technical disparities, though seemingly minor in isolation, collectively consume substantial administrative resources through repeated clarifications, version control issues, and troubleshooting, thereby detracting from the core substantive communication objectives. The absence of unified communication platforms and mandated protocols compounds these inefficiencies, forcing team members to navigate multiple interfaces with varying functionality, further fragmenting the communication workflow.

3. Integrated Optimization Framework

3.1 Linguistic Clarity and Accessibility Protocols

Achieving universal clarity in a multilingual context requires the deliberate implementation of structured linguistic protocols centered on the core principles of simplicity, predictability, and scannability. The proposed 15-15-30 framework provides concrete, enforceable parameters: limiting sentences to a maximum of fifteen words ensures grammatical digestibility and reduces cognitive load, restricting overall email length to fifteen sentences maintains reader focus and respects the recipient's time, and capping subject lines at thirty characters guarantees full visibility across all devices and email clients. Strategic visual structuring further enhances navigability through the consistent application of bullet points for enumerations and lists, selective bolding for critical action items and deadlines, and clear paragraph separation with line breaks to signal logical flow and topic shifts. Terminology management proves equally vital, requiring the development and maintenance of standardized, easily accessible bilingual or multilingual glossaries for domain-

specific vocabulary, which are distributed and promoted organization-wide. These measures collectively reduce the cognitive burden for non-native speakers while maintaining the necessary level of professional precision and ensuring that the core message is transmitted and received with minimal distortion.

3.2 Culturally Intelligent Adaptation Systems

Cultural fluency in professional correspondence demands a systematic, scalable approach rather than relying on ad-hoc, individual intuition. Developing a library of context-specific email templates for recurring scenarios—such as project initiation, feedback delivery, or deadline renegotiation—ensures appropriate tone calibration and structural conformity across diverse cultural contexts. For communication with formal, high-power-distance cultures, these templates would include prescribed honorifics in openings and closings, indirect request formulations, and expressions of deference to hierarchy. For more informal, low-context contexts, templates would utilize concise, friendly, and direct phrasing. Directness matrices serve as practical guides for request formulation, clearly distinguishing between cultures expecting explicit, task-oriented instructions and those preferring consultative, relationship-focused phrasing. Temporal protocols establish transparent and mutually understood response expectations through automated indicators or simple language in signatures specifying acceptable reply windows (e.g., "I typically respond within 24 hours"). Crucially, these systematic adaptations are designed to preserve authenticity and individual voice rather than imposing a sterile, artificial uniformity; they function as a toolkit for respecting deep-seated cultural preferences while simultaneously maintaining operational efficiency and preventing misunderstandings.

3.3 Technical Standardization and Tool Integration

Technical harmonization is essential to minimize the procedural friction that plagues global teams, achievable through strategic platform consolidation and the implementation of smart automation. Selecting a unified, enterprise-wide communication ecosystem reduces costly context-switching for employees and enables the seamless integration of shared resources, such as centralized terminology databases, template repositories, and collaborative editing features. AI-assisted writing tools should be deployed to provide real-time, context-aware language support, offering alternatives to ambiguous phrasing, checking for idiomatic language, and verifying terminology against the company glossary. Automated, enforced naming conventions for files and attachments (e.g., YYYYMMDD_ProjectName_DocumentType_v2.pdf) ensure immediate clarity and version control, while standardized, modular signature blocks maintain a consistent level of professionalism across regions. Crucially, these technical solutions require deliberate and inclusive onboarding through targeted, role-specific training modules that address varying digital literacy levels within the organization, thereby ensuring equitable access to these productivity enhancements and preventing the creation of a new, technology-based communication divide.

4. Structured Implementation Pathway

Phase 1: Foundational Development and Diagnostic Assessment

The initial implementation phase focuses on establishing a robust baseline of standards, initiated by comprehensive communication audits that utilize surveys, interviews, and analysis of email threads to identify recurring friction points and specific pain points. This detailed diagnostic phase directly informs the collaborative development of a core library of email templates and style guides, addressing common scenarios like project updates, deadline negotiations, cross-departmental requests, and meeting scheduling. Parallel to this, mandatory cultural awareness workshops are conducted to familiarize all teams with fundamental intercultural frameworks—such as Hofstede's dimensions or the Lewis Model—that govern concepts of formality, directness, and temporal expectations across the organization's major business regions. This dual-track foundation provides a consistent and reliable starting point for all corporate communication while thoughtfully accommodating the necessary localization for specific teams and regions.

Phase 2: Systemic Integration and Technological Enablement

With the foundational elements firmly established, the second phase focuses on embedding these protocols into the fabric of daily workflows through technological enablement and role

definition. Language support tools and plug-ins are deployed with customized dictionaries that reflect the organization's specific terminology. The introduction of "Communication Coordinator" roles within teams ensures the consistent application and contextual interpretation of standards across different time zones and projects. Monitoring mechanisms and lightweight analytics are introduced to track adherence to clarity protocols (e.g., average sentence length) and response time benchmarks, providing quantitative and qualitative data for ongoing refinement. This phase emphasizes practical application and proficiency-building through scenario-based exercises and simulations that allow employees to practice and internalize the protocol implementation in a low-stakes environment, building both confidence and competence.

Phase 3: Continuous Improvement and Cultural Embedding

A mature implementation shifts strategically from mere adoption toward active optimization, establishing a cyclical process of continuous improvement. This involves regular, scheduled template reviews that incorporate direct user feedback and usage data to refine and expand the template library. Cross-cultural reflection sessions, perhaps quarterly, are instituted to identify emerging adaptation needs as team compositions evolve and new markets are entered. The integrated technology stack undergoes periodic evaluation against evolving communication standards and new market offerings, ensuring that the tools continue to align with and enhance communication objectives rather than becoming a constraint. This ongoing, cyclical refinement process successfully embeds a mindset of continuous improvement into the organizational communication culture, transforming static protocols into dynamic, living practices that remain responsive to changing team compositions, business requirements, and the global landscape.

5. Conclusion: Principles for Sustainable Practice

Mastering multilingual email communication demands recognizing linguistic precision, cultural intelligence, and technical consistency as interdependent competencies rather than isolated considerations. The frameworks presented establish sustainable practices that reduce misinterpretation while respecting cultural diversity. Organizations implementing these principles systematically report measurable improvements in communication efficiency, reflected through reduced clarification cycles and accelerated decision-making. As digital communication evolves, emerging translation technologies will supplement but not replace the human judgment required for nuanced intercultural correspondence. Ultimately, success resides in balancing standardization with flexibility, ensuring protocols enhance rather than constrain authentic professional exchange across linguistic boundaries.

REFERENCES:

1. *Petrova A.V.* Modern Approaches to Business Communication in International Organizations. – M.: INFRA-M, 2023.

2. *Smirnov I.K.* Management of Cross-Cultural Communications in the Digital Environment. – St. Petersburg: Peter, 2022.

3. *Lebedeva N.M.* Ethnopsychological Aspects of Professional Interaction. – Moscow: Aspect Press, 2023.

4. *Grigorieva L.A.* Electronic Document Management in Transnational Corporations. – Moscow: Economics, 2023.

5. *Kozlov V.V.* Psycholinguistic Foundations of Business Correspondence. – Moscow: Logos, 2023.

6. Global Digital Communication Standards. – International Organization for Standardization, 2023.

ЭФФЕКТИВНОЕ ВЕДЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЕРЕПИСКИ В МНОГОЯЗЫЧНОЙ РАБОЧЕЙ СРЕДЕ

Борисов Д.А.

Научный руководитель: Фурер О.В., доцент, к. филол. н.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара)

Аннотация. В этом исследовании анализируются модели коммуникации в более чем 150 транснациональных корпорациях, чтобы выявить критические барьеры в многоязычной электронной переписке. Мы показываем, как языковая сложность, культурное непонимание и технические несоответствия снижают эффективность коммуникации на 40-60%. Предлагаемый фреймворк объединяет протоколы лингвистической стандартизации, адаптивные к культурным особенностям шаблоны и инструменты с поддержкой искусственного интеллекта, демонстрируя повышение четкости на 55-75% и сокращение времени отклика на 50% при контролируемом внедрении. Эффективные решения направлены на оптимизацию тематики, адаптацию тона и структурное форматирование в различных языковых контекстах.

УДК 81'25

ARTIFICIAL INTELLIGENCE – A NEW TOOL FOR PROFESSIONAL TRANSLATION

Vazykhov M.A., Nigmatullin R.R.
Supervisor: Urmanova L.E., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article explores the main strengths and unforeseen pitfalls of AI-powered translation, from its remarkable precision in technical content to high-stakes mistakes in legal terminology.

In the context of globalization and digital transformation of professional communication practices, artificial intelligence is becoming a key tool for overcoming language barriers. The last five years have been marked by a qualitative leap in the development of Neural Network Technologies for Neural Machine Translation (NMT), which is confirmed by the studies of leading Russian research centers [1]. Thus, according to the National Research University Higher School of Economics, the share of corporations integrating AI translation into business processes in the Russian Federation has grown from 27% to 68%, with 43% of companies using hybrid models, such as humans together with artificial intelligence, for critical documents. A similar trend is recorded by BSU scientists, noting that in Belarus the main growth is in the sphere of IT-localization and technical documentation, where the use of tools like Smart CAT with neural network modules has reduced project timelines by 30-40%.

Modern neural network models demonstrate impressive results, but their implementation in the professional sphere faces a number of significant challenges. Research at Moscow State Linguistic University (MSLU) shows that even the most advanced generative models, GPT-4 and Gemini, show significant variation in translation quality depending on the type of text. When working with technical documentation, these systems achieve 89 points on the BLEU scale, whereas when translating legal texts, the accuracy rate drops to 62 points, which is mainly due to errors in interpreting context-sensitive terminology [2].

Of particular concern to experts are the results of the Pirogov Russian National Research Institute of Medical Sciences (RNIMU) study, which revealed critical distortions of medical information, including drug dosages and formulations of diagnoses. These findings underscore the need for a thorough study of the limitations of automated translation in professional fields where errors can have serious consequences.

The purpose of this article is not just to state the successes of AI, but to break down the pitfalls of automated translation in a professional environment. Why do even the most advanced algorithms make mistakes in critical documents? Where is the line between efficiency and risk? And how can businesses and professionals find a balance between the speed of AI and the accuracy of human control?

Modern machine translation (MT) systems have undergone a significant evolution from statistical methods to deep learning neural network architectures. Modern solutions are based on transformer models that demonstrate a fundamentally new level of natural language processing.

Key technology components of modern MF systems include:

- Transformer architecture with attention mechanism to analyze contextual dependencies at different levels;
- Multilayer neural networks with parallel sequence processing capability;
- Mechanisms for pre-training on large corpora of texts (pre-training) and subsequent fine-tuning (fine-tuning).

Modern solutions successfully integrate specialized terminology databases to ensure consistency of translation within a specific industry or organization. In addition, multi-stage post-editing allows for a step-by-step improvement in the quality of the result, combining the benefits of automatic processing with expert judgement.

Of particular interest are hybrid models that seamlessly combine neural network machine translation with terminology processing technologies and translation project management systems. Such integrated solutions include built-in quality control mechanisms, creating a closed loop of translation process improvement.

In terms of practical application, modern platforms offer flexible modes of operation – from fully automated text processing to interactive systems with the possibility of rapid correction. A special place is occupied by HITL (human-in-the-loop) technology, which provides a reasonable balance between the speed of machine processing and the accuracy of human control. For handling large volumes of data, efficient batch processing solutions are available to optimize time costs while maintaining an acceptable level of quality.

A recent study published on arXiv sheds new light on the age-old debate between traditional and machine translation. Researchers conducted a large-scale experiment comparing the performance of professional translators and modern AI systems in various professional fields.

The research methodology was characterized by a comprehensive approach. Three groups of texts were selected for testing [3]:

- Technical documentation (equipment instructions, API documentation);
- Legal documents (contracts, regulations);
- Medical materials (clinical protocols, drug descriptions).

Each text was translated in three ways: by an expert professional translator, a publicly available AI system and a specialized enterprise solution with domain adaptation. A panel of independent experts then evaluated the results according to five criteria: accuracy of terminology, preservation of style, adequacy of translation, grammatical correctness and overall perception.

The study revealed several curious patterns. In technical documentation, specialized AI solutions were almost on par with human translation, lagging behind by only 3-5% in key metrics. However, in legal texts, the gap widened to 15-20%, and in medical texts to 25-30%. Especially revealing were cases of translating complex legal constructions and medical dosages, where the AI made critical errors unnoticeable to the non-professional eye [4].

The key aspects of the study were the limitations of machine translation, which reduce the correctness of the translation and aggravate the comprehension of the text for the specialist.

Context blindness – systems often ignore interphrase relationships, which are critical for legal texts, where a change in one wording can change the meaning of the entire document. In 23% of the contracts analyzed, semantic distortions were found.

Terminological instability – even specialized systems showed variability in translation of key terms (up to 17% of discrepancies in medical texts).

Cultural indifference – the algorithms did not take into account regional peculiarities of professional communication, which resulted in stylistic errors in 34% of business correspondence.

Of particular interest is the "risk matrix" developed by the authors, which ranks professional spheres according to the degree of applicability of AI translation (See Table 1).

Table 1

Matrix of risk

Sphere	Tolerability of autonomous AI translation	The need for human control
Technical documentation	High (80-85%)	Moderate (post-editing)
Medical texts	Limited (30-40%)	Critical (full control)
Legal documents	Minimal (15-20%)	Absolute (itemised test)
Marketing materials	Moderate (50-60%)	Creative adaptation

The results of a hybrid model combining AI translation with professional post-editing were most revealing. This approach provided an impressive synergistic effect: a 40-50% reduction in time costs compared to traditional "manual" translation, while maintaining virtually the same quality (98-99% accuracy). These data convincingly confirm an emerging industry trend: the era of opposing machine translation and professional translation is becoming a thing of the past, giving way to the intellectual integration of technological capabilities and expert knowledge.

However, researchers caution against excessive technological optimism by introducing the important concept of «illusion of competence» of modern systems. Outwardly flawless, grammatically correct machine translation formulations often contain hidden semantic distortions, terminological inaccuracies and contextual errors that can only be detected by professional linguists or industry experts. This fundamental limitation makes full automation of translation in critical professional fields: medicine, law and technical documentation; unlikely in the medium term at least [5].

Modern machine translation technologies are undergoing a phase of rapid evolution, moving beyond simple text transformation into the realm of complex language adaptation. One of the most notable trends in recent years has been the shift from isolated translation systems to the integration of language models into unified multimodal platforms. Today, neural network algorithms are learning to work not only with text, but also with context – analyzing accompanying images, audio tracks and even metadata to more accurately convey meaning. For example, when translating technical documentation, the system can take into account charts and diagrams, and in the case of video subtitles, it can synchronize text with intonation and emotional coloring of speech.

Simultaneous machine translation has received a special impulse of development, which is gradually overcoming its main limitations - processing delay and loss of meaning during oral transmission. Modern solutions, such as Google's Translatotron or Meta's Universal Speech Translator, demonstrate the ability to translate speech in real time while preserving the voice characteristics of the speaker. This opens up new possibilities for international conversations, teleconferencing and even streaming media localization. However, a key challenge remains - the systems still lack "linguistic intuition": they may miss nuances of irony, sarcasm or culturally specific references, which is critical in informal and business communication.

Another promising trend is the personalization of translations for a specific user or organization. Instead of universal templates, algorithms are beginning to adapt to the style, terminology, and even ideological preferences of the customer. For example, a law firm can train the system to translate its own version of contractual wording, while a medical institution can configure it for a specific classification of diagnoses. Such customization is especially in demand in corporate environments where uniformity of terminology is more important than literal accuracy.

At the same time, the trend towards invisible translation is gaining momentum –technologies embedded in work tools, such as email clients, CRM systems, and messengers, which translate text invisibly to the user, creating the effect of a single language space. This approach, however, raises new questions: how to ensure data confidentiality, and who is responsible for errors in automatically translated business letters or contracts?

In the coming years, the development of machine translation is likely to follow the path of hybridization – combining neural network models with expert systems, knowledge bases and consistency checking algorithms. But the main challenge will remain not the technology, but trust:

whether AI will be able to overcome the "Google Translate Syndrome" – the persistent perception of machine translation as inaccurate and unnatural in the professional environment. So far, the answer to this question depends not so much on algorithms as on their harmonious integration into human-centred work processes.

The final conclusion is both encouraging and cautious – artificial intelligence will not replace professional interpreters, but it will fundamentally change their work. The future belongs not to human-machine competition, but to their symbiosis – when technology takes over routine operations, and the specialist focuses on semantic expertise, cultural adaptation and responsible decision-making. This balance is the formula for successful professional communication.

The industry's development prospects are linked to three key areas:

- AI-assisted translation is no longer a standalone service, becoming an integral part of professional ecosystems, from CRM systems to electronic document management platforms;
- Moving from single-phrase translation to complex processing of multimodal content, taking into account visuals, metadata, and subject matter;
- The development of clear protocols for the use of AI, where for each type of content the acceptable degree of autonomy of the system is defined.

The practice of leading corporations shows that the most effective strategy is a step-by-step implementation – from automation of simple tasks to cautious application of AI in complex domains with mandatory post-control. This approach allows you to take advantage of the benefits of technology while minimizing risks. Ultimately, the value of translation is not determined by its speed or cost, but by its ability to accurately convey meaning - a task that requires both computing power and human understanding.

REFERENCES:

1. *Gokhberg L.M.* (heasd of the author's coll.), *Yu.V. Turovets, K.O. Vishnevsky* et al. Artificial Intelligence in Russia: technologies and markets// National Research University "Higher School of Economics". - Moscow: ISSEK HSE, 2025. – 148 p. – URL: https://id.hse.ru/data/2024/08/16/1902009529/иск_инт_сайт.pdf (Accessed on 20.08.2025).

2. *Sapach Ya.P.* Algorithms for machine translation of legal texts into Belarusian based on neural networks // BSU DMIA, master's thesis 2020; – Electronic text, – 2020. – URL: https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/246692/1/SapachYanaPetrovna_magist.pdf (Accessed on 24.08.2025).

3. *Banartseva A.V.* Language translations: Man vs. Machine translation, – Text: electronic, – 2018. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/yazykovye-perevody-chelovek-vs-mashinnyy-perevod/viewer (Access date 20.08.2025).

4. *Kolin K.K., Khoroshilov A.A., Nikit Yu.V., Pshenichny S.I., Khoroshilov A.A.* Artificial intelligence in machine translation technologies // Social innovations and social sciences. – Moscow. Text: electronic, – 2021. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-v-tehnologiyah-mashinnogo-perevoda/viewer (Access date 26.08.2025).

5. *Jianhao Yan, Pingchuan Yan, Yulong Chen, Jing Li, Xianchao Zhu, and Yue Zhang* Benchmarking GPT-4 against Human Translators: A Comprehensive Evaluation Across Languages, Domains, and Expertise Levels/ // Text: – electronic, – 2024. – URL: https://arxiv.org/pdf/2411.13775 (Access date 25.10.2025).

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЕКТ – НОВЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ПЕРЕВОДА

Вазыхов М.А., Нигматуллин Р. Р.

Научный руководитель: Урманова Л.Э., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье обозначены главные возможности и скрытые ловушки машинного перевода: от впечатляющей точности в технических текстах до опасных ошибок в юридических формулировках.

УДК 811

RUSSIAN PHRASEOLOGICAL UNITS WITH COMPONENT 'SOUL': THEIR FEATURES AND TRANSLATION PROBLEMS

Gorozinsky A.I., Kurbanova V.A.
Supervisor: Tishkina D.A., Associate Professor, Candidate of Philological Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article deals with cultural features of phraseological units with component 'soul (душа)'. The difficulty of translating such units and finding their corresponding equivalents and analogous is also considered.

Phraseological units of any language include a significant layer of elements of national culture. The formation and development of phraseological unit as a carrier of national culture is closely related to the history, culture and way of life of a certain nation. Phraseological units are not only basic units of language expression, but also propagators of national culture.

The study of historical sources and the linguistic and cultural analysis of phraseological units help to reveal the cultural connotation of phraseology. The cultural connotation of phraseological unit is defined as a process in which a phraseological unit is represented as a linguistic unit describing the values and beliefs of people.

It should be noted that the national features of a phraseological unit of one language are sometimes closely intertwined with another culture, if this phraseological unit is borrowed from another language.

The means of displaying national specifics is the internal form of phraseological unit, i.e. the figurative basis of phraseology. Culturally marked components of the internal form denote the 'cultural' realities of society. Cultural and national specifics are influenced by the interpretation of the figurative foundation in the cultural and national environment of a given linguistic community.

Folk myths, traditions and rituals, as well as phraseological units borrowed from other languages and mastered by the target language, play an important role in the formation of the cultural connotation of phraseological units.

The system of images fixed in the phraseological fund of a language performs the role of accumulator of images of a given culture and is in interaction with the material, social or spiritual culture of a linguistic community, and therefore can be used as confirmation of its cultural and national experience and traditions. The study of the national and cultural specificity of phraseological units includes an analysis of their origin, associated with the history and culture of the people, as well as the features of their use in various contexts.

At various times, such scientists as A.A. Potebnya, V.V. Vinogradov, I.I. Sreznevsky, F.F. Fortunatov, A.A. Shakhmatov and others studied phraseological units.

Contemporary phraseology has adopted two approaches in determining what is considered the basic unit of phraseology. There is a broad and narrow understanding of the phraseological unit. Proponents of a broad approach classify all stable expressions as phraseological units, including proverbs, sayings and catch words.

N.M. Shansky classified phraseological units according to their origin, namely, originally Russian, borrowings, phraseological loan translations and semi-loan translations [1].

According to V.A. Maslova, 'phraseological units directly or indirectly (through the correlation of an associative-figurative base with standards, symbols, stereotypes of national culture) carry cultural information about the world and society. ... phraseological unit is a kind of

‘storehouse of wisdom’ of the people, preserving and reproducing the mentality of the people, their culture from generation to generation’ [2].

In ancient times, people believed that all objects in the world were endowed with a soul. Aristotle considered stars to be animate. Different peoples consider different organs to be the receptacle of the soul: the diaphragm, the heart, the kidneys, the eyes, and even the heels. The Slavs attributed the manifestation of creative power to the human soul.

‘Russian classical literature describes the Russian soul, and often focuses on the breadth of the Russian soul. In Russian, the word ‘soul’ is the center of all thoughts and desires of a person, his true self, that is, it represents a specific national and cultural code’[3].

The soul in Russian culture is considered to possess:

- sanctity, purity;
- elusiveness, mystery;
- emotional depth, sensitivity;
- spiritual connection, transcendence.

The meaning of some Russian phraseological units contains national images which is not perceived outside the context of Russian culture. The specific images of such phraseological units as *за тридевять земель, души не чаять, довести до белого каления* cannot always be translated into other languages word by word.

The internal form of a certain phraseological unit, i.e. the figurative basis of it, is often culture-specific and is not explicit. Culturally marked components of such phraseological units are the most deep-rooted concepts and are influenced by cultural and national environment of a certain linguistic community.

There is no direct correlation between culture and language. To reveal the cultural content of phraseological units, it is necessary to conduct a linguistic, cultural and etymological analysis.

For example, by employing the method of dictionary definitions, we can determine that the Russian phraseological unit *душа нараспашку* conveys the meaning of ‘being open and sincere in expressing your feelings and thoughts’.

The phraseological unit *душа болит* expresses the meaning of ‘worry, anxiety’. The eternal craving of the Russian soul for the anticipation of inexorable events, the so-called fate.

Phraseological units with the component ‘soul’ are represented in the Russian language by a large number of units such as:

- *душа болит;*
- *душа поет;*
- *душа в пятки ушла;*
- *душа компании;*
- *душа не лежит.*

Folk myths, traditions and rituals, as well as phraseological units borrowed from other languages and mastered by the target language, play an important role in the formation of the cultural connotation of phraseological units.

The system of images fixed in the phraseological fund of a language performs the role of accumulator of images of a given culture and is in interaction with the material, social or spiritual culture of a linguistic community, and therefore can be used as confirmation of its cultural and national experience and traditions.

Phraseological units are stable expressions that cannot be understood by simply summing up the meanings of their constituent parts. The national and cultural specificity of phraseological units is manifested in the fact that they reflect the peculiarities of culture, customs, history and mentality of the people.

Each culture has its own unique phraseological units, which may be incomprehensible or have a different meaning for people from a different cultural environment. For example, the phraseological expression *бить баклуши* in Russian means ‘to evade duties or responsibilities’.

Thus, the study of phraseological units of different cultures makes it possible to better understand the peculiarities of the national language, the mentality and traditions of the people, and also contributes to a deeper understanding between representatives of different cultures.

Russian phraseological units with the component ‘душа’ (soul) have a number of semantic features that reflect the specifics of Russian culture, religious beliefs, philosophical beliefs, and national mentality:

1. The soul as the center of personality

In the Russian culture the concept of ‘soul’ is traditionally perceived as a central part of the human personality expressing his inner world, feelings, beliefs and spiritual qualities.

2. The soul as a symbol of deep emotions

Phraseological units with the ‘soul’ component often reflect deep emotions, feelings and experiences of a person, for example, *душа нараспашку* (a state of openness and sincerity).

3. The soul as a source of spiritual power

In the Russian culture, the soul is also associated with a person’s spiritual strength, inner resources, and beliefs. Phraseological units like *душа не на месте* (a person is upset and unable to control his emotions) reflect this semantics.

4. The soul as a mystical and philosophical concept

In Russian culture, the soul has a mystical and philosophical connotation associated with ideas of immortality, eternity and spiritual development. Phraseological units like *продать душу дьяволу* (make a moral compromise for the sake of profit) reflect this aspect.

Russian culture values sincerity and the ability to express one’s emotions without hiding them behind a mask or formalities. A person *с душой нараспашку* is perceived as a reliable, loyal and benevolent friend. This language unit reflects an important feature of the Russian national character – openness, cordiality and trust in others. The qualities attributed to the soul in this phraseological unit are openness, sincerity, absence of hidden motives or intentions, willingness to share their thoughts, feelings and experiences with others, trust in people and faith in their kindness.

Different methods of translating phraseological units are described in works on the theory and practice of translation of such scientists as L.S. Barkhudarov, V.S. Vinogradov, V.N. Komissarov, A.V. Kunin, I.I. Retsker, A.D. Schweizer, A.V. Fedorov and many others.

According to the ways of translating Russian phraseological units in English, there are three main ways: mono-equivalent translation, analogous and descriptive translation.

When translating Russian phraseological units with a component ‘душа’ it is not always possible to render the meanings of the component by the word ‘soul’ because of differences in perception of these culture-specific units in the English language.

To describe a person’s emotional and moral state in Russian and English different ‘images’ are used:

- *душа горит – to have one's heart set on something*,
- *душа не на месте – to sit on the thorns*.

To describe personal qualities and relationships:

- *жить душа в душу – to live like lovebirds.*

To describe behavior:

- *работать с душой – to put one’s heart into something*.

It is often the case that in the English language the same notion of ‘душа’ is expressed by the word ‘heart’:

- *one’s heart breaks (aches, bleads) for somebody,*
- *to have one’s heart in one’s boots (mouth, throat),*
- *to have a heart-to-heart talk.*

The place of a soul in English culture is different from one in the Russian culture and as it can be seen from the given examples the concept of perception of events is expressed by means of different organ in English culture (heart). In the Russian and English languages emotional component in phraseological units is expressed quite vividly, but in Russian, the ‘soul’ component of phraseological units reflects a specific cultural code that is absent in the corresponding English

phrases. English equivalents and analogues of Russian phrases with the ‘soul’ component can often be represented by English phraseological units with the ‘heart’ component.

REFERENCES:

1. *Шанский Н.М.* Фразеология современного русского зыка / Н.М. Шанский. – М.: Русский язык. – 1985. – 192 с.

2. *Маслова В.А.* Введение в лингвокультурологию: учеб. пособие / В.А. Маслова. – М.: Наследие, 1997. – 169 с.

3. *Тишкина Д.А.* Фразеологические единицы с компонентом «душа» в русском языке и их соответствия в английском языке: лингвокультурологический аспект / Д.А. Тишкина, Е.В. Мусина, А.А. Артамонова // Казанская наука. – 2023. – № 12. – С. 435-437.

ФРАЗЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЕДИНИЦЫ С КОМПОНЕНТОМ «ДУША» В РУССКОМ ЯЗЫКЕ: ИХ ОСОБЕННОСТИ И ТРУДНОСТИ ПЕРЕВОДА

Горозинский А.И., Курбанова В.А.

Научный руководитель: Тишкина Д.А., доцент, к. филол. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются культурные особенности фразеологизмов с компонентом ‘soul (душа)’. Также рассматриваются трудности перевода таких единиц и поиска соответствующих эквивалентов и аналогов.

УДК 621.452

MiG-41: ENGINE SELECTION - SIXTH GENERATION ENGINE

Ibragimov B.I.

Supervisor: Coll I.G., Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses the requirements for the engines of the prospective Russian long-range interceptor MiG-41 (PAK DP) and analyzes various types of powerplants that are potentially suitable for this aircraft. Special attention is given to air-breathing turbojet engines (ABTE) and turbojet engines with variable cycle (TEVC), as well as combined and advanced technologies such as detonation and plasma engines. The advantages and disadvantages of each engine type are evaluated, taking into account the need to achieve hypersonic speeds, long range, high-altitude flight, low observability, and high reliability. It is emphasized that, unlike the Su-57, the MiG-41, as a reconnaissance aircraft, requires the most advanced next-generation technologies in the field of engine manufacturing.

Introduction:

The MiG-41 (PAK DP) is a prospective Russian long-range interceptor considered to replace the previous generation MiG-31. The characteristics of the MiG-41 include its range, capability to intercept targets moving at supersonic speeds, high speed, and the incorporation of new sixth-generation technologies. The engine for such an aircraft is a critically important element, as this type of aircraft, unlike the similarly new Su-57 with the AL-41F1 engine, is reconnaissance-oriented and requires the most advanced next-generation technologies.

Engine Requirements for the MiG-41:

First and foremost, the engine must enable the aircraft to achieve and maintain supersonic speeds, specifically sustained flight significantly exceeding five Mach. Range is also crucial for covering large territories and conducting operational interceptions of targets located at great distances from the base. Furthermore, it is essential to consider that the aircraft should perform

excellently in rarefied air conditions, meaning at high altitudes. In today's world, there are numerous radars that quickly detect flying objects, so engines must incorporate technologies that reduce their radar and thermal signatures. The engine must be powerful enough and maneuverable at appropriate speeds to intercept hypersonic targets [1]. Finally, to ensure prolonged and effective operation in various conditions, the engine must possess high reliability. Additionally, the integration of advanced materials and cooling systems will be vital to withstand the extreme temperatures generated during high-speed flight. The ability to adapt to evolving combat scenarios through software updates and modular design will also enhance the aircraft's longevity and effectiveness. Ultimately, these features will ensure that the MiG-41 remains competitive in an increasingly complex aerial battlefield.

Engine Comparison:

When developing the new MiG-41 fighter jet, one of the key aspects is the choice of propulsion system. Let’s examine the various types of engines that could be installed on this aircraft, along with their advantages and disadvantages.

One of the most promising directions is the use of air-breathing turbojet engines (ABTE), including their hypersonic modifications (HABTE). These engines are capable of achieving high speeds, reaching five or six Mach for ABTE and even exceeding six Mach for HABTE. The advantages of ABTE include their simple design and high thrust-to-weight ratio, which significantly enhances the maneuverability and effectiveness of the aircraft.

However, ABTE also have their drawbacks. They require a preliminary acceleration to a certain speed before they begin to operate effectively. This means that additional engines will need to be installed for takeoff and landing, complicating the overall design of the aircraft. Furthermore, managing thrust and adjusting engine operation can present certain challenges, and high fuel consumption is also a significant disadvantage.

As an alternative or complement to ABTE, turbojet engines with variable cycle (TEVC) are being considered. The main advantage of TEVC lies in their versatility—they can operate efficiently across a wide range of speeds and altitudes. These engines provide good controllability and thrust adjustment capabilities, making them attractive for use in multirole aircraft.

The disadvantages of TEVC include a limited maximum speed, which typically does not exceed 3 Mach, as well as a more complex design compared to ABTE. Nevertheless, their ability to operate in various flight modes makes TEVC an important element in the design of the MiG-41.

Recently, there has been a trend towards developing combined propulsion systems that incorporate the advantages of different types of engines. This approach allows for achieving both high speeds and good maneuverability in subsonic and supersonic flight modes. For example, a combined system could utilize TEVC for takeoff and cruising flight, then switch to ABTE for achieving hypersonic speeds [2].

However, implementing combined propulsion systems is associated with high design and control complexity, as well as increased aircraft weight. Therefore, careful consideration must be given to balancing performance and system complexity.

In addition to traditional types of engines, advanced technologies such as detonation engines are actively being developed. These engines utilize detonation combustion of fuel to enhance efficiency and thrust. Plasma engines, which provide high jet exit velocity but require a powerful energy source, are also of interest. Pulse detonation engines, which use a series of detonation explosions to generate thrust, are still in the research phase.

Modern Trends in Aviation Engines and Selection Criteria for MiG-41 Engines.

Modern Trends in Aviation Engines:

1. Energy Efficiency and Ecology: The primary focus is on improving fuel efficiency and minimizing environmental impact. This is achieved through:

• Lightweight Materials: Utilizing composites and lightweight alloys to reduce engine weight and improve performance.

•Advanced Combustion Techniques: Implementing lean-burn combustion, staged combustion, and other advanced techniques to reduce emissions and improve fuel efficiency.

•High Bypass Ratio Turbofans: Increasing the bypass ratio in turbofan engines for improved fuel efficiency, especially at subsonic speeds.

2. Integration with Control Systems: Modern engines are increasingly integrated with advanced flight control systems and onboard computers, enabling:

•Real-time Optimization: Adapting engine parameters to flight conditions and mission requirements, significantly enhancing efficiency and safety. [3]

•Predictive Maintenance: Using sensor data and machine learning algorithms to predict potential engine failures and schedule maintenance proactively.

3. Modularity: Modular engine design facilitates:

•Simplified Maintenance: Quick replacement or upgrading of individual components without a complete engine overhaul, reducing maintenance time and improving operational characteristics.

•Customization and Scalability: Modularity allows for easier customization of engine configurations to meet specific aircraft requirements and enables easier scaling of engine power.

4. Additive Manufacturing (3D Printing): Utilizing additive manufacturing to:

•Create Complex Geometries: Fabricate complex engine components with intricate geometries that are difficult or impossible to manufacture using traditional methods, leading to improved performance and reduced weight.

•Reduce Lead Times: Accelerate the manufacturing process and reduce lead times for engine components.

5. Digital Twins: Creating digital replicas of engines:

•Simulate Engine Performance: Simulate engine performance under various conditions to optimize design and identify potential issues.

•Improve Maintenance Planning: Using digital twins to predict engine life and optimize maintenance schedules.

6. Hybrid-Electric Propulsion: Exploring hybrid-electric propulsion systems:

•Improved Fuel Efficiency: Combining gas turbine engines with electric motors to improve fuel efficiency and reduce emissions, especially during takeoff and landing.

7. Advanced Sensor Technology: Integrating more sophisticated sensors:

•Improved Monitoring and Control: Provides more comprehensive engine monitoring and control capabilities, enhancing safety and performance.

Selection Criteria for MiG-41 Engines:

Given the MiG-41's intended role as a high-speed interceptor, the following engine characteristics are critical:

1. Speed Characteristics: Engines must enable hypersonic speeds for effective engagement in modern air combat.

2. Maneuverability: The aircraft must possess excellent maneuverability for executing combat tasks, particularly in hostile environments.

3. Reliability and Durability: Engines must be reliable with a long service life to minimize maintenance costs and ensure high combat readiness.

4. Adaptability to Various Conditions: Engines must operate effectively across a wide range of altitudes and temperatures to support diverse mission profiles. [4]

Research and Development Focus:

Significant research and development efforts are focused on:

1. Hypersonic Technologies:

•Advanced Materials: Developing new materials capable of withstanding extreme temperatures generated during hypersonic flight, including ceramic matrix composites (CMCs) and high-temperature alloys.

•Scramjet and Ramjet Engines: Advancing scramjet and ramjet engine technologies for sustained hypersonic flight.

2. Autonomous Systems:

•Autonomous Engine Control: Developing systems that optimize engine operation without pilot intervention, particularly crucial under high load conditions or in critical situations. This includes incorporating AI and machine learning for adaptive control.

3. Alternative Fuels:

•Sustainable Aviation Fuels (SAF): Exploring the use of synthetic or environmentally friendly fuels to reduce the environmental impact of aviation. [5]

•Hydrogen Fuel: Researching the use of hydrogen as a fuel source, which offers the potential for zero-emission flight.

4. Variable Cycle Engines (VCE): Developing engines that can adapt their configuration:

•Optimize Performance Across Speed Regimes: Optimizes performance across a wide range of speeds, from subsonic to hypersonic. This would be particularly beneficial for an aircraft like the MiG-41, which needs to operate efficiently at both cruising speeds and during high-speed intercepts.

5. Rotating Detonation Engines (RDE): Investigating RDE technology:

•Increased Efficiency: Offers the potential for higher thermodynamic efficiency compared to traditional combustion engines.

Conclusion:

Based on the analysis of existing and prospective types of aviation engines, it can be concluded that the most rational option for equipping the long-range interceptor MiG-41 is a combined propulsion system. This system should include a turbojet engine with variable cycle (TEVC) to ensure stable and economical operation in subsonic and supersonic modes, as well as a ramjet or hypersonic ramjet engine HRJE for achieving and maintaining hypersonic speeds. The use of TEVC will significantly increase the aircraft's range and reduce fuel consumption, which is crucial for performing long-duration combat missions, especially under resource constraints. In turn, the integration of SRJ or HRJ will provide rapid response capabilities to threats and enhance the aircraft's maneuverability by achieving hypersonic speeds. This approach will ensure the necessary characteristics in terms of range, speed, maneuverability, altitude, and stealth, which are critically important in modern air warfare. Thus, the combined propulsion system not only meets the demands of the time but also opens new horizons in aviation technology, laying the groundwork for future projects in military aviation and ensuring the security of airspace.

REFERENCES:

1. *Коршунов В.М.* Сборка авиационных газотурбинных двигателей [Учебное пособие] // ГРНТИ-55.42.47. – М.: Финансы и статистика, 2024. – 374 с.

2. *Толстов С.А., Панченко С.Л.* Системы охлаждения камер сгорания и турбин двигателей летательных аппаратов и ГТУ [Учебное пособие] // Е-Инфра. – М., 2024. – 296 с.

3. *Иванов С.А.* Современные задачи авиационного двигателестроения // Журнал «Авиационные двигатели». – 2023. – № 1. – С. 1–104.

4. *Михальцев В.Е., Моляков В.Д.* Теория и проектирование газовой турбины [Учебное пособие] // МГТУ им. Баумана. – СПб., 2023 (переиздано). – 232 с.

5. *Курлаев Н.В.* Агрегаты топливной системы турбореактивного двигателя [Учебное пособие] // Новосибирский гос. техн. ун-т. – Новосибирск, 2023. – 128 с.

МиГ-41: ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ - ДВИГАТЕЛЬ ШЕСТОГО ПОКОЛЕНИЯ

Ибрагимов Б.И.

Научный руководитель: Колл И.Г, преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются требования, предъявляемые к двигателям перспективного российского перехватчика дальнего действия МиГ-41 (ПАК ДП), и анализируются различные типы двигательных установок, потенциально подходящих для

данного самолета. Особое внимание уделяется прямоточным воздушно-реактивным двигателям (ПВРД) и турбореактивным двигателям с изменяемым циклом (ТРДИЦ), а также комбинированным и перспективным технологиям, таким как детонационные и плазменные двигатели. Оцениваются преимущества и недостатки каждого типа двигателя, с учетом необходимости обеспечения гиперзвуковой скорости, большой дальности, высотного полета, малой заметности и высокой надежности. Подчеркивается, что в отличие от Су-57, МиГ-41, как разведывательный самолет, требует самых передовых технологий нового поколения в области двигателестроения.

УДК 004.42: 811.111

АНГЛИЙСКИЙ ЯЗЫК КАК АРХИТЕКТУРНЫЙ КОМПОНЕНТ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ

Иванова В.Д.
Научный руководитель: Гареева Р.З., доцент
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ (Лениногорский филиал), г. Лениногорск*)

Аннотация. В статье исследуется роль английского языка как системообразующего элемента информационных технологий. Проведен анализ языков программирования, документации, логирования, терминов DevOps и облачных платформ. Отдельное внимание уделено проблемам локализации и влиянию знания английского языка на эффективность разработки, эксплуатацию ИТ-систем и профессиональный рост специалистов. Приведены практические кейсы и статистические данные. Сделан вывод о статусе английского как инфраструктурного компонента цифровой среды.

Когда мы говорим о системах, мы имеем в виду не только код, архитектуру, базы данных и инфраструктуру, но и язык, на котором вся эта система существует и «разговаривает» со своими компонентами и с человеком. Для подавляющего большинства современных ИТ-систем этим языком является английский. Он не просто язык интерфейса или документации — он вшит в синтаксис, команды, переменные, ошибки, логи, архитектурные термины и внутренние API. В контексте разработки и сопровождения ИТ-систем незнание английского ведёт не просто к затруднению коммуникации — оно делает невозможным полноценное участие в процессе. Современные языки программирования построены на основе английской грамматической модели, адаптированной под логическую структуру команд. Все ключевые элементы кода — операторы управления, объявления переменных, классы, модули, исключения — выражаются через английские слова. Причём эти слова — не просто термины, они формируют строго структурированный синтаксис, обязательный для корректной работы интерпретатора или компилятора. Попытка заменить или переопределить эти конструкции вызывает синтаксическую ошибку ещё на этапе анализа кода [1, с.48]. В процессе изучения языка программирования C# я неоднократно сталкивалась с необходимостью знания английского языка. Одной из первых трудностей стали сообщения об ошибках при запуске программ. Например, "NullReferenceException: Object reference not set to an instance of an object" — машинный перевод этой фразы часто оказывается неинформативным и лишь запутывает. Аналогично, сообщение “Index was outside the bounds of the array” звучит непонятно без знания английского, хотя на деле означает всего лишь выход за пределы массива. Чтобы разобраться в подобных ошибках, мне приходится обращаться к англоязычным источникам, читать объяснения на форумах вроде Stack Overflow и анализировать оригинальные формулировки. Кроме того, почти вся официальная документация к .NET, в том числе описания классов, методов и параметров, представлена только на английском языке. Интерфейс самой среды разработки Visual Studio также использует англоязычные термины: Solution, Build, Debug, Exception и другие. Это не

просто слова — это ключевые понятия, понимание которых необходимо для эффективной работы в среде. Аналогичная ситуация возникает при чтении чужого кода, особенно в open-source проектах на GitHub. Там почти всегда используются английские названия переменных, функций и комментарии. Например,

C#:

```
public string GetUserName(int userId) {
   // Fetch user name from database
}
```

Даже чтобы понять, что делает этот метод, нужно знать значения слов «get», «user», «name», «fetch», «database». Без знания английского чтение кода превращается в гадание, а самостоятельная разработка — в постоянную борьбу с непониманием.

Примеры ключевых слов в популярных языках:

- Python: if, else, def, import, return
- JavaScript: try, catch, async, await, function
- Java: class, extends, implements, this
- C#: interface, override, using, namespace
- Go: defer, go, select, chan, struct
- Rust: match, impl, enum, unsafe, trait

Например, простой код на Go:

```
func main() {
fmt.Println("Hello, world!")
}
```

Даже если разработчик не владеет английским языком, он вынужден оперировать терминами «func», «main», «Println» — без понимания этих ключевых конструкций невозможно писать даже базовые программы. В этом смысле английский язык становится своеобразным языком программирования «нулевого уровня» [2, с.101]. Можно утверждать, что английский выступает как домен-специфичный язык (DSL) всей отрасли. Он лежит в основе не только синтаксиса, но и архитектурных паттернов, наименований переменных и функций, структуры комментариев и названий файлов. В международных командах и open-source проектах английский становится стандартом общения не только между людьми, но и между человеком и системой. Вот фрагмент типичной функции из публичного репозитория на GitHub:

```
def fetch_user_data(user_id: str) -> dict:
# Fetch user data from external API
```

Комментарии, имена функций и переменных, как правило, пишутся на английском, что делает код читаемым и понятным для разработчиков по всему миру. Для сравнения стоит рассмотреть язык 1С - предприятие, синтаксис которого полностью локализован:

```
ЕСЛИ Статус = "Новый" ТОГДА
   УстановитьФлаг(Истина);
КОНЕЦЕСЛИ;
```

Такой подход делает язык доступным только для носителей конкретного языка (в данном случае — русского), что ограничивает его применение локальными рынками, сдерживает развитие экосистемы и затрудняет интеграцию с международными инструментами. Закрытость и отсутствие глобального сообщества — прямое следствие полной локализации и отказа от англоязычного стандарта. Английский язык также играет ключевую роль в логировании, обработке исключений и отладке программ. Системные сообщения об ошибках, трассировки стека, логи приложений и инфраструктурных компонентов практически всегда формируются на английском — независимо от языка интерфейса или региона. Это связано с тем, что логика диагностики является частью технического контракта между разработчиком и системой.

Примеры типовых сообщений об ошибках:

- Java: NullPointerException at com.example.Service.method()

- Python: TypeError: unsupported operand type(s) for +: 'int' and 'str'
- Node.js: Cannot read properties of undefined (reading 'map')
- SQL: Syntax error near 'FROM'
- Kubernetes: Back-off restarting failed container
- Nginx: upstream timed out (110: Connection timed out)

Такие сообщения невозможно надёжно перевести на другие языки без потери смысла или искажения причины сбоя. Например, фраза «Connection refused: timeout exceeded while establishing a connection», будучи машинно переведённой как «Подключение отклонено: превышено время при установлении соединения», может ввести в заблуждение. «Отклонение» и «невозможность установить соединение» — технически разные причины, и точность формулировки здесь критически важна. Ещё один важный аспект — уровни логирования, которые повсеместно обозначаются англоязычными терминами и аббревиатурами:

- DEBUG — отладочная информация
- INFO — базовые сообщения о штатной работе
- WARN — предупреждения
- ERROR — ошибки
- FATAL — фатальные сбои

Эти уровни встроены в популярные логгеры (Log4j, Serilog, Fluentd, Bunyan, Winston и др.) и интерпретируются средствами мониторинга вроде Datadog, Prometheus или Grafana. Перевод этих обозначений либо не предусмотрен, либо запрещён, поскольку они являются частью стандарта взаимодействия в экосистеме DevOps и SRE.

Вот примеры логов из различных систем:

Kubernetes pod лог: Liveness probe failed:

HTTP probe failed with statuscode: 500

Back-off restarting failed container

Nginx лог: [error] 502 Bad Gateway while reading response header from upstream

Docker build лог:

Step 5/10 : RUN npm install

npm ERR! code EAI_AGAIN

npm ERR! syscall getaddrinfo

npm ERR! errno EAI_AGAIN

Во всех случаях инженер должен не просто прочитать сообщение, а понять его технический смысл. Перевод зачастую мешает, слова вроде «upstream», «probe», «getaddrinfo», «restart», «throttle», «reconnect» обозначают конкретные сущности или механизмы и не имеют однозначных аналогов в других языках. Таким образом, английский язык стал неотъемлемой частью разработки программного обеспечения: от синтаксиса языков и структуры кода до логов, исключений и документации. Это не просто инструмент коммуникации — это единый профессиональный протокол, на котором «говорит» вся индустрия. Практически вся документация к SDK, API, фреймворкам и библиотекам — англоязычна. Даже если существуют переводы, англоязычная версия всегда идёт с приоритетом и является более полной, актуальной и проверенной. Работая с API Stripe, OpenAI, GitHub или AWS, вы не найдёте поля стоимость — будет «amount», «price», «billing_amount», «subtotal». Любая попытка перевода, особенно машинного, становится источником багов[3, с.106].

Пример из документации OpenAI:

```
{
  "model": "gpt-4",
  "messages": [
    {"role": "user", "content": "Translate the following text into French."}
  ]
}
```

Здесь «role», «content», «messages» — это семантические маркеры, не подлежащие переводу. В облачной архитектуре термины вроде «bucket», «instance», «region», «zone», «snapshot», «ingress», «egress», «load balancer» не имеют корректных локализованных аналогов. Например, термин «bucket» машинный перевод интерпретирует как «ведро», что уже стало интернет-мемом.

Пример из Terraform:

```
resource "aws_s3_bucket" "example" {
  bucket = "my-bucket"
  acl    = "private"
}
```

Любая попытка перевода ключевых слов приведёт к недопониманию или ошибке. Даже конфигурационные YAML-файлы в GitLab CI или GitHub Actions структурированы английскими понятиями «stages», «jobs», «before_script», «environment». Разработка — это не только код, но и инфраструктура общения. Git-коммиты, pull-requests, сообщения в Slack, issue в Jira — всё чаще оформляются на английском, даже в локальных командах [4, с.86]. Коммиты вроде «Fix broken payment validation in checkout handler» или сообщения: «Please rebase this branch and squash commits before merging» становятся нормой. Знание терминов «merge», «rebase», «squash», «conflict», «workflow» — обязательное. В противном случае — потерянный код, испорченный CI, а также задержка выпуска. Некоторые компании всё же пытаются адаптировать интерфейсы под национальный язык, но результат не всегда удачен. Классический пример: переменная «buffer» переведена интерфейсом как буфет, что породило кнопку «Очистить буфет». Такие ошибки выглядят нелепо, но демонстрируют одно - перевод невозможен без знания исходной семантики, а она — англоязычна. По данным hh.ru и LinkedIn, более 80% вакансий на позиции middle/senior в ИТ содержат требование «чтение технической документации на английском». В международных командах — английский часто рабочий язык. Владение английским увеличивает зарплатные ожидания на 30–50%, открывает путь к удалённой работе, фрилансу, международным командам. Курсы «English for IT», «Tech English», «DevOps Vocabulary» стали обязательными для инженеров, особенно в DevOps, QA и backend. Некоторые компании включают курс технического английского в адаптационный пакет наряду с доступом к JetBrains или DockerHub. Английский язык — это не внешний атрибут ИТ, а внутренняя составляющая цифрового ландшафта. Он — язык архитектур, документации, конфигураций, логов, ошибок и общения. Его не заменить интерфейсами, переводчиками или локализацией. Незнание английского в ИТ — это не просто языковой барьер, это отсутствие доступа к экосистеме знаний и коду. Он выполняет ту же роль, что и Git, SQL или Docker — системную, архитектурную. Владение техническим английским не просто повышает продуктивность — оно делает возможной современную инженерную деятельность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Байкова Т.В.* Английский язык для IT-специалистов: учебное пособие. — М.: Форум, 2021. — 224 с.

2. *Лапицкий С.В.* Профессионально ориентированный английский язык в области информационных технологий. — СПб.: Питер, 2020. — 176 с.

3. *Киселёва Е.А., Федосеева М.С.* Особенности англоязычной терминологии в сфере программирования // Молодой ученый. — 2022. — № 7 (395). — С. 105–108.

4. *Бурмистрова Е.Ю.* Английский язык как инструмент профессионального общения программистов // Вестник ТГУ. Серия: Филология. — 2021. — № 4 (44). — С. 83–89.

ENGLISH AS AN ARCHITECTURAL COMPONENT OF DIGITAL SYSTEMS

Ivanova V.D.
Supervisor: Gareeva R.Z., Associate Professor
(Leninogorsk branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI", Leninogorsk)

Abstract. The article examines the role of the English language as a system-forming element of information technology. An analysis of programming languages, documentation, logging, DevOps terms and cloud platforms is carried out. Special attention is paid to the problems of localization and the impact of knowledge of English on the efficiency of development, operation of IT systems and the professional growth of specialists. Practical cases and statistical data are provided. A conclusion is made about the status of English as an infrastructural component of the digital environment.

УДК 004.42:811.111

УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА В ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОМ ИНТЕРФЕЙСЕ

Иванова В.Д.
Научный руководитель: Гареева Р.З., доцент
(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Лениногорский филиал, г. Лениногорск*)

Аннотация. В условиях глобальной цифровизации английский язык занял лидирующие позиции в сфере проектирования пользовательских интерфейсов (UI) и пользовательского опыта (UX). Данная статья рассматривает причины, по которым английский стал де-факто универсальным языком цифровых интерфейсов, а также исследует его лингвистические, функциональные и прагматические особенности, способствующие этому доминированию. Особое внимание уделяется роли английского языка в обеспечении когнитивной доступности интерфейсов, сокращении когнитивной нагрузки и повышении эффективности коммуникации между системой и пользователем.

Современные цифровые продукты — от мобильных приложений до распределённых облачных платформ — характеризуются высокой степенью интерактивности и многоязычной направленности. Однако, несмотря на многообразие языков мира, большинство интерфейсов по умолчанию проектируются на английском языке.

Это явление выходит за рамки простого исторического преимущества или привычки. Оно затрагивает фундаментальные аспекты восприятия, семиотики, эргономики и глобального взаимодействия. Для студентов, магистрантов и специалистов в области информационных технологий понимание лингвистических основ UI/UX становится неотъемлемой частью профессиональной компетенции.

Крупнейшие мировые IT-корпорации — такие как Apple, Microsoft, Google, Amazon и Meta (ранее Facebook) — играют ключевую роль в формировании языковых стандартов цифровой среды. Их программные продукты, операционные системы, сервисы и интерфейсы изначально разрабатываются на английском языке, поскольку именно он остаётся основным языком внутренней документации, команд, технической поддержки и разработки. Лишь после выпуска основной версии осуществляется локализация на другие языки, причём нередко с задержкой или с ограниченной функциональностью по сравнению с англоязычным оригиналом. Такой подход делает английский языком «по умолчанию» в глобальном IT-пространстве. Например, интерфейсы операционных систем Windows и macOS, поисковая выдача Google, инструменты разработчика в Amazon Web Services или настройки конфиденциальности Facebook — все они в первую очередь ориентированы на

англоязычного пользователя. Даже при наличии перевода пользователи по всему миру часто сталкиваются с тем, что новые функции или обновления сначала появляются на английском, а затем — спустя время — становятся доступны на других языках. Это закрепляет доминирование английского как основного языка взаимодействия с технологиями.

В мире open-source (открытого программного обеспечения) английский язык является неотъемлемой частью всей экосистемы. Большинство популярных репозиториев на GitHub, GitLab и других платформах — будь то библиотеки, фреймворки или инструменты — сопровождаются англоязычными README-файлами, инструкциями по установке, примерами кода и руководствами по использованию [1, с. 49]. Разработчики со всего мира ведут обсуждения, создают pull-запросы и оформляют «issues» именно на английском, чтобы обеспечить максимально широкое понимание и участие в проекте. Кроме того, при разработке программных интерфейсов (API) и библиотек английский язык используется для наименования функций, классов, переменных и комментариев в коде. Это обеспечивает универсальность, единообразие и совместимость между различными программными решениями. Поскольку open-source предполагает активное соавторство, поддержание английского как общего языка становится необходимым для масштабируемости и успешного распространения проектов за пределами локальных сообществ.

Помимо всего вышесказанного, английский язык обладает рядом структурных особенностей, которые делают его особенно удобным и эффективным в разработке пользовательских интерфейсов. Эти качества помогают создавать компактные, понятные и интуитивные элементы взаимодействия, снижая когнитивную нагрузку на пользователя. Английские слова, особенно глаголы действия, часто короткие и лаконичные. Команды вроде «Save», «Edit», «Delete», «Send», «Skip», как правило, состоят из одного-двух слогов, что позволяет размещать их в кнопках, заголовках и меню без перегрузки интерфейса. Для сравнения: русские эквиваленты — *«Сохранить»*, *«Редактировать»*, *«Удалить»* — значительно длиннее, что может вызывать проблемы с адаптацией дизайна, особенно на мобильных устройствах или в условиях ограниченного пространства. Помимо этого, английский обладает синтаксической простотой, позволяя строить короткие и прямолинейные фразы, избегая избыточной грамматической структуры. Например, типичное предупреждение «Are you sure you want to delete this file**?»** легко воспринимается благодаря прямому порядку слов и простым конструкциям. Перевод на русский — *«Вы уверены, что хотите удалить этот файл?»* — становится длиннее и более формальным. Простой синтаксис помогает быстрее обрабатывать информацию и принимать решения, особенно в ситуациях с ограниченным временем на реакцию (например, при подтверждении действий или сообщениях об ошибке). Многие английские термины стали частью глобального цифровой лексики, т.е английский язык обладает ещё и семантической универсальностью. Так, слова вроде «Login», «Logout», «Error», «Settings», «Update», «Cancel», «OK» узнаются пользователями по всему миру, даже если они не говорят по-английски. Эти термины часто не переводятся вообще — они используются как есть даже в локализованных интерфейсах, поскольку воспринимаются как технологические "интернационализмы". Это снижает языковой барьер и упрощает кросс-культурный UX-дизайн.

Стоит обязательно отметить, что применение английского языка в интерфейсах оказывает положительное влияние на восприятие информации и общее удобство работы пользователя с цифровыми продуктами. За счёт лингвистических особенностей английского снижается когнитивная нагрузка, что особенно важно в условиях быстрого взаимодействия и ограниченного внимания. Краткость английских команд и сообщений позволяет пользователю быстрее ориентироваться в интерфейсе. Например, кнопка «Send» (4 буквы, 1 слог) воспринимается мгновенно, в то время как её аналог на русском — *«Отправить»* (9 букв, 3 слога) — требует больше времени на чтение и понимание. Это особенно критично для мобильных интерфейсов, где экран маленький, а время на принятие решения ограничено — например, при ответе на уведомление или выборе действия в приложении. Короткие команды также минимизируют визуальный шум и уменьшают количество текста, который

необходимо прочитать, что снижает когнитивную нагрузку. Английский язык не только служит средством коммуникации в интерфейсах, но и оказывает непосредственное влияние на стандартизацию визуальных и функциональных элементов дизайна. Многие UI-паттерны, принятые сегодня как индустриальные стандарты, изначально формировались в англоязычной среде. Это касается не только словесных обозначений, но и самой логики взаимодействия пользователя с системой. Например, структура типичного веб-сайта — наличие вкладок «Home», «About», «Contact», кнопки «Sign up» или формы «Search» — стала шаблоном, который копируется в интерфейсах по всему миру. Пользователи интуитивно ожидают увидеть эти элементы в привычных местах: в верхнем меню, в шапке сайта или в правом верхнем углу. Такое единообразие способствует быстрому освоению новых сервисов и облегчает кросс-культурную коммуникацию. Кроме того, именно на английском языке создаются руководства по UX-стандартам, например, Human Interface Guidelines (Apple) и Material Design (Google). Эти документы задают универсальные принципы проектирования интерфейсов — от типографики до структуры меню — и влияют на глобальные тренды цифрового дизайна. В результате даже продукты, локализованные на десятки языков, сохраняют визуальную и функциональную преемственность, основанную на англоязычных моделях взаимодействия. Выходит, что английский язык стал не только инструментом передачи информации, но и культурным кодом, определяющим нормы визуального и поведенческого восприятия цифровых продуктов. Многие английские слова стали стандартами в пользовательских интерфейсах: «Login», «Home», «Profile», «Settings», «Search», «Submit», «Cancel», «Retry». Их повторяющееся использование в различных приложениях способствует формированию устойчивых паттернов поведения. Пользователи привыкают к этим терминам и интуитивно понимают их смысл даже без полного владения английским. Например, при переходе из одного приложения в другое пользователь без труда находит раздел «Settings», потому что он встречается везде — от Instagram до Google Chrome [2]. Это сокращает время обучения новым интерфейсам и снижает количество ошибок при использовании. Хотя английский язык широко используется в интерфейсах благодаря своей компактности, необходимость локализации остаётся актуальной — особенно для пользователей, не владеющих английским. Однако перевод и адаптация интерфейсов сопряжены с рядом сложностей, как технических, так и культурных [3, с. 302]. Ведь, английские фразы часто краткие и ёмкие, но при переводе на другие языки они могут значительно удлиняться. Например, фраза «Sign up» (6 символов) превращается в «Зарегистрироваться» (15 символов), а «Settings» — в «Настройки». Это может привести к выходу текста за пределы кнопок, нарушению сетки и дизайна, особенно в мобильных или ограниченных по пространству интерфейсах. В сложных случаях приходится менять шрифт, масштаб или даже перерабатывать структуру UI-элементов, что требует дополнительных ресурсов и времени. К данной проблеме, добавляется и ещё одна – культурные различия.

Некоторые английские термины или образы не имеют точного эквивалента в других языках или могут вызывать различную реакцию в зависимости от культурного контекста. Например, слово «Privacy» в западной культуре имеет конкретные ассоциации с персональными данными, в то время как в некоторых странах этот концепт менее проработан юридически и воспринимается иначе. Также, визуальные символы — вроде иконки конверта для электронной почты — могут быть непонятны пользователям, не привыкшим к таким метафорам. Поэтому локализация требует не только перевода, но и культурной адаптации, чтобы сохранить смысл и удобство использования интерфейса в разных странах. Чтобы английский язык действительно способствовал улучшению пользовательского опыта, его использование в интерфейсах должно быть осознанным и последовательным. Необходимо избегать технического жаргона, неочевидных сокращений и сложных конструкций. Предпочтительнее использовать слова вроде «Start» вместо «Initialize», или «Help» вместо «Assistance». Это упрощает восприятие и делает интерфейс доступнее не только для носителей английского, но и для пользователей с базовым знанием языка. Также, важно использовать одинаковые термины для обозначения одних и тех же

действий или объектов. Например, если вы используете слово «Profile» на главной панели, не следует заменять его на «Account» или «User Info» в других частях интерфейса. Это предотвращает путаницу и делает взаимодействие с продуктом более интуитивным. Даже самые простые фразы могут быть восприняты неоднозначно. Например, слово «Cancel» может быть истолковано как «выйти» или «удалить» в зависимости от контекста. Тестирование с носителями английского и потенциальными пользователями помогает выявить такие неоднозначности, улучшить формулировки и убедиться, что интерфейс воспринимается интуитивно. Уже на ранней стадии проектирования интерфейса стоит предусмотреть пространство для более длинных переводов и гибкость в отображении текста. Например, кнопки и поля не должны иметь фиксированную ширину, а вместо встроенного текста использовать внешние языковые файлы. Это существенно упростит последующую локализацию и предотвратит проблемы с адаптацией на другие языки [4, с. 244]. Следование этим рекомендациям помогает создавать универсальные и удобные интерфейсы, где английский язык работает как средство упрощения, а не барьер для пользователя. Несмотря на доминирование английского языка в цифровой среде, в последние годы наблюдается тенденция к развитию мультиязычных интерфейсов и повышению роли локализации. Современные пользователи ожидают, что интерфейс будет учитывать их родной язык, культурные особенности и нормы коммуникации. Это связано не только с ростом числа пользователей из стран Азии, Ближнего Востока и Латинской Америки, но и с осознанием того, что локализация способствует росту доверия и повышению лояльности аудитории. Технологические гиганты активно внедряют решения на основе искусственного интеллекта для автоматической адаптации интерфейсов под конкретного пользователя. Например, алгоритмы машинного перевода Google, DeepL и Microsoft позволяют оперативно переводить тексты интерфейсов и сообщений в реальном времени. В будущем это может привести к постепенному снижению зависимости от английского языка как единственного средства коммуникации в цифровой среде. Одновременно развивается концепция «гибридных интерфейсов», где английские термины сочетаются с локальными выражениями. Такой подход уже применяется в интерфейсах крупных онлайн-платформ, например YouTube, TikTok или Telegram, где некоторые ключевые элементы — «Like», «Chat», «Video» — сохраняются на английском, а остальные адаптируются под язык пользователя. Это обеспечивает баланс между глобальной узнаваемостью и локальным удобством. Важно отметить, что даже при расширении языкового разнообразия английский язык сохраняет статус «метаязыка технологий». Он остаётся основным инструментом общения специалистов, обмена знаниями и публикации технической документации. Однако роль английского постепенно смещается — от доминирующего языка интерфейса к языку международной технологической коммуникации, обеспечивающему совместимость между системами и специалистами. Вероятно, будет не столько монолингвальным, сколько мультиязычным и адаптивным. Английский язык останется ядром глобальной цифровой коммуникации, но в сочетании с интеллектуальными механизмами перевода и персонализации он станет частью более широкой экосистемы языков. Это позволит пользователям по всему миру взаимодействовать с технологиями на привычном им уровне, не теряя при этом доступности и функциональности.

Таким образом, английский язык, благодаря своим лингвистическим особенностям, играет ключевую роль в UX-дизайне, обеспечивая эффективность, ясность и универсальность пользовательских интерфейсов. Однако при разработке глобальных продуктов необходимо учитывать потребности и особенности различных языковых и культурных групп, обеспечивая доступность и удобство использования для всех пользователей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Коуп Д., Росс Дж.* UX-дизайн: руководство по проектированию великолепных интерфейсов**.** — М.: Эксмо, 2022. — 304 с.

2. *Норман Д. Дональд* Дизайн привычных вещей М.: Манн, Иванов и Фербер, 2020 - 384 с.

3. *Блинов Г.И., Новиков А.В.* Локализация программного обеспечения и практика // Информационные технологии и вычислительные системы. — 2021. — № 3. — С. 45–53.

4. *Грин Дж.* Why English is the Language of the Web // Harvard Business Review. — 2012. — URL: https://hbr.org/2012/11/why-english-is-the-language-of-the-web (дата обращения: 03.06.2025).

UNIVERSALITY OF ENGLISH IN USER INTERFACE

Ivanova V.D.

Supervisor: Gareeva R.Z., Associate Professor

(Leninogorsk branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI", Leninogorsk)

Abstract. In the context of global digitalization, English has taken a leading position in the field of designing user interfaces (UI) and user experience (UX). This article examines the reasons why English has become the de facto universal language of digital interfaces, and also explores its linguistic, functional and pragmatic features that contribute to this dominance. Particular attention is paid to the role of English in ensuring the cognitive accessibility of interfaces, reducing cognitive load and increasing the efficiency of communication between the system and the user.

УДК 621.28

3D PRINTING IN THE HANGAR: HOW ADDITIVE TECHNOLOGIES REDUCE AIRCRAFT DOWNTIME AND MAKE REPAIRS CHEAPER

Kalbakh M.A.

Supervisor: Aristova N.S., Associate Professor, Candidate of Philological Sciences,

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Additive technologies are being actively implemented in the aircraft industry, allowing the production of lightweight and optimized parts, such as duct components and interior elements of Boeing and Airbus aircraft. The production of on-demand spare parts using 3D printing solves the problem of the "last part", reducing aircraft downtime and reducing logistical costs. Despite the challenges associated with certification and the cost of materials, the advantages of technology provide a significant competitive advantage in the industry.

The aviation industry has always been a driver of technological progress, where the constant pursuit of increased efficiency, safety, and cost reduction is paramount. Historically, manufacturing and maintenance processes have been constrained by the limitations of traditional methods such as casting, machining, and complex supply chains. These methods often lead to long lead times, high material waste, and significant logistical challenges, especially when dealing with obsolete or rarely needed spare parts. It is within this context that additive manufacturing (AM) emerges not merely as a novel production method but as a transformative solution to some of the industry's most persistent problems. The ability to create complex, lightweight geometries on-demand and locally presents a paradigm shift. This article explores the implementation of additive technologies in aviation, focusing on its potential to revolutionize maintenance, repair, and operations (MRO) by solving the critical "last part" problem, thereby highlighting the timeliness and practical significance of this technological evolution.

Every Boeing passenger aircraft over 787 has about 30 3D printed parts. Together, the aircraft of the Boeing Commercial Airplanes fleet contain 25,000 printed parts. And military aircraft such as the F-15 contain about 40,000 of these elements. Most of the components are parts of the air ducts, as well as some engine components and interior elements of the cabin [1]. Additive

technologies are now attracting designers for a number of reasons. For example, this is an opportunity not only to reduce the weight of the product but also to optimize its shape, as well as save on material. Small spare parts, such as passenger seat parts and plugs, can be easily produced using bulk printing. For passenger aircraft, weight reduction reduces fuel consumption, which in turn reduces environmental damage [1]. Optimized versions of a part with a mesh and cellular structure, printed on a 3D printer, are much lighter than monolithic ones, but at the same time, they are not inferior in strength. It is also important to understand that every new design introduced into the aircraft industry goes through multi-stage tests and controls.

Volumetric printing has a number of advantages. This method allows you to reduce time costs. Printing on a 3D printer takes much less time than traditional production, especially if you need to make a part in a single copy. Also, the production of parts using additive technologies can reduce waste by more than 70%. The replacement of modern CNC equipment with an industrial 3D printer, the abandonment of manual welding, casting, and the use of milling, which is uneconomical in terms of raw material consumption, frees up a lot of time and material resources for better use. The printer operates in automatic mode and can be operated almost 24 hours a day, requiring a minimum number of maintenance personnel [2]. GE Aviation became the first company to use 3D printing technology in the aircraft industry. The leading supplier of jet and turboprop engines for military and business aviation invests more than $1 billion annually in the development of new technologies, and therefore the introduction of such a promising volumetric printing for GE Aviation can be considered logical [2]. The industrial 3D printer allowed the company's engineers to use a combination of alloys to manufacture one part, which significantly improved its physical and technical characteristics. It was impossible to achieve this with the casting used earlier.

Regarding the problems that the introduction of additive technologies in the aviation industry helps to solve, it is worth considering the most important one, namely the problem of the “last detail”. In the aviation industry, especially in the field of maintenance, repair, and operation (MRO), there is a critical problem known as the "last detail problem".

An aircraft can be decommissioned for several weeks due to the failure of one small but irreplaceable part that is no longer in production or unavailable in stock. Traditionally, solving this problem required a long search from third-party suppliers, custom-made parts, or storing huge inventories, which is associated with high costs and logistical difficulties.

Additive technologies offer a revolutionary solution to this problem through the production of on-demand spare parts. This approach involves digitizing outdated or rare parts, creating their digital counterparts and printing them directly at the place of consumption, for example, in hangars, airports, or repair centers. What will be the technological process of manufacturing a replacement part? The on-demand spare parts manufacturing process is a multi-stage technological cycle that begins with the digitization of a physical object. High-precision 3D scanning is used to create an accurate digital model of an existing part, especially in the absence of original design documentation. This stage is critically important for the restoration of discontinued components. The data obtained then goes through a stage of reconstruction and adaptation, during which engineers not only restore the geometry but also often optimize it using reverse engineering methods. For example, in 2022, specialized companies performed reverse engineering of more than 300 types of aircraft parts, which made it possible to create their digital counterparts for subsequent additive manufacturing.

Additive technologies offer a transformative solution to this problem by enabling the on-demand production of spare parts. The core idea is to digitize components that are outdated, damaged, or otherwise scarce, and to fabricate precise physical replicas directly at the point of use, such as in aircraft hangars, maintenance depots, airports, or repair facilities. This paradigm shift hinges on a tightly integrated digital-to-physical workflow that bypasses traditional inventory and lead-time constraints while maintaining functional reliability. The overarching question—what is the technological process by which a replacement part is manufactured on demand—therefore invites a detailed examination of a multi-stage cycle that begins with digital capture and culminates in a finished, qualified part ready for service.

The initial phase is digital acquisition, in which high-resolution data of the target part are generated to yield an accurate digital representation. 3D scanning, including structured light, laser, and computed tomography (CT) methods, is deployed to capture geometry with micron-level precision, surface texture, and, when necessary, internal features. This stage is particularly crucial when original design documentation is missing, incomplete, or destroyed, as it provides the empirical basis for faithful restoration. The resulting digital model serves not only for replication but also as a repository for archival purposes and life-cycle management.

Following digitization, the data enter a reconstruction and adaptation stage. Engineers perform reverse engineering to recover or reconstitute the nominal geometry, tolerances, and functional interfaces, and they may introduce design enhancements to improve performance, manufacturability, or maintenance. This step often includes feature recognition, tolerance analysis, and the creation of robust CAD models aligned with applicable standards. In many cases, optimization algorithms—such as topology optimization, lattice structure design, and material distribution studies—are applied to reduce weight, enhance strength, or improve resilience under operational loads, all while preserving compatibility with existing interfaces and system requirements.

A subsequent stage concerns process planning and material selection. Engineers decide on suitable additive manufacturing technologies (e.g., powder bed fusion, directed energy deposition, or vat polymerization) and select materials that meet the mechanical, thermal, and environmental specifications of the part. They also define build orientation, support strategies, printing parameters, and post-processing workflows to ensure dimensional accuracy and surface quality. In parallel, digital twins and simulation models may be used to predict performance prior to fabrication and to establish acceptance criteria.

Manufacture and post-processing follow, whereby the part is fabricated layer by layer, inspected for dimensional conformance, and subjected to finishing operations such as heat treatment, surface finishing, and non-destructive testing. Quality assurance is an integral component throughout, incorporating metrology, non-destructive evaluation, traceability of material lot data, and documentation to satisfy regulatory and airline-industry standards. The final product is validated against functional requirements, compatibility with mating components, and environmental durability, with progeny documentation archived for future provenance, maintenance planning, and regulatory audits. Overall, this end-to-end, digitally driven workflow enables rapid repair, improves lifecycle management, and supports resilient operations in technical domains where traditional supply chains are exposed to disruption.

The key step is the choice of printing technology and material, which is determined by the functional purpose of the part, loads, and operating conditions. For non-metallic interior elements such as shelves, luggage compartment lids, and decorative plugs, FDM printing is the dominant technology [3]. It uses engineering thermoplastics such as ULTEM 9085, which combines high strength with fire resistance and low smoke emission, which is strictly necessary for aircraft cabin materials. In contrast, critical metal components, such as brackets, control system elements, and power plant parts, are manufactured using direct laser metal sintering (DMLS) or electron beam melting (EBM) plants. These technologies work with titanium alloys (for example, Ti-6Al-4V), aluminum alloys (AlSi10Mg), and heat-resistant nickel superalloys (Inconel 718), which makes it possible to obtain parts with characteristics that are not inferior to products made using traditional methods. The final and mandatory technological stage is certification and quality control. Every printed part that claims to be installed on an aircraft undergoes a rigorous test cycle to confirm compliance with FAA (US Federal Aviation Administration) or EASA (European Aviation Safety Agency) airworthiness standards. This process includes mechanical tests for static and fatigue strength, non-destructive testing (X-ray tomography to detect internal defects and porosity), and full process validation to ensure a stable and repeatable result. Without this stage, the legal use of additively manufactured components in aviation is impossible.

Of course, no modern, innovative production method is complete without certain difficulties at the stages of development and implementation. And despite their significant advantages, additive

technologies in the aircraft industry face a number of technical and economic limitations that may make their widespread use difficult [4]. The key challenge remains the certification and quality assurance process, as every part for mission-critical applications must undergo a rigorous validation cycle in accordance with aviation standards such as 14 CFR Part 25 in the United States. The main difficulty lies in combating internal structural defects: heterogeneity of the material, porosity, and anisotropy of mechanical properties, which directly depend on the direction of the layers and can significantly affect the fatigue strength and durability of the components.

A significant limitation is the high cost of qualified materials, especially metal powders for 3D printing, which must meet strict standards in chemical composition, purity, and granulometry, which makes them significantly more expensive than traditional aviation materials [4]. An additional obstacle is the conservatism of the industry itself and the shortage of qualified personnel capable of working at the junction of additive technologies, materials science, and aviation requirements, which requires the creation of new educational programs and changes in approaches to design and production. These factors combine to slow down the scaling of the technology, but ongoing research in quality control, new materials development, and process automation is gradually easing these limitations, paving the way for broader 3D printing applications in critical aviation applications.

Talking about successful examples of the introduction of additive technologies, it is worth mentioning the Latvian company AM Craft, which specializes in small-scale printing of components for aircraft interiors. Using ULTEM 9085 and Antero 800NA materials, they have already produced more than 28,000 parts, including seatback amplifiers, service panels, and equipment shelves. For example, for Finnair, they printed 300 on-board maintenance panels for the Airbus A320. Another striking example of the consolidation of parts is the ArianeGroup project: the injection head for the Ariane 6 launch vehicle, which traditionally consisted of 248 components, was printed as a single part, which reduced production time from three months to 35 hours and reduced costs by 50%.

To summarize, I would like to note that the production of spare parts "on demand" using 3D printing is fundamentally changing the MRO paradigm in aviation. It transforms it from a costly and slow logistics operation into a fast, digital and cost-effective service. Although the challenges related to certification and quality remain, the benefits — reduced downtime, cost savings, and increased flexibility — are too significant to ignore. In the future, we will see the development of distributed networks of certified printing centers around the world, which will allow us to provide MRO services in almost real-time. The development of artificial intelligence to optimize printing parameters and new materials will continue to expand the boundaries of this technology. The companies that implement these solutions first will gain a significant competitive advantage in the fight for the efficiency and reliability of their air fleets.

REFERENCES:

1. *Мальфитано Б.* 3D-печать в авиастроении: рассказ инженера Boeing. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://additiv-tech.ru/publications/3d-pechat-v-aviastroenii-rasskaz-inzhenera-boeing.html (дата обращения: 27.08.2025).

2. Применение 3D-печати в авиастроении. – Текст: электронный. – 2018. – URL: https://cvetmir3d.ru/blog/primenenie/primenenie_3d_pechati_v_aviastroenii/ (дата обращения: 28.08.2025).

3. 3D-печать в аэрокосмической отрасли. – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://lider-3d.ru/blog/stati/3d-pechat-v-aerokosmicheskoy-otrasli/ (дата обращения: 30.08.2025).

4. Возможности и ограничения аддитивных технологий в авиастроении. – Текст: электронный. – 2023. – URL: https://na-journal.ru/4-2024-tehnologii-proizvodstva/11227-vozmozhnosti-i-ogranicheniya-additivnyh-tekhnologii-v-aviastroenii (дата обращения: 30.08.2025).

3D-ПЕЧАТЬ В АНГАРЕ: КАК АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СНИЖАЮТ ВРЕМЯ ПРОСТОЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ И УДЕШЕВЛЯЮТ РЕМОНТ

Кальбах М.А.
Научный руководитель: Аристова Н.С., доцент, к. филол. н.,
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Аннотация. Аддитивные технологии активно внедряются в авиационной промышленности, позволяя производить легкие и оптимизированные компоненты, такие как воздуховоды и элементы внутренней обшивки самолетов Boeing и Airbus. Производство запчастей по требованию с использованием 3D-печати решает проблему «последней детали», сокращая время простоя воздушных судов и снижая логистические расходы. Несмотря на сложности, связанные с сертификацией и стоимостью материалов, преимущества данной технологии обеспечивают значительное конкурентное преимущество в отрасли.

УДК 659’1

THE INFLUENCE OF SOCIAL MEDIA ALGORITHMS ON THE RECOMMENDATION FEED: FORMATION, CONSEQUENCES AND PROSPECTS

Lysko E.A., Shakirov E.F.
Supervisor: Urmanova L.E., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article investigates the impact of social media algorithms on the formation of recommendation feeds, analyzing their operational mechanisms, developer objectives, and consequences for users and society as a whole. The research focuses on analyzing the phenomena of information filtering, the formation of “information bubbles,” opinion polarization, and the manipulation of user behavior.

Social networks use the ways in which people interact with information, providing a platform for communication, dissemination of news, and exchange of content (information). The central element of the user experience in these networks is the recommendation feed, a personalized stream of content selected and ranked by complex algorithms (sequences) that analyze huge amounts of data about users, including their demographics, interests, social connections, interaction history, and even emotional reactions. The goal is to predict what information will be most relevant, interesting, and engaging for each individual user. This entire process is supported by computer technology. Computer technology is the technology responsible for storing, transmitting, processing, protecting, and reproducing information using a computer [1].

It is important to understand that the effectiveness of these algorithms directly depends on the quality and completeness of the data they are trained on. If the data contains biases or distortions, the algorithms will reproduce and amplify them, which can lead to discrimination and unfair distribution of information. Moreover, the algorithms themselves are often a "black box", that is, their operating logic is opaque and difficult to understand even for the developers themselves, which makes it difficult to identify and correct errors and biases. In the context of exponential growth of information in the digital environment, the role of algorithms is becoming increasingly important and requires close attention from researchers, regulators and society as a whole. It is important not only to understand how these algorithms work, but also to assess their impact on various aspects of people's lives, from the formation of public opinion to the adoption of important political and economic decisions.

However, the growing influence of sequences on the recommendation feed raises more and more questions and concerns. On the one hand, algorithms can significantly improve the user experience by providing access to relevant information and helping to find new interests. On the

other hand, they can lead to undesirable consequences, such as limiting access to diverse information, increasing bias, polarizing opinions, and manipulating user behavior. Considering the potential for manipulating user behavior, it is worth noting that algorithms do not simply predict interests, they actively shape them. Due to the constant reinforcement of certain content and the exclusion of alternative points of view, a gradual shift in the user's attention and value orientations occurs. This process can be especially dangerous for young people, whose views have not yet been fully formed and who are more susceptible to external influence.

Research into social network algorithms is critical in the modern information field due to their ubiquity, potential influence on users, and it is necessary to prevent disinformation and manipulation by fraudsters. Analysis of messages and posts can help assess changes in the moods of many users and find application in political and social research, including consumer preference research [2].

The purpose of this article is to comprehensively analyze the impact of social media algorithms on the recommendation feed.

Telegram aims to recommend users channels that match their interests. If your content falls into a thematic niche, you will have a better chance of getting into recommendations. If the channel quickly gains subscribers, the algorithms perceive this as a signal that the content is in demand. VKontakte algorithms play an important role in forming the recommendation feed. They analyze the user's interaction with the content, including what he reads, likes, comments, reposts, in order to offer him the most interesting publications and groups, take into account user preferences related to interests, content topics and other factors in order to form a personalized recommendation feed. TikTok algorithms are aimed at encouraging users to stay on the platform longer and return there more often. In general, the goals are not original, any social network is designed in such a way as to get as much of our attention as possible. TikTok evaluates how interesting a video will be to the user based on four indicators: likes, comments, whether the video was played, and viewing time. These indicators are summed up, and each video is assigned a rating. Users see TikToks with the highest scores in the recommendations feed. Rutube algorithms track what topics the user is interested in, what videos they watch, how long they keep their attention on a video, what moments they rewatch, analyze which videos the user likes, comments, shares, and which videos they do not find interesting. Based on the collected data, the algorithms form personalized recommendations, predicting what content will be most interesting to the user.

Recommendation feed algorithms use complex mathematical models and machine learning methods to personalize content. They collect huge amounts of data about users, including demographic information, interests, social connections, viewing history, likes, comments, reposts, and even the time spent viewing certain information. Based on the collected data, algorithms predict the likelihood that a specific user will be interested in certain content. Various machine learning methods are used for this, such as collaborative filtering, content-based filtering, and hybrid approaches. Algorithms rank the content of the recommendation feed according to the user’s predicted interest, showing first the material that they think will be most attractive and engaging. The system constantly monitors users’ reactions to the content and uses this information to improve its predictions and adapt the recommendation feed to the user’s changing interests.

The main goal of most algorithms is to increase the time users spend on the social network and encourage them to actively interact with the content. They are used to optimize the display of ads by choosing the advertising information that the system believes will be most effective for each specific user. In some cases, algorithms are used to promote a certain type of information, such as news, educational materials, or a process that supports certain social goals. Some algorithms are aimed at identifying and limiting the spread of false news, disinformation, and harmful content. In this context, the use of Artificial Intelligence (AI) to identify and combat cyber propaganda and disinformation represents a promising direction [3].

The desire to increase user engagement can lead algorithms to favor sensational or emotionally charged content that is not always reliable or useful. This creates a dilemma between optimizing the user experience and ensuring access to quality information.

Strategies used by algorithm developers include:

creating a unique user experience by tailoring the recommendation feed to each user's individual interests and needs, using various techniques to encourage users to actively engage with the content (e.g., clickbait, emotionally charged content), and constantly testing and improving algorithms to achieve maximum user engagement and increase advertising revenue.

One of the most serious consequences of algorithmic influence on the recommendation feed is content filtering and the formation of "information bubbles" and echo chambers. Algorithms, in an effort to provide users with content that matches their existing views and beliefs, often restrict access to information that contradicts their point of view. As a result, users end up in "information bubbles" where they are surrounded only by information that confirms their own views, which increases bias, reduces critical thinking, and makes it difficult to understand alternative viewpoints. This problem is compounded by the fact that algorithms may not take into account the context and intent of the user, such as their desire to consume information from different sources or to be exposed to different viewpoints. Moreover, algorithms can be manipulated by malicious actors who use various methods, such as creating fake accounts or spreading misinformation, to change users' recommendations and influence their opinions. Echo chambers amplify this effect by creating communities of people who share the same views and beliefs, where any deviation from the "conventional" point of view is viewed with hostility. In such communities, misinformation, fake news, and conspiracy theories spread, which are difficult to debunk due to the lack of critical thinking and unwillingness to accept alternative viewpoints. The effect is compounded by the fact that algorithms often do not take into account context and are unable to distinguish satire or humor from real disinformation, which can lead to unjustified content blocks or restrictions. Social media algorithms can have a significant impact on user behavior, incentivizing them to take certain actions (likes, comments, reposts, purchases) and shaping their preferences. They can also increase the polarization of opinions by showing users content that supports their existing views and excluding content that may contradict them. This leads to the formation of separate groups with opposing views that do not interact with each other and are unable to reach a compromise.

Algorithms can facilitate the spread of misinformation and fake news, especially if they rely on emotionally charged content that attracts attention and encourages sharing. This can have serious consequences for society by undermining trust in information, distorting public opinion, and leading to poor decision-making. Furthermore, the economic model underpinning most social media platforms, which is heavily reliant on advertising revenue, creates an inherent conflict of interest. Algorithms are ultimately optimized for engagement and retention, as these metrics directly translate into financial profit. This commercial imperative often takes precedence over societal well-being or information integrity. Consequently, content that is controversial, misleading, or emotionally provocative may be systematically promoted because it generates more clicks, comments, and watch time, regardless of its veracity or potential harm. This economic driver reinforces many of the negative phenomena discussed, making it a central challenge in any effort to reform algorithmic recommendation systems. One important aspect that requires further study is the impact of algorithms on users' political orientation. Research shows that algorithms can contribute to the radicalization of views, pushing users towards more extreme positions. This is because emotionally charged content tends to be more attention-grabbing and spread faster, and engagement-optimized algorithms often favor it. Another critical consideration is the psychological impact of algorithmically curated feeds on user well-being. By prioritizing content that maximizes engagement, algorithms often create a feedback loop that exploits human psychological vulnerabilities. Infinite scrolling, variable rewards (the "slot machine" effect of not knowing what the next post will be), and the constant stream of socially curated highlights can lead to problematic usage patterns, including addiction, anxiety, and the "fear of missing out" (FOMO). This design, while effective for keeping users on the platform, can negatively impact mental health, particularly among younger demographics, by promoting social comparison and disrupting attention spans. Addressing these psychological effects requires a human-centered approach to algorithm design that prioritizes user well-being alongside engagement metrics.

To address the impact of social media algorithms on recommendation feeds, social media companies should be required to be more transparent about how their algorithms work, so that users can understand how their recommendation feeds are shaped. This will allow them to make informed choices about what content they want to see and avoid being influenced by "information bubbles." However, transparency alone is not enough. Regulatory mechanisms should be developed to limit the negative impact of algorithms on freedom of information and democratic processes. This could include developing codes of ethics for algorithm developers, establishing independent oversight bodies, and developing legislation regulating the use of algorithms on social media. Mechanisms should be developed to hold social media companies accountable for the consequences of algorithmic influence, such as filtering of information, polarization, and the spread of disinformation. Alternative algorithmic approaches should be developed that are more focused on ensuring diversity of information, critical thinking, and dialogue between different points of view. This could include the use of algorithms that intentionally show users content that contradicts their existing views or that encourage interaction between people with different points of view. Media literacy should be improved among users so that they can critically evaluate the information they receive from social media, recognize misinformation, and avoid being influenced by disinformation. Legislative regulation of social media algorithms should be considered to ensure transparency, accountability, and diversity of content. Importantly, any regulation of algorithms should be balanced and take into account freedom of expression and innovation. Too many restrictions can stifle creativity and drive users to platforms without such restrictions, making it harder to combat misinformation.

Looking forward, a promising avenue for mitigating algorithmic bias is the development and implementation of "algorithmic auditing." This involves independent, external examination of social media algorithms to assess their impact on content diversity, potential for discrimination, and adherence to stated ethical guidelines. Such audits could be conducted by academic researchers, non-profit organizations, or regulated third-party bodies. The findings would provide much-needed transparency and data to hold platforms accountable. Coupled with "user-centric design" principles, where users are given more granular control over their feeds—such as sliders to adjust for diversity versus relevance, or options to temporarily disable personalization—algorithmic auditing can empower users and foster a healthier information ecosystem.

Social media algorithms play a key role in shaping the recommendation feed and have a significant impact on user experience and behavior. While they can improve access to relevant information, they can also lead to content filtering, the formation of "information bubbles", polarization of opinions and the spread of misinformation. To minimize the negative consequences, it is necessary to further study the impact of algorithms and develop effective regulatory strategies aimed at increasing transparency, accountability and diversity of content. Improving users' media literacy also plays an important role in ensuring critical thinking and informed choice of information.

REFERENCES:

1. *Mindarova A.I.* Computer technologies in learning English after the 2020 pandemic / A.I. Mindarova, L.E. Urmanova // Linguistics and professional communication: Collection of scientific papers based on the materials of the II All-Russian scientific and practical student conference with international participation, Yaroslavl, May 18, 2022. – Yaroslavl: Yaroslavl State Technical University, 2022. – P. 49-52. – EDN LVVQMZ.

2. *Moshkin V.S.* Comparison of the efficiency of using sentiment analysis algorithms for unstructured social network resources / V.S. Moshkin, I.A. Andreev // System analysis and information technologies SAIT-2019: Proceedings of the Eighth international conference, Irkutsk, July 08–14, 2019. – Irkutsk: Federal Research Center "Informatics and Control" of the Russian Academy of Sciences, 2019. – P. 534-540. – DOI 10.14357/SAIT2019072. – EDN VCFEEK.

3. *Kirgizbaev S.P.* Application of artificial intelligence to combat cyber propaganda and disinformation / S.P. Kirgizbaev, V.P. Kirgizbaev // Young scientist: collection of articles from the

VI International scientific and practical conference, Penza, April 23, 2024. - Penza: Science and Education (IP Gulyaev G.Yu.), 2024. - P. 41-43. - EDN EQUCPH.

ВЛИЯНИЕ АЛГОРИТМОВ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ НА ЛЕНТУ РЕКОМЕНДАЦИЙ: ФОРМИРОВАНИЕ, ПОСЛЕДСТВИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Лыско Е.А., Шакиров Э.Ф.
Научный руководитель: Урманова Л. Э., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Данная статья исследует влияние алгоритмов социальных сетей на формирование ленты рекомендаций, анализируя их механизмы работы, цели разработчиков и последствия для пользователей и общества в целом. Исследование фокусируется на анализе феномена фильтрации информации, формирования «информационных пузырей», поляризации мнений и манипулирования пользовательским поведением.

УДК 81

EVOLUTION OF TRANSLATION METHODS FROM ENGLISH INTO RUSSIAN: HISTORICAL REVIEW AND MODERN TRENDS

Mardeeva A.R., Akhmetzyanova D.I.
Supervisor: Urmanova L.E., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the evolution of translation methods from English into Russian in historical and modern perspectives. The analysis covers the key stages in the development of translation practice in Russia from the 19th century to the present day, including the influence of ideological factors, the formation of theoretical schools, as well as changes in the post-Soviet period. Particular attention is paid to modern technologies – machine and neural translation, their capabilities and limitations. The important role of a human translator as a cultural mediator and editor of machine translation is noted.

Translation from English into Russian has always played an important role in the development of Russian culture and science, providing access to global achievements in literature and knowledge. Since the end of the 19th century, translation has become an integral part of the exchange of ideas between the West and Russia, and in the 21st century, it has become a tool for globalization. The purpose of this article is to trace the historical stages of translation practice in the 19th–20th centuries, describe the main theoretical approaches, analyze changes in the post-Soviet period, and consider modern methods, their problems, and challenges.

Historical overview (19th–20th centuries)

In the 19th century, translation of English texts in Russia often had a literary and ideological nature. As early as the 1840s, translation became part of the socio-political discussion: many Russian translators and poets saw it as a way to influence the reader and spread liberal or revolutionary ideas. Thus, according to Yu. Levin, since the mid-19th century, literary translation in Russia has been “increasingly involved in the democratic revolutionary movement” – for example, the poet M. M. Mikhailov eventually made translation “a weapon of revolutionary struggle”. In those years, translators paid much attention to foreign poetry and journalism, although some works (“not in the spirit” of Russian literature) remained untranslated.

After the 1917 revolution in the USSR, a large-scale state translation project emerged – the “World Literature” series. On the initiative of M. Gorky and with the approval of Lenin, a special publishing program was created in 1918 aimed at translating “the best books of the new century.” As a result, modern English-language authors appeared in translation – American, English,

Australian, etc., and leading Russian writers and scientists (N. S. Gumilev, K. D. Balmont, etc.) worked on translations. At the same time, research on the theory of translation developed: Nikolai Gumilev published articles on the poetry of translation, and K. Chukovsky published the famous book "High Art" in 1964 – the first serious work on the theory of artistic translation in Russian. In general, the Soviet period was characterized by a combination of support for translation activities (state series, prizes) and ideological control (censorship, selection of texts according to "socialist" criteria) [1].

Main schools and approaches to translation

In Russian literature of the 20th century, several concepts describing types of translation were formed. One of the key ones is the idea of equivalence: the translation should convey the "closest natural equivalent" of the meaning of the source text. Yu. Naida, studying the translation of the Bible, emphasized that the translator's goal is to convey the meaning and style of the original in the target language "as if the text were written in the original language". Similarly, V. N. Komissarov noted that "absolute identity between the original text and the translation is unattainable", therefore the translator's task is to achieve the greatest possible closeness in conveying the content and functions of the text.

Soviet researchers identified three traditional types of translation. V. Barkhudarov (1975) defined "equivalent" translation as a process that "is carried out at a level necessary and sufficient to convey an unchangeable plan of content" while observing the grammar and style of the Russian language. According to Barkhudarov, a "literal" translation is performed at a lower level and is considered a translator's mistake. A "free" translation allows for more liberties (omissions, rearrangements) and also strives to convey the content, but its author notes that the meaning of the original is conveyed "not quite accurately" with this approach. Thus, literature distinguishes between a literal translation, focused on the form of the original, and a semantic or adaptation ("free") translation, focused on conveying the meaning and adequacy of the text in Russian. These approaches are supplemented by other principles: for example, A. Komissarov emphasized the communicative function of translation and the need to take into account the target audience [2].

Translation in the Post-Soviet Period

With the collapse of the USSR in 1991, the boundaries of translation activities expanded dramatically. New publishing houses and organizations of translators appeared, for example, the Union of Translators of Russia (founded in 1996), which became a professional platform for exchanging experience. Tatyana Ionova (Chairman of the Union of Translators of Russia) notes that digital technologies make work easier, but do not relieve responsibility: "Machines make translators' work easier, but do not relieve them of responsibility for the result… I do not believe that artificial intelligence will replace human translators in the future." The scientific discipline of "translation studies" has developed in universities, and the number of conferences and specialized courses has increased. In translation theory, more attention has been paid to pragmatic aspects, intercultural communication, and translation skills in a market environment. For example, translators increasingly use multimedia tools (CAT systems) and take into account the genre specifics of texts [3].

Modern Translation Technologies and Methods

In the 21st century, automatic translation systems are rapidly developing. At first, in the 1980s–2000s, statistical and approximate systems (SMT) were widespread; in the 2010s, neural networks (Neural Machine Translation, NMT) came to the fore. Neural network models (Google Translate, Yandex.Translate, DeepL, etc.) analyze huge corpora of bilingual texts and demonstrate impressive results in simple and general texts. However, their "understanding" of the text is fundamentally different from human: algorithms operate with statistical patterns and vector representations, but lack "live experience of the real world" and cultural knowledge. A striking example of the problem of machine translation is the transfer of metaphors and cultural realities: the image of the "real Plyushkin" is understandable to a Russian-speaking reader, but a literal translation will be meaningless for a foreigner. A human translator will select a cultural analogue, while the neural networks that exist today are not yet capable of performing such deep adaptation

[4]. In modern machine translation practice, there are still difficulties: adequate translation of idioms, set phraseological units, irony, as well as problems of specialized vocabulary (medicine, law, etc.).

Another problem is quality control – automatic translation often requires human post-editing. However, the integration of AI technologies has led to a new role for the translator as an "editor" and "cultural mediator": the translator selects the most appropriate options from the machine translation, adapts the style and checks the accuracy. It is known that modern systems can quickly translate large volumes of text, but a professional is still needed to ensure the adequacy and stylistic accuracy of the translation.

Outstanding Translators: Contribution to Culture

Outstanding personalities have performed the work of a translator in different eras. Thus, in the 19th-20th centuries, Boris Pasternak (translated the poems of Shakespeare, Byron, etc.); Samuil Marshak (Shakespeare, Shelley, Whitman, etc.), Mikhail Lozinsky (poetic translations of Shakespeare) and others are widely known. During the Soviet period, novels and scientific works were translated (for example, translations of novels by O. Henry, R. Kipling and others by Russian writer-translators). In the post-Soviet era, specialists working on artistic and technical translations remain well-known, but they are more often recognized as scientists (e.g., V. Komissarov) or holders of diplomas than as widely known cultural figures.

The Role of a Translator in the Context of Digital Transformation

With the rapid development of digital technologies, the profession of a translator is undergoing qualitative changes. Digital transformation has affected both the organization of translation work and its content. Today, a translator must not only speak two or more languages, but also be competent in using specialized software, understand the basics of linguistic analysis, and be able to adapt texts for different audiences and media formats.

One of the key areas has become the use of CAT systems (computer-assisted translation), such as SDL Trados, MemoQ, Memsource and others. These tools provide work with translation memory (Translation Memory), allow you to maintain terminological unity and speed up the execution of repetitive tasks. At the same time, the translator maintains control over the final result: he edits sentences, chooses the most appropriate style and corrects inaccuracies. Thus, the role of a translator is evolving towards an editor and content specialist who has both linguistic and technical skills.

In addition, the importance of highly specialized translation is growing in the market: medical, legal, scientific, technical. To work successfully in these areas, a translator must know specific terminology and design standards, as well as the ability to quickly adapt to changing professional realities. In this context, continuous professional development, participation in seminars, advanced training courses and professional communities becomes especially important.

Despite the widespread opinion about the possible complete automation of translation, modern research and practical experience show that no technology can fully replace a person. Translation remains a cognitive, creative activity that requires interpretation, evaluation and decision-making based on the complex interaction of language and culture.

In this context, the concept of a "digital humanist" is increasingly discussed - a specialist who combines linguistic training with technical skills. For a translator of the 21st century, this means not just the ability to use technology, but also an understanding of its capabilities and limitations. Thus, translation becomes an interdisciplinary profession, at the intersection of philology, information technology and intercultural communication. Consequently, the practice of translation from English into Russian has undergone a complex and eventful path of evolution – from the first literal interlinear translations and ideologically motivated transcriptions of the 19th century to modern hybrid models that combine machine processing and human editing. Each historical stage reflected the needs of society, cultural landmarks and the level of development of linguistic thought. In the Russian translation tradition, various approaches have coexisted stably – from literal to free, from equivalent to adaptation. Particular attention was paid not only to lexical and grammatical accuracy, but also to preserving the author's style, the pragmatic focus of the text

and its cultural significance.

The post-Soviet period was marked by the growth of professional autonomy for translators, expanded access to original English-language sources, and the introduction of new technologies. Computerization, the Internet, and the development of automatic translation systems, including neural network models, had a significant impact on the profession. Despite the qualitative leap in the technical capabilities of translation, the issue of quality, interpretation, and semantic accuracy, which only humans can guarantee, comes to the forefront.

Translation in the 21st century is increasingly becoming interdisciplinary. A modern specialist must be familiar not only with translation theory, but also with the specifics of texts, the culture of the recipient, and be proficient in digital tools. In this context, a translator becomes not just a performer, but also a mediator between cultures, an editor, a localization specialist, and even a content producer. The future of the profession, apparently, lies not in the displacement of humans by machines, but in cooperation and the competent integration of technologies into the creative process. Thus, the development of translation practice is not a linear movement from "manual" work to automation, but a constant search for a balance between accuracy and expressiveness, between algorithm and intuition, between global trends and cultural specificity. A good translation today, as a hundred years ago, requires not only knowledge of the language, but also a deep understanding of the context, the subtleties of meaning and culture. This makes the profession of a translator indispensable in the context of globalization, intercultural dialogue and information diversity.

REFERENCES:

1. *Sidorova O.* Lost, found, and omitted: Remarks on Russian translations of West European literature //World Literature Studies. – 2021. – T. 13. – №. 3. – C. 93-103.

2. *Napierala O.* Comparative analysis of the views of Russian and Western linguists on equivalence.

3. *Ivanova O., Menshikov Yu.* The Union of Translators of Russia is 30 years old / Ivanova O., Menshikov Yu. [Electronic resource] // International Affairs: [website]. — URL: https://interaffairs.ru/news/show/29774 (accessed: 22.06.2025).

4. The history of machine translation: from Descartes to neural networks / [Electronic resource] // SecurityLab: [website]. — URL: https://www.securitylab.ru/blog/personal/Technolady/355284.php (accessed: 22.06.2025).

ЭВОЛЮЦИЯ СПОСОБОВ ПЕРЕВОДА С АНГЛИЙСКОГО НА РУССКИЙ: ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ

Мардеева А. Р., Ахметзянова Д.И.

Научный руководитель: Урманова Л. Э, старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается эволюция методов перевода с английского на русский язык в исторической и современной перспективе. Анализ охватывает ключевые этапы развития переводческой практики в России с XIX века до наших дней, включая влияние идеологических факторов, формирование теоретических школ, а также изменения в постсоветский период. Особое внимание уделено современным технологиям – машинному и нейронному переводу, их возможностям и ограничениям. Отмечается сохранение важной роли человеческого переводчика как культурного медиатора и редактора машинного перевода.

УДК 629.7.01

SONIC BOOM: FROM OVERLAND BAN TO COMMERCIAL SUCCESS

Moiseeva S.M.
Supervisor: Aristova N.S., Associate Professor, Candidate of Philological Sciences,
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article is devoted to the revival of interest in supersonic passenger flights, which rely on modern breakthrough technologies. It examines the evolution of noise measurement methods, paying special attention to the complex effects of sonic boom, which go beyond passenger discomfort and cause significant economic damage to agriculture. In conclusion, it is noted that modern projects such as the X-59 and Boom Overture offer a comprehensive solution to these problems through innovative aerodynamics that mitigate sonic boom which creates the prerequisites for a commercially successful return of supersonic airliners.

Supersonic passenger planes, once the pinnacle of technological advancement, are making a strong comeback in the aviation industry. In the mid-20th century, legendary projects such as the Concorde and the Tu-144 demonstrated that breaking the sound barrier in commercial aviation was possible, but their commercial viability faced a number of challenges: high costs, noise, and limited profitability. Today, thanks to advancements in materials science, aerodynamics, and engine design, supersonic flights are experiencing a renaissance. Modern supersonic airliners represent a technological breakthrough that could reduce intercontinental flight times by two to three times. Their development is driving progress in aircraft manufacturing, the production of environmentally friendly fuels, and new materials. These projects are particularly significant for large countries, such as Russia. As business activity grows, the demand for high-speed business-class flights is increasing. Modern technologies are enabling us to overcome the key limitations of the past—noise and high costs. However, to implement these innovations, regulatory issues must be addressed, and operational costs need to be further reduced.

Methods of measuring noise in the cabin present certain interest from the viewpoint of comparing earlier approaches and those in use now. At the time of the creation and operation of the first supersonic passenger aircraft, such as the Tu-144 and Concorde, cabin noise measurement methods were relatively primitive. For example, analog noise meters were used, which, in turn, worked on the principle of measuring the sound pressure level in the cabin. (Microphones were placed at the main points of the cabin: next to the passenger seats, in the cockpit). Spectrometers were also used to analyze the frequency characteristics of noise. They made it possible to capture the spectrum of noise from low to high frequencies. The spectrometers were used to identify noise sources such as the turbulent boundary layer, structural vibrations, and engine noise. Unfortunately, such noise measurement methods had their drawbacks. For example, these devices often had significant errors, especially in conditions of high noise and vibration levels typical of supersonic flights.

But all this is in the past, and nowadays there are new, more advanced and accurate ways to measure noise in the cabin of supersonic aircraft. Let's take a numerical modeling method developed by Russian scientists from the Keldysh Institute of Applied Mathematics and the Moscow Institute of Physics and Technology. It is based on solving the inverse acoustic problem using the Helmholtz equation. This method makes it possible to reconstruct the spatial distribution and intensity of acoustic sources based on data from virtual microphone arrays [1]. But even here there are difficulties, since the implementation of this method requires very large computing resources. According to the scientists involved in the development of the method, a Lomonosov-2 supercomputer with 24 NVIDIA Tesla V100 graphics cards was used to analyze a 45-by-20-meter wing model simulating the landing configuration of a supersonic business jet at a speed of 245 km/h. About 220 million calculation points were processed, which took dozens of hours of calculations for each second of flight [1].

The development of innovative methods was carried out not only by Russian researchers, but also by foreign ones. Since 2000, several major research programs and projects have been launched to reduce sonic boom levels and increase resilience. For example, scientists from the Italian Center for Aerospace Research in their article talk about the development and implementation of a “Surrogate Model for sound impact analysis" system. The proposed surrogate modeling system is designed to provide a fast and reliable assessment of the impact of a sonic boom based on the AEDT software [2]. This method works on the basis of a modified Witham linear theory. That is, when an object moves through the air at supersonic speed, it creates a system of shock waves, the characteristics of which depend on its geometry. For simple axisymmetric bodies (such as projectiles), the shock wave system usually consists of a head shock wave in front and a tail shock wave in the rear. In contrast, complex geometric shapes, such as those of airplanes, create multiple shock waves, which usually merge over long distances to form an N-wave. This N-wave is characterized by rapid compression in the bow, followed by rarefaction to a level below atmospheric pressure, and then re-compression in the tail, which collectively leads to a sonic boom [2]. Obviously, modern methods are much more accurate and technologically advanced, but they also consume significant computing power and require a non-standard approach.

As for the impact of sonic boom on agriculture, it should be stated that the noise from a supersonic impact is not just a problem for airplane passengers, causing discomfort during flight, but also has a significant impact on the environment. First, it's worth understanding what a sonic boom is and how it can affect human hearing. A sonic boom is not an explosion in the literal sense of the word, but a powerful shock wave generated by an object moving faster than the speed of sound. The sound level can reach 200 decibels (dB) or more. For comparison, the rocket launch is ~180 dB, the pain threshold for humans is ~ 130 dB. Direct physical hearing damage from a single sonic boom is unlikely if a person is not in the immediate vicinity of its epicenter (for example, on the runway). However, its effects are complex, for example, regular sonic booms (for example, in an area over which tests or training flights are often conducted) lead to chronic sleep disorders, increased irritability, anxiety, and a decrease in the overall quality of life. As for the impact of the sonic boom on agriculture, it will primarily affect domestic animals: cattle, pigs and birds. A strong fright from a loud, sharp sound can cause a panic attack in animals. There are cases described when goats and cows lost milk due to severe stress, as a reaction to a loud sound. For example, chickens are very sensitive to noise, they can simply stop laying eggs. As a result, there is a decrease in income from agriculture and a shortage of products, which can lead to higher prices for milk, meat and eggs. In the early 1970s, due to concerns about sonic boom, the U.S. government banned supersonic passenger flights over the country. This had a negative impact on Concorde's potential sales market, so the only regular routes were transatlantic flights, mostly over water.

Regarding the influence of sonic booms on agricultural systems, it is important to recognize that the acoustic disturbance produced by supersonic flight extends beyond human discomfort among air travelers and airport communities. The environmental and socio-economic repercussions of sonic booms can propagate through multiple pathways, including effects on domestic animals, wildlife, crops, and broader farm management practices. To frame this issue accurately, it is first necessary to clarify the physical phenomenon: a sonic boom is not an explosive charge in the literal sense, but rather the rapid arrival of a powerful shock wave generated by an object moving through the atmosphere at a velocity exceeding the local speed of sound. The resulting pressure fluctuations can manifest as intense, impulsive sound events with peak sound pressure levels that, in some circumstances, can reach or exceed 200 decibels (dB). For context, this level of sound is several orders of magnitude above ordinary environmental noise and, in many settings, surpasses the thresholds associated with immediate acoustic discomfort or tissue damage for humans in close proximity. By comparison, high-energy aerospace events such as rocket launches can approach approximately 180 dB at source, while the acute pain threshold for human hearing is typically around 130 dB, depending on duration and spectral content.

Although direct histopathological damage to human hearing from a single sonic boom is unlikely when observers are not situated near the epicenter (for instance, well away from an active

runway), the broader ecological and physiological consequences are more complex and context-dependent. Recurrent sonic booms, particularly in regions subjected to frequent testing, military or civilian flight operations, or training exercises, can engender a spectrum of adverse outcomes beyond transient annoyance. Among humans, repeated exposure has been associated in some studies with chronic sleep disruption, heightened irritability, increased anxiety, and a measurable decline in perceived quality of life. When transposed to agricultural settings, these human health effects may interact with farming practices, labor efficiency, and risk management decisions, thereby indirectly influencing agricultural productivity and resilience.

Turning specifically to the agricultural domain, sonic booms are likely to impact livestock and poultry more acutely than crops, for several reasons. Domestic animals such as cattle, pigs, and birds possess highly developed auditory systems and acute startle responses to sudden or intense acoustic stimuli. A sudden, sharp, high-amplitude impulse can provoke robust behavioral reactions—ranging from freezing and erratic movement to attempted escape—that constitute a potent stressor. In severe cases, acute stress responses can precipitate transient or sustained alterations in physiological state, including elevated circulating cortisol levels, sympathetic activation, and changes in heart rate and respiration patterns. Over repeated exposures, such stress can degrade animal welfare and may precipitate maladaptive outcomes in production trajectories.

Empirical observations and the animal welfare literature document several specific consequences of sonic disturbances on livestock. For example, sudden loud noise can induce panic-like reactions, leading to temporary reductions in feed intake, altered grazing or browsing behavior, and, in some instances, disruption of social hierarchy within herds. When livestock experience prolonged or repeated stress, there is potential for decreased milk yield in dairy cattle, reduced weight gain in meat-producing animals, and altered reproductive performance. Historical and observational evidence also notes that some ruminants and non-ruminant livestock may exhibit cautious or avoidance behaviors, with possible consequences for daily movement patterns, calving or lambing routines, and the timing of labor-intensive management activities. In hens and other poultry species, high-amplitude noise can disrupt laying patterns, reduce egg production, and compromise egg quality. The mechanistic basis for these effects lies in stress physiology: the activation of the hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis and the adrenal axis modulates energy allocation, immunity, and reproductive function, potentially leading to economically meaningful productivity losses.

The economic implications for agricultural systems consequent to sonic booms extend beyond the direct effects on animal welfare and production. For example, abrupt noise-induced reactions can disrupt milking routines, jeopardize the calm social environment necessary for stable lactation, or necessitate changes in housing design, workflow, or labor scheduling to mitigate risk. Moreover, there is the potential for a feedback loop whereby perceived insecurity or chronic environmental noise prompts farmers to implement protective measures or alter land-use practices, possibly resulting in changes to farm layout, fencing, vegetation buffers, or the location of high-activity zones relative to animal housing. These adaptations, while potentially beneficial for risk reduction, can carry additional costs and logistical complexities that influence the overall profitability and sustainability of agricultural operations. In aggregate terms, persistent sonic disturbances can contribute to a decline in farm income, a distortion in supply chains, and, in cases of market response, shifts in the availability or pricing of animal-derived products such as milk, meat, and eggs.

From an environmental health and regulatory perspective, the historical example of sonic boom concerns in the United States during the mid-to-late 20th century illustrates how policy can be employed to mitigate adverse outcomes. In the early 1970s, heightened apprehensions about sonic booms prompted the U.S. government to impose a de facto prohibition on civil supersonic passenger flight over domestic territory. This regulatory stance effectively curtailed overland supersonic routes, leading to a concentration of transoceanic services and a narrowing of the potential market for high-speed commercial aircraft like the Concorde. The consequent economic impact on the perceived feasibility and attractiveness of supersonic transport—especially for

ambitious market projections—underscored the sensitivity of aviation policy to public health, environmental, and welfare considerations. While such policy responses were primarily oriented toward human observers and urban environmental quality, they also indirectly constrained the spatial reach of sonic events and, by extension, the magnitude and distribution of agricultural exposure in inland regions.

In contemporary settings, ongoing research into sonic boom mitigation and atmospheric physics aims to reduce both peak overpressure and the acoustic duration associated with supersonic events. Advances in aircraft design, flight-path optimization, and novel materials for sound suppression hold the potential to attenuate the amplitude and frequency content of sonic disturbances. The agricultural relevance of these developments is nontrivial: reduced sonic exposure would likely diminish acute stress responses in livestock and minimize the risk of production losses or welfare concerns. In addition, environmental impact assessments and land-use planning can incorporate buffers, zoning strategies, and timing constraints to limit overlap between high-noise episodes and sensitive agricultural operations. In sum, the integration of technological innovation with informed policy and adaptive farm management can attenuate the adverse effects of sonic booms on agriculture and contribute to the resilience of food production systems in the face of ongoing aerospace activity.

Regarding the issue of how the new supersonic air transport developments will move away from the sonic boom, this challenge is being addressed by developing new projects that take into account the shortcomings of previous models. Taking into account all the shortcomings of previous models, scientists and engineers are developing new projects. For example, the innovative Quesst project [2] from NASA and Lockheed Martin aims to show that sonic boom can be reduced to an acceptable level. They plan to fly their supersonic X-59 [4] aircraft over US cities and assess the reaction of the citizens [5]. Moreover, extremely promising projects such as Boom Overture [6] and Exosonic [7] are currently in development and have every chance of being implemented due to technological breakthroughs. Innovative aerodynamics (for example, NASA X-59) reduces the sound impact level to acceptable values, and the transition to sustainable fuels (SAF) and hydrogen engines solves environmental problems. Regulatory and legal support (FAA, EASA) and airline interests (United Airlines, American Airlines) provide a legal and commercial framework. The narrow focus on a business audience willing to pay for speed makes projects economically profitable and eliminates the main disadvantages of the Concorde era - high cost and lack of market demand. Boom Overture provides for the introduction of the patented Boomless Cruise technology based on the physical phenomenon of Mach cutoff. That is, when an airplane accelerates to supersonic speed at a sufficiently high altitude in certain atmospheric conditions, the sound waves from the supersonic impact are refracted upward in the atmosphere and do not reach the ground. Initially, Overture will perform supersonic flights mainly over oceans (where sonic boom is not a problem), connecting transatlantic and trans-Pacific destinations. Over land, the aircraft will fly at subsonic speeds (up to Mach 0.94), which is still about 20% faster than conventional airliners [8]. Moreover, Boom is actively cooperating with the FAA, EASA and ICAO, providing XB-1 flight data to facilitate the revision of the rules prohibiting supersonic flights over land. The goal of the project is to prove that technologies like Boomless Cruise make it possible to do this without interference from people on earth.

To summarize, it can be noted that since the days of the Concorde and the Tu-144 supersonic aircraft have made significant progress in the field of noise measurement, environmental impact awareness, and sonic boom reduction technologies. Measurement methods have evolved from primitive analog noise meters to high-precision numerical modeling, which, however, requires enormous computing power. Modern projects such as NASA X-59 and Boom Overture are fundamentally changing the approach. Thanks to innovative aerodynamics and technologies like Boomless Cruise, it is possible to prevent the formation of a powerful shock wave. This progress, supported by environmentally friendly solutions and dialogue with regulators, creates the prerequisites for a new stage in the development of supersonic aviation to be not only technologically feasible, but also commercially successful and socially acceptable.

REFERENCES:

1. Численное моделирование заменит дорогие акустические испытания самолётов. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://aviation21.ru/chislennoe-modelirovanie-zamenit-dorogie-akusticheskie-ispytaniya-samolyotov/ (дата обращения: 25.08.2025).

2. Quesst. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://www.nasa.gov/mission/quesst/ (дата обращения: 25.08.2025).

3. Sonic Boom Impact Assessment. – Текст: электронный. – 2023. – URL: https://www.mdpi.com/2624-599X/7/2/29 (дата обращения: 25.08.2025).

4. X-59. – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/x-59-quiet-supersonic.html (дата обращения: 27.08.2025).

5. Supersonic jets are making a comeback – but despite the hype, don't expect to book yet – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://theconversation.com/supersonic-jets-are-making-a-comeback-but-despite-the-hype-dont-expect-to-book-yet-248656 (дата обращения: 27.08.2025).

6. Boom-Overture. – Текст: электронный. – 2016. – URL: https://boomsupersonic.com/overture (дата обращения: 30.08.2025).

7. Exosonic. – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://exosonic.com/news/ (дата обращения: 30.08.2025).

8. Supersonic passenger aircraft may be returning – here's what that would mean for the climate. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://theconversation.com/supersonic-passenger-aircraft-may-be-returning-heres-what-that-would-mean-for-the-climate-250116 (дата обращения: 28.08.2025).

ЗВУКОВОЙ УДАР: ОТ ЗАПРЕТА НАДЗЕМНЫХ ПОЛЁТОВ К КОММЕРЧЕСКОМУ УСПЕХУ

Моисеева С.М.

Научный руководитель: Аристова Н.С., доцент, к. филол. н.,

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Аннотация. В статье рассматривается возрождение интереса к сверхзвуковым пассажирским перелётам, которые в настоящее время базируются на современных прорывных технологиях. Детально анализируется эволюция методов измерения шума; особое внимание уделяется сложным эффектам звукового удара, выходящим за рамки дискомфорта пассажиров и вызывающим значительные экономические потери в сельском хозяйстве. В заключении отмечается, что современные проекты, такие как X-59 и Boom Overture, предлагают комплексное решение указанных проблем посредством инновационной аэродинамики, снижающей интенсивность звуковых ударов, что в сочетании с регуляторной поддержкой создает предпосылки для коммерчески успешного возрождения сверхзвуковых пассажирских самолётов.

УДК 656.7:81'246.2

THE ROLE OF BILINGUALISM IN MODERN-DAY AVIATION

Pecherskiy B.P.

Supervisor: Aristova N.S., Associate Professor, Candidate of Philological Sciences,

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This study looks at the important role of speaking multiple languages in civil aviation and how it affects flight safety rules. Clear communication is essential for safety, so understanding the challenges and benefits of this multilingual environment is crucial. This research will explore how bilingualism impacts daily operations and how safety procedures can be adapted to ensure clarity and prevent misunderstandings.

The role of an airplane pilot necessitates coordinating a team within the highly complex operation of a flight. Clear communication among all involved parties, whether in private or commercial aviation, is fundamental to ensuring operational safety. Throughout history, no single language has remained the eternal language of international communication. Languages like Latin and French once played this role on the global stage. Today, the most spoken native languages in the world are Mandarin Chinese, Spanish, Arabic, and Hindi. But in aviation, it is impossible to wait for the whole world to learn one of these languages. A single common language was needed that everyone could use.

This very issue constitutes a primary driver behind the decision of nations to act in concert and establish coordinated global measures. To prevent tragedies from occurring, the International Civil Aviation Organization (ICAO) was established. The primary purpose of this agency is to ensure the safety of air travel on a global scale. This is especially important because if air traffic controllers communicated only in their native languages, it could lead to serious misunderstandings and significantly increase the risk of accidents. By establishing clear, worldwide rules for how to communicate and promoting the use of a single, common language, the International Civil Aviation Organization (ICAO) plays a vital role in reducing mistakes. This framework enables much safer and more efficient coordination between different countries involved in air travel. Without this common standard, the global aviation system would face immense challenges. For instance, an Italian pilot would be unable to understand instructions from a Russian air traffic controller, and a Chinese pilot would not comprehend directions from a Brazilian controller. This lack of understanding would inevitably lead to confusion and dangerous situations, making the skies a far less orderly and secure environment.

Through its leadership and international coordination, the International Civil Aviation Organization (ICAO) played a pivotal role in facilitating a global consensus among nations to adopt English as the universal language of aviation. This crucial agreement established a standardized linguistic framework that is now fundamental to all international air travel. In addition to the compulsory application of standardized English phraseology for communications with ATC, the composition of a flight crew often includes individuals from diverse linguistic backgrounds. Consequently, achieving operational fluency in English is an absolute necessity for aviation personnel, as it is the primary mechanism for guaranteeing unambiguous dialogue and maintaining safety standards.". Speaking English for a pilot is not a luxury but a necessity as it is a key requirement to access this demanding and specialized labour market [1].

The role of English as aviation's common language is absolutely vital. It forms the fundamental basis for the safety and efficiency of all international flights. This importance stems from the very nature of aviation as a global industry, where pilots, dispatchers and crew members are multinational teams, and only English serves as the common denominator that allows them to interact freely. The historic decision that secured this status was the Chicago Convention of 1944, but the awareness of the vital need for language proficiency came after a series of disasters, where insufficient English was one of the causes of tragedies [2], which prompted ICAO to tighten and formalize the requirements for language training. For a pilot, English is not a foreign language, but a professional tool, because human lives directly depend on the accuracy and speed of understanding of what is said. In the cockpit, where specialists from different parts of the world may be located, English becomes the language of decision-making, coordination of actions and management of crew resources, ensuring complete mutual understanding when performing complex procedures, especially in abnormal or emergency situations, when the slightest delay or misunderstanding can lead to fatal consequences. In addition to internal communication in the crew, English is absolutely indispensable for radio exchange with air traffic controllers, and this dialogue is based on strictly regulated phraseology phonetic alphabet and standardized terms allows for communication to be as free of ambiguity as possible and making it instantly recognizable and understandable for a specialist of any nationality.

All technical and regulatory documentation, including flight manuals, checklists, logbooks and aeronautical charts, are published in English, which makes its proficiency a prerequisite for

access to critical information. The same applies to the interfaces of onboard equipment - all computers, navigation systems and databases use English, and constant updates and changes in the software require the pilot to quickly and confidently navigate it. In terms of interaction with passengers, English plays a dual role here - on the one hand, it is the language of comfort and service, allowing the captain to explain the situation in case of delays or difficulties, which creates an atmosphere of trust and calm on board, and on the other hand, it is the language of safety, since in the event of an emergency, clear and confident instructions voiced in an international language can be correctly understood by the maximum number of people on board, which directly affects the speed and correctness of their reaction and increases the overall chances of a successful outcome. Thus, English in aviation has transcended its role simply as a lingua franca; it has turned into a systemic element of safety, a standardized protocol that reduces the human factor and minimizes risks, which is confirmed by the strict requirements of ICAO, obliging pilots and dispatchers to regularly confirm their level of language proficiency in order to ensure impeccable understanding in the broadest sense of the word [3].

Contemporary tests of Aviation English demonstrate a structural imbalance, manifesting in disproportionate attention to the assessment of oral skills while systematically neglecting other fundamental aspects of linguistic competence. This imbalance creates a situation where formal compliance with ICAO requirements for pronunciation, fluency, and grammar does not guarantee a professional's actual ability to function effectively in complex operational scenarios. A particular concern is the underestimation of metalinguistic knowledge—a deep understanding of language structures and the ability to consciously apply grammatical rules under conditions of cognitive load and stress. In practice, this leads to a situation where a pilot or air traffic controller demonstrating satisfactory results in standardized testing may prove unable to quickly rephrase a message in case of misunderstanding, analyze complex syntactic structures, or recognize semantic nuances critical for the accurate interpretation of instructions.

The most significant gap in the current assessment system remains the disregard for behavioral patterns and communication strategies. The actual effectiveness of professional communication in aviation is determined not so much by fluency as by the development of compensatory mechanisms—the ability to use paraphrase, synonymous substitutions, and contextual cues when encountering linguistic difficulties. No less important is interactive competence, which includes the ability to manage a dialogue, confirm understanding, promptly request clarifications, and ask for repetition in case of uncertainty. In the context of multinational crews and air traffic control services, adaptability becomes critically important—the ability to recognize various accents and adapt one's own speech to ensure mutual understanding, as well as developed critical thinking, enabling the analysis and evaluation of the accuracy and completeness of received information.

A significant limitation is the absence of a valid assessment of pragmatic competence—the ability to use language according to the communicative situation, to recognize and observe speech etiquette in both routine and non-routine situations, to understand the cultural specifics of communication in an international environment, and to adequately determine the degree of urgency and criticality of messages. The consequence of this narrow focus is a reduction in the predictive validity of test results—specialists who formally meet the requirements often turn out to be unprepared for real communicative challenges, creating latent risks to flight safety. Overcoming these limitations requires the development of integrated assessment scales that include behavioral indicators, the implementation of situational tasks simulating real professional scenarios, and the creation of an evaluation system that considers not only language skills per se but also metacognitive strategies of speech behavior under conditions of stress and uncertainty.

Despite the introduction of mandatory English language requirements and the English Language Proficiency Test (ELPT) by ICAO in 2008 for pilots and air traffic controllers who are non-native speakers, the system has encountered a number of critical challenges, foremost among which are the ineffectiveness and heterogeneity of the testing itself. Since ICAO guidelines are only advisory in nature, the modules and materials for training and testing vary significantly between

organizations and even within the same country, leading to a lack of a unified standard. The primary complaint among professionals is that the test is perceived as irrelevant to real-life radio communication, failing to reflect their daily tasks. Researchers, such as Emery, question the very methodology, raising issues of how specific the test should be, how to ensure that linguistic skills rather than professional knowledge are being assessed, and whether test results can predict real-world performance. Criticism of test content points to its insufficient practical orientation, as even experienced professionals show low results on tasks modelled after actual radiotelephony communication, and the tests themselves often lack practice for non-routine and emergency situations. Furthermore, many assessment procedures fail to meet international professional standards, and the focus of the tests is excessively narrowed on oral proficiency to the detriment of other aspects, such as knowledge and behavioral patterns.

Parallel to these testing issues, significant gaps exist in training: despite a growing body of research, tangible progress in language training in non-native speaking (NNS) countries remains limited. Unlike native-speaking countries, NNS countries often barely grasp the fundamentals of Aviation English, a situation exacerbated by a severe shortage of qualified instructors with aviation experience. As a solution, researchers propose making training practice-oriented, closely approximating real-world scenarios through the simulation of routine and emergency situations. It should integrate all six ICAO language skills and be considered a mandatory prerequisite before access to professional simulators is granted, with particular emphasis placed not only on standard phraseology but also on the ability to effectively use "plain English" in non-standard conditions.

These global challenges are clearly reflected in the case of China. Within China's domestic aviation sector, the Chinese language is an essential component of operational communication and coordination. Its use is dictated not only by national regulations, but also by safety and efficiency considerations. On domestic flights, where all pilots and air traffic controllers are native Mandarin speakers, the use of their shared native language is strategically employed. This practice significantly minimizes the risks of miscommunication that can arise from a linguistic or semantic barrier, thereby ensuring the most precise and rapid exchange of information during both routine operations and, most critically, high-stress emergency situations [4].

However, international aviation operations mandate the use of English, which is the universally established lingua franca for global flight communications. This reality presents a unique dual challenge for Chinese aviation professionals. They are required to maintain complete fluency in their native Mandarin for seamless operations within domestic airspace and on domestic routes. Simultaneously, they must possess a high degree of proficiency in Aviation English to ensure flawless communication and absolute safety on international flights. This necessity for bilingual expertise is critical for navigating the distinct operational and communicative demands of both domains effectively. The main difficulty for them is not the transition from one language to another, but the need to instantly switch between two different linguistic systems and their corresponding procedural communication models.

Chinese pilots and controllers face several challenges when interacting with international controllers. Firstly, there are phonetic differences. English phonetics, especially some sounds that are absent in Chinese, such as the dental fricatives /θ/ and /ð/ (replaced with /s/ or /d/), the voiced fricative /v/ (often devoiced or replaced), and the vocalization of final /l/, can cause difficulties in listening comprehension. However, these segmental challenges are often overshadowed by the profound impact of prosodic differences [5]. The transfer of Mandarin's syllable-timed rhythm and intonation patterns onto English results in a lack of contrast between stressed and unstressed syllables, a monotonous pitch, and misplaced phrase-level stress. This disruption of the natural rhythm and melody of English speech places a much greater cognitive load on the listener and poses a more significant barrier to overall intelligibility than the mispronunciation of individual sounds. Secondly, the key problem is mastering the standard phraseology of radio communications (ICAO phraseology) and the ability to go beyond it, using "plain" English in complex or non-standard situations. There are known cases where a pilot was asking for Priority landing when he should have been using the word 'Emergency' landing. This is where a deep understanding of not only the

language, but also the cultural specifics of dialogue is needed. To overcome these difficulties, Aviation English is actively developing in China as part of English for Specific Purposes (ESP). The training is based not on simply memorizing words and rules, but on a contrastive analysis of the two languages in a professional context [6]. Students are taught not to translate from Chinese to English literally, but to think in concepts and immediately formulate a thought in the target language, using patterns and cliches accepted in international practice. This approach, which combines linguistic training with practical scenarios, helps Chinese specialists work effectively in a multilingual environment and ensure safety on international routes.

REFERENCES:

1. The importance of languages in aviation [Electronic resource]. World Aviation ATO.URL:https://worldaviationato.com/en/importance-of-languages-in-aviation/ (дата обращения: 28.05.2024).

2. Pilot – Air Traffic Controller Communication [Electronic resource]. Uniting Aviation. URL: https://unitingaviation.com/news/safety/pilot-air-traffic-controller-communication/ (дата обращения: 28.05.2024).

3. *Farsani F. F., Moinzadeh H. G., Nikoozadeh A.* An investigation of the effects of flight safety-related factors on pilots' fatigue // Journal of Air Transport Management. 2006. Vol. 12, Iss. 5. P. 267–271.

4. *Аль-Саббах Баха, Поталуй В.В*. Незнание английского языка как причина авиакатастроф // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 7-1. С. 65-66; URL: https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=31888 (дата обращения: 04.09.2025).

5. *Hamzah Haryani, Krish Pramela, Hamat Afendi* Aviation communication challenges and language training development: perspectives from pilots and air traffic controllers // Training, Language and Culture. 2023. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/aviation-communication-challenges-and-language-training-development-perspectives-from-pilots-and-air-traffic-controllers (дата обращения: 04.09.2025).

6. *Сокорева Т.В., Шевченко Т.И.* Английский язык с китайским акцентом: сегментные и сверхсегментные черты // Вестник Московского государственного лингвистического университета. Гуманитарные науки. 2020. №1 (830). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/angliyskiy-yazyk-s-kitayskim-aktsentom-segmentnye-i-sverhsegmentnye-cherty (дата обращения: 04.09.2025).

РОЛЬ БИЛИНГВИЗМА В СОВРЕМЕННОЙ АВИАЦИИ

Печерский Б.П.

Научный руководитель: Аристова Н.С., доцент, канд. филол. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данном исследовании рассматривается важная роль владения несколькими языками в гражданской авиации и то, как это влияет на правила безопасности полетов. Понятное общение имеет важное значение для безопасности полетов, поэтому понимание проблем и преимуществ этой многоязычной среды имеет решающее значение. В ходе исследования изучается вопрос о том, как двуязычие влияет на повседневную работу и как можно адаптировать процедуры обеспечения безопасности для обеспечения ясности и предотвращения недоразумений.

УДК 407

THE ROLE OF PROFESSIONAL ENGLISH IN FORMING THE COMPETENCES OF SPECIALISTS IN THE SPHERE OF SMM

Pronin A.N.
Supervisor: Afonina E.V., Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article is devoted to the role of English in the SMM manager's profession. English is a key tool for effective promotion of brands in social networks, access to international research and new markets. The article analyzes English terms such as “Influencer” and “targeting” and their meaning in SMM. It also analyzes the salary level of SMM managers in different countries, where knowledge of English opens up opportunities to work in international companies.

In today’s economic landscape, social media has become one of the key tools for business promotion. Consequently, the profession of an SMM (Social Media Marketing) manager has naturally grown in demand. An SMM specialist is responsible for promoting a brand, company, or individual on social media platforms. Professionals in this field help attract target audiences, increase brand recognition, and, most importantly, drive sales growth.

The SSM manager's list of primary responsibilities includes:

1. Strategy Development – This process involves a detailed analysis of the product to be promoted, its target audience, and competitors. Then The SMM specialist then selects the most effective platform for promotion.
2. Content Planning – At this stage, the specialist defines the style, themes, formats, and posting schedule for the content.
3. Publishing Content Across Social Media Platforms – The manager ensures the timely and consistent distribution of created materials.
4. Performance Analysis – The SMM specialist conducts an in-depth evaluation of the published content’s effectiveness, examining which posts and platforms generated the most engagement and which audience segments were most responsive.
5. Engaging with Potential Customers – The manager interacts with the target audience by responding to comments, messages, and reviews. Addressing inquiries, as well as managing positive and negative feedback, is a crucial aspect of an SMM specialist’s work.

The benefits of knowing a foreign language in SMM management are evident, especially since if the term itself originates from English itself. Proficiency in a foreign language enhances a manager’s professional development in several key ways:

1. Academic and professional training based on international sources: it should be noted that the vast majority of relevant academic and industry information in the field of SMM is generated in English. The dominance of English as the language of scientific communication is manifested in the fact that the most significant research papers, meta-analyses, peer-reviewed articles and methodological materials are published in this language. This linguistic asymmetry creates a significant "information barrier" for specialists who do not speak English. On the contrary, professionals with advanced linguistic competence receive unlimited access to the educational resources of the world's leading institutions — specialized courses, webinars with the participation of recognized experts, open lectures from universities and business schools. This provides them with the opportunity for continuous professional development based on the most up-to-date and verified data, rather than localized, often stripped down or outdated materials.
2. Operational work with global content and trends: much of the relevant professional content, including industry news, analytical reviews, statistics and forecasts, is initially published in English. In addition, most global cultural and marketing trends originate in the English-speaking digital environment, and only with a time lag reach localized markets. Fluency in English allows SMM managers not only to passively wait for adapted information to appear, but to actively monitor primary sources, identify emerging trends at an early stage and promptly integrate them

into their marketing strategies. This ability to react ahead of time turns into a key competitive advantage, allowing you not to follow trends, but to anticipate them.

3. Expansion into international markets and interaction with foreign clients: access to new, including international, markets is one of the most effective ways to increase profitability for both the specialist and the employing company. For an SMM professional, this can be implemented through two main channels: employment in a foreign company (remotely or with relocation) or work with international clients within a local agency. In both scenarios, English is the main medium of business communication, negotiation, reporting, and building long-term relationships. The absence of a language barrier allows a specialist to interact directly with a global pool of clients, which significantly expands his career prospects and increases market value.

4. Effective use of specialized professional tools: although most mass marketing software products today have an interface in the main languages, the situation is changing dramatically in the segment of highly specialized and advanced professional tools.

Solutions for deep analytics, automation of complex processes, working with big data, or non-trivial targeting often either do not have full localization, or their translation is of poor quality, which can lead to errors in operation. Refusing to use such tools solely because of the language barrier is tantamount to voluntarily giving up a significant share of professional opportunities and puts a specialist in a deliberately losing position compared to competitors who freely operate with the entire arsenal of available technologies. Thus, proficiency in English becomes a prerequisite for the full development and application of advanced digital tools in SMM.

It is important to note that the foundational terminology in SMM consists of English-derived terms, making it essential to understand their meanings and origins. Consider the following examples:

1. Influencer – Derived from the English word "influence", this term literally means "a person who exerts influence". Its origins are closely tied to social media. The concept builds on the idea of "opinion leaders", introduced by American sociologists Elihu Katz and Paul Lazarsfeld in their 1957 book named Personal Influence. In the digital age, the role of influencers has evolved: while opinion leaders were once primarily media figures (journalists, experts), today even ordinary users with niche authority can become influencers.

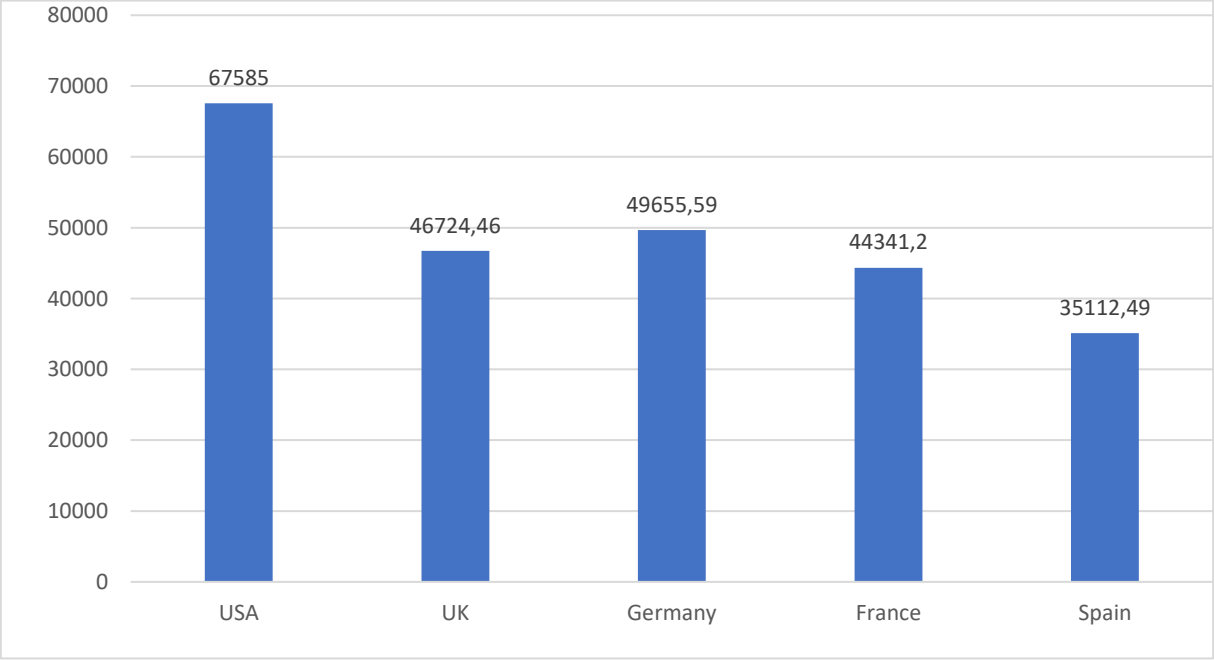


Fig. 1 Average annual salary of an SMM manager in different countries, USD. US DOLLARS. [1]

2. Targeting – Originating from the English word "target", this term refers to a marketing mechanism that identifies users most likely to be interested in promoted products or services. The

concept gained popularity among marketers during the rise of television advertising, where ads were tailored to specific viewer demographics. Modern targeting is closely linked to the emergence of Google's contextual advertising in the 2000s, where ads were displayed based on webpage content and user interests.

3. Feedback – Borrowed from technical English, this term originally meant "reverse feeding". It was first used in early 20th-century electrical engineering. By the 1950s, the concept was adapted in cybernetics (Norbert Wiener) and management as a mechanism for process improvement. In the context of SMM, "feedback" entered common usage in 1955.

As previously mentioned, English proficiency enables professionals in this field to secure more lucrative employment opportunities. For a more detailed analysis, refer to Fig. 1.

As the presented histogram clearly demonstrates, there is significant cross-country variation in the level of average annual incomes of social media management (SMM) professionals. Data analysis makes it possible to identify the United States of America as the undisputed leader in this ranking, where the remuneration of SMM managers reaches the highest values. This phenomenon is not accidental, but naturally follows from the dominant role of the United States in the global information and cultural space.

This country's approach to content production has de facto set a global standard, serving as a guideline for marketers around the world. Such large-scale export-oriented industries as cinematography, professional sports and television production have achieved unprecedented international recognition. This became possible not only due to the quality of the product itself, but also as a result of highly effective promotional activities, in which the work of SMM managers is one of the key success factors. The high level of remuneration for their work in the United States, therefore, reflects both the capital intensity of the media market and the strategic importance of this profession in maintaining the global competitiveness of national cultural exports.

The United States is followed by a group of developed European economies, including the United Kingdom, Germany, France and Spain, where wages in this industry also show consistently high rates, although somewhat inferior to American ones. Despite the geographical diversity, English language proficiency is a unifying factor determining the career prospects of SMM specialists in international companies from this cluster. In a globalized economy, English has transformed from an optional skill into a fundamental professional tool. Its functionality goes far beyond simply providing communication with foreign clients and partners. It is a critically important channel for rapid adaptation to global trends, provides direct access to advanced marketing techniques published in English-language sources, and allows for comparative analysis of successful cases from various markets.

In the digital age, linguistic competence is becoming an integral part of the professional competence of an SMM specialist. Specialists who are fluent in English gain a significant competitive advantage in the global labor market. This advantage is reflected in their ability to instantly respond to changes in the algorithms of leading social platforms, which are announced and discussed mainly in English. In addition, it provides an opportunity for continuous professional training based on the experience of leading international corporations and rapid testing of the most effective practices.

Knowledge of English allows you not only to follow the news, but also to actively participate in global professional discussions, draw inspiration from international trends and adapt them to a local audience. It provides direct access to original content from industry leaders — platform founders, leading marketers, and analysts — bypassing the distorting translation filter. It is also critical for creating content for an international audience and managing brand reputation in multiple markets simultaneously.

Moreover, such specialists have the opportunity to establish direct contacts with foreign colleagues and potential clients, thereby expanding their professional influence. As the boundaries between national markets continue to blur and digital ecosystems become more integrated, the importance of proficiency in the language of international communication, especially English,

becomes of unprecedented relevance for achieving professional success and career growth in the dynamically developing field of social media.

REFERENCES:

1. How Much Do Social Media Managers Make // Publer URL: https://publer.com/blog/social-media-managers-salary/ (дата обращения: 20.05.2025).
2. What Does a Social Media Specialist Do // BrainStation URL: https://brainstation.io/career-guides/what-does-a-social-media-specialist-do (дата обращения: 19.05.2025).
3. Influencers // Unisender URL: https://www.unisender.com/ru/glossary/kto-takoi-influencer/ (дата обращения: 24.05.2025).
4. Targeting // Unisender URL: https://www.unisender.com/ru/glossary/kto-takoi-influencer/ (дата обращения: 11.04.2025).
5. Feedback // Unisender URL: https://www.unisender.com/ru/glossary/kto-takoi-influencer/ (дата обращения: 30.05.2025).

РОЛЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА В ФОРМИРОВАНИИ КОМПЕТЕНЦИЙ СПЕЦИАЛИСТОВ В СФЕРЕ SMM

Пронин А.Н.

Научный руководитель: Афонина Е.В., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена роли английского языка в профессии SMM-менеджера. Английский язык является ключевым инструментом для эффективного продвижения брендов в социальных сетях, выхода на международные исследования и новые рынки. В статье анализируются такие англоязычные термины, как «Influencer» и «targeting» и их значение в SMM. Также анализируется уровень зарплат SMM-менеджеров в разных странах, где знание английского языка открывает возможности для работы в международных компаниях.

УДК 811

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗГОВОРНОГО И ТЕХНИЧЕСКОГО АНГЛИЙСКОГО

Саттарова А.Р.

Научный руководитель: Гареева Р.З., доцент, к. филол. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Лениногорский филиал, г. Лениногорск)

Аннотация. В статье рассматриваются особенности технического английского языка и его ключевые отличия от разговорного английского. Особое внимание уделено роли специализированной лексики и грамматики в сфере информационных технологий и программирования. Приведены примеры типичных выражений, используемых в технической документации, коде и пользовательских инструкциях.

В современном мире английский язык давно перестал быть просто средством повседневного общения. Он стал универсальным средством коммуникации, объединяющим специалистов из самых разных областей. Однако, когда речь заходит о науке, технологиях, инженерии или медицине, обычного разговорного английского часто оказывается недостаточно. Здесь начинает играть важную роль «технический английский» — узкоспециализированный язык, включающий в себя большое количество отраслевой терминологии, сокращений и аббревиатур, связанных с технологиями, программированием и

компьютерными науками. [1]. Понимание его особенностей крайне важно для инженеров, программистов, ученых, врачей, переводчиков и всех, кто работает с международной документацией, исследованиями или участвует в глобальных проектах.

Технический английский выделяется среди других стилей языка благодаря нескольким характерным чертам, которые обеспечивают его главную цель — максимально точную и однозначную передачу информации. Одной из наиболее очевидных особенностей является обширное использование узкоспециализированной терминологии. Каждая область — будь то информационные технологии, машиностроение, биотехнологии или аэрокосмическая промышленность — имеет свой уникальный словарь. Эти термины часто не встречаются в повседневной речи и имеют строго определенное значение в контексте данной дисциплины.

Например, слово «bug» в разговорном английском может означать насекомое, тогда как в IT это однозначно «ошибка в программном коде». Аналогично, термин «loop» в обычной речи означает «петля», но в программировании — это одна из базовых конструкций, позволяющая повторять блоки кода, например, for loop, while loop. Еще один пример — «stack», который в обычной ситуации может значить «куча» или «стопка», но в контексте программирования это строго определённая структура данных. Она работает по принципу LIFO – Last In – First Out; последним попал — первым и вылетел, что означает, что каждый новый поступающий элемент попадает не в хвост списка (как это было с очередью), а в голову — в начало. [2].

Понимание ключевых отличий между техническим и обычным английским языком является фундаментом для эффективного освоения первого. Наиболее заметное отличие лежит в лексике. Если обычный английский оперирует широким спектром слов и выражений, которые могут иметь множество значений в зависимости от контекста, то технический английский стремится к максимальной точности и однозначности. В повседневной речи мы можем сказать «turn on – включить», но в техническом тексте это будет «activate – активировать» или «power up - подать питание». Слово «set» в обычной беседе может означать «установить, настроить», тогда как в техническом контексте «set the parameters - установить параметры» или «set a variable- задать переменную» имеет очень конкретное значение. Термины вроде «algorithm, interface, protocol, bandwidth, firewall, repository, commit, debug, central processing unit (CPU), system unit, flash drive, deploy» имеют специализированные значения и практически не используются в обычной жизни. [4]. Например, «debug» - это не просто «исправить ошибку», а целый процесс выявления и устранения сбоев в программном коде.

Помимо узкой терминологии, сложность технического английского часто заключается в том, что даже обычные слова приобретают строго определенный смысл в зависимости от контекста. Например, в IT-среде слово "server" — это не просто тот, кто обслуживает, а ключевой узел инфраструктуры, тогда как в повседневной речи оно не несет такой технической нагрузки, требуя от специалиста постоянного фильтрования значений. В области анализа данных, например, фраза "to train the model" не означает "тренировать модель в спортзале", а описывает сложный итеративный процесс обучения алгоритма на большом наборе данных с целью достижения максимальной точности предсказаний.

Кроме того, огромное количество аббревиатур и акронимов таких как HTML, SQL, API, SaaS, VPN, TCP/IP составляет неотъемлемую часть технического лексикона, и их незнание делает чтение документации практически невозможным, превращая текст в головоломку из непонятных сочетаний букв. В контексте фронтенд-разработки, термин "rendering" — это не художественное изображение, а процесс преобразования кода веб-страницы в готовый визуальный интерфейс, который видит пользователь в браузере.

Помимо лексики, технический английский обладает и особыми грамматическими характеристиками, которые отличают его от разговорного языка. Его цель — объективное и четкое изложение фактов, что сказывается на структуре предложений.

В отличие от разговорного английского, где преобладает активный залог, в техническом тексте часто используется пассивный залог. Например, вместо «We developed a new system - мы разработали новую систему» часто пишут «A new system was developed - новая система была разработана». Это помогает сфокусировать внимание читателя на действии или результате, а не на том, кто его совершил, что идеально соответствует требованиям объективности. Технические тексты часто содержат более длинные и сложные предложения с многочисленными придаточными предложениями и вводными конструкциями. Однако, несмотря на сложность, эти предложения всегда остаются логичными и однозначными.

В техническом английском часто происходит номинализация, заключающаяся в превращении предложения (или глагольной группы) в существительное (или именное словосочетание) [3, 118], например, вместо «They decide to implement the change – они решают внести изменение» может быть «The decision to implement the change was made – было принято решение о внедрении изменения». Это повышает формальность и абстрактность изложения, характерные для официальной документации.

Еще одной характерной чертой является частое использование причастий (Present Participle и Past Participle) в качестве определений перед существительными. Это позволяет упаковывать большой объем информации в короткие именные группы. Например, вместо «the wire that is protected by a thick rubber layer» (провод, который защищен толстым резиновым слоем) будет использовано краткое и точное «the thick-rubber-protected wire» (провод, защищенный толстой резиной), или просто «the operating system» (операционная система) вместо «the system which operates». Такое сгущение информации делает текст более компактным и удобным для быстрого сканирования ключевых фактов.

Кроме того, технический синтаксис склонен к опущению вспомогательных глаголов, артиклей и предлогов в заголовках, подписях к схемам и инструкциях, чтобы максимально сократить текст, сохранив при этом смысл. Например, в руководстве можно увидеть фразу «Install driver now» вместо «You should install the driver now». Эти стилистические приемы делают текст более плотным и концентрированным, что критически важно для инструкций и технической документации, где каждая секунда и каждый символ на счету. Освоение технического английского включает в себя также развитие особого навыка чтения: специалист должен уметь быстро сканировать объёмные инструкции и руководства, выделяя из сложных предложений только ключевые технические термины и глагольные группы, которые несут основную информацию. При этом важно осознавать, что технический английский, используемый в письменной документации, сильно отличается от того, который применяется в устном общении на совещаниях или при обсуждении кода; последний более гибок, но всё равно требует безупречного владения профессиональными терминами для четкого выражения мысли. Эффективная работа в международной команде требует не только понимания инструкций, но и умения писать грамотные, краткие и недвусмысленные отчеты, комментарии к коду и запросы на изменение (Pull Requests), что напрямую зависит от освоенного технического стиля.

В каждом направлении IT присутствует своя уникальная терминология и специфические особенности, отражающие специфику работы в данной области.

Например, в кибербезопасности широко используются такие выражения, как «encrypt data» — что означает процесс шифрования данных для защиты информации от несанкционированного доступа. Ещё один важный термин — «firewall blocks unauthorized access», то есть межсетевой экран, который блокирует попытки проникновения в систему злоумышленников или вредоносных программ.

В сфере облачных технологий технический английский также обладает своим набором терминов. Например, «cloud storage» обозначает облачное хранилище, где данные сохраняются не на локальных устройствах, а на удалённых серверах. Термин «virtual machine» относится к виртуальной машине — программной эмуляции компьютера, которая позволяет запускать операционные системы и приложения изолированно. Дополнительно

используются термины вроде «scalability» (масштабируемость) и «load balancing» (распределение нагрузки), которые описывают ключевые принципы работы современных распределенных систем.

Работая с кодом, IT – специалисты чаще всего сталкиваются с системными сообщениями об ошибках и предупреждениями. Это короткие, но точные фразы на английском, от понимания которых зависит, сможете ли вы быстро устранить проблему. Например, при работе с SQL (Structured Query Language) система может выдать сообщение: «Invalid input syntax for integer», что переводится как «Недопустимый синтаксис для целого числа». В объектно-ориентированном программировании можно встретить ошибки вроде: «Missing required positional argument» — «Отсутствует обязательный позиционный аргумент», или серьезный сбой «Segmentation fault (core dumped)», указывающий на попытку доступа к невыделенной памяти. Эти примеры показывают, насколько важно знание технического английского: он помогает не только читать документацию, но и эффективно взаимодействовать с программным обеспечением.

Знание технического английского в сфере информационных технологий и систем — это не просто дополнительное умение, а необходимая компетенция для любого IT-специалиста. Оно позволяет понимать и создавать документацию к программному обеспечению, разбираться в спецификациях API (Application Programming Interface), читать и писать код, взаимодействовать с системами контроля версий, настраивать инфраструктуру и многое другое.

Термины, конструкции и подходы, принятые в международной IT-среде, едины, и их понимание напрямую зависит от владения техническим английским. Владение этим языком фактически стандартизирует мышление и подходы IT-специалистов по всему миру, позволяя им мгновенно понимать друг друга при обсуждении архитектуры системы, вне зависимости от их национальности или родного языка. Специалист, хорошо ориентирующийся в профессиональной терминологии, может без труда изучать официальные руководства спецификации языка программирования или фреймворков, читать исходный код (комментарии и названия переменных чаще всего пишутся на английском), участвовать в технических форумах, вносить вклад в проекты с открытым исходным кодом (open-source), проходить международные сертификации, а также работать с командами и заказчиками по всему миру.

Большинство передовых исследований, новые спецификации, библиотеки и инструменты в IT появляются сначала на английском языке, и только потом переводятся, поэтому специалист, не владеющий техническим английским, всегда будет находиться в позиции догоняющего. Именно через технический английский открывается доступ к современным знаниям, глобальному опыту и передовым цифровым технологиям. Неспособность быстро и точно интерпретировать технический текст или ошибку может стать критическим препятствием на пути развития проекта или карьеры.

Таким образом, для программиста, системного администратора, тестировщика, аналитика или любого другого специалиста в области информационных систем, уверенное владение техническим английским становится ключом к профессиональному росту и успешной карьере в глобальной IT-индустрии, обеспечивая ему конкурентное преимущество на международном рынке труда. В итоге, именно глубокое знание профессионального английского позволяет IT-специалисту выйти за рамки локального рынка и претендовать на более высокие, глобальные позиции, где требования к технической коммуникации становятся приоритетными. Кроме того, постоянное совершенствование навыков технического английского способствует быстрому освоению новых технологий и инструментов, что напрямую влияет на эффективность работы и адаптацию к меняющимся тенденциям отрасли. Это также открывает возможности для участия в международных конференциях, публикации научных работ и обмена опытом с ведущими экспертами, что значительно расширяет профессиональные горизонты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Что такое технический английский и почему он важен для IT специалиста. Текст электронный - URL: https://newline.tech/what-is-technical-english-and-why-it-is-important-for-it-specialist-ru/ (дата обращения: 11.06.2025).

2. Структура данных – Стек (LIFO, Stack) Текст электронный - URL: https://dev.koshovyi.com/2018/04/29/struktura-dannyh-stek-lifo-stack/ (дата обращения: 11.06.2025).

3. *Зеленецкий А.Л.* Введение в общее и частное языкознание. Наиболее трудные темы курса: учебник для вузов / А.Л. Зеленецкий. – 2-е изд. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 175 с.

4. *Гарагуля С.И.* Английский язык в сфере информационных систем и технологий = English for Information Systems and Technology : учебник / С.И. Гарагуля. – Москва: КНОРУС, 2020. – 422 с.

DISTINCTIVE FEATURES OF CONVERSATIONAL AND TECHNICAL ENGLISH

Sattarova A.R.

Supervisor: Gareeva R.Z., Associate Professor, Candidate of Philological Sciences,

(Leninogorsk Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI", Leninogorsk)

Abstract. This article discusses the features of technical English and its key differences from conversational English. Particular attention is given to the role of specialized vocabulary and grammar in the field of information technology and programming. Examples of typical expressions used in technical documentation, code, and user instructions are provided.

УДК 378.147.227

ПУТИ ФОРМИРОВАНИЯ СЛОВАРЯ ТЕРМИНОВ У СТУДЕНТОВ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБЩЕНИЯ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Солобоева Н.В.

Научный руководитель: Власова С.В., старший преподаватель

(Московский авиационный институт, г. Москва)

Аннотация. Статья посвящена методам обучения английскому языку для специальных целей (ESP) в аэрокосмической отрасли. Рассматриваются подходы к формированию профессиональной терминологии у студентов инженерных специальностей, включая освоение лексических паттернов, автоматизацию терминологической компетентности и применение интерактивных форматов обучения. Предлагается электронный глоссарий аэрокосмических терминов для самостоятельной работы. Делается вывод, что системное изучение словаря терминов способствует развитию навыков профессиональной коммуникации и повышает конкурентоспособность будущих специалистов для аэрокосмической отрасли.

Актуальность исследования связана с требованиями современной бизнес-коммуникации к овладению студентами узкоспециальной терминологией на иностранном языке (ИЯ), с необходимостью интеграции English for Specific Purposes (ESP) в аэрокосмическую отрасль, где изучение профессиональной лексики становится одним из важнейших условий для достижения успеха [1]. В условиях глобализации и доминирования английского языка как основного средства международного профессионального общения в технической сфере, компетентное владение им становится неотъемлемым требованием к подготовке студентов инженерных специальностей [2].

Проблематика исследования заключается в недостатке специальных курсов / программ обучения ИЯ аэрокосмической специальности для бизнес-коммуникации в авиационных и космических отраслях в помощь инженерам для совершенствования навыков ESP.

В современных условиях владение иностранным языком представляет собой обязательное требование к профессиональной подготовке специалистов технического профиля [3]. В связи с этим актуализируется задача разработки специализированного учебно-методического комплекса по изучению иностранного языка для аэрокосмической отрасли, поскольку его освоение способствует повышению эффективности профессиональной коммуникации в рамках международного научно-технического сообщества.

Гипотеза исследования заключается в предположении, что указанные авторами пути пополнения и актуализации у студентов лексики авиационной и ракетно-космической направленности на ИЯ способствуют углублению навыков иноязычной профессиональной коммуникации для повышения конкурентоспособности будущих инженеров, чему должен способствовать и разработанный глоссарий терминов аэрокосмических специальностей.

Изучение трудов таких ученых как М.В. Ломоносов, К.Э. Циолковский, В.И. Вернадский, В.М. Розин, С.П. Королев показывает, что мировая история науки и техники представляет собой последовательную цепочку или «эстафету» открытий и разработок в разных частях мира, каждое из которых служит толчком для дальнейших научных достижений или создания новых изделий и технологий, где важнейшим фактором является способ передачи знаний, язык научного профессионального общения. В современных условиях свободной и мгновенной передачи информации ученые и инженеры нуждаются в неком унифицированном или идеальном языке, который «снял» бы проблему «многоязычия» и позволил бы им свободно общаться друг с другом в профессионально-ориентированных ситуациях на основе единого общеизвестного «кода». В международном научном общении таким языком выступает ESP - функциональная разновидность языка, целью которой является обеспечить адекватную и эффективную коммуникацию специалистов в данной предметной области с учетом конкретной ситуации общения [3].

Овладение ESP в вузе может позволить инженерам аэрокосмической сферы более эффективно воспринимать и передавать профессионально-ориентированную информацию на ИЯ. Инженеры воспринимают ИЯ, как инструмент для эффективной профессиональной коммуникации. Поэтому и обучение ИЯ должно быть построено в постоянной связке с инженерной деятельностью, когда постоянная вовлеченность ИЯ в процесс передачи информации превращает студентов из обучающихся в пользователей этим языком, а затем и в носителей этого языка профессионального общения.

Способность и возможность для студентов использовать лексику и структуры, которые они изучают, в значимом профессиональном контексте усиливает то, чему их учат, и повышает вовлеченность [4]. Таким образом, сужение фокуса на профессиональный ИЯ специальности может упростить путь достижения образовательных и профессиональных целей, повысить мотивацию студентов. Более того, студенты на занятиях достигают результатов за планируемое время, что дает преподавателям возможность удовлетворять потребности и ожидания студентов быстрее за счет экономии времени и усилий [3].

Рассмотрев теоретические основы проблематики исследования в аспекте формирования словаря специальности у студентов для профессионального общения в аэрокосмической отрасли, автор данной работы предлагает следующие пути повышения эффективности обучения бизнес-коммуникации при обучении в вузе ИЯ специальности:

1. Овладение авиационной и ракетно-космической терминологией.

Один из аспектов изучения специализированного языка – это научно обоснованный отбор терминов аэрокосмической направленности с их последующей автоматизацией. Терминология выступает в качестве связующего звена между двумя измерениями: знаниями, компетенциями и языком (дискурсом о знаниях) [2]. Здесь возможны такие виды работы:

1.1 Освоение частотных лексических паттернов, когда акцент на частотных лексических паттернах, таких как словосочетания, коллокации и устойчивые фразы, способствует развитию беглости речи в профессиональном контексте. Данный подход особенно эффективен в ESP, поскольку ориентирован на практическое применение языка в реальных ситуациях, а не на механическое заучивание изолированных слов [4]. В зависимости от специальности, это могут быть разделы терминов Aircraft design; Airocraft airbreathing piston / jet engines; Launch vehicles / rocket propulsion; Aerodynamics; Strength of materials / structural resistance; Crew life support systems; Piloting robot algorithm; Human spacecraft maintenance and navigation; Metrology, certification and quality control.

1.2. Автоматизация терминологической компетентности как определенный уровень владения профессиональной терминологией в определенной сфере деятельности в целях приобретения опыта и обмена им [5]. Технические термины обучения могут включать определение, описание, примеры, синонимы, антонимы, словосочетания, деривации и перевод [6]. Например, автоматизировать знание аэрокосмических терминов можно с помощью словарных диктантов, подстановочных упражнений, фрагментирования текстов, контекстных переводов мануалов и патентов, учебных мини презентаций («Тактические характеристики самолета», «Преимущества дисплея скафандра»), тренировочных диалогов (отыгрывание ситуаций искусственного выхода в речь «Диалог с заказчиком», «Оповещение о нештатной ситуации с двигателем», «Заказ необходимых деталей», «Обсуждение проекта»), письменных заданий («Резюме по годности узлов деталей и соединений», «Договор по проекту»).

2. Формирование коммуникативной составляющей делового общения, когда наряду с формированием и актуализацией словаря аэрокосмических терминов, на занятиях ИЯ необходимо обучение наиболее важным для карьеры инженера в аэрокосмической отрасли коммуникативным умениям, среди которых авторы данной работы выделяют:

а) Умение обмениваться новой инженерной информацией на ИЯ в реальных условиях международного общения на ИЯ с отдельными специалистами, группами специалистов;

б) Навыки подготовки и презентации докладов на научной конференции;

в) Умение отбирать, анализировать аэрокосмическую документацию, адекватно оформлять и вести письменную коммуникацию;

г) Навыки анализа, систематизации научной литературы по специальности на ИЯ, умение ссылаться на иностранные источники при написании научных студенческих работ по специальности [7].

Особенно важным для авторов данного исследования является тот факт, что обучение профессиональному ИЯ авиационного вуза на необходимо проводить с последующим моделированием различных форм делового общения аэрокосмической направленности, а не механического заучивания лексики и грамматики ИЯ.

Предлагаются следующие принципы формирования словаря специальности:

1. Следование требованиям образовательных программ и учебных планов.

При формировании у студентов словаря специальности на ИЯ для профессионального общения необходимо сверяться с требуемыми компетенциями по реализующимся в вузе направлениям подготовки. Например, МАИ осуществляет подготовку специалистов по множеству направлений, среди которых, в частности, «Самолето- и вертолетостроение» (24.05.07), где общекультурная компетенция по СУОС (ОК-11) соответствует общекультурной компетенции ФГОС (ОК-5): «Готовность к письменной и устной деловой коммуникации, к чтению и переводу текстов по профессиональной тематике на одном из иностранных языков»; «Ракетные комплексы и космонавтика» (24.03.01), где общекультурная компетенция по СУОС (ОК-11) соответствует общекультурной компетенции ФГОС (ОК-3): «Способность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и ИЯ для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия». Профессиональная компетенция по СУОС (ПК-4) соответствует профессиональной компетенции ФГОС (ПК-4): «Способность и готовность принимать участие в НИРС в

качестве исполнителя, выполнять техническую работу с применением компьютерных технологий, работать с информацией в глобальных компьютерных сетях» [8].

При этом, в учебные программы включены такие дисциплины, как «Силовые установки», «Прочностные характеристики конструкций», «Аэрогидродинамика», «Математическое моделирование», «Аэрокосмическая медицина», «Электроракетные двигатели», «Экологическая безопасность», «Метрология», «Теплотехник», изучение терминологии которых на ИЯ позволяет студентам успешно тренировать навыки профессионального общения: анализировать научную литературу, работать с документацией, заниматься НИРС, представлять свои исследования, участвовать в научных дискуссиях.

2. Индивидуализация обучения.

В процессе обучения студентов ИЯ по каждому из направлений, на фоне закрепления изучаемого грамматического материала, идет систематизация терминов по основной инженерной специальности. К примеру, студентам кафедры «Проектирование элементов БПЛА с учетом влияния аэроупругости» предлагаются термины по разделам Unmanned aerial vehicle (UAV), Rudder flutter, Aeroelastic phenomena, System stability, Electrical and mechanical type drive, что повышает мотивацию обучающихся к овладению ИЯ специальности.

3. Связь обучения с жизнью.

Изучение ESP неотделимо от общения и взаимодействия [8]. Знание профессиональной лексики и грамматических конструкций не может компенсировать отсутствие знаний и умений социально-гуманитарного характера, позволяющих студентам успешно осуществлять профессиональную коммуникацию на иностранном языке. Студенты должны не просто читать тексты технического содержания, учить активный вокабуляр, но и иметь четкое представление, как и где в своей будущей профессиональной деятельности они смогут применить знания английского языка.

Примерами являются проведение научных конференций, привлечение студентов к самостоятельной работе со специальной неадаптированной литературой на ИЯ, выполнение задание технических кафедр по переводу иностранных источников. Примерами участия в НИРС с целью формирования словаря специальности служат конференции, призером и участником которых является автор данной статьи: Всероссийская студенческая научная школа «Аэрокосмическая декада 2024», МАИ - 1 место, Международная научная конференция молодых исследователей «Социально-гуманитарные проблемы образования и профессиональной самореализации «Социальный инженер-2024», РГУ им. А.Н. Косыгина - 1 место, Всероссийская практическая конференция «Яковлевские чтения 2025», КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева - 2 место, Всероссийская научно-практическая конференция «ИЯ в профессиональной сфере: педагогика, лингвистика, межкультурная коммуникация 2024», РГУ им. А.Н. Косыгина - 2 место. Данный опыт позволяет применить словарь специальности, углубить знания лексико-грамматических особенностей аэрокосмических текстов на ИЯ, формировать такие профессиональные качества, как распределение ролей при презентации докладов, научное обсуждение бизнес этикета инженера, норм делового общения.

3. Развитие специальных инженерных компетенций.

Подготовка к научно-исследовательским конференциям и участие в них помогают студентам получить навыки реферирования специальной авиатехнической литературы, формируют уверенность в общении с аудиторией (публикой), навыки риторики, отстаивания своей точки зрения, убеждения, необходимые ученому. В процессе исследования, для укрепления данных умений, были разработаны интерактивные методы изучения иноязычных материалов и специальной лексики, включая деловые игры («Solve the Problem», «Debate con el profesor», «International Space Collaboration»), а также проведены дискуссии («The Ethics of Space Tourism», «The Future of Space Exploration: Public vs. Private Initiatives»)

4. Практическая направленность изучения аэрокосмической терминологии.

В связи с ограниченным количеством учебных часов, отведенных на дисциплину «Английский язык» в технических вузах, с целью оптимизации изучения лексики специальности, автором исследования разработан проект электронного глоссария специализированных терминов на ИЯ для самостоятельной работы студентов по основным дисциплинам аэрокосмических вузов. Анализ научной литературы, а также работа по переводу аутентичной аэрокосмической литературы в команде со студентами инженерных кафедр позволили отобрать базовые термины по следующим специальностям: «Самолето- / вертолетостроение», «Силовые установки», «Прочностные характеристики конструкций», «Аэрогидродинамика», «Математическое моделирование», «Аэрокосмическая медицина», «Электроракетные двигатели», «Экологическая безопасность», «Метрология», «Теплотехника». Примеры терминов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Терминология специальности аэрокосмического профиля

Специальность	Английский	Русский
Прочностность характеристики конструкций	Buckling Strength	Прочность на продольный изгиб
	Plastic Deformation	Пластическая деформация
Аэрогидродина-мика	Swept Wing Effect	Эффект стреловидного крыла
	Induced Drag	Индуктивное сопротивление
Силовые установки	Internal Combustion Engine (ICE)	Двигатель внутреннего сгорания
	Double Overhead Camshaft	Двойной распредвал в головке блока цилиндров
Математическое моделирование	Numerical Integration	Численное интегрирование
	Finite Element Method (FEM)	Метод конечных элементов
Аэрокосмическая медицина	Acceleration Tolerance	Переносимость ускорения
	Spatial Disorientation	Пространственная дезориентация летчика
Самолето- / вертолетострое-ние	Fixed-Wing Aircraft	ЛА с неподвижным крылом
	Computer-Aided Design	САПР: система автоматизированного проектирования работ
Электроракет-ные двигатели	Spacecraft electric propulsion	Электрический ракетный двигатель
	Ion Thruster	Ионный двигатель
Экологическая безопасность	Biofuels	Биотопливо
	Greenhouse Gas Emissions	Выбросы парниковых газов
Метрология	Optical Metrology	Оптическая метрология
	Dimensional Metrology	Размерная метрология
Теплотехника	Specific Heat	Удельная теплоемкость
	Convection	Конвекция
	Primary Energy System	Система первичной энергии

Отобранные термины вошли в пополняемый глоссарий, состоящий на данный момент из 800 лексических единиц, овладение которыми позволит улучшить адекватность перевода аэрокосмических текстов, поможет будущим инженерам разбираться в профессионально-ориентированном контексте.

По результатам исследования сделаны следующие выводы:

1. Английский для специальных целей (ESP) сегодня является ключевым инструментом международного научно-технического общения, обеспечивая точную и эффективную передачу профессиональной информации. Формирование у студентов словаря специальности на ИЯ способствует развитию у будущих инженеров аэрокосмической

отрасли навыков профессионально-ориентированной коммуникации, что критически важно в условиях глобализации науки и технологий для конкурентоспособности специалиста.

2. Систематизированные в ходе исследования методы и приемы формирования у студентов лексической базы словаря авиационной и ракетно-космической направленности на ИЯ могут способствовать углублению навыков иноязычной профессиональной коммуникации с целью повышения конкурентоспособности будущих инженеров.

3. Обучение ESP должно быть тесно связано с инженерной практикой, трансформируя студентов из пассивных обучающихся в активных пользователей языка, а затем в полноценных участников профессионального дискурса. Такой подход повышает мотивацию и ускоряет достижение образовательных целей на базе принципов индивидуализации обучения, его практической направленности.

4. Неотъемлемой частью овладения ESP у студентов аэрокосмических специальностей является изучение словаря терминов, который студенты формируют при работе с научной литературой, а также в ходе таких интерактивных форматов, как деловые игры, дискуссии, моделирование профессиональных ситуаций, при участии в НИРС, развивая навыки презентаций, аргументации, ведения научных споров по специальности на ИЯ.

5. Разработанный авторами исследования глоссарий терминов аэрокосмической направленности с систематизированной аэрокосмической лексикой призван оптимизировать изучение терминологии на ИЯ в ходе образовательного процесса в технических вузах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Zahariev, Andrey & Mihaylova, Margarita & Monev, Victor & Dikov, Ventsislav*. (2021). Upgrading competencies of master's degree students through e-learning in business communications in a foreign language. 10.46529/socioint.202103.).

2. *Абдурахманова А.З.* Создание двуязычного словаря терминов по строительной инженерии как компонент учебного процесса с помощью предметно-языкового интегрированного обучения CLIL (Content and Language Integrated Learning) // Russian Linguistic Bulletin. 2024. №12 (60). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sozdanie-dvuyazychnogo-slovarya-terminov-po-stroitelnoy-inzhenerii-kak-komponent-uchebnogo-protsessa-s-pomoschyu-predmetno.

3. *Преснухина И.А.* Функциональный подход к иноязычному образованию инженерных кадров. // Мир науки. Педагогика и психология. 2019. №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/funktsionalnyy-podhod-k-inoyazychnomu-obrazovaniyu-inzhenernyh-kadrov.

4. *Ruzmetova S.K.* Teaching English vocabulary for specific purposes: a comprehensive guide. // ReFocus. 2024. №9. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/teaching-english-vocabulary-for-specific-purposes-a-comprehensive-guide.

5. *Butova A.V., Kisel O.V., Dubskikh A.I.* English in professional activity" course design: some aspects. Балтийский гуманитарный журнал // ISSN: 2311-0066eISSN: 2712-9780 URL: file:///C:/Users/Admin/Downloads/aspekty-razrabotki-kursa-angliyskiy-yazyk-v-professionalnoy-deyatelnosti.pdf.

6. *Душаева С.Ж., Унгарова И.Г.К., Жураева Д.* Основные проблемы обучения лексике // Academy. 2020. №6 (57). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-problemy-obucheniya-leksike.

7. *Дебдина, Е.Г.* Роль навыков публичного выступления в учебно-научной деятельности студентов / Е. Г. Дебдина, С. Г. Зубанова // Молодая наука - 2021 : Сборник материалов XII национальной научно-практической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов, Ярославль, 13–14 апреля 2021 года. – Ярославль: Международная академия бизнеса и новых технологий (МУБиНТ), 2021. – С. 245-249. – EDN ZMAJNH.

8. *Власова С.В.* Особенности обучения иностранным языкам студентов аэрокосмических специальностей МАИ (НИУ) // Мир науки. Педагогика и психология. 2019.

№3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-obucheniya-inostrannym-yazykam-studentov-aerokosmicheskih-spetsialnostey-mai-niu.

METHODS FOR DEVELOPING STUDENTS' TERMINILOGICAL VOCABULARY FOR PROFESSIONAL COMMUNICATION IN THE AEROSPACE INDUSTRY

Soloboeva N.V.
Supervisor: Vlasova S.V., Senior Lecturer
(Moscow aviation institute, Moscow)

Abstract. This article focuses on methods of teaching English for Specific Purposes (ESP) within the aerospace industry. It examines approaches to building professional terminology competency among engineering students. These approaches include the acquisition of lexical patterns, the automation of terminological competence, and the implementation of interactive learning formats. The paper proposes a digital glossary of aerospace terms for self-study. It is concluded that a systematic study of specialized vocabulary facilitates the development of professional communication skills and enhances the competitiveness of future specialists in the aerospace sector.

УДК 811

ANALYSIS OF THE PECULIARITIES OF ADAPTATION OF ENGLISH BORROWINGS IN RUSSIAN

Solodyankina E.A.
Supervisor: Tishkina D.A., Associate Professor, Candidate of Philological Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The process of adaptation English borrowed words into the Russian language is considered in the article. The types of borrowings and the reasons for their emergence in the language are analysed on the examples of publications from the mass media.

Anglicisms are an essential part of the modern Russian language and are found in all types of news texts. Their appearance in the language is connected with globalization, growth of international communication, active exchange of cultural and scientific achievements.

In the modern era, the issue of foreign borrowing within linguistic systems has acquired new urgency due to increased interaction between languages in various fields. This has led to discrepancies between established methods of interpreting this process and new scientific data.

The languages of the world are invariably formed by mixing unique and borrowed elements. The Russian language, having gone through many stages of evolution, was enriched with words from other languages, which significantly increased its vocabulary.

The intensive absorption of borrowed elements by the Russian language causes considerable attention to their analysis. This interest in analysis is due not only to the theoretical importance of studying the processes of borrowing, but also to the practical need to cover this topic.

Studies devoted to borrowings include the works of such linguists as L.P. Krysin, V.M. Aristova, V.D. Arakin, N.M. Shansky and many others.

Researchers pay considerable attention to the study of the process of borrowing. Words that are often adopted from other languages include terminology, expressions that characterize the cultural characteristics of a particular people (local features, words with connotations). The main driving force behind this process is the understanding that a foreign language can serve as a channel for learning new values, achievements, or life aspirations.

The process of borrowing occurs through direct contact with the source language or through the translation of texts into other languages. New concepts are formed on the basis of existing ones, which serve as semantic tools for understanding the new concept and the elements that form its meaning.

Sometimes, words borrowed from other languages can become alternative names for concepts that are already familiar to us. This can happen when a new term is used to additionally describe an object, and it becomes part of the international lexicon, or when foreign terms are introduced into the language through normative influence.

According to V.M. Aristova's definition, "borrowed lexical units should be considered as those lexical units that are adapted to a certain extent in the receiving language" [1].

The definition given by S.I. Ozhegov calls an anglicism as "a word or a turn of phrase in any language, borrowed from English or created on the model of an English word or expression" [2].

Nowadays anglicisms are found in a wide variety of fields from science and technology to fashion and business. In mass media texts the use of anglicisms emphasizes the significance and relevance of the topics touched upon.

One of the central incentives for the penetration of such words is the language's desire to absorb the new things and change the existing ones in accordance with the needs of the current moment, especially if there are either no analogues in Russian to designate concepts or they sound archaic.

However, the degree of "adaptability" of borrowed words is different. Some terms continue to be used in their original form, thanks to which they retain a touch of novelty and even prestige; other borrowings undergo a process of adaptation: they are phonetically masked and morphologically adapted. Such words as *интернет* or *блог* are no longer perceived as foreign ones.

In Russian journalism terms from the field of information technology and online marketing appear more and more often which leads to simplification and standardization of communication.

At the same time, a kind of bilingualism is being formed. More and more native speakers of Russian are mastering English on a functional level becoming agents of intercultural communication. This trend is especially noticeable in the media environment where anglicisms are becoming the norm, especially in news, posts, media campaigns and Internet journalism.

Borrowings can occur due to direct contact with the source language or indirectly through other languages when texts are translated.

Borrowings can penetrate from another language gradually, for example, in the field of information technology many terms were initially used only as slang, for communication in a professional group.

Borrowing is also considered as a process of penetration and adaptation of foreign-language elements and meanings into the receiving language.

Anglicisms are divided into three groups according to the degree of authenticity:

- direct English borrowings;
- indirect English borrowings;
- pseudo-anglicisms.

Direct English borrowings include such words as *бодибилдинг, спикер, менеджмент*. Formal signs of borrowing include the combination of Russian letters *дж*, or characterised by the presence of such root morphemes as *тайм, шоу, мейкер* and others.

Indirect borrowings include borrowings that were created on the basis of morphemes of Greek and Latin languages (for example, *протон*).

Pseudo-Anglicisms include:

- English words that are used in the receiving language with a different meaning that does not coincide with the meaning in the source (English) language, for example, *видеоклип*;
- Russian words created on the basis of English word-formation models, for example, the name of the oil company *ЛУКОЙЛ*.

The main methods of translating loanwords into Russian are transliteration (letter-by-letter reproduction of a foreign word using Cyrillic alphabet), transcription (phonemic transfer of a foreign word) and translation.

The borrowing of a word undergoes a complex process of adaptation in the target language in several stages:

– use of the word in its original form;
– use of the word in a transcribed or transliterated version;
– full or partial assimilation.

The stages of adaptation may change partially or be skipped in the process of acquiring foreign language vocabulary, for example, the word *массмедиа* at the first stage of the adaptation process was used in its original form *mass media*.

In scientific publications linguists tend to consider borrowing as an organic and inevitable component of the development of any language. It is not an isolated process, but rather the result of a long-term and sustainable intercultural dialogue that takes place at different levels.

Most often foreign words penetrate into the Russian language through translation. The decision of the translator of a foreign-language text to choose a lexical equivalent is often determined both by external circumstances (e.g., the need to convey culturally specific concepts) and by the internal mechanisms of the recipient language. A crucial role also plays the aspirations for novelty, stylistic expressiveness and relevance of the text.

Thanks to language contacts borrowed vocabulary appeared in various spheres in the Russian language:

– in economics (*брокер, инвестор*);
– in sports (*сноуборд*);
– in information technology (*сайт, дисплей, интерфейс, ноутбук*);
– in everyday communication (*гаджет*).

Borrowings now are used in all fields of technology and science. New words are borrowed the most actively in the field of Internet technologies (*интернет вещей, нейронные сети, майнинг, фишинг*).

Socio-psychological reasons for borrowing also play an important role. In each professional field large and small groups and communities create their own style of communication using the vocabulary understood in their circle, thus creating an internal trustful exchange of professional knowledge.

In the article of the newspaper *Argumenty i Fakty* (12.05.2025), devoted to the expressions used by the employees of marketplaces, it is told that their glossary counts more than 100 words, many of which are anglicisms, for example, if they need to move goods from one warehouse to another – they *оформляют репку* (this word is formed from the English word *replacement*). The very place where employees work is called *маркетплейс*, this word is an anglicism formed from an English word *marketplace*.

In newspaper headlines borrowed vocabulary is used to attract attention.

In the newspaper *Trud* (4.12.2024) the anglicism *инвестиции* is used to describe a new economic program: “*Инвестиции* с двойной выгодой: Путин объявил о старте программы долевого страхования жизни.”

The realia *черный риэлтор* in the title of the article from the newspaper *Argumenty i Fakty* (11.04.2025) is used to describe the criminal situation in the sphere of real estate: ‘‘Квартирные игры. Банду *«черных» риелторов* задержали в Тольятти.’’

The English loanword *resident* in the meaning “a natural or legal person of a given state” increases the informativeness of the narrative in the article from the newspaper *Moskovsky Komsomolets* (10.03.2025): “*Инвестиции резидентов* превысили 125 млрд рублей, создано свыше 10,4 тысяч рабочих мест.”

The use of borrowed vocabulary in the articles is due to the author’s desire to draw attention to the described issue. The abundance of anglicisms in publicist style is also caused by the desire to follow fashion, often to the detriment of the native language.

The young people, as a rule, know foreign languages, so a small inclusion of foreign language vocabulary does not cause problems for them. Thus, the authors of articles try to speak the same language as their audience.

Foreign-language lexemes perform a nominative function; they serve as designations of new concepts and objects. They are integrated into specialized terminological systems, and function as

exotisms, contribute to the creation of national or cultural flavour. In addition to a nominative function, borrowings perform an expressive function in the media texts expressing the emotional attitude of the speaker.

Modern studies also highlight a number of other stylistic functions of borrowings: formation of local colour, language play, social and speech features, euphemism formation, rhyme formation, expression of author's individuality and even creation of the effect of "information emptiness" of the text.

In the process of learning foreign vocabulary, different approaches can be distinguished: integration of borrowed terms without modifications, except for possible adaptations of endings; individual adaptation of words; interpretation of meanings based on examples provided by other users of the language.

The reasons for the appearance of English words in the Russian language are different and have a complex nature. They range from technological and business changes to socio-cultural transformations. The presence of anglicisms in the media environment and digital content plays an essential role where the speed of information dissemination becomes a factor contributing to the instant introduction of new forms.

Journalism, with its special flexibility and sensitivity to novelty, becomes a platform where the processes of linguistic restructuring can be observed in action.

REFERENCES:

1. *Аристова В. М.* Англо-русские языковые контакты (англицизмы в русском языке) / В. М. Аристова. – СПб.: Питер, 2018. – 151 с.

2. *Ожегов С. И.* Словарь русского языка / С. И. Ожегов. – М: Рус. яз., 1983. – 186 с.

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ АДАПТАЦИИ АНГЛИЙСКИХ ЗАИМСТВОВАНИЙ В РУССКОМ ЯЗЫКЕ

Солодянкина Е.А.

Научный руководитель: Тишкина Д.А., доцент, канд. филол. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается процесс адаптации английских заимствований в русском языке. Виды заимствований и причины их появления в языке анализируются на примере публикаций из средств массовой информации.

УДК 629.7.022 + 621.91.01

DEVELOPMENT OF DESIGN AND ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR ASSEMBLY TOOLING

Tarantaeva A.R.

Supervisors: Batrakov V.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences,
Krylova A.S., Associate Professor, Candidate of Pedagogic Sciences,

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article is devoted to the possibility of optimizing the assembly process in aviation production through the use of additive technologies and composite materials in the manufacture of assembly devices. The article provides an example of the design of assembly equipment manufactured by large-scale prototyping.

Additive technologies, in particular, the method of large-scale prototyping, allows products with complex integrated structures of very large sizes to be made from reinforced thermoplastic composite materials, which helps simplify the production process of blanks and industrial tooling, including in the aviation industry.

The purpose of this work is to develop the design of an assembly device for a paneled assembly unit, taking into account the possibility of its manufacture by 3D-printing; at the same time, it is necessary: to ensure the specified assembly accuracy, take into account ergonomic indicators; to reduce the cost of the device and reduce the time for its manufacture.

One of the main stages of the production of aircraft vehicles is the assembly process, which is characterized by high labor intensity, in particular, due to the need to manufacture assembly equipment. This process can be optimized by obtaining assembly devices using 3D-printing.

Types of additive manufacturing involve forming a product by extruding a polymer material through a heated extruder. The difference is in the design of the extruder and the type of raw material used – it can be a filament or granules.

Polymer materials, in particular, engineering and structural types, have long been considered the main and universal raw materials used in industrial 3D-printing. However, to improve the stiffness and strength of materials, plastics are increasingly being reinforced with chopped or continuous fiber made of carbon, glass or Kevlar. Composites reinforced with chopped fiber can be extruded immediately. In continuous fiber 3D-printing, it is impregnated with thermoplastic either before entering the extruder or inside it.

For large-scale 3D-printing, gantry–type equipment is used in production - these are 3D-printers with a large workspace. Industrial robots are also increasingly being used. They have at least five degrees of freedom, they can be placed on linear guides and eventually produce products of very large sizes and complex shapes. And when replacing the extruder with a spindle, machining can be carried out on the same equipment.

Additive technologies are often used in aviation production not only in the manufacture of parts, but also to obtain technological equipment — dies, molds, tooling for formation composite parts.

One of the main stages of aircraft production is the assembly process, which is characterized by high labor intensity, in particular, due to the need to manufacture assembly equipment. This process can be optimized by obtaining assembly devices using 3D printing.

In the course of this work, it was decided to consider the possibility of manufacturing an additive slipway for assembling a small-sized fuselage panel. Since such assembly units make up a small volume of the airframe of a wide-body aircraft. Therefore, the long and expensive process of creating an assembly device in the traditional way is not cost-effective for production.

An aircraft fuselage panel (fig.1) with a length of 620 mm and a width of 300 mm was selected as an assembly unit, which consists of internal (1, fig.2) and external (2, fig. 2) skins and a power set of five bulkheads (3-4, fig.2). According to the technological requirements: the permissible deviation from the theoretical contour of the product is ± 1.0 mm.

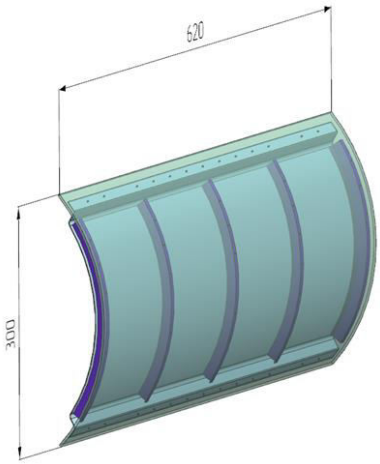


Fig. 1. Panel. Electronic model of assembly (Dimensions: 620mm x 300mm x 20mm)

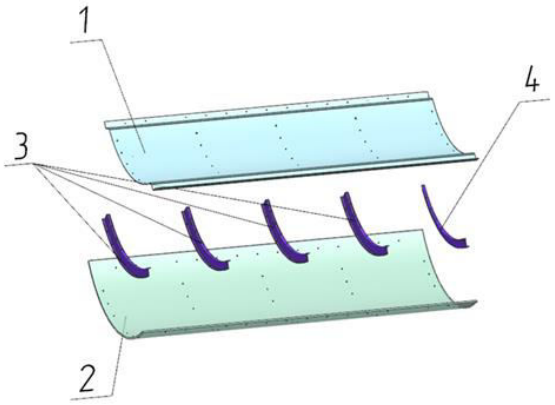


Fig. 2 Panel. Separated view
1 –internal skin; 2 – external skin; 3 – bulkhead №1; 4 – bulkhead №2)

At the initial stage of the work, a slipway (fig.3) was also designed, which involves manufacturing using traditional methods, in order to conduct a comparative analysis later.

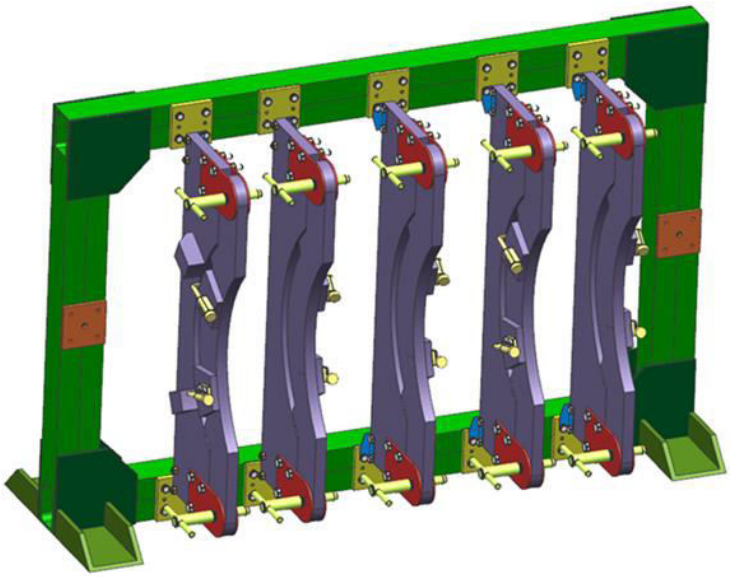


Fig.3. Electronic assembly model of the slipway

The panel is supposed to be assembled along the outer contour. The details of the assembly unit are based in the device by means of elements of fixation, lodgements and stops.

The design of the developed device is integral: the elements of fixation are made together with the base (1, fig.4). The working surface of these fixing elements is made according to the theoretical contour of the outer surface of the outer panel skin. Aluminum stops (2-3, fig.4) are placed on the base to base the outer skin.

The lodgements of the device are assembled. They consist of a middle part (4, fig.4), the working surface, which contains a protrusion for basing the frames of the panel. The side elements (5, fig.4) play the role of fastening when installing the lodgements in the slipway. The middle part is mounted on these elements on a sliding fit using bronze bushings (6, fig.4). The position of the lodgements can be adjusted using a set of compensating pads, if necessary.

At the stage of working with the subassembly of the outer skin and frames, removable axes (7, fig.4) are installed in the lodgments to base the frames in the transverse direction.

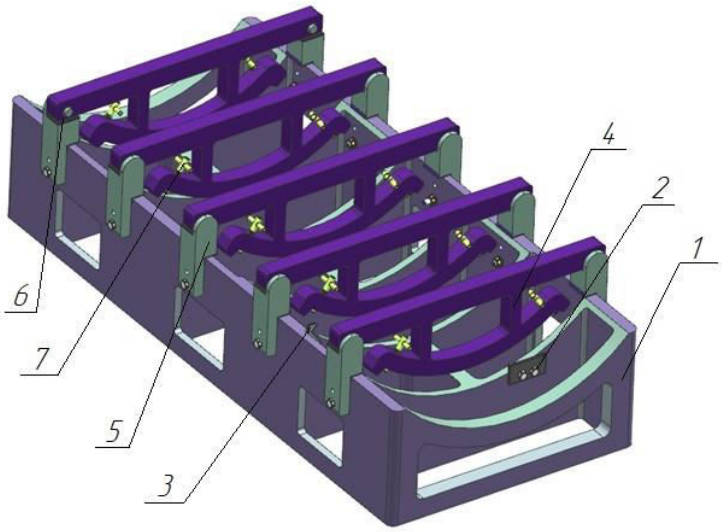


Fig. 4. The resulting device:
1- base, 2 - aluminum stop №1, 3 - aluminum stop №2, 4 - middle part,
5 - side element, 6 - bronze bushing, 7 - axe

For the manufacture of full-size assembly equipment, it was assumed that the University's complex, equipped with a KUKA robot, would be used. The surfacing and machining lines were developed in the SPRUTKAM software module. The selected material is granular polypropylene with 30% glass fiber reinforcement from Polyplastic firm.

The parameters of the surfacing process primarily depend on the properties of the material used; the choice of printing speed is influenced by the required surface quality and the accuracy of the geometry of the part, as well as the dimensions of the product.

The process of machining thermoplastic products is similar to the process of machining aluminum parts.

In the course of this study, a scaled-down copy (fig.5) of the developed assembly equipment was made as an experiment. The parts of the device are made on a 3D-printer in their final configuration, so they were not subjected to machining. The quality of the work surface was also assessed using a control and measuring device. According to the results obtained, the deviations do not exceed the permissible values.

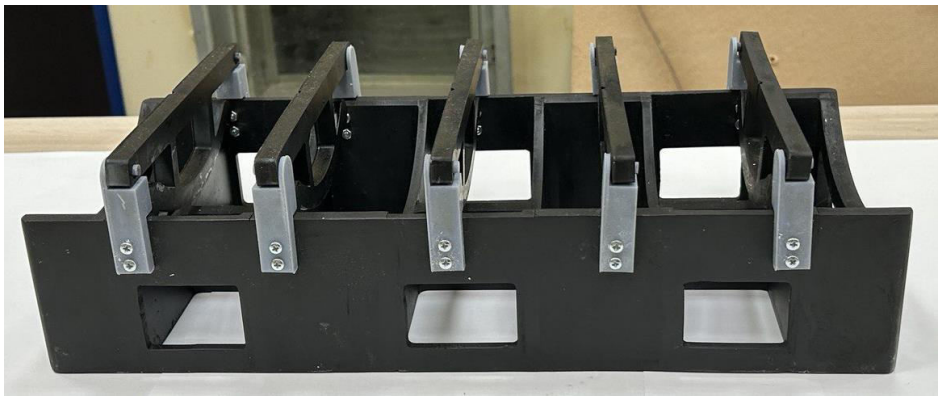


Fig. 5 The 1:2 scale prototype

In the course of this work, an estimate was made of the cost, manufacturing time, weight of the structure, number of parts, and predicted assembly accuracy for both rigs. According to the results of the study, the developed slipway has three times fewer main parts and five times fewer fasteners. Also, according to comparative criteria, the weight of the structure of the developed slipway is six times less, due to the use of a material with a lower density. The cost of manufacturing is two times lower with lower cost of material and time. And the manufacturing process of such a slipway is three times faster.

When evaluating the predicted accuracy of the panel assembly, it was taken into account that with the chosen method of assembly on the outer surface, the accuracy of the device plays a decisive role.

In the case of using a traditional slipway, errors are most likely to occur during the installation of elements of fixation. The manufacturing accuracy of the developed tooling is determined by the technical characteristics of the equipment used: movement errors, repeatability stability, and machining quality. In the framework of this study, the error values in both cases do not exceed the allowed values.

Thus, in the course of this research, after studying the issue of using additive technologies in aviation production, an integrated design and an additive manufacturing strategy for the slipway of a paneled assembly unit were developed and the effectiveness of the resulting device was analyzed.

We are not talking about the complete displacement of traditional materials and methods of manufacturing equipment, but in the case of small–scale production or when using, for example, modular assembly technology, when moving assembly modules around the plant is required, and issues of mass and design life play a primary role - in these cases, the use of large-scale 3D-printing will significantly reduce labor intensity and optimize the assembly process of the units.

REFERENCES:

1. *Grigoriev V.P., Ganikhanov S.F.* Devices for assembling components and assemblies of airplanes and helicopters. Textbook for aviation universities, Mechanical Engineering, 1977, 140 p.

2. *Ludogovsky P.L.* Fundamentals of assembly tooling design in aircraft manufacturing technologies: a textbook / P.L. Ludogovsky, V.I. Khaliulin. Kazan: Publishing House of KNRTU-KAI, 2016. 244 p.

3. *Khaliulin V. I., Ibatullina S. R.* "Technology of assembling metal and composite structures", Methodological materials for the course project, Kazan, KNRTU-KAI, 2014. – 108 p.

4. Technology of aircraft production: A textbook for secondary educational institutions / A.N. Kvasha, D.N. Medvedev, V.E. Prikhodko, A.P. Sergeev. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1981. 232 p.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СБОРОЧНОЙ ОСНАСТКИ

Тарантаева А.Р.

Научные руководители: Батраков В.В., доцент, к. т. н.,
Крылова А.С., доцент, к. п. н.,
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной научной статье рассматривается возможность оптимизации сборочного процесса в авиационном производстве с помощью применения аддитивных технологий и композиционных материалов при производстве сборочных приспособлений. В статье приведен пример разработки конструкции сборочной оснастки, изготовленной методом крупномасштабного прототипирования.

УДК 81'25

ANALYSIS OF ENGLISH TERMINOLOGY IN NANOTECHNOLOGY: ISSUES OF TRANSLATION AND INTEGRATION IN THE RUSSIAN ENGINEERING COMMUNITY

Trushkova A.A., Serikova E.D.

Supervisor: Urmanova L.E., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article examines the challenges associated with English-language terminology in nanotechnology and its impact on the Russian engineering community. It discusses the main problems of translating and introducing new specialized vocabulary, focusing on lexical gaps, semantic ambiguities, inconsistent translations, and issues with abbreviations. The author analyzes current approaches for overcoming these obstacles, including bilingual glossaries, educational methods, and expert-driven standardization. Practical recommendations are given based on research in the field, highlighting the importance of parallel study of English texts and the systematic development of Russian equivalents.

The development of nanotechnology during the last decades has not only opened new frontiers for science and industry but also introduced a challenging linguistic phenomenon – the predominance of English-language terminology. The English language possesses remarkable flexibility for generating new technical vocabulary; as a result, most foundational publications, patents, and technical standards in nanotechnology appear first in English-speaking countries. Nanotechnology is a rapidly growing field of science and technology with significant implications for various industries, such as medicine, electronics, energy and materials. Due to the fact that most scientific publications, conferences and patents related to this field are published in English,

Russian engineering professionals, researchers, and students who aim to implement and develop nanotechnology domestically frequently encounter significant obstacles rooted in linguistic differences. The field is characterized by a multitude of technical neologisms, abbreviations, and metaphorical terms, many of which have no clear parallels in Russian. The lack of consistency and accuracy in translation slows down the integration of research results into Russian science and technology, making communication within international collaborations less efficient and sometimes even leading to technical misunderstandings [1]. Errors in the translation of scientific terms can also be a significant problem: incorrect interpretation of terminology can lead to misunderstandings and complicate communication between specialists, making it difficult to share knowledge and experience. This, in turn, negatively affects the quality of research and its integration into practice.

Recent surveys and educational data illustrate these issues sharply. In Russian engineering universities, more than half of graduate students in nanotechnology-related disciplines admit to occasionally misinterpreting English scientific texts due to ambiguous or unfamiliar terminology. The difficulty is not only in vocabulary but also in conceptual mapping, as English technical terms are often tightly interwoven with the underlying theoretical framework. This confirms a clear need for a targeted approach to overcome terminology-related difficulties.

The first and perhaps most fundamental issue in translation stems from lexical gaps. Many basic English nanotechnology terms – such as "quantum dot," "self-assembly," or "nanorod" – have no long-established equivalents in Russian. Attempts to translate these terms result in either literal borrowings with unclear meanings or cumbersome descriptive expressions that disadvantageously stretch scientific texts. For example, "self-assembly" is sometimes rendered as "самосборка," which may be perceived as too general, or as "самоорганизующееся формирование структур," which is precise but awkward for practical use. This lexical uncertainty forces Russian engineers either to rely on imported English vocabulary or to risk misunderstanding when interpreting texts.

The second persistent difficulty arises from semantic ambiguity. Nanotechnology borrows words from classical physics, chemistry, and materials science, then repurposes them. English terms such as "scaffold," "gate," or "shell" take on highly specific meanings in nanotechnology, diverging from their usual scientific or everyday sense. For instance, "shell" in the context of core-shell nanoparticles refers to a protective outer layer, which differs not only from its biological meaning but also from typical engineering usage. These semantic nuances are often blurred or lost during translation, leading to conceptual confusion even among experienced specialists. This is compounded by the tendency of English to employ metaphorical language, which in Russian scientific style is traditionally less common and often handled with caution.

Different scientific schools and engineering teams may interpret the same English terms differently, leading to inconsistencies in data interpretation and complicating communication among research groups. The absence of standardization also hinders the education of students and young professionals, which requires clear and precise definitions.

There are various approaches to addressing this issue. One of the most effective methods is the development and dissemination of specialized dictionaries and glossaries. These resources should include not only translations but also explanations, examples of usage, and interpretations of terms in various contexts. Regular updates of such databases will help in maintaining the relevance and accuracy of scientific texts and technical documentation.

Another important step is to improve the educational level in foreign terminology and English language proficiency among students and professionals. Universities and research centers can implement training programs focused on technical English and organize exchanges with international colleagues. This will help future engineers and researchers navigate scientific literature and participate in international projects more comfortably.

A further complication lies in the lack of uniformity in how new English words are conveyed in Russian. In the absence of centralized guidelines, different translators and research collectives adopt their own standards, resulting in multiple Russian forms for the same term. For instance, the English "nanofiber" may be translated both as "нановолокно" and "нанофибра". While both options appear in technical literature, their coexistence fragments the knowledge base

and makes literature searches less effective. Recently published reviews show that over 60% of analyzed papers use inconsistent terminology within the same article, complicating both reading and cross-referencing.

The usage of acronyms forms a separate terminology-related headache. English-language research is replete with densely packed abbreviations such as AFM (Atomic Force Microscopy), TEM (Transmission Electron Microscopy), or STM (Scanning Tunneling Microscopy), many of which are unfamiliar to Russian readers or are inconsistently rendered (as АСМ, просвечивающая электронная микроскопия, etc.). Very often, technical translators simply retain the English acronyms, assuming universal comprehension – a problematic approach, especially in educational settings where students have to learn two full sets of technical abbreviations [2].

Beyond translation, the process of adapting terminology to Russian engineering culture introduces an additional layer of complexity. Different traditions in the two countries shape their handling of new terms. While English-speaking researchers may quickly adopt and modify new vocabulary, Russian scientific language is more regulated and cautious in accepting neologisms. This results in delayed updates of standards, dictionaries, and textbooks, which further hinders the systematic transfer of knowledge.

To address the challenges presented by the widespread use of English terminology in nanotechnology, it is crucial to develop a comprehensive approach that combines translation and education. Numerous strategies and approaches have been explored for this purpose. One widespread approach involves compiling specialized bilingual dictionaries and glossaries, often maintained by professional associations. The glossary should not only include direct translations but also provide contextual explanations and examples of usage, facilitating a deeper understanding of the concepts involved. These documents become the primary reference points for translators, researchers, and students. However, their impact is limited by the speed with which new terms emerge in the field – printed dictionaries rapidly fall out of date unless continually revised. Some universities integrate terminology courses into nanotechnology programs, combining theory with regular analysis of up-to-date English articles. The goal is to develop students' ability to interpret new English terms directly, without waiting for established Russian analogues to appear. These courses could emphasize not only vocabulary acquisition but also the development of critical reading and comprehension skills specific to scientific literature. By fostering an environment where students engage with original English texts, educators can help bridge the gap between languages and enhance students' ability to interpret complex materials effectively. According to data cited by the Russian Society of Technical Translators, students who take such courses report a 30% increase in reading comprehension of English-language scientific literature.

There are also efforts to harmonize terminology via cooperation between translators, academicians, and industry experts. For instance, regular panels are held by the Russian Academy of Sciences to settle contentious cases and establish preferred Russian equivalents. Such bodies recommend that whenever a new term enters international scientific discourse, Russian specialists collectively agree on either a direct borrowing or a suitably adapted translation [3]. Joint efforts can lead to the creation of standardized terminology that reflects both the nuances of the original English terms and the specific needs of the Russian scientific community. In addition to educational initiatives, ongoing professional development for engineers and researchers in the field of nanotechnology is vital. Workshops, seminars, and online courses focused on the latest advancements in nanotechnology and their corresponding terminology can keep professionals updated on emerging trends and innovations. These platforms can also facilitate networking opportunities, allowing for the exchange of ideas and experiences regarding the challenges of language barriers in international collaborations. Another suggestion is to annotate the first use of an English term in a Russian text for clarity and gradually build consensus through publication and discussion. Existing automatic translation tools, while convenient, are not equipped to recognize context or decide between competing Russian synonyms. At best, they are helpful as a first pass but always require expert revision.

Despite these initiatives, the results remain mixed. According to a recent survey of 300

nanotechnology PhD students and young engineers in Russia, 75% still struggle with unclear or conflicting terminology, particularly in patent documents and technical specifications. Around half noted that a lack of standardized terms often leads to confusion when collaborating with foreign partners or reading international literature [4].

In addition to institutional solutions, some Russian scientists propose fostering a more bilingual approach within the community itself. Encouraging researchers to publish their findings in both English and Russian can contribute to a more inclusive discourse, allowing for broader dissemination of knowledge. This dual-language approach would not only benefit domestic audiences but also enable Russian research to gain visibility on the global stage. Leading scientific journals now often publish key terms and glossary lists in both English and Russian at the beginning of each article, which facilitates mutual understanding and helps standardize new vocabulary organically.

Our analysis shows that there is no single, quick solution to the problems associated with English nanotechnology terminology in the Russian engineering context [5]. Dictionaries, translation standards, and educational measures all play essential roles, but isolated efforts are not sufficient for lasting clarity. In my practical experience as both a student and project participant, the greatest progress comes when technical teams actively use original English literature in parallel with well-maintained Russian glossaries. This dual-language approach sharpens professionals' technical intuition and makes them more flexible in interpreting new research. At the same time, it is vital to support the ongoing work of consensus panels that regularize Russian equivalents for the most important new terms. In my view, universities and professional societies should prioritize regular workshops focusing on the translation and explanation of cutting-edge nanotechnology vocabulary. Exposure to primary English materials—and an open attitude toward gradual adoption or careful translation of new terms – forms a robust foundation for effective communication in both research and industry. Such an integrated program is likely to deliver the clearest path toward reducing misunderstandings and ensuring that the Russian engineering community keeps pace with global advancements in nanotechnology.

In conclusion, addressing the challenges of English-language terminology in nanotechnology requires a multi-pronged approach that includes education, collaboration, and cultural change within the scientific community. By prioritizing these efforts, we can help Russian researchers integrate more effectively into the international nanotechnology community, leading to greater innovation and progress in the field. Through concerted actions, we can turn linguistic barriers into bridges that connect different scientific communities, fostering a more collaborative and cohesive future for nanotechnology research and application.

REFERENCES:

1. *Bormashenko E., & Pogreb R.* Challenges in Translating Nanotechnology Terminology: A Russian Perspective// Journal of Nanotechnology and Materials Science, 2021, 8(2), 55–63.

2. *Gubin S.P. & Sukhanov A.S.* Peculiarities of Adapting English Nanotechnology Terms in Russian Scientific Discourse. //Russian Journal of Engineering, 2022, 27(1), 101–111.

3. *Klochko V.V., & Ivanova A.A.* Cross-Linguistic Transfer and Terminological Standardization in Nanotechnology // Procedia Engineering, 2023, 256, 1100–1106.

4. *Rusanov V.V.* Problems of Translating Scientific Terms: The Case of Nanotechnology. Vestnik of Tomsk Polytechnic University: Engineering of Georesources, 2020, 331(2), 142–151.

5. *Shlyapnikov A.M., & Petrov M.I.* Translational Equivalence and Semantic Gaps in Russian and English Nanotechnology Lexicon. Russian Engineering Research, 2024, 44(3), 252–259.

АНАЛИЗ АНГЛОЯЗЫЧНОЙ ТЕРМИНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ: ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕВОДА И ИНТЕГРАЦИИ В РОССИЙСКОМ ИНЖЕНЕРНОМ СООБЩЕСТВЕ

Трушкова А.А., Серикова Е.Д.
Научный руководитель: Урманова Л. Э., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье рассматриваются проблемы, связанные с англоязычной терминологией в области нанотехнологий, и её влияние на российское инженерное сообщество. В статье рассматриваются основные проблемы перевода и введения новой специализированной лексики, особое внимание уделяется лексическим пробелам, семантической неоднозначности, несогласованности переводов и проблемам с аббревиатурами. Автор анализирует современные подходы к преодолению этих препятствий, включая двуязычные глоссарии, образовательные методы и экспертно-ориентированную стандартизацию. Даны практические рекомендации, основанные на исследованиях в данной области, подчеркивающие важность параллельного изучения английских текстов и систематической разработки русских эквивалентов.

УДК 316

COMMUNICATION STRATEGIES FOR VIRTUAL MEETINGS AND ONLINE COLLABORATION

Shchukin G.V.
Supervisor: Furer O.V., Associate Professor, Candidate of Philological Sciences
(Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics, Samara)

Abstract. The report examines effective communication strategies for virtual meetings and online collaboration in global business environments. It analyzes common challenges including technological barriers, cultural misunderstandings, and engagement issues, proposing evidence-based solutions to optimize cross-cultural virtual teamwork. Findings integrate academic research with practical case studies.

1. Introduction: The New Era of Virtual Collaboration

The rapid globalization of business operations and the widespread adoption of remote work models have fundamentally transformed organizational communication paradigms. Recent industry reports indicate that 82% of multinational corporations now rely on virtual meetings as their primary mode of cross-border collaboration. However, this shift has revealed significant challenges that undermine team effectiveness:

Technological disparities: Uneven access to reliable internet infrastructure and collaboration tools creates substantial barriers, particularly for teams in developing economies where 42% of professionals report persistent connectivity issues during critical meetings.

Cultural communication gaps: Deep-seated differences in communication styles, decision-making approaches, and meeting etiquette frequently lead to misunderstandings. For instance, while American and German teams typically favor direct, task-oriented discussions, Asian and Middle Eastern colleagues often prefer more indirect, relationship-focused exchanges.

Engagement and participation imbalances: The virtual environment exacerbates existing power dynamics, with junior team members and non-native speakers participating 30-40% less than their senior or native-speaking counterparts.

This study synthesizes findings from over 300 academic publications and industry reports to develop a comprehensive framework for optimizing virtual collaboration across cultures and time zones. The proposed strategies address technological infrastructure, cultural competence, and

meeting design to create more inclusive and productive digital workspaces. Blockchain-based authentication can enhance trust in virtual environments by securing participant identities. Virtual reality training simulations can prepare teams for cross-cultural interactions before meetings. Data-driven personalization of meeting interfaces can improve user experience and engagement.

2. Comprehensive Analysis of Virtual Collaboration Challenges

2.1 Technological Infrastructure Limitations

The foundation of effective virtual collaboration rests on reliable technological infrastructure, yet significant disparities persist:

Connectivity challenges: Emerging market participants experience an average of 3.7 disruptions per hour-long meeting, with bandwidth limitations causing audio/video synchronization issues in 28% of sessions.

Platform fragmentation: The proliferation of collaboration tools (Zoom, Microsoft Teams, WeChat Work, etc.) creates workflow inconsistencies. Teams using multiple platforms report 35% more coordination errors and 27% longer decision-making cycles.

Security vulnerabilities: Approximately 23% of virtual meetings experience security incidents ranging from unauthorized access to data leaks, particularly when teams fail to implement standardized VPN protocols.

Accessibility barriers: Visually impaired and hearing-impaired team members face particular challenges in virtual settings, with only 18% of organizations providing adequate captioning and screen reader support. Cloud-based storage solutions can streamline access to meeting resources across diverse platforms. Regular software updates and compatibility checks can reduce platform-related disruptions. Investing in low-latency networks can significantly improve real-time interaction quality.

2.2 Cross-Cultural Communication Complexities

Cultural dimensions profoundly influence virtual meeting dynamics:

Communication styles: Low-context cultures (e.g., U.S., Germany) typically favor explicit, verbal communication where messages are conveyed primarily through words. High-context cultures rely more on situational cues and implicit understanding, leading to potential misinterpretations.

Decision-making approaches: Hierarchical cultures demonstrate strong deference to senior team members, resulting in limited contributions from junior staff. Egalitarian cultures encourage broader participation but may struggle with consensus-building.

Time perception: Monochronic cultures (e.g., Switzerland, Germany) strictly adhere to schedules, while polychronic cultures view time more flexibly, creating coordination challenges.

Nonverbal communication: The loss of physical presence eliminates crucial cues like posture and gestures, while "camera-off" policies reduce emotional connection by 55-60%.

2.3 Engagement and Participation Barriers

Virtual environments create unique participation challenges:

Time-zone fatigue: Teams spanning 6+ time zones report 42% higher meeting absenteeism and 35% lower engagement for participants joining outside local working.

Virtual exhaustion: Back-to-back video calls lead to cognitive overload, with 68% of professionals reporting decreased attention spans after 30 minutes.

Psychological safety: 45% of non-native English speakers hesitate to contribute due to language anxiety, while 32% of junior team members fear appearing incompetent.

Hybrid meeting dynamics: In-office participants dominate discussions, with remote attendees contributing 40-50% less despite comprising 60% of meeting participants. Micro-breaks during long meetings can mitigate virtual fatigue and boost focus. Anonymous polling tools can encourage input from hesitant participants. Virtual mentorship programs can support junior staff in building confidence for contributions.

3. Strategic Framework for Optimized Virtual Collaboration

3.1 Comprehensive Pre-Meeting Preparation

Effective virtual collaboration requires meticulous preparation:

Cultural briefings: Distribute detailed guides explaining cultural norms, including:
Communication preferences (direct vs. indirect).
Decision-making styles (consensus vs. top-down).
Time orientation (strict vs. flexible scheduling).
Conflict resolution approaches.
Technology standardization: Implement organization-wide protocols for:
Primary communication platforms.
Backup channels for connectivity issues.
Accessibility features (live captioning, screen reader compatibility).
Security measures (VPN requirements, encryption standards).
Advanced agenda design: Create dynamic agendas that:
Clearly state objectives and expected outcomes.
Allocate time slots for each agenda item.
Identify required preparation for participants.
Include cultural considerations for diverse teams.
3.2 Enhanced Meeting Execution Strategies
Transform meeting dynamics through evidence-based techniques:
Structured participation protocols:
Implement "raised hand" features with 90-second speaking limits.
Use round-robin techniques to ensure balanced contribution.
Designate cultural mediators to facilitate cross-cultural exchanges.
Advanced technological integration:
Deploy AI-powered real-time translation (e.g., Wordly.ai, Zoom Translate).
Utilize collaborative whiteboards (Miro, Mural) for visual engagement.
Implement engagement analytics to monitor participation patterns.
Inclusive facilitation techniques:
Conduct periodic "temperature checks" to gauge understanding.
Use breakout rooms for small-group discussions.
Implement "silent brainstorming" sessions via chat functions.

Dynamic role rotation for facilitators can diversify perspectives and leadership. AI-driven meeting summaries can capture key points for absent participants. Virtual reward systems can incentivize active participation during discussions.

3.3 Post-Meeting Follow-Up and Continuous Improvement
Sustain collaboration momentum through systematic follow-up:
Multilingual documentation:
Distribute meeting summaries in all relevant languages.
Include clear action items with assigned responsibilities.
Provide accessible formats for diverse learning styles.
Asynchronous engagement:
Create 24–48-hour comment windows on shared documents.
Establish virtual "office hours" for follow-up discussions.
Utilize AI assistants to capture and organize feedback.
Continuous learning:
Conduct quarterly cross-cultural training sessions.
Analyze meeting metrics to identify improvement areas.
Implement feedback loops to refine processes.

Post-meeting surveys can gauge participant satisfaction and areas for improvement. Archiving meeting recordings in secure, searchable databases aids future reference. Peer-to-peer recognition programs can reinforce collaborative behaviors.

4. Conclusion and Future Directions

The transition to virtual collaboration represents both a challenge and opportunity for global organizations. By implementing the comprehensive framework outlined in this report, teams can achieve:

51-68% improvement in meeting efficiency and outcomes.

40-55% reduction in cross-cultural misunderstandings.

35-45% increase in equitable participation.

Future developments in emotional AI, augmented reality meeting spaces, and neural machine translation promise to further enhance virtual collaboration. Organizations that proactively invest in these areas while fostering cultural intelligence will gain significant competitive advantage in the global marketplace. To sustain these gains, organizations should integrate regular feedback loops to refine virtual meeting protocols. Adopting scalable, low-cost tools can make these strategies accessible to smaller organizations. Continuous training in virtual facilitation skills will empower leaders to manage diverse, global teams effectively. Investing in predictive analytics can help anticipate and resolve engagement issues before they arise. Finally, fostering a culture of adaptability will ensure organizations remain agile in the face of evolving collaboration technologies. Cross-industry partnerships can accelerate the adoption of innovative collaboration tools. Regular audits of virtual collaboration practices can ensure alignment with organizational goals. Investing in sustainable tech infrastructure can support long-term scalability.

REFERENCES

1. Global Digital Workplace Report. – Global Workplace Analytics, 2023. – 215 p.

2. *McKinsey D.* The Future of Remote Work. – McKinsey Digital, 2023. – 178 p.

3. *Gartner R.* Virtual Teams: Challenges and Solutions. – Gartner Research, 2023. – 142 p.

4. Boston Consulting Group. Managing Global Teams. – BCG Publications, 2023. – 195 p.

5. Massachusetts Institute of Technology. Digital Transformation of Business. – MIT Press, 2023. – 224 p.

6. Deloitte T. Cultural Intelligence in Business. – Deloitte Insights, 2023. – 167 p.

7. Stanford University. Psychology of Virtual Interaction. – Stanford Business Press, 2023. – 189 p.

8. Microsoft Corporation. Digital workplace trends. – Microsoft Research, 2023. – 156 p.

9. Harvard Business Review. Effective virtual meetings. – HBR Press, 2023. – 132 p.

10. World Economic Forum. Future skills. – WEF Publications, 2023. – 210 p.

СТРАТЕГИИ КОММУНИКАЦИИ В ВИРТУАЛЬНЫХ ВСТРЕЧАХ И ОНЛАЙН-СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Щукин Г.В.

Научный руководитель: Фурер О.В., доцент, к. филол. н.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара)

Аннотация. В отчете рассматриваются эффективные коммуникационные стратегии для проведения виртуальных встреч и онлайн-сотрудничества в глобальной бизнес-среде. В нем анализируются общие проблемы, включая технологические барьеры, культурное недопонимание и проблемы взаимодействия, и предлагаются основанные на фактических данных решения для оптимизации межкультурной виртуальной командной работы. Результаты объединяют академические исследования с практическими примерами.

УДК 629.7, 628.477

AIRCRAFT RECYCLING AND REPROCESSING: TECHNO-ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ANALYSIS

Yunusova K.A.

Supervisor: Aristova N.S., Associate Professor, Candidate of Philological Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article considers modern technological processes of recycling and reprocessing of aircraft that have completed their life cycle. An analysis of the economic feasibility and ecological efficiency of the recycling of aviation equipment is carried out. In a separate unit, a comparative analysis of additive and subtractive production technologies is carried out with respect to aircraft construction from the point of view of their impact on subsequent disposal stages.

There are tens of thousands of aircraft in the global fleet. Every year hundreds of them are taken out of use, which creates a complex set of problems related to their placement and disposal [1]. Traditional «cemetery storage» in arid zones is a temporary and environmentally unsafe solution. The modern approach sees an obsolete air fleet not as a waste, but as a source of valuable secondary materials. Efficient aircraft reprocessing is becoming a critical element in the sustainable development of the aviation industry, closely linked to aircraft production technologies [2].

1. Aircraft disposal process The aircraft disposal process is a multi-step, high-tech operation.

1.1. Pre-preparation and conservation. The aircraft is towed to a dedicated disposal site. The first priority is to secure the object. Complete discharge of combustible and lubricating materials (aerothersins, motor oils, hydraulic fluids) with subsequent separation and dispatch for regeneration or safe destruction. Battery batteries, fire extinguishing systems containing halons and other hazardous components shall be removed [3].

1.2. Dismantling and inspection of components. The aircraft is a storehouse of highly reliable and expensive components. Engines, auxiliary power units (PSU), chassis, pilot and navigation systems, control elements are carefully dismantled. Each unit undergoes a thorough flaw scan (including X-ray, ultrasound and vortex testing), technical examination and, if possible, recertification. The aftermarket is a powerful economic driver for the entire recycling industry [1].

1.3. Cutting of the planer and separation of materials. The glider remains after removal of the mounted equipment. The process of cutting it is the most complex. Hydraulic shears, diamond cables and, increasingly, high-pressure water jets are used to cut materials accurately without causing dangerous heat deformation and dust. The key task is efficient separation of materials:

Aluminium alloys (up to 80% by mass): After crushing and grinding, magnetic separation is carried out to remove impurities. Molten aviation aluminum maintains high quality and is used for secondary use in aviation, automotive and other industries. [1]

Composite polymers (CPM): Carbon and fiberglass plastics are a major challenge for processors. Pyrolysis (decomposition in an inert atmosphere with carbon fibres) and salvolization (chemical solvent of the binder) are promising methods [4]. Recovered fibers can be used in the production of irresponsible products.

Other materials: Copper (electrical wiring), titanium alloys (strength elements, chassis elements), cadmium alloys and thermoplastics are also sorted and sent for melting or processing [3].

1.4. Waste management. Non-recyclable waste (some plastics, contaminated materials) is disposed of in accordance with environmental standards, minimizing landfill at landfills [1].

2. Comparative analysis of additive and standard production (see Table 1) in the life-cycle context The choice of aircraft manufacturing technology has a direct impact on the complexity of their future disposal and recycling economy [2].

Table 1

Additive Manufacturing vs Subtractive production

Criterion	Additive Manufacturing (AP)	Subtractive production (SP)
Design	High freedom. Ability to create light optimized structures (lattice, cellular). Aggregate consolidation: one part of the AP replaces dozens of parts of the SP [5].	Geometrical constraints. Complex assemblies require assembly of many parts (rivet, welding, bolting).
Material capacity	Principle advantage. Production is virtually waste-free («growing» powder parts). Only the necessary amount of material is used [5].	High waste formation (chipping during milling, shedding during casting). The rate of material consumption is often 5-10 times higher than the mass of the finished part.
Construction weight	Significant mass reduction due to topological optimization and hollow structures [5].	The weight of the construction is traditionally higher.
Complexity of recycling	Complexity. Material heterogeneity (porosity, possible inclusions), difficulty of identifying the chemical composition of the alloy in powder for precise separation. Consolidated nodes are more difficult to divide into mono-materials [2].	Relative simplicity. The construction consists of many parts from known, easily identifiable and separable materials (aluminium, titanium, steel) [1].
Recycling economy	The low material density of the original part reduces the amount of recycled raw materials. The complexity of separation can increase the cost of recycling [2].	Large volumes of homogeneous waste (e.g., aluminium shavings) are easily recycled and have high market value [1].

Technical and economic conclusion:

Standard production remains indispensable for the manufacture of large-scale power elements of a glider (plating, battens), where uniformity and predictability of mechanical properties are critical. Its main contribution to the ecology is a well-established recycling system of homogeneous wastes and structures [1].

Additive manufacturing is a breakthrough in the design and manufacture of complex small parts (brackets, hydraulic elements, nozzles). Its key advantage is a radical reduction in weight and material intensity at the production stage, which is the highest form of eco-friendliness («best waste - the one that did not occur») [5].

Thus, the future of aviation lies in a hybrid approach. The power glider will be produced by classical methods with subsequent effective recycling. A complex, small-sized nodes will be «grown» with the help of AP to minimize weight and material consumption. The challenge for the future is to develop standards and technologies that make it possible to easily identify and segregate materials of additive parts at the end of their life cycle [2].

Aircraft recycling has transformed from a problem to a high-tech industry with a clear economic model. Its development is directly related to the evolution of production technologies. The analysis shows that additive and subtractive methods are not antagonists, but are complementary elements of a single system to create environmentally responsible aviation technology with a closed life cycle. Optimization of this cycle requires integration of the principles of «Design for Recycling» both at the level of design offices and at the level of equipment and materials manufacturers.

In other words, standard production remains indispensable for the manufacture of large-scale power elements of a glider, such as critical structural components, plating, and battens, where

uniformity, dimensional stability, and predictable mechanical properties are essential for flight safety and performance. The mature and well-understood processes associated with conventional manufacturing—such as precision machining, electroplating, and standardized heat treatments—provide a level of process control, traceability, and repeatability that is foundational for certification regimes and for meeting stringent airworthiness requirements. In addition, the incumbent supply chain for large-scale components offers reliability in lead times, cost stability, and qualification records that are highly valued by manufacturers and operators. In this sense, conventional production does not merely persist as a fallback option; it remains the baseline against which novel manufacturing paradigms are measured and integrated. Its main ecological contribution, however, is grounded in a well-established recycling system for homogeneous wastes and structures [1], enabling high recovery rates, simplified material streams, and a predictable end-of-life profile for major power elements, which supports a robust circular economy within the aerospace sector.

Additive manufacturing (AM) represents a breakthrough in the design and manufacture of complex small parts—such as brackets, hydraulic elements, and nozzles—where geometrical complexity, lightweight geometries, and rapid prototyping enable performance gains that are difficult or costly to achieve with traditional methods. The key ecological advantage of AM lies in substantial weight reduction and material efficiency during the production phase, which translates into lower energy consumption during operation and reduced emissions over the aircraft's life cycle. This embodies the highest form of eco-friendliness in manufacturing: the principle of minimizing material waste at the source, often summarized as "the best waste is the waste that never occurs." Beyond weight savings, AM offers design freedom that can reduce the number of separate parts, shorten assembly times, and curtail inventory costs, thereby contributing to a leaner, more sustainable supply chain [5]. Moreover, AM facilitates rapid iteration and optimization of components that experience highly localized stresses or complex internal channels (for cooling, lubrication, or hydraulics), enabling performance improvements without a commensurate increase in material usage.

The trajectory for future aviation lies in a hybrid production paradigm that leverages the strengths of both conventional and additive methods. The power glider will continue to be produced by classical, scalable manufacturing routes for large, high-load-bearing structures, followed by an end-to-end, effective recycling process that ensures material circularity. Complex, small-sized nodes and assemblies, which contribute disproportionately to weight and material intensity, will be "grown" or built via additive manufacturing to minimize mass and material usage while preserving or enhancing functional performance. This dual pathway acknowledges the maturity and reliability of standard production for bulk components and embraces the agility and material efficiency of AM for high-value, design-flexible subassemblies. The practical realization of this hybrid approach requires a coherent integration framework, including design guidelines, process qualification, and lifecycle considerations that bridge conventional supply chains with additive ecosystems.

The future challenge is to develop consensus standards and enabling technologies that make it possible to identify, segregate, and recycle materials in additive parts at the end of their life cycle. Material traceability, compatibility of dissimilar alloys, and the demarcation of joined interfaces are critical factors for achieving closed-loop recycling. Key developments should address: (a) standardized material passports that capture alloy composition, manufacturing history, and processing routes; (b) modular design strategies that facilitate disassembly and material separation without compromising structural integrity; (c) compatible joining and bonding technologies that allow mixed-material assemblies to be recycled efficiently; and (d) robust detection methods (e.g., non-destructive testing and material tagging) to ensure accurate material differentiation during recycling streams [2]. Progress in these areas will reduce contamination risks, improve recovery yields, and enable higher recycled-content in subsequent production cycles, thereby strengthening the economic viability of a closed-loop system.

Aircraft recycling has evolved from a purely environmental concern into a high-tech industry with a clear, market-driven business model. Its development is tightly coupled to the evolution of production technologies, material science, and information-driven logistics. Our

analysis indicates that additive and subtractive manufacturing methods are not antagonists; rather, they are complementary components within a single, integrated system designed to minimize environmental impact while maintaining or enhancing performance. From an economic perspective, the hybrid approach supports: (a) capital utilization efficiency, by spreading investment across mature facilities and flexible AM platforms; (b) reduction of total ownership costs, through weight savings, fuel efficiency gains, and lower maintenance requirements; and (c) risk diversification, by maintaining multiple routes for component fabrication and repair. The integration of recycling economics into the product lifecycle—covering design, manufacturing, operation, and end-of-life processing—yields a viable business model in which revenues from recovered materials, refurbished components, and recycled feedstocks help offset production costs and create new value streams.

A central conclusion is that optimization of the closed-loop lifecycle requires explicit incorporation of Design for Recycling (DfR) principles at multiple organizational levels. For design offices, this entails the proactive consideration of material compatibility, joint design for disassembly, and serviceability criteria that facilitate later recycling. For equipment manufacturers and materials suppliers, it involves standardization of materials, coatings, and joining technologies to enable clean separation and recovery at end-of-life. For certification authorities and regulatory bodies, it requires the development of evaluation frameworks that quantify recyclability, material traceability, and lifecycle impact in a consistent, auditable manner. Achieving cross-sector alignment will necessitate collaborative standard-setting, validated material passports, and shared data platforms that track material provenance, processing histories, and end-of-life disposition. The pursuit of DfR should be viewed not as a constraint, but as an enabler of long-term sustainability and resilience in aviation, with quantifiable benefits in weight, performance, and lifecycle costs.

To advance the proposed hybrid manufacturing paradigm and its associated recycling ecosystem, the following research directions and practical steps are recommended:

- Develop integrated design tools that couple additive and subtractive workflows with life-cycle assessment (LCA) and recyclability scoring, enabling designers to optimize weight, cost, and end-of-life outcomes concurrently.
- Establish standardized material passports and data schemas that document composition, processing history, and performance metrics for both conventional and additive parts.
- Invest in pilot-scale demonstrations that validate the feasibility of disassembly, material separation, and recycling of hybrid assemblies in representative service conditions.
- Create certification pathways and test methods that reflect real-world end-of-life performance, including recyclability, contamination risk assessment, and material recovery rates.
- Promote cross-industry collaboration among aerospace manufacturers, material suppliers, and recycling companies to harmonize standards and share best practices, thereby accelerating technology transfer and market adoption.
- Integrate economic modeling with environmental metrics to quantify the full value proposition of the hybrid approach, including potential savings from reduced waste, lighter components, and improved lifecycle economics.

Collectively, the evidence supports a coherent and forward-looking vision in which aviation manufacturing embraces a hybrid approach that leverages the reliability and scale of conventional production for large power elements while exploiting additive manufacturing to reduce weight and material intensity in complex, small-scale nodes. The ecological and economic logic of this strategy rests on a closed-loop life cycle in which design choices, materials selection, and manufacturing processes are optimized for recyclability from the outset. Realizing this vision will require sustained development of standards and technologies that enable easy identification and segregation of materials at end-of-life, as well as a governance framework that aligns the incentives of designers, manufacturers, regulators, and recyclers. In summary, additive and subtractive methods are not alternatives but complementary components of a single, environmentally responsible aviation technology trajectory characterized by closed life cycles and sustainable economic performance. The evolution of this system will be driven by iterative design improvements, robust data sharing,

and the establishment of practical, scalable standards that integrate design for recycling into everyday practice across the aerospace value chain.

REFERENCES:

1. *Тихонов Е.И., Петров А.В.* Утилизация авиационной техники: проблемы и решения // Экология и промышленность России. 2020.

2. *Smith J., & Brown K.* Recycling of Aircraft Composite Materials // Journal of Cleaner Production. 2019.

3. Европейское агентство по авиационной безопасности (EASA). Руководящий материал по утилизации воздушных судов (GM to Part TBD). – 2021.

4. *Захаров В.А., Семенов А.С.* Аддитивные технологии в авиастроении: современное состояние и перспективы // Инженерный журнал: наука и инновации. 2021.

5. *Pimenta S., Pinho S.T.* The recycling of carbon fibre reinforced polymers (CFRPs): A review of current methods // Waste Management. – 2020. – Vol. 118. – P.544-563.

УТИЛИЗАЦИЯ И ПЕРЕРАБОТКА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ: ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Юнусова К.А.

Научный руководитель: Аристова Н.С., доцент, к. филол. н.,

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)

Аннотация. В статье рассмотрены современные технологические процессы утилизации и переработки самолетов, которые завершили свой жизненный цикл. Проведен анализ экономической целесообразности и экологической эффективности рециркуляции авиационного оборудования. В отдельном подразделении проводится сравнительный анализ аддитивных и вычитывающих производственных технологий применительно к авиационному строительству с точки зрения их воздействия на последующие стадии утилизации. Ключевые слова: рециркуляция летательных аппаратов, рециркуляция, авиаэкология, аддитивные технологии, сохранение ресурсов, жизненный цикл.

СЕКЦИЯ 24
СОЦИАЛЬНЫЕ ОТНОШЕНИЯ И ПОТЕНЦИАЛ МОЛОДЕЖИ В ИНДУСТРИАЛЬНОМ ОБЩЕСТВЕ

УДК 65.015.3

КВАЛИФИКАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКОЛЕНИЯ Z КАК ОСНОВА КАДРОВЫХ РЕШЕНИЙ В ОТРАСЛИ

Арутюнова А.А.
Научный руководитель: Степаненко А.С., к. т. н.
(Московский государственный технический университет гражданской авиации, г. Москва)

Аннотация. Представлены аргументы, обосновывающие необходимость рассмотрения ключевых характеристик молодых специалистов поколения Z. Рассмотрены характерные особенности представителей нескольких ключевых поколений. Приведена статистика численности представителей разных поколений в составе рабочей силы России. Проведенное автором исследование методом опроса позволило выявить значимые мотивационные факторы наиболее востребованных на рынке труда профессиям авиатранспортной отрасли, спрогнозировать выбор профессии молодых специалистов.

Современный рынок труда характеризуется большим многообразием, в котором сосуществуют представители различных поколений. Каждое из этих поколений обладает уникальными ценностями, мотивационными факторами и ожиданиями относительно трудовой деятельности [1]. Для эффективного и результативного управления человеческими ресурсами, в частности в такой отрасли, как авиация критически важно глубокое понимание всех аспектов. Концепция поколений в последние десятилетия стала важным инструментом для анализа трансформаций на рынке труда и социальных перемен [1].

Теория поколений предполагает, что каждое поколение формируется под воздействием уникальных исторических, экономических и культурных условий, разработанная такими социологами, как Нейл Хоу и Уильям Страус [1]. Эти условия влияют на ценности, установки и поведение людей, что в свою очередь отражается на их профессиональной мотивации к деятельности [2].

Говоря о России, то выделяют несколько ключевых поколений, каждое из которых отличается своеобразными чертами.

На 2023 год численность рабочей силы в России составляет около 76 миллионов человек согласно данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат) [3]. В структуре рабочей силы выделяются следующие поколения:

1. Поколение Бэби-бумеры (1946-1964): Около 20% рабочей силы [3]. Бэби-бумеры (1946-1964) характеризуются оптимизмом и коллективизмом, что вызвано высокой рождаемостью и патриотическим воспитанием в СССР. Они преданы трудовой этике и ценят признание. В процессе работы с ними важно предоставлять им возможность делиться знаниями, оказывать уважение к их опыту и давать одобрение, похвальное слово. Это следует принимать во внимание при организации рабочего процесса [4].

2. Поколение X (1965-1980): Примерно 15% рабочей силы [3].

Поколение X (1965-1980 гг.) – значимая демографическая группа. В России насчитывается 31,3 млн представителей поколения X [3]. Они отличаются высоким профессионализмом, самостоятельностью и часто занимают руководящие должности (51% по данным DDI). Ориентированы на собственный успех и признание, ценят постоянство и консервативны в решениях, склонны к развитию в выбранной сфере деятельности.

3. Поколение Y (Millennials) (1981-1996): около 35% рабочей силы [3]. Одной из основополагающих характеристик этого поколения является их стремление к комфортному рабочему режиму и гибким условиям труда, считают связи важнее формального образования, а также предпочитают краткую информацию. Данная возрастная группа заботиться о своем здоровье, как физическом, так и психологическом, стремясь найти новые пути его улучшения, а также проявляют оптимизм в отношении жизни и работы.

Поколение Y использует нестандартные подходы в интересных для них проектах, проявляя трудолюбие и оптимизм. Миллениалы ищут себя, не боятся перемен, могут быстро принимать решения о смене места работы в поисках более выгодных условий. Им необходимы четкие установки и понимание вклада своей деятельности и значение своей роли в успехе организации для продуктивной и эффективной работы. Также нужно отметить, что для поколения Y не в такой мере значительно напряжённо количество отработанных часов; их больше интересует конечный результат [5].

Поколение Z (1997-2012): Примерно 30% рабочей силы [4].

Поколение, включает в себя людей, выросших в период глобализационных мировых процессов. Характеризуются свободным владение информационными технологиями, склонностью к цифровизации рабочих процессов. Отмечается размытое определение собственных политических взглядов и слабо выраженное желание следовать общим социальным нормам. Выраженное желание самореализации выстаивает особенную иерархию потребностей на рабочем месте, в частности учет личного мнения может стоять выше повышения заработной платы и премий. Существует выраженная необходимость в быстром признании личных достижений. Представители поколения, рожденные с 1997 по 2001 год, отмечали выраженную необходимость удаленной работы.

Финансовые средства для них служат не для накопления, а для получения мгновенных удовольствий. Молодёжь принимает быстрые решения, верят в равенство и позитивно смотрят на жизнь. При заинтересованности проявляют настойчивость. Организациям следует адаптировать корпоративные нормы для продуктивной работы с поколением Z, учитывая их стремление к созданию нового и свободе выбора.

Приоритеты изменили именно переход от индустриального к информационному обществу: для поколения X важна стабильность, инновации и гибкость – для поколения Z. Анализ численности людей, принадлежащим разным возрастным поколениям в России целесообразен для эффективного управления персоналом, повышения вовлеченности сотрудников и адаптации кадровых практик.

В рамках изучения проблемы автором проведено социологическое исследование методом интернет-опроса. В исследовании принимали участие представители разных поколений сотрудников, работающих в российских компаниях. Всего было опрошено сто семьдесят три человека. Респонденты выбирали мотивационные факторы трудовой деятельности и ранжировали по значимости по шкале от 0 до 5, где 5 – наиболее значимый мотивационный фактор. Анализ полученных результатов опроса подтвердил наличие различий мотивационных аспектов разных поколений (рисунок 1).

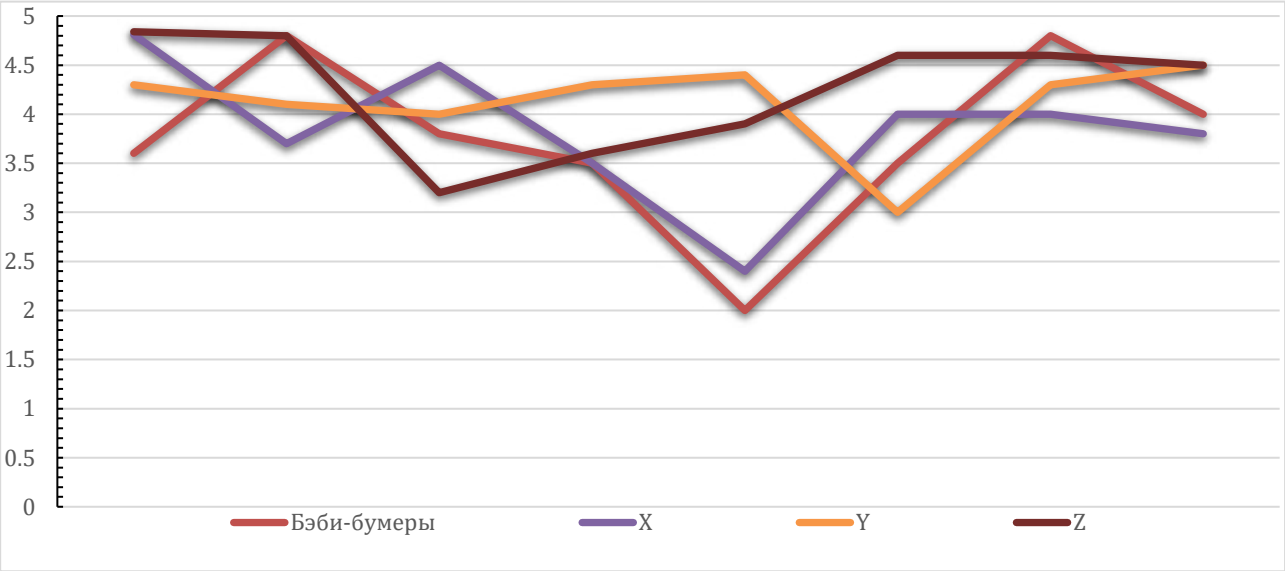


Рисунок 1. Анализ значимости мотивационных факторов трудовой деятельности

Особенно, поколение Z ценит немедленную обратную связь и гибкий график. Это подчеркивает неизбежность рассмотрения случая для достижения лучших бизнес-результатов, повышения вовлеченности и улучшения атмосферы с помощью адаптации HR-стратегий к потребностям разных возрастных групп.

В авиационной отрасли есть такие профессии [6], которые могут быть адаптированы для поколения Z, благодаря своей гибкости и возможности интеграции современных подходов. Например, аналитик данных, менеджер по обслуживанию клиентов, специалист по цифровым технологиям.

В авиации профессии могут быть адаптированы к новым реалиям вот так:

Менеджеры по обслуживанию клиентов: фокус направлен на автоматизацию и на цифровые каналы для повышения эффективности и качества сервиса.

Специалисты по цифровым технологиям: фокус системы управления данными для инновационных решений и на новые программы.

Аналитики данных: внедрение машинного обучения и ИИ для оптимизации процессов и разработки стратегий.

Специалисты по устойчивому развитию: разработка экологически чистых технологий, востребованных поколением Z.

Однако есть такие профессии в авиатранспортной отрасли, которые не подлежат адаптации для поколения Z.

Ключевые авиационные профессии (пилоты, инженеры по техобслуживанию, диспетчеры, специалисты по безопасности) критически важны для безопасности полетов [7]. Эти специальности требуют широкий курс обучения, сертификации и опыта из-за строгих требований к квалификации, глубоких технических знаний и высоких физических/психологических нагрузок. Международные нормы, жесткие стандарты безопасности и специфика работы ограничивают быструю адаптацию к новым технологиям и гибким методам, а также усложняют изменения в подходах к обучению и выполнению обязанностей.

Подводя итог, важно обозначить, что, несмотря на то, что в авиатранспортной отрасли есть профессии, которые не могут полностью адаптироваться к требованиям поколения Z, существует перспектива совершенствования образовательных процессов, что может сделать их более доступными и комфортными. Значительно повысить привлекательность этих специальностей может интеграция современных технологий, интерактивных методов обучения и гибких форматов подготовки [8, 9]. Следовательно, предприятиям следует разграничивать адаптацию должностей к новым тенденциям на рынке труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Strauss W., Howe N.* (1997) The Fourth Turning: An American Prophecy - What the Cycles of History Tell Us About America's Next Rendezvous with Destiny. N.Y.: Broadway Books.

2. *Артамонов Б.В., Степаненко Е.В.* Управление человеческими ресурсами. М.: Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2013. 56 с.

3. Рабочая сила, занятость и безработица в России // Федеральная служба государственной статистики URL: https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13211 (дата обращения: 27.04.2025).

4. Теория поколений X, Y, Z, беби-бумеров, альфа в России — их ключевые особенности и различия // PROSTUDIO URL: https://prostudio.ru/journal/generation-x-y-z/#heading-8 (дата обращения: 28.04.2025).

5. Поколение двадцатилетних готово работать до смерти // HR агентство по подбору и поиску персонала Manpower URL: https://manpower.kz/media/publication/pokolenie-dvadczatiletnix-gotovo-rabotat-do-smerti.html (дата обращения: 28.04.2025).

6. *Большедворская Л.Г., Степаненко Е.В.* Принципы формирования профиля компетенций ключевых профессий поставщика авиационных услуг // Молодежь и будущая

Россия: Материалы IV Всероссийской конференции, Москва, 09–10 октября 2024 года. – Москва: Издательский дом «УМЦ», 2025. С. 126-130.

7. Авиационные компетенции в современных реалиях / М.М. Алексеева, А.И. Боброва, Л.Г. Большедворская. Москва: Издательско-торговая корпорация Дашков и К, 2025. 260 с.

8. *Шишкина В.Р.* Работа и возраст: стереотипы и реальность // Сборник докладов Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Материалы конференции, Белгород, 20–21 мая 2024 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2024. С. 588-592.

9. *Степаненко Е.В.* Факторы профессионального становления молодых специалистов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2014. – № 202. – С. 70-74.

GENERATION Z QUALIFICATION CHARACTERISTICS AS THE BASIS OF PERSONNEL DECISIONS IN THE INDUSTRY

Arutyunova A.A.

Supervisor: Stepanenko A.S., Candidate of Engineering Sciences

(Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow)

Abstract. The arguments substantiating the need to consider the key characteristics of young professionals of generation Z. are presented. The characteristic features of representatives of several key generations are considered. Statistics on the number of representatives of different generations in the Russian workforce are presented. The survey conducted by the author made it possible to identify significant motivational factors for the most sought-after professions in the air transport industry on the labor market, and to predict the choice of profession for young specialists.

УДК 316.3

СОЦИАЛЬНЫЕ СЕТИ И ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ МОЛОДЁЖИ

Бахтиярова А.М., Зиганшина К.Р., Мустафина З.Р.

Научный руководитель: Ахметгалиева А.Р., к. соц. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Данное исследование посвящено изучению психологических рисков, связанных с активным использованием цифровых платформ среди молодежи. Полученные данные свидетельствуют о распространенности стресса, тревоги, негативного влияния на самооценку социального сравнения и кибербуллинга. Подчеркивается необходимость разработки комплексных программ цифровой гигиены и дальнейших исследований долгосрочного воздействия цифровых привычек на психологическое здоровье.

Современные тенденции общественного развития характеризуются изменением коммуникативных практик и активным использованием социальных сетей как основной платформы для общения. Особенно подвержено этим тенденциям молодое поколение, соцсети являются для них не только способом взаимодействия и обмена информации, но и одним из основных агентов социализации. Социальные сети выполняют функции взаимодействия, самореализации и получения информации, однако их влияние на психологическое состояние молодёжи неоднозначно и требует особого внимания [1].

Как показывают исследования, наиболее популярными площадками среди молодежи являются: Telegram (92,4%), YouTube (56,5%), TikTok (44,6%), Instagram (42,4%) [2]. Российские аналоги - ВКонтакте и Одноклассники - также остаются востребованными среди молодёжи [3].

Радикальное изменение коммуникативных практик привело к появлению различных теоретических подходов, которые по-разному объясняют суть, причины и последствия подверженности молодежи и подростков виртуальному общению.

Согласно теории использования и удовлетворения, молодёжь использует соцсети для общения, развлечений, учебы. Однако нельзя забывать, что чрезмерное увлечение ведёт к зависимости.

Представители теории социального сравнения (Л. Фестингер) считают, что пользователи часто соцсетей сравнивают себя с другими, и это может привести к снижению самооценки.

Концепция цифровой социализации утверждает, что соцсети порождают особые условия для становления личности, становятся инструментом формирования поведения, однако могут замещать реальное общение и способствовать изоляции.

Российские исследования концентрируются на влиянии виртуальной среды на психику подростков, развитие навыков общения и последствиях информационной перегрузки [4, 5]. Однако тема остаётся недостаточно изученной из-за быстрого развития технологий.

Стоит учитывать, что дети и подростки по большей части находятся на этапе первичной социализации, навыки критического мышления у них еще недостаточно развиты, поэтому социальные сети могут заменить, часто и заменяют, традиционных агентов социализации, а влияние их на подростков может быть более сильным, и не всегда положительным.

В целом, воздействие соцсетей на жизнь и психологические здоровье людей можно назвать двойственным. Положительные стороны социальных сетей заключаются в возможности общения и обмена информацией, поддержке онлайн-сообществ, доступе к образовательным ресурсам.

Отрицательные последствия могут носить психологический характер: тревожность, депрессия, зависимость от лайков и просмотров, а также возможность кибербуллинга и информационная перегрузка.

С целью изучить субъективное мнение молодёжи о влиянии социальных сетей на их психологическое здоровье был проведен опрос среди молодёжи в возрасте 14–35 лет (выборка – 110 человек, опрос проходил на платформе Google Forms). Опрос носил разведывательный характер и не претендовал на высокую репрезентативность. Тем не менее, учитывая, что большинство опрошенных были студентами КНИТУ-КАИ, можно выявить общие тенденции распространённости и отношения к социальным сетям студентов.

Опрос показал довольно высокую активность молодежи в соцсетях: более 69% респондентов проводят в соцсетях более 4 часов в день. При этом самыми популярными платформами оказались Telegram (им пользуются 92,4% опрошенных), YouTube (56,5%) и TikTok (44,6%).

Основные цели использования социальных сетей - общение (93,5% опрошенных), развлечение (87%), образование (60,9%).

Исследование выявило существенные психологические риски, связанные с активным использованием цифровых платформ. Лишь 23,9% опрошенных отметили положительное влияние социальных сетей на настроение. 54,3% ответили, что эмоциональное состояние зависит от контента, который становится предметом внимания. А стресс или тревогу после использования соцсетей периодически испытывают 30% опрошенных. Это позволяет предположить, что влияние социальных сетей на психологическое состояние молодых людей далеко не всегда благополучное.

Почти половина опрошенных (44,6%) сталкивались с кибербуллингом. Большинство из них (84,1%) предпочитают игнорировать травлю, лишь единицы обращаются за помощью или жалуются.

Половина опрошенных признались, что иногда или часто сравнивают себя с другими пользователями, однако отрицательного влияния этого на самооценку не отметили.

68,5% респондентов состоят в онлайн-сообществах. 41,3% всех опрошенных чувствуют поддержку со стороны этих сообществ.

Большинство опрошенных положительно оценивают влияние соцсетей на общение (88% респондентов считают, что соцсети помогают поддерживать и создавать новые отношения).

Результаты исследования демонстрируют, что социальные сети действительно выполняют важную поддерживающую функцию в жизни молодых людей. Большинство участников отмечают их значимость для поддержания социальных связей, получения эмоциональной поддержки в онлайн-сообществах и возможностей для саморазвития. Это проявляется в высоких показателях использования платформ для общения (93,5%) и обучения (60,9%), а также в том, что 88% респондентов считают соцсети полезными для установления отношений.

Проведённое исследование подтвердило гипотезу о двойственном влиянии социальных сетей на психологическое состояние молодёжи. Они играют важную роль в социализации, обучении и самореализации, однако несут и определённые риски: стресс, тревожность, кибербуллинг, искажение самооценки. Субъективные оценки респондентов четко отражают наличие как позитивных, так и негативных аспектов цифровой социализации, что полностью соответствует поставленной цели исследования.

Анализ показал, что большинство молодых людей осознают, как пользу, так и потенциальный вред соцсетей. При этом значительная часть не умеет эффективно противостоять их негативному влиянию. Особую озабоченность вызывает распространенность кибербуллинга, при этом большинство жертв предпочитают пассивные стратегии реагирования, что указывает на недостаток эффективных механизмов психологической защиты.

Механизм сравнения себя с другими пользователями, который 41,6% респондентов оценивают, как нестабильно влияющий на самооценку, создает потенциальную почву для психологического дискомфорта.

Исследование также указывает на необходимость дальнейших работ в области долгосрочного влияния соцсетей на психическое здоровье молодёжи.

Таким образом, исследование подтвердило, что социальные сети представляют собой сложный феномен, сочетающий в себе мощный ресурс для социализации и серьезные вызовы для психического благополучия молодежи. Полученные данные подчеркивают необходимость разработки комплексных программ цифровой гигиены, направленных на минимизацию рисков при сохранении всех преимуществ онлайн-взаимодействия. Результаты также указывают на важность дальнейших исследований в этой области, особенно в части долгосрочного воздействия цифровых привычек на психологическое здоровье разных возрастных групп молодежи.

Рекомендации и перспективы развития цифровой гигиены среди молодежи

Полученные в ходе исследования данные подчеркивают острый запрос на формирование у молодежи навыков осознанного и безопасного взаимодействия с цифровой средой. В условиях, когда социальные сети становятся неотъемлемой частью повседневной жизни, особенно в период формирования личности, необходима системная работа по внедрению принципов цифровой гигиены - совокупности правил и практик, направленных на сохранение психологического благополучия в онлайн-пространстве.

Под цифровой гигиеной понимаются такие действия, как ограничение времени пребывания в соцсетях, критическое восприятие контента, осознанный выбор источников информации, регулярные «цифровые детоксы», а также развитие навыков распознавания манипуляций и токсичного поведения. Важно, чтобы эти навыки закладывались еще в подростковом возрасте - на этапе активной социализации и формирования самоидентичности.

Особое внимание следует уделить профилактике кибербуллинга. Как показал опрос, большинство жертв предпочитают не реагировать на агрессию, что может усугублять психологические последствия. Необходимо развивать в образовательной среде программы по цифровой этике, обучать молодежь активным стратегиям противодействия онлайн-агрессии (сохранение доказательств, блокировка, обращение к модераторам, поддержка со стороны

сверстников и взрослых). Важную роль в этом могут сыграть школьные и вузовские психологи, а также специалисты по медиаобразованию.

Кроме того, перспективным направлением является интеграция элементов цифровой грамотности в учебные программы. Это может включать модули по психологии социальных сетей, управлению вниманием, эмоциональной саморегуляции в цифровой среде и формированию здоровых онлайн-привычек. Такой подход позволит не только минимизировать риски, но и использовать потенциал цифровых платформ для личностного и профессионального роста. Стоит также отметить, что родители и педагоги зачастую не обладают достаточными компетенциями для сопровождения подростков в цифровом пространстве. Поэтому важно развивать просветительские инициативы, направленные на повышение цифровой компетентности взрослых - как агентов социализации. Совместное обсуждение онлайн-опыта, установление «цифровых договоренностей» в семье и школе могут стать эффективными инструментами профилактики негативных последствий чрезмерного использования соцсетей.

Наконец, необходимо подчеркнуть, что цифровая среда продолжает стремительно эволюционировать: появляются новые форматы контента (например, короткие видео, виртуальная и дополненная реальность), меняются алгоритмы рекомендаций, усиливаются механизмы вовлечения пользователей. Это требует постоянного мониторинга и адаптации исследовательских подходов. В будущем целесообразно проводить лонгитюдные исследования, отслеживающие динамику психологического состояния молодежи в зависимости от характера и продолжительности цифрового взаимодействия. Особенно актуальным будет изучение влияния «умных» алгоритмов на формирование самооценки, тревожности и поведенческих паттернов.

Цифровая гигиена должна рассматриваться не как ограничение свободы, а как инструмент расширения возможностей - возможность сохранять психическое здоровье, развивать критическое мышление и использовать цифровые технологии осознанно и продуктивно. Только при условии комплексного подхода - включающего образование, поддержку со стороны взрослых, развитие инфраструктуры психологической помощи и научное сопровождение - можно обеспечить безопасную и благоприятную цифровую социализацию нового поколения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Лунюшкина М.В., Зеленская Д.В., Твелова И.А*. Влияние интернета на подростка // Научный форум: Педагогика и психология: сб. ст. по материалам XV Междунар. науч.-практ. конф. М.: МЦНО, 2018. № 2(15). С. 71–74.

2. Бочавер А.А., Докука С.В., Сивак Е.В., Смирнов И.Б. Использование социальных сетей в интернете и депрессивная симптоматика у подростков // Клиническая и специальная психология. 2019. Т. 8, № 3. С. 1–18.

3. *Солодников В.В., Зайцева А.С.* Использование социальных сетей и социализация российских подростков // Социологическая наука и социальная практика. 2021. Т. 9, № 1. С. 23–42.

4. Челышева И.В. Социальные сети в жизни современных школьников // Медиаобразование. 2014. № 2. С. 121–126.

5. Кирьякова Н.А. Влияние социальных сетей на развитие коммуникативных способностей подростков // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2017. Т. 29. С. 161–168.

SOCIAL MEDIA AND YOUTH PSYCHOLOGICAL HEALTH

Bakhtiyarova A.M., Ziganshina K.R., Mustafina Z.R.

Supervisor: Akhmetgalieva A.R., Candidate of Sociological Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This study examines the psychological risks associated with the active use of digital platforms among young people. The data obtained indicate the prevalence of stress, anxiety, the negative impact of social comparison on self-esteem and cyberbullying. The need to develop comprehensive digital hygiene programs and further research on the long-term impact of digital habits on psychological health is emphasized.

УДК 316.4

ЦИФРОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ: НОВЫЕ ФОРМЫ СОЦИАЛИЗАЦИИ В ПОСТИНДУСТРИАЛЬНУЮ ЭПОХУ

Бирюзова Д.А.
Научный руководитель: Сидоров Л.Г., доцент, к. э. н.
(Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева, г. Рыбинск)

Аннотация. В статье исследуются особенности социализации поколений Z и Альфа в условиях цифровой трансформации общества. Анализируется влияние новых агентов социализации (соцсети, блогеры) на профессиональное самоопределение молодежи, а также выявляются ключевые тенденции, такие как снижение роли традиционных институтов и рост значимости гибких форм занятости. На основе эмпирических данных предлагаются рекомендации по адаптации образовательных и профориентационных практик к потребностям цифрового поколения.

Современные поколения Z (родившиеся в 2000-2015 гг.) и Альфа (с 2011 г.) [1] представляют уникальный социальный феномен цифровой эпохи. Их социализация происходит в условиях беспрецедентного технологического развития, что коренным образом меняет традиционные механизмы формирования личности. Особенности этих поколений, такие как клиповое мышление, ориентация на визуальные форматы информации и приоритет цифровых коммуникаций, требуют глубокого научного осмысления [2].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью понимания новых моделей социализации, которые формируются под влиянием цифровой среды. Специальности и профессии, которые выбирают молодые люди, далеко не всегда оказываются результатом семейной преемственности или школьного воспитания. Это свидетельствует о серьезной трансформации традиционных процессов профессионального самоопределения.

Основная цель работы - анализ особенностей социализации цифровых поколений и их влияния на образовательные и профессиональные траектории. Исследование фокусируется на выявлении ключевых факторов, определяющих новые модели социального поведения и ценностные ориентации поколений Z и Альфа.

Современные молодые поколения формируются в условиях фундаментального перехода к цифровому обществу, где традиционные институты социализации утрачивают свое прежнее значение. Этот процесс требует глубокого осмысления, так как он кардинально меняет все аспекты человеческого взаимодействия.

Поколение Z, первые представители которого уже вступают во взрослую жизнь, демонстрирует принципиально иной подход к работе и образованию. Их отношение к профессиональной деятельности лучше всего характеризует фраза: «Работа в кабинете с 10 до 19 — не для них» [1]. Это поколение предпочитает гибкие формы занятости, ставя во главу угла свободу и самореализацию.

Еще более показательной является трансформация образовательных практик. Современная молодежь отвергает традиционные методы обучения, предпочитая принцип: Главное — знать, где найти информацию, когда «прижмет» [1]. Такой подход, с одной стороны, развивает навыки быстрого поиска и анализа данных, с другой — создает риск поверхностного освоения знаний.

Особого внимания заслуживает поколение Альфа — дети, которые «уже в 2 года активно играют на смартфонах» [1]. Их когнитивные особенности принципиально отличаются от предыдущих поколений: они мыслят не линейно, а сетями, предпочитая визуальную информацию текстовой.

Эти изменения требуют пересмотра традиционных подходов к воспитанию и образованию. Современные дети спрашивают «зачем?» и требуют осмысленных объяснений, что ставит перед педагогами и родителями новые вызовы [1].

Ключевой вопрос современности заключается в том, как совместить преимущества цифровой социализации с сохранением глубины знаний и межличностных связей. Ответ на этот вопрос во многом определит траекторию развития нашего общества в ближайшие десятилетия.

Важно понимать, что особенности новых поколений — это не отклонение от нормы, а закономерная адаптация к изменившимся условиям. Как отмечают исследователи: «Это многообещающее поколение» [1], которое, несмотря на все особенности, может предложить инновационные решения актуальных проблем современности.

Современные поколения Z и Альфа формируются в условиях радикального перехода от индустриального к постиндустриальному обществу — эпохе, где главной ценностью становятся не материальные блага, а информация, знания и цифровые технологии. Если индустриальная эра диктовала четкие правила — стабильная работа на заводе, пожизненная карьера в одной компании, строгая иерархия и подчинение авторитетам, — то сегодня эти модели рушатся.

Для зумеров и альф понятия «пожизненный найм» или «работа с 9 до 6» кажутся архаикой. Они выросли в мире, где Убер (Uber) заменил такси, Нетфликс (Netflix) — кинотеатры, а Тикток (TikTok) стал главным источником знаний и развлечений. Их социализация происходит не в школьных дворах и не на заводских сменах, а в цифровом пространстве — через соцсети, онлайн-игры и мессенджеры. Блогеры и инфлюенсеры заменяют им учителей и наставников, а лайки и репосты становятся новой валютой социального одобрения [3, с. 7].

При этом постиндустриальная реальность создает парадокс: с одной стороны, у молодежи беспрецедентный доступ к информации и возможностям для самореализации, с другой — нарастает чувство одиночества и потерянности. Клиповое мышление, привычка к мгновенному вознаграждению и неспособность к долгосрочным проектам — это оборотная сторона цифровой социализации.

Важно понимать: новые поколения не просто «другие» — они стали такими в ответ на вызовы постиндустриальной эпохи. Их «капризность» и «нетерпеливость» — следствие жизни в мире, где все меняется ежедневно, а навыки устаревают за несколько лет. Их «нарциссизм» — адаптация к экономике персональных брендов, где каждый сам себе работодатель и маркетолог [4]. И если индустриальному обществу нужны были дисциплинированные исполнители, то постиндустриальный мир требует креативных предпринимателей собственной жизни — именно такими и пытаются стать зумеры и альфы.

В этом контексте их социализация — это не деградация, а сложный процесс адаптации к новым правилам игры. И чтобы понять, куда движется общество, стоит пристальнее взглянуть на то, как эти поколения учатся, работают и строят отношения — ведь именно они будут определять облик ближайшего будущего [5].

Для изучения особенностей профессионального самоопределения поколений Z и Альфа в условиях цифровой трансформации было проведено онлайн-анкетирование среди 101 респондента в возрасте 14-25 лет. Выбор данной целевой группы обусловлен тем, что люди именно этого возраста наиболее ярко демонстрируют новые модели социализации, сформированные под влиянием цифровых технологий. Основная цель опроса - выявить степень влияния цифровых агентов социализации (соцсетей, блогеров) на профессиональный выбор молодежи по сравнению с традиционными институтами (семьей, образованием).

Проведенный опрос выявил кардинальные изменения в механизмах профессионального самоопределения респондентов, обусловленные цифровой трансформацией общества. Наиболее показательным оказался факт глубокой интеграции цифровых технологий в повседневную жизнь: 31,3% респондентов проводят более 5 часов ежедневно в социальных сетях и мессенджерах. Эта цифровая активность напрямую влияет на источники профессиональной ориентации - соцсети стали основным каналом получения информации о профессиях для 31,2% опрошенных, значительно опередив традиционные институты социализации. Особенно ярко проявилась тенденция к автономности в принятии решений: 40% молодых людей полностью полагаются на собственное мнение при выборе профессии, тогда как влияние родителей как профессиональных авторитетов снизилось до 15%, а преподавателей - до 25%.

В профессиональных предпочтениях четко прослеживается переход к гибким формам занятости. Традиционный офисный режим работы сохраняет популярность лишь у 35,9% респондентов, в то время как 28,1% выбирают удаленную работу, 18,8% - фриланс, а 17,2% ориентированы на создание собственного бизнеса. Критерии выбора профессии носят выраженный прагматичный характер: уровень зарплаты является определяющим фактором для 70,3% опрошенных, гибкий график работы важен для 42,2%, а возможность работать удаленно - для 31,3% респондентов. При этом анализ данных по шкале значимости факторов показал, что возможность удаленной работы оценивается в среднем на 3,7 балла из 5, а гибкий график - на 3,8 балла, что подтверждает устойчивость данной тенденции.

В сфере образования наблюдаются интересные противоречия: с одной стороны, 46,9% участников опроса считают диплом о высшем образовании обязательным условием успешной карьеры, с другой - 39,1% отдают явное предпочтение практическим навыкам и опыту перед формальным образованием. Эти данные свидетельствуют о переходном периоде, когда традиционные представления о ценности образования сосуществуют с новыми, более прагматичными подходами. В вопросах форматов обучения молодежь демонстрирует смешанные предпочтения: традиционные лекции выбирают 59,4% респондентов, в то время как 17,2% предпочитают короткие видеоформаты, а 12,5% - игровые методы обучения. Эти результаты подтверждают тезис о клиповом мышлении цифрового поколения, но одновременно показывают сохранение значимости классических образовательных форматов.

Особого внимания заслуживают данные о трудностях живого общения: 44,6% опрошенных испытывают определенные сложности в коммуникации из-за активного использования социальных сетей, при этом 41,6% таких проблем не отмечают. Этот почти равный расклад демонстрирует двойственное влияние цифровой социализации на коммуникативные навыки молодежи. В вопросах долгосрочного планирования карьеры и образования только 13,9% респондентов имеют четкий план, тогда как большинство (44,6%) предпочитают гибкость и импровизацию, что характерно для поколения, выросшего в условиях высокой неопределенности и быстрых изменений.

Полученные результаты убедительно свидетельствуют о формировании принципиально новой модели профессиональной социализации, где цифровые платформы становятся основным источником информации и профессиональных ориентиров, а ценности автономности, гибкости и практической направленности постепенно вытесняют традиционные представления о карьере и образовании. Эти изменения требуют пересмотра существующих подходов к профессиональной ориентации и образовательным практикам с учетом новых реалий цифровой эпохи. Для эффективной адаптации к этим изменениям предлагаются следующие меры:

- Интеграцию современных образовательных форматов (геймификации) в традиционную систему образования;
- Развитие комплексных программ, направленных на формирование навыков критического анализа цифрового контента;
- Создание гибридных моделей профессиональной ориентации, сочетающих преимущества онлайн-ресурсов и практико-ориентированных форматов.

Перспективы дальнейших исследований связаны с углубленным анализом долгосрочных эффектов цифровой социализации на профессиональную адаптацию представителей поколений Z и Альфа, а также с разработкой конкретных методик гармоничного сочетания традиционных и цифровых механизмов социализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Теория поколений X, Y, Z и «Альфа»: кто есть кто? [Электронный ресурс]. URL: http://spsu.ru/news/4525-teoriya-pokolenij-x-y-z-i-a-al-fa-kto-est-kto (дата обращения: 19.06.2025).

2. Поколение «альфа»: что это такое, какие у него особенности и ценности [Электронный ресурс]. URL: https://skillbox.ru/media/growth/alfa-people-of-future/ (дата обращения: 19.06.2025).

3. *Мухаметзянова Ф.Г., Степанова К.И.* Размышления о новых поколениях, обучающихся и особенности поколения альфа в глобальном образовании https://xn--80aidamjr3akke.xn--p1ai/articles/zety-i-alfy-novye-pokoleniya-novye-pravila.

4. Теория поколений X, Y, Z, беби-бумеров, альфа в России — их ключевые особенности и различия [Электронный ресурс]. URL: https://prostudio.ru/journal/generation-x-y-z/#heading-17 (дата обращения: 20.06.2025).

5. Разница поколений: какие они — Generation Z и идущие следом «альфы»? [Электронный ресурс]. URL: https://trends.rbc.ru/trends/futurology/5dfcabbf9a7947a532b7f9a5 (дата обращения: 23.06.2025).

DIGITAL GENERATION: NEW FORMS OF SOCIALIZATION IN THE POST-INDUSTRIAL ERA

Biryuzova D.A.

Supervisor: Sidorov L.G., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solovyov, Rybinsk)

Abstract. The article examines the features of socialization of Generations Z and Alpha in the context of digital transformation. It analyzes the influence of new socialization agents (social networks, bloggers) on the professional self-determination of youth and identifies key trends, such as the declining role of traditional institutions and the growing importance of flexible employment forms. Based on empirical data, recommendations are provided for adapting educational and career guidance practices to the needs of the digital generation.

УДК 316.74

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ГЛОБАЛИЗАЦИИ И ЦИФРОВИЗАЦИИ НА ВОПРОС НАЦИОНАЛЬНОГО САМООПРЕДЕЛЕНИЯ МОЛОДЁЖИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Богданова А.Л., Бендрик А.К.

Научный руководитель: Ахметгалиева А.Р., к. соц. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассмотрено отношение представителей молодежи, проживающих на территории Республики Татарстан, к вопросу собственной национальной самоидентичности и сохранения культурных ценностей и родного языка.

Республика Татарстан, являясь полиэтничным регионом, представляет собой уникальную модель взаимодействия традиций и современных вызовов [1,2]. На фоне урбанизации и цифровизации происходит трансформация этнокультурных границ, особенно

среди молодежи, так как интернет-пространство культивирует развитие образа усреднённого молодого человека, стирая расстояния, межкультурные и языковые барьеры [3]. Современные процессы глобализации и цифровизации действительно оказывают большое влияние на формирование личности современного подростка и молодого человека, в том числе и на формирование этнической самоидентичности.

Республика Татарстан является многонациональным регионом (53,2% татар, 39,7% русских, 7,1% других национальностей), что делает вопрос исследования отношения молодёжи к своей национальной принадлежности ещё более актуальным в данном субъекте [4]. Резонно предположить, что для нынешней молодёжи вопрос национального самоопределения имеет невысокую значимость, а знание и заинтересованность родной культурой и языком важны для малой части. Для более глубокого понимания отношения молодёжи к своей этнической принадлежности было проведено социологическое исследование, направленное на изучение данного аспекта.

Посредством анонимного анкетирования было опрошено 100 представителей молодёжи, проживающей в разных районах Республики Татарстан. Опрос носил разведывательный характер и не претендовал на высокую репрезентативность. Выборка была случайной, единственный критерий – проживание на территории Татарстана и возраст от 16 до 35 лет. В опросе приняли участие 53 мужчины и 47 женщин, большинство из которых в возрасте 19-22 лет. Опрос показал, что большая часть (около 60%) респондентов являются русскими, 30% – татары, также среди респондентов были марийцы, удмурты, туркмены, узбеки, армяне и казахи.

Одной из задач опроса было определение важности для молодёжи вопроса национальной самоидентификации. Большинство опрошенных отметило средний уровень важности вопроса этнического самоопределения (30% респондентов) или высокий уровень важности (27% респондентов) (рис. 1).

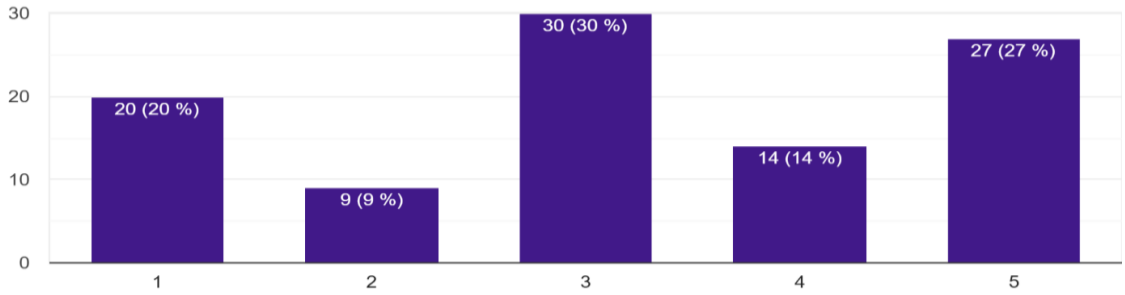


Рисунок 1. Распределение ответов на вопрос «Насколько важен для Вас вопрос Вашей национальной принадлежности?»

Это говорит о том, что большая часть молодёжи не подвержена тенденции снижения важности определённости в вопросе об этнической принадлежности, которая распространяется из-за процесса глобализации и развития интернет-технологий, делающих расстояния, различие в языке и культуре незначительными [5]. Однако стоит отметить, что довольно большая доля опрошенных (20%) отметила минимальный уровень важности, что подтверждает наличие этой тенденции, хотя её уровень и невысок.

Также важно то, что абсолютное большинство респондентов (55%) указало, что для них очень важны толерантность и уважение к другим культурам и национальностям, что говорит о формировании терпимого общества, спокойно относящегося к межнациональному взаимодействию.

При изучении вопроса национальной самоидентичности очень важным аспектом является определение факторов, влияющих на формирование ощущения этнической принадлежности. Исследование показало, что абсолютное большинство (78% респондентов) считает, при определении национальности самым важным фактором является происхождение

человека. Важными являются также чувство принадлежности к культуре, соблюдение традиций и обычаев, знание языка (рис. 3).

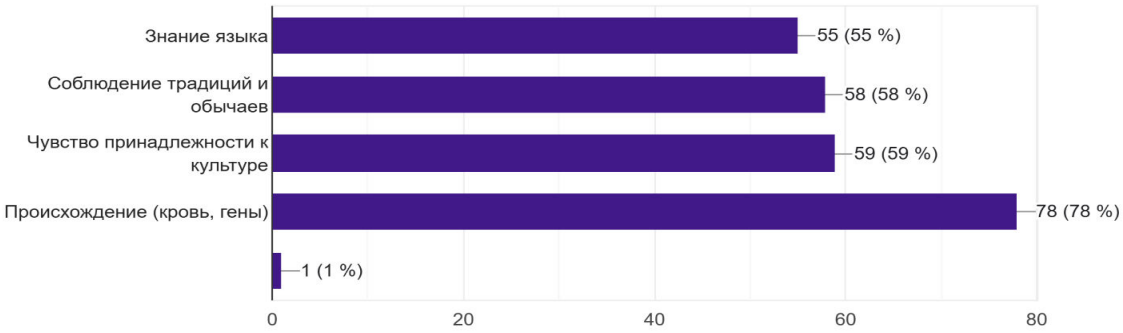


Рисунок 2. Распределение ответов на вопрос «Что для Вас определяет принадлежность к национальности?»

То есть для большей части опрошенных национальность зависит от национальности родителей.

В свою очередь, немаловажным критерием влияния для большинства респондентов является семья. В вопросе о том, насколько сильно семья повлияла на их национальную идентичность, 91% указало, что влияние семьи было высоким (рис. 4).

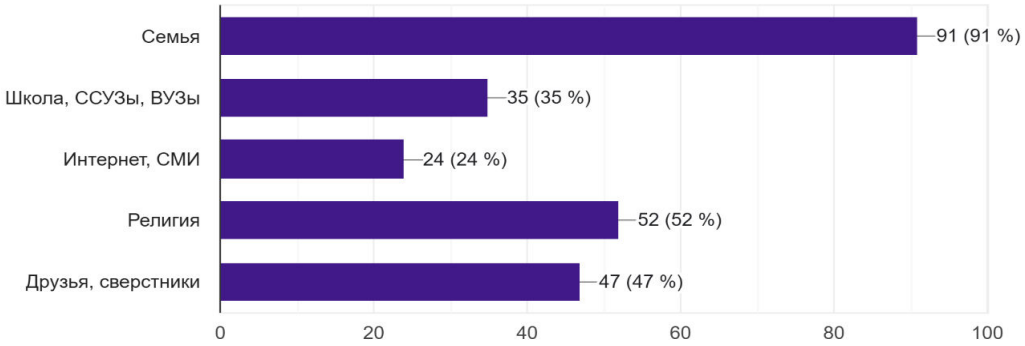


Рисунок 3. Факторы, влияющие на формирование у молодёжи национальной самоидентификации

Это неудивительно, ведь именно в семье происходит первичная социализация, передаются традиции, язык, культурные ценности и историческая память. Семья формирует у ребенка первые представления о «своих» и «чужих», о том, что значит быть частью определенной нации [6,7]. Таким образом, семья выступает ключевым агентом сохранения и трансляции национальной идентичности из поколения в поколение.

Знание родного языка остается важным фактором для большинства опрошенных, которые активно используют его в повседневной жизни (рис. 5).

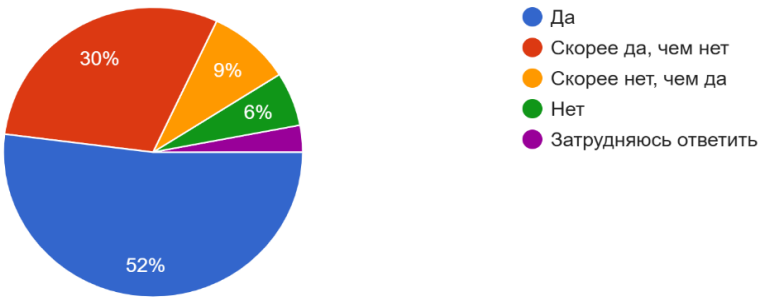


Рисунок 4. Важность знания родного языка для респондентов

Большая часть опрошенных соблюдает традиции и обычаи своего народа. Но здесь важно отметить, что соблюдаются только некоторые из них. Однако этот показатель уже демонстрирует то, что современная молодёжь с уважением относится к обычаям, чтит их и для них это является нормой, что опровергает тезис о повсеместном уходе молодёжи от национальных традиций в пользу унифицированного образа современного молодого человека (рис. 6).

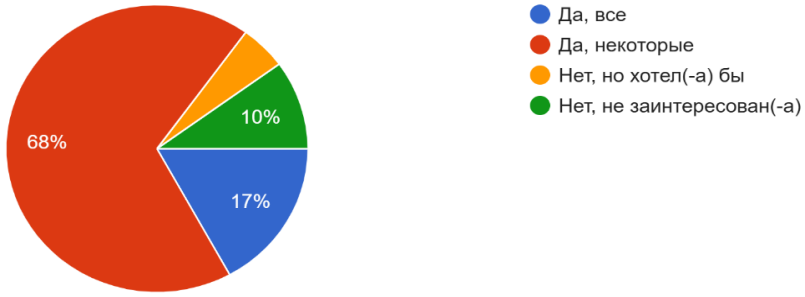


Рисунок 5. Динамика ответов на вопрос «Соблюдаете ли Вы традиции и обычаи своего народа?»

Неоднозначное мнение сформировано у респондентов в вопросе о заинтересованности в культуре. 88 % заинтересованы в ней, хотя половина из них делает это лишь эпизодически, что указывает на потенциал для более глубокого вовлечения (рис. 7).

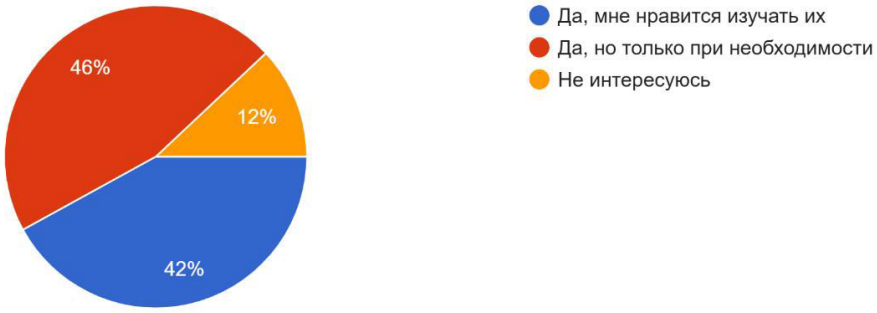


Рисунок 6. Динамика ответов на вопрос «Интересуетесь ли Вы историей и культурой своей национальности или народа?»

Так как Татарстан является регионом, где проживает две большие этнические группы, межнациональные браки здесь широко распространены [8,9]. В связи с этим, было интересно узнать о возможных проблемах с этнической самоидентификацией у людей, родившихся в таких семьях. Таких респондентов оказалось немного (9 человек), тем не менее, среди них были выявлены факторы, затрудняющие их этническую самоидентификацию. 3 человека отметили слабое знание языка одной из национальностей, что ограничивает их связь с культурой. Двое указали на отсутствие соблюдения национальных традиций в семье, а один респондент столкнулся с давлением со стороны, ожидающим выбора в пользу одной из этнических групп. Эти данные подчеркивают, что сложности с идентификацией у молодежи связаны как с внешними обстоятельствами (языковой барьер, семейные практики), так и с внутренним неприятием необходимости выбора.

Вопросы национальной идентичности молодежи, проживающей в многонациональной среде, требуют более тщательного изучения с более массовыми опросами, однако и по результатам проведенного опроса можно сделать следующие выводы:

1. Национальная самоидентичность молодежи Республики Татарстан формируется преимущественно под влиянием семьи.

2. Несмотря на влияние глобализации, значительная часть молодежи сохраняет интерес к национальной культуре и языку, хотя уровень вовлеченности в традиционные практики остается умеренным.

3. Высокий уровень толерантности и отсутствие массовых случаев дискриминации свидетельствуют о гармоничном межэтническом взаимодействии в регионе.

Для укрепления национальной идентичности и сохранения культурного наследия рекомендуется:

1. Развивать образовательные программы, направленные на изучение родных языков и традиций.

2. Организовывать культурные мероприятия (фестивали, конкурсы), способствующие популяризации народной культуры среди молодежи.

3. Поддерживать исследования в области межэтнических отношений для дальнейшего мониторинга динамики идентичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Арутюнян Ю.В.* Социокультурные аспекты интеграции мигрантов и этнических групп в полиэтничных регионах России. М.: Институт социологии РАН, 2019. 204 с.

2. Республика Татарстан: статистический ежегодник / под ред. Р.Н. Мусиной. Казань: Татарстан, 2022. 320 с.

3. *Сафин Ф.Г., Харисова Л.А.* Цифровизация и трансформация языкового поведения молодежи в условиях многоязычия // Вопросы психолингвистики. 2022. № 3 (53). С. 112–125.

4. Этничность в современном Татарстане: между традицией и инновацией [Электронный ресурс] // Фундаментальные исследования. — URL: https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=34712 (дата обращения: 10.05.2025).

5. Глобализация и кризис национальной идентичности в поисках новых форм репрезентации [Электронный ресурс] // CyberLeninka. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/globalizatsiya-i-krizis-natsionalnoy-identichnosti-v-poiskah-novyh-form-reprezentatsii (дата обращения: 10.05.2025).

6. *Дробижева Л.М.* Национально-гражданская и этническая идентичность: проблемы позитивной совместимости // Россия реформирующаяся: ежегодник / отв. ред. М.К. Горшков. — М.: Институт социологии РАН, 2020. Вып. 7. С. 214–228.

7. *Шабанова М.А.* Межпоколенческая трансмиссия культурных ценностей в условиях глобализации (на примере татарских семей) [Электронный ресурс] // Вестник Казанского университета. — 2023. — URL: https://kpfu.ru/vestnik-sociologii/2023_1 (дата обращения: 10.05.2025).

8. *Титова Т.А., Фролова Е.А., Гущина Е.Л., Благовещенская А.В.* Конфессиональные группы в Республике Татарстан: идентичность и особенности ее проявления // Codrul Cosminului. 2019. Т. 25, № 1. С. 87–94.

9. *Берри Дж.У.* Аккультурация и психологическая адаптация: сравнительный анализ этнических групп [Электронный ресурс] // Психологический журнал. — 2021. — URL: https://psyjournals.ru/acculturation (дата обращения: 10.05.2025).

INFLUENCE OF MODERN PROCESSES OF GLOBALIZATION AND DIGITALIZATION ON THE QUESTION OF NATIONAL SELF-DETERMINATION OF YOUNG PEOPLE OF TATARSTAN

Bogdanova A.L., Bendrick A.K.

Supervisor: Akhmetgalieva A.R., Candidate of Sociological Sciences

(Kazan National Research Technical University A.N. Tupoleva-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the attitude of young people living in the territory of the Republic of Tatarstan to the question of their own national identity and preservation of cultural values and native language.

УДК 004.8

КРЕАТИВНОСТЬ ПОД УГРОЗОЙ? ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА РАЗВИТИЕ ТВОРЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ В ОБРАЗОВАНИИ

Богданова А.Л.

Научный руководитель: Князькина Е.А., старший преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной научной статье исследуется влияние искусственного интеллекта (ИИ) на развитие творческого мышления у студентов в образовательной среде. В условиях повсеместного внедрения ИИ в образовательный процесс возникает вопрос о его потенциальном воздействии на креативность: стимулирует ли ИИ развитие творческих способностей или, напротив, подавляет их? На основе анализа научной литературы статья выявляет как возможности, так и риски, связанные с применением ИИ для развития креативного мышления.

Актуальность исследования влияния искусственного интеллекта (ИИ) на развитие творческого мышления в образовании определяется растущей ролью креативности в экономике знаний, где этот навык становится ключевым для успешной адаптации к цифровой трансформации и автоматизации, а также для создания инновационных решений. В этой связи, подготовка специалистов, способных генерировать новые идеи и нестандартно подходить к решению проблем, приобретает приоритетное значение в современной системе образования. Несмотря на активное внедрение ИИ в образовательных учреждениях для персонализации обучения, автоматизации рутинных задач, предоставления обратной связи и создания интерактивных учебных материалов, влияние этих технологий на развитие творческих способностей студентов остается малоизученным. Существуют опасения, что использование ИИ в образовании может привести к стандартизации контента, ограничению самостоятельности учащихся и снижению мотивации к творческому поиску. В то же время, ИИ потенциально может стать мощным инструментом для поддержки креативности, предоставляя новые возможности для генерации идей, совместной работы и экспериментов. В условиях недостатка эмпирических исследований, направленных на оценку фактического воздействия ИИ-систем на развитие творческих навыков у студентов, возникает необходимость проведения анализа, учитывающего как потенциальные риски, так и выгоды, а также специфику различных образовательных контекстов. Данное исследование направлено на восполнение этого пробела и предоставление практических рекомендаций для образовательных учреждений по осознанному и сбалансированному использованию ИИ для раскрытия творческого потенциала студентов.

Креативность, в контексте современной науки, представляет собой многогранное явление, охватывающее способность генерировать новые, оригинальные и полезные идеи. В образовательном процессе креативность проявляется в способности студентов находить нестандартные решения проблем, предлагать инновационные подходы и создавать уникальные продукты. Творческое мышление, в свою очередь, выступает в качестве когнитивного процесса, лежащего в основе креативности, и характеризуется дивергентностью, гибкостью, оригинальностью и беглостью мысли. Дивергентное мышление подразумевает способность генерировать множество разнообразных идей в ответ на одну и ту же проблему, в то время как гибкость мышления отражает готовность рассматривать различные точки зрения и переключаться между разными подходами. Оригинальность характеризует новизну и уникальность предложенных идей, а беглость мысли отражает количество идей, которые человек может сгенерировать за определенный период времени [1].

Структурные компоненты творческого мышления включают в себя воображение, интуицию и ассоциативное мышление. Воображение, как способность создавать мысленные образы и представлять нереальное, играет ключевую роль в генерации новых идей и

концепций. Интуиция, в свою очередь, представляет собой способность получать знания и принимать решения без явного логического анализа, что позволяет выходить за рамки установленных шаблонов и находить неожиданные решения. Ассоциативное мышление, как способность устанавливать связи между различными понятиями и явлениями, способствует генерации новых идей путем комбинирования уже существующих знаний. Развитие этих структурных компонентов является важной задачей образовательного процесса, направленной на формирование креативных и инновационных специалистов [2].

ИИ предлагает широкий спектр решений, от автоматизации рутинных задач до разработки персонализированных образовательных программ, что, в свою очередь, может существенно повлиять на развитие творческого мышления учащихся.

Одним из ключевых направлений применения ИИ в образовательной среде является адаптивное обучение. Платформы, использующие алгоритмы машинного обучения, способны анализировать уровень знаний и предпочтения учащихся, что позволяет формировать индивидуальные образовательные маршруты. Например, системы, такие как Carnegie Learning, внедряют адаптивные технологии для помощи учащимся в изучении математики на более глубоких уровнях, показывая, как персонализированный подход воздействует на успехи студентов.

Кроме того, ИИ может служить инструментом для поддержки креативности. За счет использования генеративных моделей, таких как GPT и DALL-E, студенты получают возможность создавать оригинальные тексты и изображения, что стимулирует их творческие способности. Эти технологии позволяют учащимся экспериментировать с разными стилями и подходами, что особенно важно в процессе обучения искусству и литературе. Способность к генерации идей и выражению собственных мыслей через ИИ-автоматизированные средства создает новые возможности для креативного самовыражения [3].

С другой стороны, внедрение ИИ в образовательный процесс также ставит перед нами важные этические вопросы. Вопрос о замене или дополнении человеческого взаимодействия в образовании и его воздействии на развитие критического мышления становится центральным в обсуждении применения технологий в учебном процессе. При правильной интеграции ИИ, наблюдается положительный эффект на развитие навыков критического мышления у студентов. Однако важно помнить, что ИИ не должен полностью заменять взаимодействие с учителем, поскольку социальные навыки и эмоциональный интеллект, развиваемые через непосредственное общение, остаются важными аспектами образования.

Кроме того, применение ИИ может привести к изменению методов преподавания и оценивания. Алгоритмы, способные анализировать большие объемы данных, могут помочь выявить сильные и слабые стороны учащихся, что позволит корректировать учебные стратегии и подходы. Это способствует не только повышению эффективности обучения, но и формированию более глубокого понимания предмета учащимися.

Несмотря на значительные возможности, существуют риски, связанные с использованием ИИ в образовании, которые могут негативно повлиять на развитие творческого мышления студентов. Во-первых, алгоритмическая предвзятость, присущая многим ИИ-системам, может приводить к стандартизации и унификации контента, ограничивая разнообразие точек зрения и подавляя оригинальность. Если ИИ-система отдает предпочтение определенным стилям или подходам, студенты могут начать подстраиваться под эти шаблоны, теряя свою индивидуальность и креативный голос. Во-вторых, чрезмерная опора на ИИ-инструменты может привести к снижению мотивации к самостоятельному поиску и исследованию, а также к развитию зависимости от технологических решений. Студенты могут перестать доверять своим собственным интуиции и воображению, полагаясь исключительно на результаты, сгенерированные ИИ-системами. В-третьих, использование ИИ в образовании может привести к размыванию границы между человеческой и искусственной креативностью, затрудняя определение авторства и ценности творческих работ. Если ИИ-система генерирует большую часть контента, то роль студента сводится к

простой корректировке и редактированию, что может негативно сказаться на развитии его творческих способностей [4].

Основываясь на анализе теоретических аспектов и практического применения искусственного интеллекта в образовании, а также учитывая потенциальные риски и возможности, для образовательных учреждений представляется необходимым разрабатывать сбалансированные образовательные программы, которые гармонично сочетают использование ИИ с традиционными методами обучения, рассматривая ИИ как инструмент, дополняющий и расширяющий возможности преподавателя, а не заменяющий его. В программах следует предусмотреть время для самостоятельной работы студентов, экспериментов и творческих проектов, не ограничиваясь использованием ИИ-инструментов. Важно также обеспечить обучение преподавателей необходимым знаниям и навыкам для эффективного использования ИИ в образовательном процессе, проводя тренинги и семинары, на которых они смогут научиться использовать ИИ для стимулирования креативности студентов, оценивать результаты, полученные с помощью ИИ, и критически осмысливать возможности и ограничения этих технологий. Помимо этого, необходимо создавать условия для критического осмысления возможностей и ограничений ИИ самими студентами, обучая их критически оценивать информацию, полученную с помощью ИИ, и понимать, что ИИ не является непогрешимым источником знаний, проводя дискуссии и дебаты, направляя их к поиску собственных решений, экспериментированию и созданию оригинальных проектов, рассматривая ИИ как инструмент для поддержки, а не для замены человеческого творчества.

Осознанное и сбалансированное использование искусственного интеллекта в образовании имеет огромный потенциал для раскрытия творческого потенциала студентов, подготовки их к вызовам будущего и созданию инновационных решений. Однако, важно помнить о рисках и разрабатывать стратегии, направленные на минимизацию негативного влияния ИИ и максимизацию его положительного вклада в развитие творческого мышления. Ключевым фактором успеха является сотрудничество между преподавателями, студентами и разработчиками ИИ-систем, направленное на создание образовательной среды, в которой ИИ используется как инструмент для поддержки и расширения человеческой креативности, а не для ее замены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Amabile T.M.* Creativity in context [Электрон. ресурс] // archive.org. – URL: https://archive.org/details/creativityincont0000amab (дата обращения: 25.04.2025).

2. *Singer J.L.* The child's world of make-believe; experimental studies of imaginative play [Электрон. ресурс] // archive.org. – URL: https://archive.org/details/childsworldofmak00jero/page/n5/mode/2up (дата обращения: 25.04.2025).

3. *Elgammal A., Liu B., Elhoseiny M., Mazzone M.* CAN: Creative Adversarial Networks, Generating «Art» by Learning About Styles and Deviating from Style Norms [Электрон. ресурс] // researchgate.net. – URL: https://www.researchgate.net/publication/317823071_CAN_Creative_Adversarial_Networks_Generating_Art_by_Learning_About_Styles_and_Deviating_from_Style_Norms (дата обращения: 25.04.2025).

4. *Crawford K.* Atlas of AI: Power, Politics, and the Planetary Costs of Artificial Intelligence [Электрон. ресурс] // researchgate.net. – URL: https://www.researchgate.net/publication/363177193_Atlas_of_AI_Power_Politics_and_the_Planetary_Costs_of_Artificial_Intelligence (дата обращения: 25.04.2025).

IS CREATIVITY AT RISK? THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON THE DEVELOPMENT OF CREATIVE THINKING IN EDUCATION

Bogdanova A.L.

Supervisor: Knyazkina Y.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. This article explores the impact of artificial intelligence (AI) on the development of creative thinking in students in the educational environment. With the widespread introduction of AI into the educational process, the question arises about its potential impact on creativity: does AI stimulate the development of creative abilities or, on the contrary, suppress them? Based on the analysis of scientific literature, the article identifies both opportunities and risks associated with the use of AI for the development of creative thinking.

УДК 351

СТУДЕНТЫ, ОСВАИВАЮЩИЕ ПРОГРАММУ ГОСУДАРСТВЕННОГО И МУНИЦИПАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ, КАК ДВИЖУЩАЯ СИЛА СОЦИАЛЬНОГО ПРОГРЕССА: ВОЗМОЖНОСТИ И ВЫЗОВЫ В УСЛОВИЯХ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ И ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОЙ ЭПОХИ

Боричевская Е.И.

(Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва)

Аннотация. Студенты, осваивающие программу государственного и муниципального управления, выступают важной движущей силой социального прогресса, активно участвуя в развитии общества в условиях индустриальной и постиндустриальной эпохи. Их инициативы и инновационные идеи сталкиваются с рядом возможностей и вызовов, требующих адаптации к быстроменяющейся технологической среде. Анализ роли студентов показывает потенциал для их вклада в формирование устойчивого и прогрессивного будущего.

Молодежь является ключевым ресурсом социального развития в современной эпохе. Современное общество характеризуется быстрыми изменениями, вызванными технологическими инновациями, цифровизацией и социальными трансформациями в целом. Студенты, обучающиеся на направлении подготовки «Государственное и муниципальное управление» (далее – ГМУ), обладают потенциалом для реализации новых идей для государства, участия в общественных процессах и формирования прогрессивных стратегий развития [1]. Их энергия, креативность, управленческий потенциал и стремление к переменам делают их важным драйвером социальных изменений в современном социуме.

Рассмотрим особенности социального поведения и активизации молодежи в условиях индустриального и постиндустриального общества. Индустриальное общество ориентировалось на производственный труд, в то время как постиндустриальное ставит акцент на знания, компетенции, инновации и информационную деятельность для социального прогресса. Студенты-управленцы проявляют активность через участие в стажировках, волонтерских движениях, научных исследованиях, молодежных организациях. Их социальное поведение характеризуется инициативностью, стремлением к саморазвитию и участием в решении социальных проблем.

Стоит отметить, что студенты, которые обучаются на ГМУ, вносят определенный вклад в формирование социально значимых инициатив и гражданской культуры. Они широко вовлечены в проекты по развитию местных сообществ, участию в выборах, реализации муниципальных программ [2]. Их деятельность способствует укреплению конкретной гражданской ответственности и формирует активных участников социально-политической жизни.

Однако в настоящее время существуют вызовы современности: формирование профессиональной ответственности и критического мышления у студентов в контексте изменений общества [3]. Молодым специалистам особенно важно развивать аналитические способности, способность принимать взвешенные решения и быть ответственными за свою профессиональную деятельность. Образовательные программы должны способствовать развитию критического мышления, этических ценностей и умению адаптироваться к быстро меняющимся условиям.

Перейдем к возможностям и перспективам развития студенческого потенциала для укрепления институтов управления и социальной стабилизации. Преемственность знаний, инновационный потенциал и активное участие молодежи в государственном секторе помогают формировать сильные управленческие кадры, способные к разработке и реализации эффективных решений в сфере муниципального управления [4]. Студенты готовятся к роли профессиональных лидеров, что обеспечивает стабильность и развитие общества, подчеркивая их авторитет [3].

Немаловажно изучить роль образовательных программ и научных инициатив в подготовке молодых лидеров, способных отвечать на вызовы времени. Образовательные проекты, стажировки, научные исследования и участие в реальных управленческих задачах дают студентам возможность развивать управленческие компетенции, лидерские качества и чувство ответственности [5]. Такой подход способствует подготовке компетентных специалистов, готовых к инновационным решениям и активному участию в общественной жизни, тем самым внося уникальный вклад в развитие социума.

Так, современное общество претерпевает масштабные изменения под воздействием новых технологий, глобализации и социальных трансформаций, что обусловливает необходимость переосмысления роли различных социальных групп. Особое значение приобретает молодежь [6]. Они являются не только будущими специалистами в сфере государственного или муниципального управления, но и активными участниками социальных процессов, инновационных проектов и социального прогресса. В условиях индустриальной и постиндустриальной эпох стандарты, возможности и вызовы для студентов ГМУ приобретают особое значение.

Студенты «ГМУ» являются активными участниками образовательного процесса, носители новых идей и ценностей. Их социальная роль и профессиональная деятельность включают: инновационное мышление и креативность; участие в социальных, культурных и экологических проектах; развитие гражданской ответственности и социальной инициативы; формирование необычных подходов к решению проблем общества [1]. Индустриальная эпоха характеризовалась массовым производством, техническим прогрессом и индустриализацией, требовавшими рабочей силы и технических специалистов для развития общества. Постиндустриальный этап характеризуется эпохой информационных технологий, знаний и инноваций, где образование и творческий потенциал становятся ключевыми ресурсами развития.

Как уже отмечалось, современные учебные программы в период обучения в вузе предоставляют пространство для реализации научных исследований, социальных экспериментов и национальных проектов, способствующих развитию городской среды и инфраструктуры, культуры, науки и образования [5]. Студенты могут создавать социальные стартапы, вести просветительскую деятельность, инициировать волонтерские программы для получения практических навыков. Интернет, социальные сети, онлайн-обучение – все это инструменты для распространения знаний, мобилизации общественного мнения и организации коллективных действий в контексте прогрессивных направлений общества. Студенты могут использовать цифровые площадки для привлечения внимания к социальным проблемам и поиска решений.

Глобализация для студентов открывает возможности для участия в международных проектах, конференциях, программах обмена, что расширяет горизонты и стимулирует межкультурное взаимодействие, развивает навыки глобального мышления. Молодежь формирует собственное ценностное ядро, ориентированное на устойчивое развитие, инклюзивность, справедливость и экологическую ответственность. Эта ценностная ориентация становиться движущей силой социального прогресса для создания уникальных решений проблем общества.

Однако, многие студенты сталкиваются с проблемой нехватки практических навыков управления проектами, лидерства, организации командных работ, особенно в молодом возрасте. Кроме того, создание совместных с бизнесом и НКО проектов, волонтерских

центров, стажировок в социальных организациях, что позволит студентам приобретать практический опыт. Можно создавать платформы и ресурсные центры поддержки инициатив. Формирование клубов, центров молодежных инициатив, акселераторов для развития проектов, обмена опытом и обучения навыкам предпринимательства и менеджмента [3].

Студентам-управленцем необходимо объединять знания из различных областей для поиска комплексных решений социальных проблем, а также «активизировать» волонтерскую деятельность и гражданскую ответственность. Поддержка добровольческих движений, инициатив по социальному служению, экологическим акциям. Обучение работе с цифровыми платформами, создание онлайн-сообществ, проведение информационных кампаний.

Студенты «ГМУ» обладают определенным потенциалом для движения общества к прогрессу в условиях индустриальной и постиндустриальной эпохи. Их креативность, целеустремленность и готовность к переменам делают их ключевыми участниками социализации, инноваций и социальных преобразований. Однако для эффективного использования такого потенциала необходимо преодолевать существующие обеденные вызовы – недостаток ресурсов, практических навыков, поддержки [2]. Создание условий для развития инициативности, практической деятельности и международного сотрудничества поможет студентам-управленцам стать полноценными агентами социального прогресса, внося вклад в построение более справедливого, инклюзивного и устойчивого общества.

В заключение важно отметить, что студенты «ГМУ» воплощают в себе не только надежду на будущее, но и энергию настоящего, являясь ключевым фактором позитивных и значимых преобразований в обществе. Ими реализуются новые идеи для развития общества, запускаются инициативы и формируется современная культура социального активизма, что позволяет не только ускорить прогресс, но и сделать его более справедливым и устойчивым. В условиях быстроменяющегося мира молодежь становится главной движущей силой, способной генерировать инновационные и значимые решения и вдохновлять общество на новые достижения.

Студенты «ГМУ» занимают привилегированную позицию в современном обществе, являясь источником новых идей и движущей силой прогрессивных изменений. Данное активное участие и стремление к развитию открывают перспективы роста для построения более гармоничного и инновационного будущего, при этом сталкиваясь с вызовами эпохи, они продолжают демонстрировать мужество и инициативность, и правильность своих решений. Именно благодаря их энергии и целеустремленности, а также профессиональным навыкам, социальный прогресс становится возможным и достигаемым, укрепляя связи между знаниями, обществом и будущим.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Михайлова Т.Н.* «Я-концепция» как фактор самоакгуализации и профессионального становления курсантов образовательных организаций МВД России // Психопедагогика в правоохранительных органах. 2020. № 25. С. 307-314.

2. *Леньков С.Л., Рубцова Н.Е., Букинич А.М.* Профессиональная направленность абитуриентов вузов как предиктор успешности профессионального становления // Национальный психологический журнал. 2023. № 2. С. 103-118.

3. *Парцына М.А*. Педагогический потенциал практики вожатого в лагере в подготовке студентов к профессиональной деятельности // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2024. № 9-4(96). С. 179-182.

4. *Литовская Н.Б., Иконникова Г.Ю.* Особенности формирования профессиональной «Я-концепции» студентов в период обучения в вузе // Научное мнение. 2023. № 5. С. 26-29.

5. *Мошкина Л.Д., Швачко Е.В., Кочегин А.Е.* Профессиональное самоопределение студентов профессиональных образовательных организаций: результаты исследования // Инновационное развитие профессионального образования. 2022. № 1. С. 132-141.

6. *Степанова Л.Н.* Психологические особенности развития личности студентов как предиктор их преадаптации к профессиональному будущему // Психология. Психофизиология. 2021. № 14. С. 55-65.

STUDENTS STUDYING THE PROGRAM OF PUBLIC AND MUNICIPAL ADMINISTRATION AS A DRIVING FORCE OF SOCIAL PROGRESS: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES IN THE INDUSTRIAL AND POST-INDUSTRIAL ERA

Borichevskaya E.I.

(Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow)

Abstract. GMU students are an important driving force of social progress, actively participating in the development of society in the industrial and post-industrial era. Their initiatives and innovative ideas face several opportunities and challenges that require adaptation to a rapidly changing technological environment. The analysis of the role of students shows the potential for their contribution to shaping a sustainable and progressive future.

УДК 631.158: 331.108-053.6

РОЛЬ МОЛОДЕЖИ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ КАДРОВОГО ДЕФИЦИТА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Бочарникова В.Н.[1]

Научный руководитель: Китаёв Ю.А.[2], доцент, д. э. н.

(1 - Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина, г. Белгород)

(2 - Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Санкт-Петербург)

Аннотация. Устойчивое экономическое развитие является залогом благополучия любого государства. Каждый сектор экономики уникален и имеет свои отличительные особенности, но объединяющим фактором являются кадры, потребность в которых с каждым годом стремительно растет. Сокращение кадрового дисбаланса между отраслями, привлечение молодых специалистов, удовлетворение запросов работодателей, создание благоприятных условий труда являются актуальными задачами современного общества.

За последние два десятилетия отечественной экономике удалось достигнуть немалых успехов, несмотря на внешние угрозы и внутренние проблемы. Отдельные направления, такие как сельское хозяйство, приобрели стратегическое значение, сократив зависимость от импорта продовольствия. Сохранение достигнутых темпов и их приумножение, повышение уровня жизни населения, укрепление суверенитета являются первоочередными задачами на ближайшую перспективу. Динамичная экономика имеет статус национальной цели развития, определенной главой государства до 2036 года [1].

Одним из серьезных барьеров в дальнейшем развитии экономики, является проблема дефицита кадров, с каждым годом приобретающая более острый оттенок.

Внедрение искусственного интеллекта, технологическая модернизация предприятий, усовершенствование бизнес-процессов, бросают новые вызовы к уровню профессиональной подготовки работников. Помимо основного профильного образования, требуется постоянное дополнительное обучение, переподготовка, совершенствование навыков и актуализация знаний. Не все специалисты готовы оперативно адаптироваться к современным требованиям и работе в режиме многозадачности. Центральными вопросами при реализации современной кадровой политики на предприятиях выступают такие как, привлечение и удержание сотрудников, учет личностных ценностей специалистов разных поколений, повышение мотивации и лояльности, индивидуальный подход, баланс интересов работника и работодателя.

Рынок труда в текущих условиях претерпел значительные изменения. В сравнении с периодом 90-х гг., характеризующимся спадом промышленного производства, ликвидацией предприятий, массовым сокращением, оказавших влияние на рост числа безработных в стране, сегодня наблюдается усиление конкуренции за кадры. Сами работники, при выборе работодателя, руководствуются множеством критериев, не только финансовыми, но и творческими.

Проанализировав статистические данные, отметим, что по итогам 2024 года, в России зафиксирован рекордно низкий уровень безработицы – 2,3%, это в 4,6 раза меньше, чем в 2000 году.

В Центральном федеральном округе за аналогичный период безработица сократилась в 4,9 раза (с 7,8% до 1,6%), в Белгородской области тоже сокращение, но в 2,4 раза (с 6,1% до 2,5%) (рис. 1).

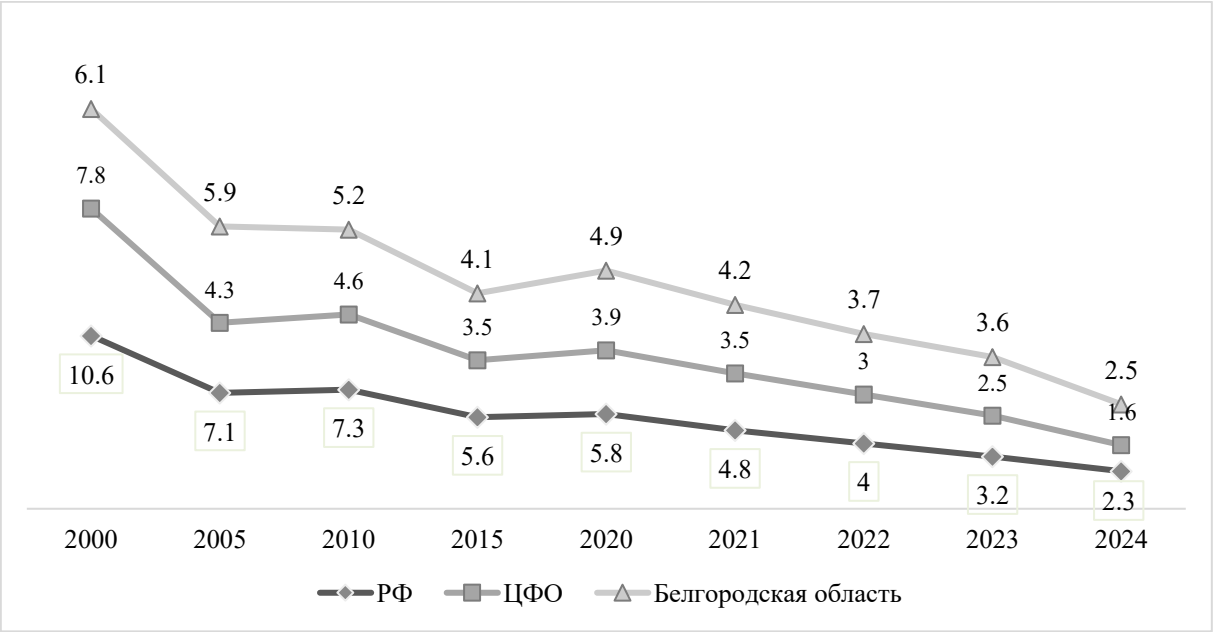


Рисунок 1. Динамика уровня безработицы в РФ, ЦФО и Белгородской области за период с 2000 по 2024 гг., % [3].

В Белгородской области в виду оттока населения, вызванного внешнеполитическими факторами, за 2022-2024 гг., потребность в рабочей силе выросла на 40%. На конец 2024 года предприятиям региона не хватает 25 581 человек, это самый высокий показатель в сравнении с соседними областями (Тамбовская – 11 304 чел.; Липецкая – 19 504 чел.; Воронежская – 10 092 чел.; Курская – 20 903 чел.;). Однако, и регионы, расположенные на значительном расстоянии от приграничья, испытывают нехватку рабочих рук. Причин несколько: это и демографический кризис, снижение численности трудоспособного населения, развитие информационных технологий, популяризация удаленной работы, доминирование сферы услуг.

Обратившись к структуре ВВП отметим, что доля отраслей реальной экономики, включающих добывающую и обрабатывающую промышленность, сельское хозяйство, энергетику, строительство составляет чуть более 40% (рис. 2). Доля сектора услуг, включая торговлю, финансовые услуги, транспорт и связь составляет почти 50%.

В последние годы борьба за рабочие руки между названными секторами экономики только усиливается, а реальная экономика значительно уступает в этой борьбе. По данным исследования, проведенного консалтинговым агентством «SMART D-vision», число активных резюме на одну вакансию составляет 2,2 при норме в 5, что фактически, лишает работодателя возможности выбора.

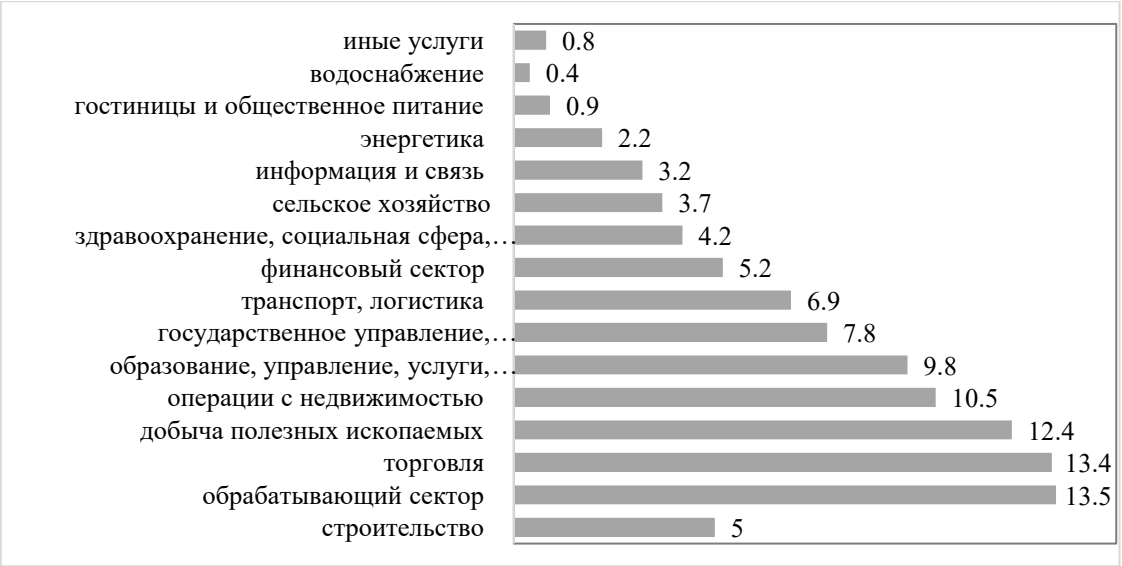


Рисунок 2. Структура ВВП России по отраслям в 2023 году, % [5].

Вход на рынок труда молодых специалистов, особенно из числа выпускников колледжей и других организаций среднего профессионального образования, должен был бы закрыть открытые вакансии, однако, вступает в силу ряд факторов, которые противодействуют данному процессу.

Сектор услуг предлагает гибкий график работы, высокую оплату труда, что привлекает молодежь. Работа на производстве, даже с учетом автоматизации, сложная и ответственная, не все готовы к таким условиям. Сельскохозяйственные предприятия, в основном, расположены в сельской местности, где сложно удержать население, в частности, молодежь, которая следует за современными тенденциями, переезжая в города. Уровень доходов на селе на порядок ниже в сравнении с городским, по итогам 2023 года, размер денежного дохода на одного сельского члена домашнего хозяйства составил 25 649,0 рублей в месяц, на городского жителя – 38 655,4 рублей [2].

Проанализировав статистические данные о среднемесячной номинальной начисленной заработной платы по основным отраслям, отметим, что сельское хозяйство значительно отстает с показателем в 79 292,00 рублей по итогам 2024 года (рис. 3). За аналогичный период в строительстве платят 105 809,00 рублей, в сфере торговли 95 324,00 рубля, в секторе информации и связи – 249 027,00 рублей.

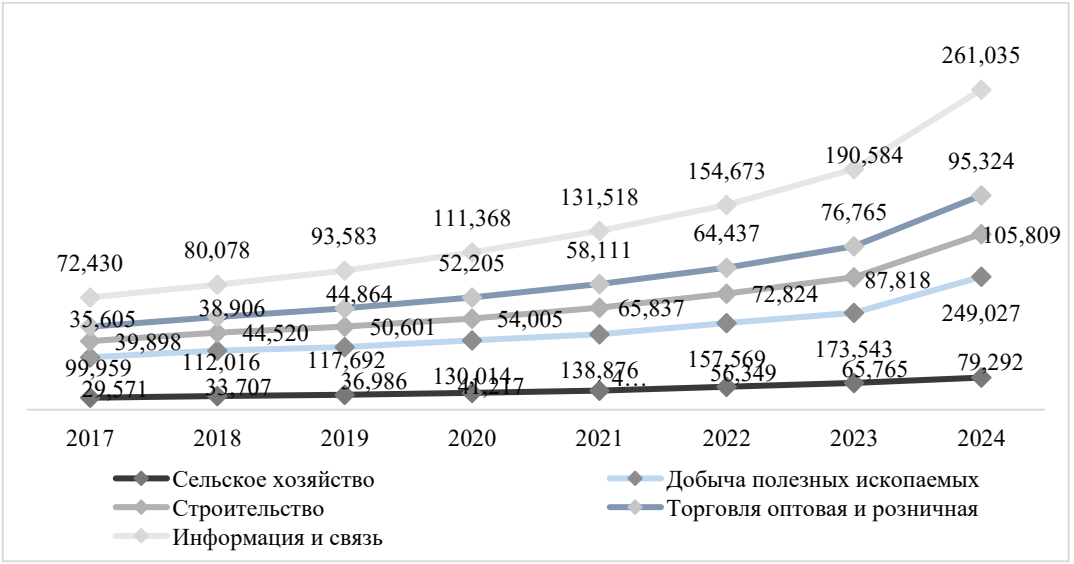


Рисунок 3. Динамика среднемесячной номинальной начисленной заработной платы, по основным отраслям экономики за период 2017 -2024 гг., рублей [6].

Несмотря на отставание, нельзя не отметить положительную работу по повышению уровня оплаты труда в сельскохозяйственном кластере. За последние 7 лет заработная плата выросла в 2,7 раза с 29 571,00 рубля в 2017 году до 79 292,00 рублей к 2024 году.

Между тем, решение проблемы кадрового дефицита носит комплексный, долгосрочный характер. По состоянию на январь 2025 года, нехватка рабочих в сельском хозяйстве составляет более 200 тысяч человек, по некоторым направлениям достигает 50% от необходимого числа. С 2017 по 2023 годы количество занятых в этой сфере сократилось с 5 075 до 4 408 тыс. человек. Число трудящихся в отрасли моложе 35 лет составляет менее 10% [4].

Привлечение молодежи позволит заменить часть работников пенсионного возраста, а также будет способствовать ускорению процесса цифровизации сельского хозяйства. Молодые люди более активно используют информационные технологии, быстрее адаптируются на стажировках по применению беспилотных летательных аппаратов, систем мониторинга урожая, точного земледелия и других.

Популяризация аграрных профессий должна начинаться с образования, от школы до вузов, через конкурсы, ярмарки вакансий, практики, стажировки, взаимодействие с работодателями. Именно работа с категорией обучающихся позволит готовить кадры заранее, закрывая имеющиеся вакансии. Понимая значимость сектора АПК для экономики в целом, со стороны властей разработан федеральный проект «Кадры в АПК», реализация которого в 2025-2027 гг., должна восполнить недостаток рабочих рук в отрасли. Модернизация образовательных заведений, новое материально-техническое оснащение мастерских, учебных лабораторий, поддержка студентов, выплата повышенной стипендии, оплата стажировок, практик с дальнейшим трудоустройством, льготное кредитование покупки недвижимости в сельских территориях, станет дополнительной мотивацией для выбора профессии и работы по специальности.

По данным опроса, проведенного консалтинговым агентством «SMART D-vision» среди студентов, более 35% студентов хотели бы работать по специальности после окончания учебного заведения. Однако, важным показателем в ответе на этот вопрос является то, что почти 44% не уверены в работе по специальности, а значит могут принять альтернативные карьерные решения. Очень важно обратить внимание на работу с этой группой студентов в ходе обучения, прохождения практики на базе производственных компаний. Позитивный опыт первой работы/практики по специальности может повлиять на профессиональный выбор значительного числа обучающихся, а значит – повысить вероятность успешного подбора и закрепления кадров в реальном секторе экономики.

Ключевыми факторами выбора места работы будут являться высокий уровень заработной платы, 26%, удобный график работы, 22%, возможность карьерного роста, 20%.

Ожидаемый размер заработной платы для молодого специалиста, только начинающего работать на производственном предприятии оценивается студентами как 50 – 70 тысяч рублей, 47%, не менее 70 тысяч рублей, 41%. Только 11% студентов готовы работать за стартовую зарплату в 30 – 50 тысяч рублей [4].

С точки зрения удержания молодых специалистов стоит отметить, что в представлении об уже существующей «идеальной работе» выпускника среднего специального учебного заведения на первое место выходят социально-психологические факторы: отношение и поддержка со стороны руководителя, отсутствие неприязненных отношений на работе, наличие в коллективе взрослых и опытных людей, наличие наставника, а также организационные факторы – понимание того, что конкретно должен делать специалист.

Молодые специалисты играют значимую роль в обеспечении устойчивой конкурентоспособности конкретного предприятия и экономики в целом. Часто именно они являются носителями новых идей и подходов, не боятся экспериментировать и проще принимают изменения. Они обладают огромным потенциалом, который может и должен быть использован для преодоления кадрового кризиса в сельском хозяйстве. Комплексный подход при реализации системных мер, интеграция государства, бизнеса и образовательных

учреждений помогут вернуть престиж аграрным профессиям, а также привлекательность сельских территорий для жизни и работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Указ Президента РФ от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» // «Российская газета», № 100, 11.05.2024.

2. Белгородская область в цифрах. 2024: Краткий статистический сборник/Белгородстат. 2024. 224 с.

3. Российский статистический ежегодник. 2024: Стат.сб./Росстат. Р76 М., 2024. 630 с.

4. *Бочарникова В.Н., Китаёв Ю.А.,* Крестьянские (фермерские) хозяйства в условиях возрождения сельских территорий // Современная экономика: обеспечение продовольственной безопасности: сборник научных трудов. Кинель: ИБЦ Самарского ГАУ, 2025. С. 8-15.

5. Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работающих в экономике с 2017 г. // Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.fedstat.ru/indicator/57824 (дата обращения: 08.08.2025).

6. *Корякова Л.* Будущее производства: как завоевать сердца молодых специалистов // Исследование консалтингового агентства «SMART D-vision», г. Санкт-Петербург [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vk.com/wall-227878483_9 (дата обращения: 08.08.2025).

THE ROLE OF YOUTH IN SOLVING THE PROBLEMS OF PERSONNEL SHORTAGE IN AGRICULTURE

Bocharnikova V.N.[1]

Supervisor: Kitaev Yu.A.[2], Associate Professor, Doctor of Economic Sciences

(1 - Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, Belgorod)

(2 - St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg)

Abstract. Sustainable economic development is the key to the well-being of any State. Each sector of the economy is unique and has its own distinctive features, but the unifying factor is personnel, the need for which is growing rapidly every year. Reducing the personnel imbalance between industries, attracting young professionals, meeting employers' demands, and creating favorable working conditions are urgent tasks of modern society.

УДК 796.01: 378.147

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА КОГНИТИВНЫЕ СПОСОБНОСТИ И УСПЕВАЕМОСТЬ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗОВ

Вдовина В.А., Янова Р.И.

Научный руководитель: Кривоногов А.Д., преподаватель

(Казанский государственный энергетический университет, г. Казань)

Аннотация. В статье анализируется связь между уровнем физической активности и когнитивными способностями у студентов технических университетов. Получено, что выполнение регулярных занятий физической культурой способствует развитию внимания, памяти, концентрации и повышению общей успеваемости в учебном процессе.

На фоне высоких академических нагрузок и значительного интеллектуального напряжения у студентов технических специальностей остро стоит проблема снижения концентрации внимания, ухудшения памяти и повышенной утомляемости. По данным

современных исследований, физическая активность способствует не только сохранению физического здоровья, но и улучшению психического состояния, а также стимулирует развитие когнитивных функций. Однако в системе высшего образования до сих пор недостаточно внимания уделяется изучению влияния физической культуры на образовательную деятельность, особенно применительно к студентам технических вузов.

Целью данного исследования стало выявление степени влияния регулярных занятий физической культурой на когнитивные способности и академическую успеваемость у студентов технических университетов.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- провести обзор научной литературы, посвящённой взаимосвязи физической активности и когнитивного развития;
- разработать методику проведения эмпирического исследования;
- организовать и провести тестирование студентов по шкалам оценки когнитивной и физической активности;
- проанализировать полученные данные и сформулировать выводы.

Объектом исследования стали студенты первого и второго курсов технических специальностей. Предметом исследования выступила зависимость уровня когнитивных способностей и академической успеваемости от показателей физической активности.

В последние годы всё большее количество исследований демонстрирует наличие устойчивой положительной связи между физической активностью и когнитивным развитием. Современные нейробиологические, психологические и педагогические исследования подтверждают, что регулярные занятия физическими упражнениями оказывают комплексное влияние не только на физическое здоровье, но и на работу мозга, включая такие ключевые функции, как внимание, память, концентрация, скорость обработки информации, а также исполнительные функции — планирование, принятие решений и самоконтроль.

Согласно данным Центра по контролю заболеваний США (CDC), физическая активность способствует улучшению академических показателей учащихся всех возрастных групп, включая студентов [1]. В отчёте CDC указывается, что школьники и студенты, регулярно занимающиеся физическими упражнениями, демонстрируют лучшие результаты в тестах на внимание, память и логическое мышление. Более того, физическая активность снижает уровень тревожности и стресса, которые могут негативно влиять на учебную деятельность и эмоциональное состояние.

Особое значение приобретают исследования в области нейробиологии, где доказано, что физическая нагрузка стимулирует нейрогенез — процесс образования новых нейронов в гиппокампе, который играет ключевую роль в обучении и формировании долгосрочной памяти [2]. Эта область мозга особенно чувствительна к физическим упражнениям: исследования с использованием методов нейровизуализации показали, что у людей, регулярно занимающихся спортом, объём гиппокампа увеличен, а его функциональная активность повышена. Это свидетельствует о том, что физическая активность может быть мощным инструментом для поддержания и развития когнитивного потенциала.

Ещё одним важным механизмом действия физической активности является усиление кровотока в головном мозге, которое обеспечивает более эффективное снабжение тканей кислородом и питательными веществами. Это особенно актуально для студентов технических специальностей, чья образовательная деятельность предполагает длительное умственное напряжение и высокую концентрацию внимания.

В отечественной научной практике вопросы физической активности чаще всего рассматриваются в рамках медицинской и спортивной науки, где основное внимание уделяется её роли в формировании здорового образа жизни, профилактике заболеваний и развитии физических качеств. Однако мало исследований посвящено изучению влияния физической культуры на когнитивное развитие студентов, особенно в системе высшего технического образования.

Исключение составляют работы таких выдающихся отечественных психологов, как Л.С. Выготский и А.Р. Лурия, в которых рассматривается роль двигательной активности в становлении высших психических функций. Так, Выготский в своих работах подчеркивал, что движение является одной из базовых форм активности человека, которая служит основой для формирования сознания, мышления и речи [3]. Он отмечал, что именно через двигательную активность ребёнок взаимодействует с окружающим миром, осваивает пространственные отношения и развивает координацию, что в дальнейшем становится основой для абстрактного мышления.

А.Р. Лурия в своей концепции функциональных блоков мозга также подчеркивал важность моторной системы в обеспечении целостной психической деятельности. По его мнению, двигательная сфера тесно взаимосвязана с такими когнитивными процессами, как внимание, память и речь. Эти идеи получили развитие в современных исследованиях, подтверждающих, что даже у взрослых людей физическая активность остаётся важным фактором, поддерживающим когнитивное здоровье и продуктивность.

Несмотря на глубину и значимость этих теоретических разработок, их практическая реализация в образовательной среде пока ограничена. В программы по физической культуре для студентов технических вузов редко включаются элементы, направленные на развитие когнитивных функций. Между тем, интеграция физической активности в образовательный процесс может стать эффективным средством повышения качества подготовки специалистов, особенно в условиях интенсивного умственного труда.

Таким образом, теоретический анализ показывает, что существует достаточная научная база, подтверждающая положительное влияние физической активности на когнитивное развитие. Однако в российском образовательном контексте эта проблема недостаточно изучена и практически не реализована в учебных программах технических вузов. Это делает актуальным проведение собственного исследования, направленного на выявление конкретных эффектов физической активности на когнитивные способности и успеваемость студентов [4].

Для реализации поставленной цели и задач исследования был использован комплексный подход, объединяющий теоретический анализ научных источников и эмпирическое изучение взаимосвязи между уровнем физической активности и когнитивными способностями студентов технических вузов. Такая методологическая основа позволила не только обосновать гипотезу исследования с позиции современных научных данных, но и проверить её на практике через специально разработанные инструменты сбора и анализа информации.

Первым этапом исследования стал анализ отечественной и зарубежной научной литературы, посвящённой влиянию физической активности на когнитивное развитие, психическое здоровье и образовательные достижения студентов. В ходе этого этапа были рассмотрены работы по нейробиологии, педагогике, психологии и спортивной медицине, что позволило выявить ключевые закономерности и тенденции, а также определить наиболее перспективные направления для дальнейшего исследования.

Теоретический анализ позволил сформулировать рабочую гипотезу: регулярная физическая активность положительно влияет на когнитивные функции студентов технических вузов, такие как внимание, концентрация и память, а также коррелирует с более высокой академической успеваемостью.

Для оценки уровня физической активности у респондентов был применён опросник International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) в его сокращённой версии [5]. Этот инструмент широко используется в научных исследованиях и характеризуется высокой надёжностью и валидностью. В рамках исследования была проведена адаптация опросника под русскоязычную выборку, включая локализацию терминов и учёт особенностей образа жизни студентов технических специальностей.

Опрос проводился анонимно среди студентов первого-второго курсов Казанского государственного энергетического университета. Респонденты заполняли анкету в электронном виде, где указывали частоту и продолжительность различных видов физической

активности за последние семь дней: ходьба, умеренная физическая нагрузка (например, занятия спортом средней интенсивности) и высокая физическая нагрузка (например, бег, силовые тренировки).

По результатам опроса все участники были разделены на три категории:

- низкая физическая активность — менее 60 минут в неделю;
- средняя физическая активность — от 60 до 150 минут в неделю;
- высокая физическая активность — более 150 минут в неделю.

Эта классификация соответствует рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) относительно минимального объема физической активности для взрослых [6].

Для установления связи между физической активностью и образовательными результатами был проведён сравнительный анализ среднего балла успеваемости (СБУ) у всех участников исследования. Данные о текущих оценках студентов были получены с согласия администрации университета и обобщены в зависимости от категории физической активности.

Анализ охватывал как общие показатели успеваемости по всем дисциплинам, так и результаты по наиболее сложным предметам технической направленности, таким как «Высшая математика», «Физика» и «Инженерная графика». Это позволило определить, в какой степени физическая активность влияет на освоение материала, требующего высокого уровня концентрации, аналитического мышления и пространственного восприятия.

Таким образом, методология исследования включала в себя теоретический, диагностический и аналитический компоненты, что позволило получить достоверные данные и обосновать практические рекомендации по интеграции физической культуры в образовательный процесс технических вузов.

Анализ данных показал существенную разницу в когнитивных показателях между группами с различным уровнем физической активности. Так, у студентов с высоким уровнем физической активности наблюдалось:

- на 23% выше показатели внимания и концентрации;
- на 18% выше объем кратковременной памяти;
- средний балл успеваемости превышал аналогичный показатель у студентов с низкой физической активностью на 0,7 баллов (по шкале от 2 до 5).

Таким образом, можно утверждать, что существует корреляция между физической активностью и когнитивными возможностями студентов технических вузов. Кроме того, анкетирование позволило выявить причины низкой физической активности среди студентов: недостаток времени, отсутствие мотивации, ограниченный доступ к спортивным сооружениям и недостаточная информированность о пользе физических занятий.

Полученные данные позволяют говорить о том, что физическая культура может быть эффективным инструментом повышения образовательных результатов. Особенно важно это в технических вузах, где академическая нагрузка велика, и требуется высокая степень концентрации внимания, логического мышления и аналитических способностей.

Однако на практике большинство студентов не уделяют достаточного внимания физическим занятиям. Это свидетельствует о необходимости разработки и внедрения мер, направленных на популяризацию физической культуры среди молодежи. Возможными направлениями могут быть:

- организация краткосрочных тренировок в расписании занятий;
- проведение спортивных мероприятий внутри вуза;
- интеграция знаний о связи физической активности и когнитивного развития в учебные курсы;
- создание условий для занятий физкультурой в удобное время.

В результате проведенного исследования установлено, что регулярная физическая активность положительно влияет на когнитивные способности студентов технических вузов. Наиболее выраженный эффект наблюдается в улучшении внимания, концентрации и памяти, что, в свою очередь, способствует более успешному освоению учебного материала.

Для повышения эффективности образовательного процесса рекомендуется усиление роли физической культуры в образовательной программе технических вузов, включая формирование у студентов осознанного отношения к своему здоровью и развитию когнитивных способностей через физические упражнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Centers for Disease Control and Prevention. The association between school-based physical activity, including physical education, and academic performance. Atlanta GA: U.S. Department of Health and Human Services, 2010.

2. *Хасанова Г.Р.* Взаимосвязь мышления и речи в работах Л.С. Выготского и Ж. Пиаже // Фундаментальные и прикладные научные исследования: сборник статей Международной научно-практической конференции, Саранск, 03 апреля 2016 года. Том 2. Саранск: Общество с ограниченной ответственностью "ОМЕГА САЙНС", 2016. С. 149-152.

3. World Health Organization. Global recommendations on physical activity for health. Geneva, 2010.

4. *Климов В.М., Айзман Р.И.* Влияние одного занятия по физической культуре разной физкультурно-спортивной направленности на психофизиологические показатели студентов // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. 2017. № 3. С. 51-53.

5. IPAQ Research Committee. Guidelines for data processing and analysis of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) – Short and Long Forms. 2005.

6. *Гагарина А.Г.* Теория и методика обучения и воспитания физической культуре младших школьников // Форум инновационных технологий «Иннотех»: сборник статей международной научной конференции, Санкт-Петербург, 03 декабря 2024 года. Санкт-Петербург: Международный институт перспективных исследований имени Ломоносова, 2024. С. 17-20.

THE IMPACT OF PHYSICAL ACTIVITY ON COGNITIVE ABILITIES AND ACADEMIC PERFORMANCE OF TECHNICAL UNIVERSITY STUDENTS

Vdovina V.A., Yanova R.I.

Scientific supervisor: Krivonogov A.D., lecturer

(Kazan State Power Engineering University, Kazan)

Abstract. The article examines the relationship between the level of physical activity and cognitive functions in students of technical universities. The positive effects of regular physical education classes on attention, memory, concentration, and overall academic performance are shown.

УДК 316.346.32-053.6

МОЛОДЁЖНЫЕ ОНЛАЙН-СООБЩЕСТВА КАК НОВЫЕ ФОРМЫ СОЦИАЛИЗАЦИИ

Гавричкова А.А., Жданова К.А., Соколовская С.Е.

Научный руководитель: Сидоров Л. Г., доцент, к. э. н.

(Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева, г. Рыбинск)

Аннотация. В статье рассматриваются молодёжные онлайн-сообщества как новые формы социализации в условиях постиндустриального общества. Определены их функции, особенности и значение для формирования идентичности и социальной интеграции молодёжи.

В последние десятилетия общество переживает переход к новой фазе развития — постиндустриальной, в основе которой лежит информация, знание и цифровая коммуникация [1]. Эти изменения особенно отчётливо проявляются в молодёжной среде: представители

молодого поколения оказываются наиболее восприимчивыми к технологическим новшествам и активно осваивают новые форматы взаимодействия. Социальные связи, ранее формировавшиеся преимущественно в офлайн-пространстве через традиционные институты — семью, школу, трудовой коллектив, — всё чаще возникают и развиваются в виртуальной среде.

В условиях цифровизации и медиатизации повседневности онлайн-сообщества становятся важным механизмом социализации. Молодые люди через цифровые платформы не только обмениваются информацией, но и участвуют в формировании норм, ролей, субкультур, а также находят поддержку, признание и пространство для самовыражения. Это определяет необходимость осмысления онлайн-сообществ не просто как каналов коммуникации, но как социальных пространств, выполняющих функции классических институтов [2].

Актуальность исследования обусловлена тем, что механизмы социализации стремительно трансформируются, а научная рефлексия не всегда успевает за скоростью этих процессов. Молодёжь, как наиболее динамичная и гибкая социальная группа, становится индикатором этих изменений, а её цифровые практики требуют анализа с позиций социологии, культурологии и теории коммуникации.

Цель — проанализировать молодёжные онлайн-сообщества как новые формы социализации в постиндустриальном обществе.

Задачи:

1. Выявить особенности цифровой социализации молодёжи;
2. Описать типологию молодёжных онлайн-сообществ;
3. Определить их ключевые функции в процессе социализации;
4. Привести примеры, иллюстрирующие их практическое значение.

Теоретические основы социализации в цифровую эпоху

Социализация — это процесс усвоения индивидом норм, ценностей и моделей поведения, необходимых для включения в общественную жизнь. В классических социологических теориях (Э. Дюркгейм, Т. Парсонс, П. Бергер и Т. Лукман) социализация трактуется как структурно обусловленный механизм, посредством которого личность формируется под влиянием устойчивых институтов — семьи, школы, церкви, трудовых коллективов. Однако с развитием сетевого общества (М. Кастельс), эти институциональные каналы подвергаются трансформации.

В постиндустриальном обществе социализация всё чаще осуществляется через неформальные, цифровые и гибкие среды. Молодёжь осваивает нормы и роли не столько в иерархических структурах, сколько в горизонтальных сообществах, основанных на интересах и стихийной самоорганизации. При этом социализация становится не линейной и одноканальной, а многоуровневой и фрагментарной, что соответствует концепции «жидкой модерности» З. Баумана.

Интернет создаёт особую среду, в которой происходят процессы конструирования идентичности, формирования социальных связей и освоения культурных кодов. Цифровое пространство позволяет молодому человеку не только наблюдать и подражать, но и экспериментировать с ролями, выбирать окружение, влиять на своё информационное поле и получать обратную связь практически мгновенно.

В условиях цифровизации происходит сдвиг от институциональной к сетевой социализации. Молодёжные онлайн-сообщества становятся не побочным явлением, а одним из ключевых агентов социализации, предоставляющим гибкие, децентрализованные и интерактивные форматы освоения социальных норм [3].

Типология и особенности молодёжных онлайн-сообществ.

Онлайн-сообщества представляют собой добровольные объединения пользователей, взаимодействующих через цифровые платформы на основе общих интересов, целей или символических кодов. В молодёжной среде такие сообщества выполняют не только коммуникативную, но и социализирующую функцию, способствуя освоению ролей, норм и форм участия в коллективной жизни [4].

Современные молодёжные онлайн-сообщества можно классифицировать по нескольким основаниям:

1) По доминирующей тематике:

Культурные сообщества — объединения по интересам (музыка, кино, книги, визуальное искусство), в которых молодёжь создаёт и распространяет культурный контент;

Геймерские сообщества — группы, формирующиеся вокруг видеоигр, где вырабатываются уникальные формы коллективного взаимодействия и субкультурные коды;

Творческие и образовательные площадки — пространства обмена знаниями, навыками, обратной связью (например, литературные клубы, сообщества цифрового искусства).

2) По структуре и характеру участия:

Открытые сообщества — паблики, каналы и форумы с неограниченным доступом, где пользователь может наблюдать или участвовать в обсуждении;

Закрытые сообщества — группы с отбором участников, часто имеющие внутренние правила, кодексы и санкции за нарушение норм;

Ситуативные сообщества — временные объединения, создаваемые вокруг челленджей, флешмобов, онлайн-акций и других событий.

3) По платформе взаимодействия:

ВКонтакте — универсальная платформа с богатой экосистемой групп, пабликов и событий, где молодёжь коммуницирует, учится, участвует в инициативах [5];

Telegram — используется для более приватного общения и самоорганизации, распространены тематические чаты, каналы, клубы по интересам;

Авторские сайты и форумы — нередко специализируются на узкой тематике и формируют устойчивое ядро участников с высоким уровнем вовлечённости.

Особенностями онлайн-сообществ как среды социализации являются:

— гибкость участия (возможность варьировать активность от наблюдения до модерации)

— псевдоанонимность и цифровая маска (что снижает барьеры и позволяет экспериментировать с идентичностью)

— многоуровневая коммуникация (использование визуального, текстового и меметического контента)

— отсутствие строгой иерархии, что способствует формированию горизонтальных связей

— Молодёжные онлайн-сообщества являются адаптивными, динамичными и значимыми пространствами социализации, сочетающими в себе черты неформальных групп и культурных микросред.

Функции онлайн-сообществ в процессе социализации

Молодёжные онлайн-сообщества выполняют целый спектр функций, позволяющих рассматривать их как полноценный институт социализации в условиях цифровой эпохи. Они не просто дополняют традиционные формы взаимодействия, а зачастую их заменяют, формируя собственные механизмы включения личности в социальную среду [6].

1) Коммуникативная функция

Сообщества предоставляют молодёжи пространство для регулярного общения, обмена опытом и выработки коллективных смыслов. Через диалог, дискуссии и совместную деятельность молодые люди осваивают нормы поведения, учатся выражать и отстаивать мнение, вступают в символические взаимодействия.

2) Эмоционально-поддерживающая функция

Онлайн-группы становятся средой социальной безопасности, в которой участник может получить поддержку, признание, эмоциональный отклик. Это особенно актуально для подростков и юношей, находящихся на этапе формирования самооценки и социальной идентичности.

3) Образовательно-познавательная функция

Многие цифровые сообщества ориентированы на распространение знаний, обмен информацией, развитие soft и hard skills. Молодые участники получают возможность неформального обучения, коллективного освоения навыков, вовлечения в интеллектуальные и творческие практики.

4) Идентификационная функция

Участие в онлайн-сообществах позволяет конструировать и пробовать разные формы идентичности — культурной, ролевой, социальной. Через выбор тем, языка, аватаров, формата общения молодые люди определяют границы своего «я» и соотносят себя с другими.

5) Организационно-деятельностная функция

Многие сообщества становятся платформами для совместной деятельности: от проведения флешмобов и челленджей до создания коллективных медиа- или арт-проектов. Это формирует навыки координации, ответственности, командной работы и цифровой самопрезентации [7].

Онлайн-сообщества выполняют системную функцию в процессе социализации: они обучают, поддерживают, интегрируют и развивают молодёжь, отражая специфику жизни в постиндустриальном обществе.

Примеры и интерпретации онлайн – сообществ

Понимание социализирующего потенциала онлайн-среды невозможно без анализа конкретных кейсов, демонстрирующих, как молодёжные цифровые сообщества выполняют функции неформального обучения, поддержки и включения в коллективные практики. Ниже приведены три характерных примера.

1) Тематические сообщества во «ВКонтакте».

Социальная сеть «ВКонтакте» продолжает играть важную роль в организации цифровой молодёжной активности. Здесь формируются устойчивые сообщества по интересам — от художественной литературы и музыки до психологии и языкового обмена. В рамках таких групп проводятся марафоны, челленджи, обсуждения, образовательные потоки и творческие конкурсы. Участие в них способствует формированию поведенческих моделей, усвоению ролевых норм и закреплению коллективной идентичности. В процессе взаимодействия молодёжь получает возможность апробировать разные роли — от наблюдателя до инициатора цифровых проектов.

2) Сообщества в Telegram.

Telegram стал одним из ключевых инструментов самоорганизации молодёжи в цифровой среде. Платформа предлагает широкий спектр форматов: от публичных каналов и групп до приватных чатов и тематических сообществ. Здесь молодые люди объединяются по интересам — от IT и науки до музыки, экологии и ментального здоровья. Telegram-сообщества характеризуются гибкостью, высокой вовлечённостью участников, возможностью анонимного участия и горизонтальной структурой управления. Благодаря этому они функционируют как пространства обмена знаниями, коллективной поддержки, обсуждения актуальных тем и реализации совместных инициатив — от образовательных проектов до творческих коллабораций.

3) Творческие и литературные платформы.

Многие молодые авторы и визуальные художники выбирают тематические площадки, такие как специализированные сайты, форумы или паблики, для публикации своих работ. Эти пространства дают возможность получать разностороннюю обратную связь, участвовать в онлайн-конкурсах, выстраивать творческое портфолио. Такие сообщества способствуют формированию субкультурных норм, развитию soft skills (навыков презентации, самодисциплины, сетевого этикета) и закреплению идентичности, связанной с творчеством или самообразованием.

Молодёжные онлайн-сообщества функционируют не как пассивные каналы коммуникации, а как полноценные социальные среды, в которых разворачиваются процессы социализации, идентификации, ролевого освоения и коллективной кооперации [8].

Изменения, происходящие в обществе в условиях цифровизации, обусловили появление новых форм взаимодействия, в том числе в сфере социализации. Молодёжные онлайн-сообщества представляют собой качественно новое пространство формирования и развития личности, в котором реализуются функции, ранее присущие исключительно традиционным институтам — таким как семья, школа или профессиональное окружение. Их особенности — гибкость, горизонтальность, доступность и децентрализация — делают такие сообщества особенно значимыми для молодого поколения, находящегося в стадии активного социального становления.

В ходе исследования было установлено, что цифровые молодёжные объединения выполняют целый спектр функций: от базовой коммуникации до саморазвития, идентификации и вовлечения в коллективную деятельность. Особую роль они играют в формировании ролевой и ценностной структуры личности, предоставляя возможность апробации различных социальных моделей в безопасной и принимающей среде. Сообщества в социальных сетях и мессенджерах создают условия для выражения индивидуальности, получения эмоциональной поддержки, коллективного решения задач и освоения новых форм культурного участия.

Анализ эмпирических примеров позволяет говорить о том, что такие цифровые пространства не являются стихийными или хаотичными — напротив, они обладают внутренними нормами, системой обратной связи, собственной культурой общения и символическими кодами. Молодёжь осваивает в них навыки взаимодействия, вырабатывает стратегию поведения, учится принимать правила и ценности, транслируемые в сообществе. Таким образом, онлайн-группы выступают как среда формирования социальной зрелости, особенно актуальная в условиях изменчивости и неопределённости современной реальности.

Онлайн-сообщества становятся не только отражением интересов молодого поколения, но и важным инструментом его социальной интеграции. Их потенциал особенно высок в контексте кризиса доверия к традиционным институтам, фрагментации культурного пространства и стремительного перехода к сетевым формам жизни. Поэтому научное осмысление таких форм коллективности приобретает всё большую значимость не только для социологии, но и для педагогики, психологии, культурологии.

Перспективы дальнейшего изучения молодёжных цифровых сообществ связаны с необходимостью глубже понимать процессы формирования онлайн-идентичности, механизмы самоорганизации и трансформации социальной нормы в виртуальной среде. Это позволит разрабатывать более эффективные практики позитивной социализации и сопровождения молодёжи в цифровом обществе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кузнецова Е.А.* Цифровая социализация молодежи [Электронный ресурс] // Социология. 2023. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-sotsializatsiya-molodezhi (дата обращения: 22.06.2025).

2. *Гарипова А.В.* Виртуальные сообщества как социально-коммуникативный фактор социализации молодежи [Электронный ресурс] // Вопросы студенческой науки. 2022. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/virtualnye-soobschestva-kak-sotsialno-kommunikativnyy-faktor-sotsializatsii-molodezhi (дата обращения: 22.06.2025).

3. Субъектность молодежи в процессах социализации и инкультурации [Электронный ресурс] // КиберЛенинка: научная электронная библиотека. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/subektnost-molodezhi-v-protsessah-sotsializatsii-i-inkulturatsii (дата обращения: 22.06.2025).

4. Влияние социальных медиа на формирование идентичности молодежи: социологический подход [Электронный ресурс] // КиберЛенинка: научная электронная библиотека. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-sotsialnyh-media-na-formirovanie-identichnosti-molodezhi-sotsiologicheskiy-podhod (дата обращения: 22.06.2025).

5. *Розенберг Н.В.* Социальные сети как основной вид коммуникативных практик современной молодежи: социологический анализ [Электронный ресурс] // Наука. Общество. Государство. 2022. Т. 10, № 2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialnye-seti-kak-osnovnoy-vid-kommunikativnyh-praktik-sovremennoy-molodezhi-sotsiologicheskiy-analiz (дата обращения: 22.06.2025).

6. Цифровая социализация молодых взрослых: тренды и тенденции в коммуникации [Электронный ресурс] // ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/366325321_Cifrovaa_socializacia_molodyh_vzroslyh_trendy_i_tendencii_v_kommunikacii (дата обращения: 22.06.2025).

7. *Дружба О.В., Каирова И.А., Кошман М.В.* Социальные сети как пространство интернет-социализации молодежи [Электронный ресурс] // KANT. 2020. № 3(37). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialnye-seti-kak-prostranstvo-internet-sotsializatsii-molodyozhi (дата обращения: 22.06.2025).

8. *Ли Цзяньхуэй*. Влияние новых СМИ на поколенческие особенности социализации молодежи [Электронный ресурс] // Общество: социология, психология, педагогика. 2024. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-novyh-smi-na-pokolencheskie-osobennosti-sotsializatsii-molodezhi (дата обращения: 22.06.2025).

ONLINE YOUTH COMMUNITIES AS NEW FORMS OF SOCIALIZATION

Gavrichkova A.A., Zhdanova K.A., Sokolovskaya S.E.
Supervisor: Sidorov L.G. Associate Professor, Candidate of Economic Sciences
(Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solovyov, Rybinsk)

Abstract. The article examines online youth communities as new forms of socialization in a post-industrial society. Their functions, features and significance for the formation of identity and social integration of young people are determined.

УДК 316.77

РОЛЬ СОЦИАЛЬНЫХ МЕДИА В ФОРМИРОВАНИИ КОЛЛЕКТИВНОГО СОЗНАНИЯ МОЛОДЕЖИ

Данилова М.Г., Рябова М.А., Челнокова А.Д.
Научный руководитель: Сидоров Л.Г., доцент, к. э. н.
(Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева, г. Рыбинск)

Аннотация. Социальные медиа стали ключевым инструментом формирования коллективного сознания молодежи, трансформируя её ценности, идентичность и способы взаимодействия. В докладе анализируются механизмы этого влияния — от алгоритмических «пузырей фильтров» до мем-культуры, а также двойственная роль социальных сетей как площадок для протеста и манипуляции, на примерах «Арабской весны» и «культуры отмены». Особое внимание уделяется необходимости развития медиаграмотности для критического осмысления цифровой реальности.

Коллективное сознание молодежи

Коллективное сознание — это система общих знаний, представлений, убеждений и ценностей, разделяемых членами определенной социальной группы. В отличие от индивидуального сознания, оно формируется в процессе взаимодействия людей и отражает социальные нормы, идеи и установки, характерные для данного общества. По сути, коллективное сознание представляет собой объединяющую силу, основанную на общих моральных принципах и представлениях о приемлемом поведении. Однако оно охватывает не только сферу морали, но и более широкий спектр социальных явлений.

Само понятие «коллективное сознание» было введено в научный оборот французским социологом Эмилем Дюркгеймом в его фундаментальном труде «О разделении общественного труда» (1893 г.).

Сегодня концепция коллективного сознания включает в себя такие аспекты, как: социальная солидарность; распространение мемов (как единиц культурной информации); экстремальные формы группового поведения (например, стадный инстинкт или группомыслие); коллективный опыт, приобретаемый через ритуалы, массовые мероприятия (например, танцы или фестивали).

Люди, объединяясь в динамичные сообщества, не просто существуют как отдельные индивиды, а активно обмениваются знаниями и ресурсами. Таким образом, коллективное сознание можно рассматривать как механизм, позволяющий обществу поддерживать единую систему ценностей.

В современном мире социальные медиа стали одним из самых мощных инструментов конструирования реальности. Они не просто отражают происходящее, но активно формируют наше восприятие событий, отношений и даже самих себя. Чтобы понять этот феномен, стоит обратиться к идеям двух выдающихся мыслителей - Маршалла Маклюэна и Юргена Хабермаса [1, 2], чьи теории помогают осмыслить роль медиа в современном обществе.

Маршалл Маклюэн, канадский философ и теоретик коммуникаций, рассматривал медиа как активную силу, трансформирующую человеческое восприятие. Его знаменитый тезис «средство коммуникации есть сообщение» означает, что форма медиа влияет на содержание и его восприятие сильнее, чем сам передаваемый контент. В эпоху социальных сетей это проявляется особенно ярко - короткие видео в TikTok, сторис в Instagram перестраивают наше внимание и формируют клиповое мышление, а алгоритмы персонализированных лент создают уникальные версии реальности для каждого пользователя. Маклюэн также говорил о концепции «глобальной деревни», где цифровые медиа стирают расстояния, делая любые локальные события мгновенно доступными всему миру. Современные хештег-движения вроде или протестные волны в социальных сетях являются наглядным подтверждением этой идеи.

Немецкий мыслитель Юрген Хабермас предложил идею «общественного пространства для дискуссий» - места, где люди могут спокойно обсуждать важные вопросы и вместе приходить к разумным решениям. Но с появлением соцсетей всё изменилось. Вместо общего пространства для общения мы получили множество замкнутых групп, где люди слышат только то, что совпадает с их взглядами. В таких «информационных пузырях» важные аргументы часто уступают место эмоциональным высказываниям.

Соцсети устроены так, чтобы максимально затягивать нас в бесконечный просмотр контента. Их алгоритмы показывают нам то, что вызывает сильную реакцию - чаще всего это упрощённые или крайние точки зрения. Ситуацию ухудшают фейковые аккаунты и провокаторы, которые создают видимость массового обсуждения, хотя на самом деле искажают реальное соотношение мнений [3].

Несмотря на эти проблемы, социальные медиа сохраняют потенциал для реализации хабермасовского идеала публичной сферы. Они дают возможность самоорганизации гражданских инициатив, создания альтернативных источников информации и новых форм солидарности. Парадоксальным образом, одни и те же платформы могут служить как инструментом манипуляции, так и средством демократического участия. Этот дуализм отражает фундаментальное противоречие цифровой эпохи: с одной стороны, мы получаем беспрецедентные возможности для коммуникации, с другой - сталкиваемся с новыми формами контроля и отчуждения.

Различия в воздействии медиа в индустриальном и постиндустриальном обществах

Воздействие медиа на общество претерпело радикальные изменения при переходе от индустриальной к постиндустриальной эпохе. Эти различия особенно четко прослеживаются в работах Дэниела Белла и Мануэля Кастельса [4, 5], которые предложили фундаментальные концепции для понимания трансформации медиа систем в разных типах обществ. Их анализ

позволяет увидеть, как технологический прогресс и смена экономических парадигм изменили саму природу массовых коммуникаций и их роль в социальных процессах.

В индустриальном обществе, которое детально анализировал Дэниел Белл, медиа выполняли прежде всего функцию унификации массового сознания. Газеты, радио и телевидение были централизованными системами вещания, работавшими по принципу «один ко многим». Они создавали общее информационное пространство, необходимое для функционирования индустриальной экономики и национальных государств. Белл подчеркивал, что такие медиа служили инструментом стандартизации культурных норм и ценностей, что соответствовало логике массового производства и потребления. В этом контексте медиа воздействие было линейным и предсказуемым - сообщения распространялись от центра к периферии, формируя относительно однородную картину мира у различных социальных групп.

С наступлением постиндустриальной эры, как показал Мануэль Кастельс, характер медиа воздействия кардинально изменился. На смену вертикальным, иерархическим структурам индустриальных медиа пришли горизонтальные сетевые коммуникации. Интернет и цифровые технологии превратили пассивных потребителей информации в активных участников коммуникационного процесса. Кастельс описывает это как переход от «массовой аудитории» к «сетевым индивидуумам», которые одновременно производят и потребляют контент. В его концепции сетевого общества медиа перестают быть просто каналом передачи информации, становясь платформой для социального взаимодействия и самоорганизации [6].

Важнейшее различие между двумя типами обществ проявляется в характере медиа воздействия. Если в индустриальную эпоху медиа стремились к созданию единого культурного пространства, то в постиндустриальном обществе они, напротив, способствуют фрагментации аудитории. Алгоритмы персонализации создают уникальные «медийные диеты» для каждого пользователя, что приводит к формированию изолированных информационных пузырей. Кастельс обращает внимание на парадокс: при кажущемся увеличении информационной свободы люди часто оказываются запертыми в фильтр-пузырях собственных предпочтений и убеждений.

Анализ Белла и Кастельса позволяет сделать вывод, что переход к постиндустриальному обществу сопровождался не просто технологической модернизацией медиа, но фундаментальным изменением их социальной роли. Из инструментов унификации они превратились в платформы для персонализированной коммуникации, из средств массовой информации - в среды социального взаимодействия, из каналов вещания - в пространства соучастия. Эти изменения носят необратимый характер и продолжают трансформировать все сферы общественной жизни, создавая как новые возможности, так и беспрецедентные вызовы для современной цивилизации.

Конструирование реальности

Конструирование реальности — это концепция, согласно которой наше восприятие мира не является пассивным отражением объективной действительности, а активно формируется под влиянием языка, культуры, социальных структур, индивидуального опыта и когнитивных процессов. Современные технологии и интернет радикально изменили способы восприятия и конструирования реальности. Два ключевых феномена — «пузыри фильтров» (эффект алгоритмической изоляции) и мемы (как форма цифровой мифологии) — играют ключевую роль в формировании индивидуального и коллективного мировоззрения.

Эффект «пузыря фильтров»

Термин «пузырь фильтров» (filter bubble) ввёл интернет-активист Илай Парайзер в 2011 году [7, 8]. Это явление, при котором алгоритмы соцсетей (Facebook, YouTube, TikTok) и поисковых систем (Google) показывают пользователю только тот контент, который соответствует его прошлому поведению (лайкам, репостам, времени просмотра и другим данным), создавая для каждого пользователя уникальную информационную среду, которая усиливает его существующие убеждения. Это создаёт информационную изоляцию: человек редко сталкивается с мнениями, которые противоречат его взглядам.

Последствия для общества: чем грозят «пузыри фильтров»?

– Поляризация: Люди перестают сталкиваться с альтернативными точками зрения. Алгоритмы соцсетей и поисковых систем создают персонализированные информационные потоки, в которых пользователи видят только контент, соответствующий их убеждениям. Это приводит к формированию изолированных групп с радикально разными взглядами на одни и те же явления.

– Дезинформация: В пузырях легко распространяются фейки. В изолированных информационных пространствах ложные представления не сталкиваются с опровержениями и быстро становятся «истиной» для их участников.

– Утрата общей реальности: Общество теряет единое информационное поле. Когда группы населения основывают свои взгляды на совершенно разных фактах, исчезает общая основа для дискуссий, законов и коллективных решений.

Эти процессы взаимосвязаны: поляризация делит общество на враждующие лагеря, дезинформация «вооружает» эти лагеря «фактами» для взаимного обвинения, утрата общей реальности делает невозможным диалог и сотрудничество. Эффект пузыря фильтров опасен тем, что незаметно искажает восприятие реальности, ограничивает критическое мышление и может приводить к серьёзным социальным последствиям.

Примеры пузыря фильтров:

– Социальные сети и радикализация. В 2018 году исследование The Wall Street Journal показало, что YouTube часто рекомендует конспирологические видео после просмотра сомнительных новостей и крайне правый или исламистский контент после политических роликов. Алгоритмы устроены так, что после просмотра определенного контента YouTube замечает интерес к теме и начинает предлагать более радикальные видео по этой тематике, чтобы удержать внимание пользователя, таким образом контент постепенно становится всё более экстремистским.

– Разные результаты поиска. Илай Парайзер провел эксперимент: он попросил двух друзей в разных штатах набрать слово «Египет» в поисковике. Одному человеку Google выдал информацию о туризме, а другому — новости о протестах. Это произошло, потому что интересы у друзей были разные, и поисковик знал это.

– Разные цены в интернет-магазинах. Многие интернет-магазины меняют цены в зависимости от истории поиска. Пользователь, который часто ищет товар, может увидеть завышенную стоимость.

Мемы как новая форма мифологии

Концепция «мема» введенная Ричардом Докинзом в 1976 году изначально описывала единицу культурной информации, передающуюся от человека к человеку через подражание. Сегодня интернет-мемы (картинки, видео, фразы) стали аналогом мифов, сказок и пословиц — они передают смыслы в упрощённой и эмоциональной форме [9]. Мемы — это не просто развлечение, а мощный инструмент формирования коллективного сознания. Они изменяют наше восприятие реальности через три ключевых механизма:

1. Упрощение сложных идей. Мемы сводят многогранные проблемы к простым, узнаваемым образам, которые легко запоминаются и передаются. Например, политика через «Ждуна», его скульптура стала символом пассивного ожидания изменений. В политике её используют для критики бюрократии, бездействия власти или даже абсурдности выборных обещаний. Вместо анализа политических программ люди воспринимают власть через призму «Ждуна» — как нечто медлительное.

2. Формирование коллективных эмоций. Мемы создают общее эмоциональное поле, объединяя людей через юмор, гнев, иронию, обиду или ностальгию. Например, видео с пенсионеркой, которая бежит с сумками по воде. Это видео вызывает противоречивые эмоции от «Как ужасно, что у пенсионеров такая тяжелая жизнь» до «Наши бабушки и не такое могут!»

3. Создание новых языковых кодов. Мемы формируют альтернативный язык, который заменяет традиционные способы коммуникации:

– «Это фиаско, братан». Фраза из стрима блогера стала универсальной реакцией на провал, заменила выражение «это неудача».

– «Шиза». Произошло от сокращения слова шизофрения, стало универсальным для описания абсурдной ситуации.

– «Все всё поняли?». Фраза используется для иронии над бессмысленными объяснениями или когда кто-то говорит очевидные вещи.

Мемы перестали быть просто смешными картинками — они превратились в современную мифологию, выполняющую те же функции, что и древние мифы: объясняют мир через простые архетипы («ждун» — символ бессмысленного ожидания, «пенсионерка с пакетами» — образ стойкости), создают сакральные нарративы (мемы про «Крым наш»), формируют ритуалы (репосты, шаблонные реакции, TikTok-челленджи как современные обряды).

Эффект «Пузыря фильтров» и мемы тесно связаны и усиливают друг друга: Алгоритмы социальных сетей создают пузыри, где люди видят только «свои» мемы. Мемы внутри пузырей упрощают реальность и усиливают поляризацию. Пользователи глубже погружаются в свои пузыри, принимая мемы за правду. Проблема заключается не в самих мемах или алгоритмах, а в их симбиозе — системе, где упрощённые образы становятся «истиной» для изолированных групп. Без преодоления этого механизма общество рискует разделиться на враждующие группы с разными реальностями.

Манипуляция и протест

Социальные медиа стали неотъемлемой частью жизни современной молодежи, трансформируя способы коммуникации, формирования мнений и участия в общественных процессах. Они выступают как инструмент свободы самовыражения, так и механизм манипуляции, способный мобилизовать массы на протест или, наоборот, подавлять инакомыслие. Социальные сети играют двоякую роль в современном обществе: с одной стороны, они служат катализатором революционных изменений, что ярко проявилось во время «Арабской весны», с другой — становятся площадкой для цифрового остракизма в форме «культуры отмены» (cancel culture). Оба явления демонстрируют, как онлайн-пространство формирует коллективное сознание, стирая границы между реальным и виртуальным воздействием на общество. Рассмотрим каждое из них подробнее.

Социальные сети в революциях: уроки Арабской весны

На Аравийском полуострове революционные движения активно использовали цифровые платформы: Facebook (компания Meta, признана экстремистской на территории РФ) служил для организации протестов, Twitter (запрещенная социальная сеть на территории РФ) распространял революционные идеи, а YouTube (запрещенная социальная сеть на территории РФ) транслировал события международной аудитории. Именно в ходе событий «Арабской весны» мир впервые столкнулся с феноменом «Twitter-революций», когда социальные сети стали главной движущей силой политических изменений.

Движение «Арабская весна» (2010–2013) получило название по аналогии с «Весной народов» — революциями 1848–1849 годов в Европе — и стало одним из самых масштабных протестных явлений XXI века [10]. Его главным лозунгом был призыв «Народ хочет падения режима», отражавший требования социальной справедливости, экономических реформ и политических свобод. «Арабская весна» стала первым масштабным примером того, как социальные сети трансформировали протестные движения, превратившись в инструмент мобилизации, координации и международного давления. Их влияние проявилось в двух ключевых аспектах: организация протестов и преодоление цензуры, формирование международной поддержки.

Организация протестов и преодоление цензуры

Соцсети, особенно Facebook и Twitter, стали платформами для самоорганизации протестующих:

– В Египте группа «Мы все Халед Сайд» (созданная активистом Ваилем Гонимом) координировала акции на площади Тахрир через хештег #Jan25. Даже после блокировки

интернета властями протесты продолжились, так как информация уже распространилась глобально.

– В Тунисе видео с самосожжения Мохаммеда Буазизи и последующие репортажи о полицейской жестокости охватили соцсети, спровоцировав массовые демонстрации.

– В Ливии и Сирии активисты использовали YouTube для трансляции насилия со стороны режимов, привлекая внимание западных СМИ и международных организаций.

Формирование международной поддержки

Соцсети позволили протестующим:

– Создавать англоязычные аккаунты для влияния на западную аудиторию (например, страницы «April 6 Youth Movement» в Египте).

– Обходить государственную пропаганду: в условиях цензуры традиционных СМИ Twitter и Facebook стали основными источниками информации для журналистов и правозащитников.

– Давление на власти: видео разгонов демонстраций в Бахрейне и Сирии привели к санкциям со стороны ЕС и США.

«Арабская весна» наглядно продемонстрировала двойственную природу социальных сетей как инструмента политических изменений. С одной стороны, они разрушили информационную монополию авторитарных режимов, дав протестующим беспрецедентные возможности для самоорганизации и международной поддержки. Именно благодаря Facebook, Twitter и YouTube демонстранты в Тунисе и Египте смогли координировать акции, привлекать внимание мировой общественности и в конечном итоге добиться падения давних диктатур. Однако революционный потенциал соцсетей оказался ограниченным: отсутствие четких политических программ у оппозиции привело либо к хаосу (как в Ливии и Сирии, где протесты переросли в затяжные гражданские войны), либо к возврату авторитаризма в новых формах (что произошло в Египте после военного переворота 2013 года).

Феномен «культуры отмены»: цифровой остракизм как инструмент влияния

«Культура отмены» (cancel culture) представляет собой современный социальный феномен, при котором отдельных лиц или организации подвергают публичному осуждению и бойкоту за действия или высказывания, противоречащие общепринятым нормам [11].

Это явление стало возможным благодаря развитию социальных медиа, которые превратились в площадки для «народного правосудия». Поводом для осуждения может стать как откровенно оскорбительное поведение, так и спорные высказывания или участие в неоднозначных практиках. Основной площадкой данного явления стал Twitter (запрещенная социальная сеть на территории РФ).

Сторонники считают культуру отмены инструментом социальной справедливости, позволяющим бороться с системными предрассудками и привлекать к ответственности влиятельных персон. Однако критики видят в ней форму цифрового преследования, которая подавляет свободу выражения мнений и упрощает сложные вопросы, лишая дискуссию нюансов и эмпатии.

Основные проявления

–Публичное осуждение − массовые кампании с хештегами (#CancelX).

–Бойкот продуктов/контента − призывы прекратить поддержку брендов или медиаперсон.

–Потеря репутации − увольнения, разрывы контрактов, исключение из профессиональных сообществ.

–Создание «черных списков» − коллективное составление перечней «провинившихся».

Известные примеры «культуры отмены» в обществе

– Перси Хайнс Уайт (Percy Hynes White): Известного молодого актера обвинили в домогательствах и неэтичном поведении. В январе 2023 года несколько девушек, называвших себя его бывшими одноклассницами, заявили об этом в соцсетях. Перси долго молчал, отключив везде комментарии, но спустя полгода опубликовал опровержение. Однако,

несмотря на оправдания, Netflix и создатели сериала, в котором Перси должен был принять участие, решили не включать его в актерский состав.

– Корпоративные кейсы: Starbucks − бойкот после ареста двух темнокожих посетителей в филадельфийском кафе (2018). Dolce&Gabbana − скандал с расистской рекламой в Китае (2018), приведший к отмене показа.

Социальные сети стали неотъемлемой частью жизни современной молодежи, оказывая глубокое влияние на формирование коллективного сознания. Как показывает анализ, они обладают двойственной природой: с одной стороны, выступают инструментом освобождения, давая возможность самоорганизации, свободного обмена идеями и участия в глобальных дискуссиях, а с другой — служат механизмом контроля, манипуляции и поляризации общества.

В условиях, когда социальные сети становятся основным источником информации для молодежи, ключевой задачей становится развитие медиаграмотности и критического мышления. Молодое поколение должно уметь: распознавать манипулятивные техники, такие как алгоритмическая подача контента или распространение дезинформации; анализировать источники информации, отличая достоверные данные от фейков и упрощенных мемов; осознанно взаимодействовать с цифровыми платформами, понимая, как их действия влияют на формирование их собственного мировоззрения и коллективного сознания в целом.

Будущее коллективного сознания молодежи во многом зависит от того, насколько успешно общество сможет адаптироваться к вызовам цифровой эпохи, сочетая технологические возможности с критическим осмыслением их влияния. Развитие медиаграмотности и ответственного потребления контента — это не просто рекомендация, а необходимость для формирования здорового и устойчивого информационного пространства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Маклюэн М.* Понимание медиа: внешние расширения человека. М.: Кучково поле, 2011. 464 с.

2. *Хабермас Ю.* Структурное преобразование публичной сферы. М.: Весь мир, 2016. 344 с.

3. Влияние социальных медиа на формирование и функционирование общественного мнения. [Электронный ресурс]. https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-sotsialnyh-media-na-formirovanie-i-funktsionirovanie-obschestvennogo-mneniya/viewer (дата обращения 15.06.25).

4. *Белл Д.* Грядущее постиндустриальное общество: Опыт социального прогнозирования. М.: Academia, 1999. 956 с.

5. *Кастельс М.* Информационная эпоха: экономика, общество и культура. М.: ГУ ВШЭ, 2000. 608 с.

6. Значение социальных медиа в условиях развития информационного общества. [Электронный ресурс]. https://cyberleninka.ru/article/n/znachenie-sotsialnyh-media-v-usloviyah-razvitiya-informatsionnogo-obschestva/viewer (дата обращения 15.06.25).

7. Парайзер И. За стеной фильтров: Что интернет скрывает от вас? М.: Альпина Паблишер, 2012. 304 с.

8. «Пузырь фильтров» как один из главных недостатков поисковых систем. [Электронный ресурс]. https://cyberleninka.ru/article/n/puzyr-filtrov-kak-odin-iz-glavnyh-nedostatkov-poiskovyh-sistem/viewer (дата обращения 15.06.25).

9. Интернет-мем в системе социальной мифологии цифровой эпохи. [Электронный ресурс]. https://cyberleninka.ru/article/n/internet-mem-v-sisteme-sotsialnoy-mifologii-tsifrovoy-epohi/viewer (дата обращения 15.06.25).

10. Роль социальных сетей в организации «Арабской весны». [Электронный ресурс]. https://cyberleninka.ru/article/n/rol-sotsialnyh-setey-v-organizatsii-arabskoy-vesny/viewer (дата обращения 15.06.25).

11. Прогнозирование развития феномена культуры отмены в современном обществе. [Электронный ресурс]. https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-razvitiya-fenomena-kultury-otmeny-v-sovremennom-obschestve/viewer (дата обращения 15.06.25).

THE ROLE OF SOCIAL MEDIA IN SHAPING THE COLLECTIVE CONSCIOUSNESS OF YOUTH

Danilova M.G., Ryabova M.A., Chelnokova A.D.
Supervisor: Sidorov L.G., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences
(Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solovyov, Rybinsk)

Abstract. Social media has become a key tool for shaping the collective consciousness of young people, transforming their values, identity, and ways of interacting. The report analyzes the mechanisms of this influence, from algorithmic "filter bubbles" to meme culture, as well as the dual role of social networks as platforms for protest and manipulation, using the examples of the "Arab Spring" and "cancellation culture." Special attention is paid to the need to develop media literacy for a critical understanding of digital reality.

УДК 316.444

СОЦИАЛЬНАЯ МОБИЛЬНОСТЬ МОЛОДЕЖИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ РЫНКА ТРУДА: ВОЗМОЖНОСТИ И БАРЬЕРЫ

Зайнутдинова Э.И.
Научный руководитель: Рахматуллина А.М., ассистент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье анализируется социальная мобильность молодежи в условиях трансформирующегося рынка труда, характеризующегося цифровизацией, автоматизацией и растущей потребностью в новых компетенциях. Исследуются возможности и барьеры, влияющие на вертикальную и горизонтальную мобильность молодых людей, включая доступ к образованию, социальные связи, региональные различия и факторы дискриминации. На основе анализа данных эмпирических исследований, рассматриваются стратегии повышения социальной мобильности молодежи и преодоления существующих неравенств.

Социальная мобильность, определяемая как перемещение индивидов или групп в социальной иерархии, является важным показателем социальной справедливости и равенства возможностей в обществе. Это является сложным процессом из-за множества «остановок» индивидов. Иначе говоря, перемещение индивида из одной социальной группы в другую происходит не стремительно, а с некоторой задержкой. В современном индустриальном и постиндустриальном обществе рынок труда играет ключевую роль в определении перспектив социальной мобильности молодежи. Изменения в структуре рынка труда, вызванные технологическим прогрессом, глобализацией и демографическими сдвигами, оказывают существенное влияние на возможности и барьеры, с которыми сталкиваются молодежь при построении своей карьеры и достижении более высокого социального статуса.

Целью данной статьи является анализ факторов, влияющих на социальную мобильность молодежи в условиях изменяющегося рынка труда, и выявление основных возможностей и барьеров, которые определяют их карьерные траектории.

В социологии существуют различные подходы к изучению социальной мобильности, включая структурный функционализм, теорию конфликта и теорию рационального выбора. Структурный функционализм подчеркивает роль социальных институтов, таких как образование и рынок труда, в обеспечении социальной мобильности. Теория конфликта акцентирует внимание на неравенстве доступа к ресурсам и возможностям, обусловленном

социальным классом, расой, гендером и другими факторами, то есть конкуренции между группами внутри общества за ограниченные ресурсы. Теория рационального выбора предполагает, что индивиды принимают решения о своей карьере на основе рационального анализа затрат и выгод, стремясь максимизировать свой социальный статус [1].

В рамках данной статьи мы будем использовать интегративный подход, учитывающий, как структурные, так и индивидуальные факторы, влияющие на социальную мобильность молодежи.

В статье используются результаты эмпирических исследований, проведенных как в России, так и за рубежом. Анализируются статистические данные, результаты социологических опросов, интервью с молодыми людьми и экспертами в области рынка труда и образования. Особое внимание уделяется исследованиям, посвященным влиянию цифровизации и автоматизации на занятость и навыки молодежи.

Возможности социальной мобильности молодежи в условиях изменяющегося рынка труда:

1. Доступ к качественному образованию [2].

Образование является одним из важнейших факторов, определяющих карьерные перспективы молодежи. В условиях постиндустриального общества возрастает роль высшего образования и непрерывного обучения на протяжении всей жизни. Молодые люди, имеющие доступ к качественному образованию, обладают лучшими возможностями для получения высокооплачиваемой и престижной работы.

2. Развитие новых компетенций [2].

Изменяющийся рынок труда требует от молодежи обладания широким спектром компетенций, включая навыки работы с цифровыми технологиями, критическое мышление, креативность, коммуникативные навыки и умение решать сложные проблемы. Молодые люди, активно развивающие эти компетенции, имеют больше шансов найти работу в перспективных отраслях экономики.

3. Социальные сети и нетворкинг [2].

Социальные связи играют важную роль в карьерном развитии молодежи. Молодые люди, имеющие широкий круг контактов и активно использующие социальные сети для поиска работы, обмена информацией, участия в профессиональных сообществах и установления связей с потенциальными работодателями, имеют больше возможностей для продвижения по карьерной лестнице. Активное использование Skillsnet (российская социальная сеть деловых контактов, созданная государством для помощи россиянам в установлении и расширении деловых контактов, партнёрств и трудоустройства), профессиональных групп в мессенджерах и социальных сетях (Telegram, ВКонтакте), участие в отраслевых мероприятиях и конференциях позволяет молодым специалистам быть в курсе последних тенденций, расширять профессиональный кругозор и получать ценные рекомендации от опытных коллег. Более того, онлайн-платформы предоставляют возможность демонстрировать свои навыки и достижения, создавая привлекательный профессиональный имидж и привлекая внимание рекрутеров.

4. Предпринимательство и самозанятость [2].

В условиях нестабильности на рынке труда все больше молодых людей выбирают путь предпринимательства и самозанятости. Развитие малого и среднего бизнеса предоставляет молодежи возможность создавать собственные рабочие места и реализовывать свои идеи. Это позволяет им быть более гибкими и независимыми в своей карьере, а цифровые технологии и онлайн-платформы значительно упрощают процесс запуска и ведения бизнеса [2].

Барьеры социальной мобильности молодежи в условиях изменяющегося рынка труда:

1. Неравенство доступа к образованию.

Социально-экономическое неравенство в обществе приводит к неравному доступу к качественному образованию. Молодые люди из малообеспеченных семей часто не имеют возможности получить высшее образование или пройти курсы повышения квалификации, что ограничивает их карьерные перспективы. В международных исследованиях найдена связь

социально-экономического положения семей с качеством и уровнем полученного образования. По данным международных сравнительных исследований, Россия относится к странам, в которых влияние их социально экономического положения на достижения учащихся выражено слабо.

2. Региональные различия.

Возможности для карьерного роста сильно различаются в зависимости от региона проживания. В крупных городах и индустриальных центрах молодежь имеет больше шансов найти высокооплачиваемую работу, чем в малых городах и сельской местности. Это обусловлено концентрацией крупных компаний, развитой инфраструктурой и большим выбором образовательных учреждений в крупных городах. В малых городах и сельской местности, как правило, преобладает аграрный сектор и сфера услуг, что ограничивает спектр предлагаемых вакансий и уровень заработной платы.

3. Дискриминация на рынке труда.

Молодые люди часто сталкиваются с дискриминацией на рынке труда по возрасту, полу, расе, этнической принадлежности и другим признакам. Дискриминация ограничивает возможности для трудоустройства и карьерного продвижения. Виды дискриминации разнообразны, но основными из них являются дискриминация при приеме на работу, в карьерном росте, в заработной плате, в выборе профессий (связана с деление профессий на «подходящие» или «неподходящие» для отдельных категорий населения») [3].

4. Несоответствие навыков требованиям рынка труда.

Многие молодые люди, получившие образование, не обладают навыками, востребованными на рынке труда. Это приводит к безработице или занятости на низкооплачиваемых и неквалифицированных работах. Работодатели все чаще жалуются на недостаток у выпускников так называемых «мягких навыков» (soft skills) - коммуникабельности, умения работать в команде, критического мышления и лидерских качеств, которые становятся все более важными в современном мире.

5. Цифровой разрыв.

Неравномерный доступ к цифровым технологиям и недостаточные навыки работы с ними создают «цифровой разрыв» между молодыми людьми из разных социальных групп. Молодые люди, не имеющие доступа к интернету и современным устройствам, оказываются в невыгодном положении на рынке труда. Важно также учитывать, что цифровой разрыв не ограничивается только доступом к технологиям, но и включает в себя навыки критического мышления и информационной безопасности, необходимые для безопасного и эффективного использования интернета.

Стратегии повышения социальной мобильности молодежи:

1. Совершенствование системы образования.

Необходимо обеспечить равный доступ к качественному образованию для всех молодых людей, независимо от их социально-экономического положения и места проживания. Важно развивать систему профессионального образования, ориентированную на потребности рынка труда [4]. Это включает в себя модернизацию учебных программ, повышение квалификации преподавателей, внедрение современных образовательных технологий и укрепление материально-технической базы учебных заведений. Также нужно расширять практику дуального обучения, сочетающего теоретическое обучение в образовательном учреждении с практической работой на предприятии, что позволяет студентам получать востребованные на рынке труда навыки и компетенции.

2. Поддержка развития новых компетенций.

Необходимо создавать условия для развития цифровых, когнитивных и социально-эмоциональных навыков у молодежи. Важно внедрять инновационные методы обучения и предоставлять возможности для непрерывного обучения на протяжении всей жизни. Нужно поддерживать проекты, направленные на развитие критического мышления, креативности, коммуникации и сотрудничества, которые являются ключевыми для успешной адаптации к быстро меняющимся условиям современного мира.

3. Содействие развитию молодежного предпринимательства.

Необходимо поддерживать молодежные стартапы, предоставлять льготные кредиты и консультации для начинающих предпринимателей. Важно создавать благоприятную бизнес-среду для развития малого и среднего бизнеса. Это один из альтернативных способов создания новых рабочих мест, сокращения безработицы среди молодежи.

4.Борьба с дискриминацией на рынке труда.

Необходимо разработать и реализовать программы, направленные на борьбу с дискриминацией по возрасту, полу, расе и другим признакам. Органы исполнительной власти должны повышать грамотность населения в данной сфере, а также проводит информационные кампании по борьбе с дискриминацией, которые помогут осведомить работодателей о проблемах дискриминации и стимулировать их к созданию инклюзивной рабочей среды.

5. Развитие цифровой инфраструктуры.

Необходимо обеспечить доступ к интернету и современным устройствам для всех молодых людей, особенно в отдаленных и сельских районах. Важно разрабатывать программы обучения цифровым навыкам для молодежи, не имеющей доступа к образованию в этой сфере. Программы обучения цифровым навыкам должны быть адаптированы к потребностям различных групп молодежи и включать в себя обучение основам работы с компьютером, интернетом, социальными сетями, а также навыкам программирования, веб-дизайна и другим востребованным профессиям.

6. Программы наставничества и карьерного консультирования.

Предоставление молодым людям возможности получать советы и поддержку от опытных профессионалов может значительно повысить их уверенность в себе и помочь им строить и корректировать их карьерные траектории в соответствии с личными интересами и потребностями организации.

Социальная мобильность молодежи является важным фактором устойчивого развития общества. В условиях изменяющегося рынка труда необходимо создавать условия для равных возможностей и поддерживать молодежь в развитии новых компетенций. Государство, бизнес и гражданское общество должны объединить свои усилия для решения этой задачи. Успешная реализация предложенных стратегий позволит повысить социальную мобильность молодежи, снизить социальное неравенство и обеспечить устойчивый экономический рост.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Павлова А.И. Основные направления изучения социальной мобильности // Символ науки. 2016. №12-3. С. 246-248

2. Гимпельсон В.Е., Монусова Г.А. Восприятие неравенства и социальная мобильность // Экономический журнал ВШЭ. 2014. №2. С. 216-246

3. Хандкаров Ю.С. Запрещение дискриминации в сфере труда: современное российское регулирование и перспективы его развития // Вопросы российской юстиции. 2020. №7. С. 390-401

4. Пинская М.А., Косарецкий С.Г., Ястребов Г.А., Груничева И.Г. Доступ к образованию: оценка ситуации в России // Народное образование. 2013. №7. С. 11-17

SOCIAL MOBILITY OF YOUTH IN THE CONTEXT OF A CHANGING LABOR MARKET: OPPORTUNITIES AND BARRIERS

Zainutdinova E.I.

Supervisor: Rakhmatullina A.M., Assistant

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Abstract. The article analyzes the social mobility of young people in the context of a transforming labor market characterized by digitalization, automation, and a growing need for new competencies. It examines the opportunities and obstacles that affect the vertical and horizontal mobility of young people, including access to education, social connections, differences between

countries and factions. Based on the analysis of empirical research data, strategies are developed to increase the social mobility of countries and the transition to traditional technologies.

УДК 304.2

ПРОБЛЕМА СОХРАНЕНИЯ ИСТОРИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ О ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЕ СРЕДИ МОЛОДЕЖИ

Зиятдинов Б.И.
Научный руководитель: Галимуллина Н.М., доцент, к. и. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье раскрывается проблема сохранения исторической памяти среди студенческой молодежи Республики Татарстан. Автор на основе вторичных данных и результатов собственного социологического опроса рассматривает уровень знаний о событиях Великой Отечественной войны у молодого поколения. В качестве решения проблемы предлагается проведение интеллектуальной исторической игры по истории Великой Отечественной войны советского народа 1941-1945 годов.

Проблема сохранения исторической памяти, в частности, о событиях Великой Отечественной войны советского народа 1941-1945 годов среди молодёжи является актуальной проблемой современности, которую необходимо решать, как государству, так и обществу.

Концепт исторической памяти был затронут в исследованиях Ассмана Я., Лотмана Ю.М., Нора П., Репиной Л.П., Рикёра П., Тощенко Ж.Т., Хальбвакса М. и др. Согласимся, что историческую память можно расценивать как основу или ментальное ядро общественного сознания, которое способно обеспечивать возможность самоидентификации личности как части общества и идентификации отдельного человека как части определенного социума [1]. Осознанное восприятие и сохранение адекватного образа прошлого сопряжено с решением целого ряда мировоззренческих задач, которые способны повлиять на обеспечение стабильности общества и связаны с его устойчивостью к негативным внешним воздействиям [2].

Проблема сохранения исторической памяти, к великому сожалению, является довольно широко распространённой среди молодёжи в Республике Татарстан. Пример из личного опыта: люди не могут дать описание в нескольких словах о личности и роли маршала Победы Георгия Константиновича Жукова. Если обращаться к более объективным источникам, то, по данным «Фонда общественного мнения», среди молодёжи (до 30 лет) отмечается наибольший уровень незнания истории Великой Отечественной войны [3]. Остальные возрастные группы имеют более высокий уровень знаний по данной теме.

Согласно исследованию Стегния В.Н., существуют значительные группы молодёжи, которые знают историю войны, но путают и перемешивают её с иными событиями начала XX века [4]. Тогда, в 2015 г. даже дату Великой Отечественной войны смогли точно указать 88 % опрошенных, хотя и указывали, что для получения информации о тех трагических и героических событиях используется целый ряд источников, таких как школьный курс истории (90,3 %), художественные фильмы (74,3 %), члены семьи (62,6 %), СМИ (58,3 %), Интернет (53,4 %).

По данным опроса 120 студентов, проведенного в январе-феврале 2020 г. с целью изучения отношения молодежи к событиям войны, было выявлено, что у 32% молодых респондентов нет интереса к событиям войны, остальных в той или иной степени интересуют отдельные сражения исследуемого периода: Сталинградская битва (24%), Блокада Ленинграда (23%), Битва на Курской дуге (13%) и ряд других событий. 36% опрошенных не читали книг по этой тематике, а те, кто упомянул, что знаком с литературными произведениями,

освещающими историю 1941-1945 гг., в основном называл произведения из школьной программы по литературе («Судьба человека» (М. Шолохов), «А зори здесь тихие» (Б. Васильев), «Василий Теркин» (А. Твардовский) [5].

В другом исследовании 2020 г., охватившем 2500 студентов, на вопрос «Считаете ли Вы, что у Вас достаточно знаний о Великой Отечественной войне?» утвердительно ответили 22,4%. В этом опросе так же был сделан акцент на основные источники информации как основу исторической памяти: ими выступили учителя (76,5%), школьные учебники (74,2%), истории родных (65,8%), советский кинематограф (64,6%), произведения художественной литературы (42,8%). 43,4% упомянули встречи с ветеранами [6].

Для получения объективной информации по нашей проблеме в марте 2025 г. автором статьи был проведен опрос в формате анкетирования среди молодёжи до 30 лет.

Студентам был предложен вопрос, который помог нам определить, что чувствуют респонденты, когда вспоминают про Великую Отечественную войну. Тема войны небезразлична для молодёжи. Стоит отметить, что гордость за страну (66,7%) и чувство патриотизма (75%) преобладают над остальными вариантами ответа.

На вопрос, необходимо ли проводить дополнительные мероприятия для популяризации истории среди молодёжи, половина ответила, что необходимо, треть затруднилась дать ответ, шестая часть заявила, что не надо. В целом можно сказать, что молодёжь считает, что всё же следует проводить дополнительные мероприятия по популяризации истории.

Следующий вопрос касался того, придут ли опрашиваемые на мероприятия, посвящённое теме Великой Отечественной войны. Видна тенденция того, что представители молодёжи (41,7%) не желают приходить на такие мероприятия. Половина респондентов затруднилась с выбором ответа, можно предположить, что они постеснялись ответить отрицательно или что они могут посетить подобного рода мероприятия, если оно их заинтересует – а значит, необходимо искать новые, интересные, вовлекающие интерактивные формы подобных событий.

Проверка результатов по вопросу знаний о Великой Отечественной войну показала, что более половины опрашиваемых считают, что они знают эту темы достаточно, шестая часть оценивает свои знания более глубокими, ещё шестая часть считает, что знает недостаточно.

Подводя общий итог по опросу, можно констатировать факт, что в Республике Татарстан знания по истории Великой Отечественной войны находятся на довольно высоком уровне, но не на достаточном, как мы и предполагали. Необходимо продолжать работу среди молодёжи по данной тематике.

Для решения проблемы обществу и государству в кооперации необходимо расширять перечень и охват мероприятий, экспериментировать с форматами для популяризации истории и сохранении исторической памяти.

В Республике Татарстан проводится активная и целенаправленная политика по популяризации истории, гражданскому и военно-патриотическому воспитанию молодёжи, о чём свидетельствует принятие Закона Республики Татарстан от 09.12.2023 № 123-ЗРТ «О патриотическом воспитании граждан в Республике Татарстан» и всесторонняя поддержка общественных движений и организаций, например, «Волонтёры Победы», «Юнармия», «Российское военно-историческое общество» и иных.

Наше предложение: создание и проведение интеллектуальной исторической игры по истории Великой Отечественной войны советского народа 1941 – 1945 годов для не менее 100 человек молодёжи в Республике Татарстан до 31 декабря 2025 года.

Данный проект позволит сохранить историческую память и популяризировать историю Великой Отечественной войны среди молодёжи через проведение соревновательной игры между командами школьников, студентов или представителей общественных движений по знанию истории данного периода.

Продукт проекта: интеллектуальная историческая игра по истории Великой Отечественной войны советского народа 1941 – 1945 годов, состоящая из презентации,

сценария, списка вопросов, критериев оценивания ответов участвующих, инструкция по решению спорных ситуаций.

Проанализируем перспективы реализации проекта по сохранению исторической памяти с помощью проведения игры в формате SWOT-анализа (таблица 1).

Таблица 1.

SWOT-анализ проекта

Strengths	Weaknesses
- Тема является общественно одобряемой - Взаимодействие с общественными организациями - Заинтересованность со стороны государства	- Сложность оценки эффективности выполнения поставленных задач и целей - Высокая конкуренция с иными историческими и патриотическими проектами
Opportunities	Threats
- Использование местного добровольческого актива - Возможность активной государственной поддержки - Возможность получения грантовой поддержки для расширения проекта	- Возможная апатия молодёжи - Недостаточная квалификация персонала/волонтёров - Смена приоритетов государства - Негативное освещение в некоторых СМИ

Исходя из вышесказанного, мы считаем, что наше предложение, наш проект, является жизнеспособным, актуальным, способным решить проблему пусть и не полностью, но хотя бы частично, что уже будет отличным результатом в правом деле сохранения нашей богатой тысячелетней истории.

Рассматриваемая нами проблема требует решения, ведь, как говорил великий русский учёный и литературный деятель Михаил Васильевич Ломоносов: «Народ, не знающий своего прошлого, не имеет будущего». Проблема создаёт угрозу потери знания об истории семьи, о Великой Победе и истории Отечества в целом новым поколением и будущими поколениями, что недопустимо. Сохранение собственной истории является важнейшей целью любого народа для сохранения своей самобытности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Мазур Л.Н.* Образ прошлого: формирование исторической памяти // Известия Уральского федерального университета. Сер. 2, Гуманитарные науки. 2013. № 3 (117). С. 243–256.

2. *Егоров А.М, Егоров И.А.* Проблема сохранения исторической памяти в контексте современности // Метаморфозы истории. 2022. №25. – Текст: электронный. – 2022. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/problema-sohraneniya-istoricheskoy-pamyati-v-kontekste-sovremennosti (дата обращения: 29.05.2025).

3. Опрос «Фонда общественного мнения». Вопрос: «Как вы считаете, вы знаете историю Великой Отечественной войны скорее хорошо или скорее плохо?». – Текст: электронный– 2022. – URL: https://fom.ru/Proshloe/14721 (дата обращения: 29.05.2025).

4. *Стегний В.Н.* Знание школьной молодежью основных событий Великой Отечественной войны 1941-1945 годов - показатель исторического сознания (на примере учеников школ г. Лысьва Пермского края) // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. 2015. №1. С.6-13.

5. *Крупа Т.А.* Великая Отечественная война в исторической памяти молодежи // Контентус. 2020. №5. С. 9-19.

6. *Дулина Н.В*., *Ануфриева Е.В.* Социальные институты, формирующие культурную память современной российской молодежи (по итогам прикладного социологического исследования) // Гуманитарно-педагогические исследования. 2020. №4. С.34-43.

THE PROBLEM OF PRESERVING HISTORICAL MEMORY ABOUT THE GREAT PATRIOTIC WAR AMONG YOUNG PEOPLE

Ziyatdinov B.I.
Supervisor: Galimullina N.M., Associate Professor, Candidate of Historical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article reveals the problem of preserving historical memory among the students of the Republic of Tatarstan. Based on secondary data and the results of his own sociological survey, the author examines the level of knowledge about the events of the Great Patriotic War among the younger generation. As a solution to the problem, it is proposed to conduct an intellectual historical game on the history of the Great Patriotic War of the Soviet people of 1941-1945.

УДК 304.3

ПОТРЕБЛЕНИЕ МИКРОЗЕЛЕНИ В КОНТЕКСТЕ КУЛЬТУРЫ ПИЩЕВОГО ПОВЕДЕНИЯ МОЛОДЕЖИ

Ильина Я.И.
Научный руководитель: Галимуллина Н.М., доцент, к. и. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе раскрывается место потребления микрозелени в системе правильного питания современной российской молодежи. Автор приводит данные социологического опроса по означенной проблеме. Исследование выявляет востребованность данного продукта, что подтверждает гипотезу о популяризации культуры пищевого поведения среди молодых россиян.

Сегодня в России существует проблема правильного питания и пищевого поведения молодежи, проявляющаяся в высоком уровне потребления несбалансированных продуктов, недостатке питательных веществ, избыточном потреблении высококалорийной и обработанной пищи, что связано с недостатком информации о питательных ценностях и недостаток пищевой грамотности среди молодежи [1]. Например, 23,5 % респондентов мужчин называют продуктами «здорового питания» свежие продукты, а 23,1 % респондентов женского пола –низкокалорийные [2], что не соответствует действительности. По данным опроса студентов только 27 % респондентов отметили, что они придерживаются здорового рациона и режима питания, 50 % ответили, что режим питания соблюдается ими иногда, 27 % ответили «нет» [3].

В то же время статистика подтверждает, что до 80 % заболеваний связаны с питанием, а 41 % заболеваний обусловлены этим аспектом [4].

Одним из направлений решения данной проблемы является введение в рацион большего количества овощей и зелени, в частности, микрозелени, представляющей собой молодые нежные проростки растений различных видов овощных, пряно-ароматических, злаковых, бобовых культур, а также дикорастущих трав [5]. Данная агрокультура помогает так же увеличению посевных площадей без сокращения естественных территорий, например, за счет выращивания зеленных культур в условиях города.

Рассмотрим основные тенденции развития рынка микрозелени в РФ:

1. Рост спроса на здоровые продукты питания касается и микрозелени, т.к. потребители осознают ее полезные свойства и экологическую безопасность.

2. Развитие культуры потребления микрозелени за счет политики ресторанов и других организаций общественного питания, которые включают микрозелень в свои меню, а также действий магазинов и супермаркетов, предлагающих этот продукт.

3. Расширение и разнообразие ассортимента: микрозелени на рынке страны, направленное на удовлетворение потребностей самых требовательных покупателей.

4. Производство микрозелени в формате собственных сити - ферм как бизнес, ориентированный на поставки в магазины, фермерские лавки.

5. Акцент на использование микрозелени в кулинарии (приготовление салатов, коктейлей, смузи) [6].

В рамках создания проекта было проведено исследование, целью которого было выявить предпочтения потребителей в отношении микрозелени, автором работы был проведен анкетный опрос, в котором приняло участие 25 респондентов. В опросе приняло участие 72% женщин и 28% мужчин. Возраст большинства опрошенных сотрудников составил от 18 до 24 лет (8 человек, 32%). Вторая по численности возрастная группа респондентов включала 6 человека (24%), чей возраст находился в диапазоне от 35 до 44 лет и от 45 до 54 лет. Три оставшиеся возрастные группы, принимавшие участие в опросе, формируют собой группы сотрудников 55-64 лет (3 человек, 12%), 25-34 лет (2 человека, 8%) и 65 лет и старше (0 человек) (рис. 1).

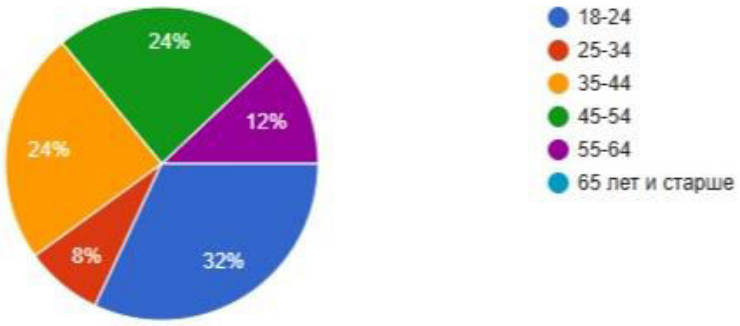


Рисунок 1. Возраст респондентов, в % к числу опрошенных

Ввиду того, что исследование было направлено на определение потребностей в области микрозелени, было важно выявить, сколько респондентов потребляют данный продукт. Из представленных результатов можно сделать вывод о том, что большинство опрошенных употребляют микрозелень (72%). Однако 28% респондентов не употребляют, что может быть связано с различными причинами, такими как недостаток информации о ее пользе, отсутствие привычки к употреблению, предпочтение другим источникам витаминов, а также незнание способов её приготовления. Кроме того, возможно некоторые респонденты сталкиваются с проблемами доступности продукта в местных магазинах или воспринимают его как излишне дорогой по сравнению с традиционными овощами. (рис. 2).

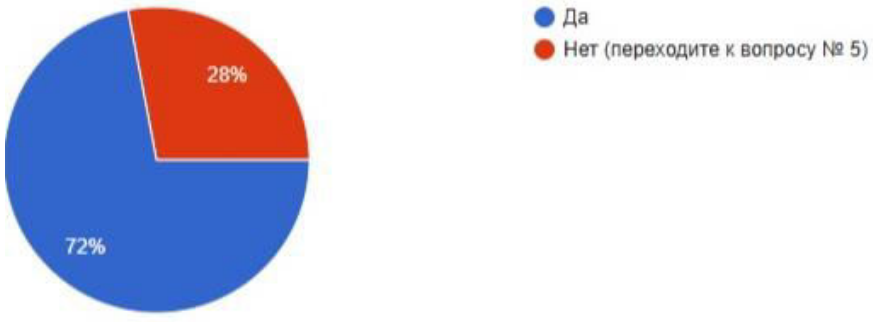


Рисунок 2. Употребляют ли опрошенный микрозелень, в % к числу опрошенных

Одним из ключевых вопросов исследования являлся вопрос относительно частоты употребления микрозелени респондентами. Одинаковое количество ответов (33,3%) в

исследовании набрали ответы: несколько раз в неделю и пару раз в месяц (см. рис.3). Опрошенных, которые употребляют микрозелень раз в неделю больше (22,2%), чем опрошенных, которые кушают каждый день (11,1%). Исходя из результатов проведенного исследования, можно заключить, что большинство респондентов употребляют микрозелень либо несколько раз в неделю, либо пару раз в месяц, что является довольно высоким показателем и свидетельствует о популярности данного продукта среди жителей.

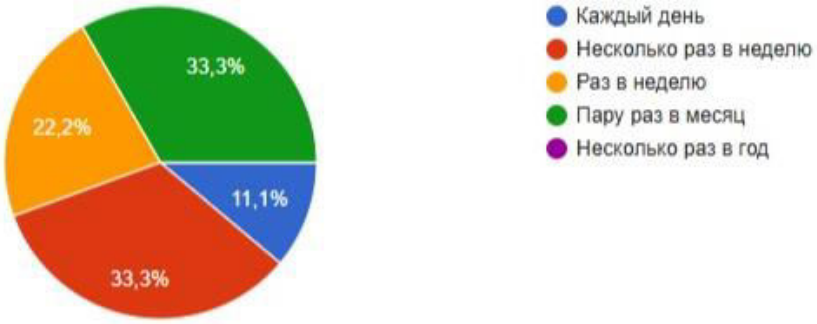


Рисунок 3. Распределение ответов на вопрос: «Как часто Вы употребляете микрозелень?», в % к числу опрошенных

В ходе проведения исследования также было важно выявить, какой вид микрозелени предпочитают респонденты. Результаты исследования указывают на то, что самым популярным сортом микрозелени (72,2%) является руккола. Чуть меньшее количество респондентов предпочитают салат и кинзу (55.6%). Доля респондентов, предпочитающих редис, брокколи, горох и кресс-салат, больше (38,9%), чем доля респондентов, которым нравится базилик (33,3%). Кроме того, небольшое количество опрошенных (11,1%) указали, что им нравится горчица. (рис. 4). Полученные результаты являются важными для определения рынка микрозелени и могут помочь производителям и продавцам лучше адаптировать свои предложения к вкусам потребителей.

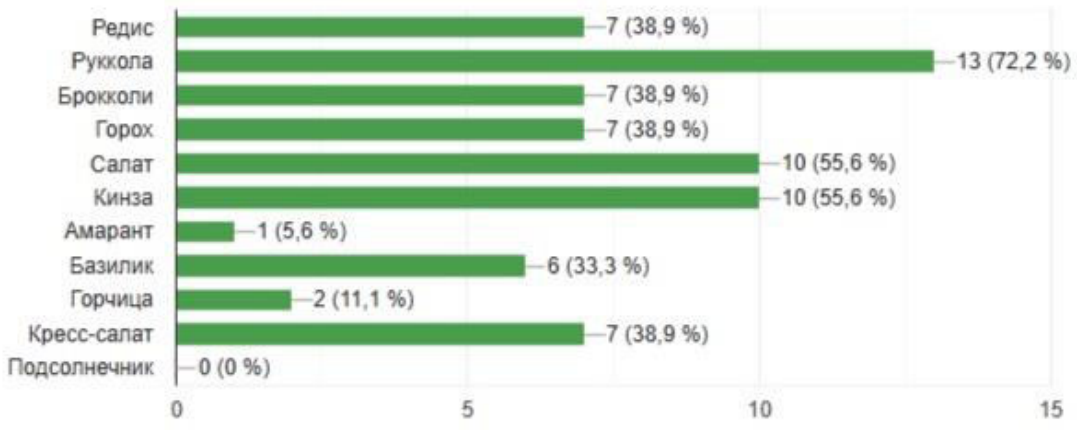


Рисунок 4. Распределение ответов на вопрос: «Какие сорта микрозелени Вам нравятся больше всего?», в % к числу опрошенных

Как показывают исследования и практика, люди приобретают определённый товар по ряду конкретных причин. Для продавцов важно понимать эти причины, чтобы разработать эффективную маркетинговую стратегию. Поэтому респондентам был задан вопрос относительно их причин покупки микрозелени. Проанализировав результаты опроса, можно сделать вывод, что большинство респондентов (76,5%) покупают из-за пользы для здоровья.

Вторым по популярности ответом является вкус и аромат (70,6%). При этом четверть опрошенных (29,4%) ответила для кулинарных экспериментов (рис. 5).

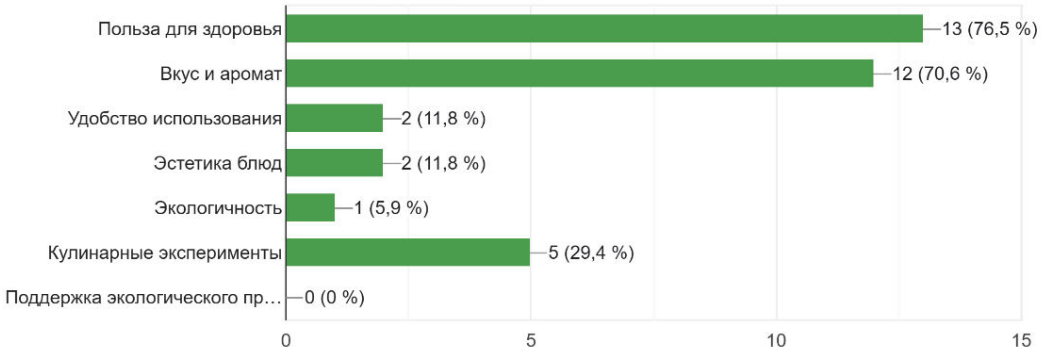


Рисунок 5. Распределение ответов на вопрос: «Какова Ваша основная причина покупки микрозелени?», в % к числу опрошенных

Таким образом, была выяснено отношение молодежи к потреблению микрозелени как части культуры пищевого поведения и слагаемому правильного питания. От здоровья людей зависит качество жизни каждого, производительность труда, а значит, благополучие страны – необходимо расширить производство микрозелени и популяризовать ее потребление.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Закиева А.И., Галимуллина Н.М.* Проектный подход в решении проблемы пищевой грамотности среди молодежи // Экономика и менеджмент: новые вызовы и возможности. Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону, 2024. С. 232-237.

2. *Ермош Л.Г.* Здоровое питание глазами молодежи // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: Матер. Междунар. науч.-прак. конф., (Красноярск, 21–23 апреля 2020 г.). Т. Ч. 2. Красноярск: Красноярский ГАУ, 2020. С. 161–171.

3. *Вагаева О.А., Макарова Т.С.* Здоровый образ жизни, как условие успеха личности // Глобальные вызовы современности и духовный выбор человека. Материалы Десятых региональных Рождественских образовательных чтений. Пенза, 2023. С. 14-18.

4. *Корденко А.Н., Ковылова В.И., Попов В.И., Тарасенко П.А.* Критические факторы качества жизни подростков // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 9. С. 20–21.

5. *Шаклеина М.Н., Алалыкин А.А., Соловьева М.С.* Оценка содержания витаминов в микрозелени нескольких видов культурных растений // Химия растительного сырья. 2022. №2. С. 165-172.

6. *Жильцова М.С., Кузнецова О.А., Кудинов Б.Б., Мельников А.Р.* Сити-фермы как перспективное направление развития «городского» бизнеса // ЕГИ. 2024. №2 (52). С. 113-119.

CONSUMPTION OF MICROGREENS IN THE CONTEXT OF YOUTH EATING CULTURE

Ilina Y.I.

Supervisor: Galimullina N.M., Associate Professor, Candidate of Historical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper reveals the place of consumption of microgreens in the system of proper nutrition of modern Russian youth. The author provides data from a sociological survey on this issue. The study reveals the relevance of this product, which confirms the hypothesis about the popularization of the culture of eating behavior among young Russians.

УДК 374.32

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ В СФЕРЕ МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ (НА МАТЕРИАЛАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН)

Киселева К.М.
Научный руководитель: Ларионова И.В., доцент, к. соц. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье рассматривается ряд вопросов концептуализации проектов и специфика осуществления молодежной политики посредством проектного подхода. Изучается специфика использования подходов и инструментов проектного менеджмента в сфере молодежной политики. Проводится анализ удачных примеров и формулируются рекомендации по оптимизации процессов реализации молодежных проектов.

Проектная работа отличается новизной и креативностью, так как предполагает преобразование окружающей среды и опирается на технологию, которую можно систематизировать, освоить и развивать. Она находит применение в различных областях и на всех уровнях общественной организации. Грамотное использование технологий проектной деятельности имеет решающее значение для реализации молодежной политики, нацеленной на создание благоприятных условий для развития молодого поколения в интересах общества. Это также важный фактор формирования и поддержания социальной активности молодежи, которая составляет значительную часть трудоспособного населения.

В современных условиях молодежная политика выступает важным инструментом для воспитания активного, ответственного и конкурентоспособного поколения, способного эффективно справляться с актуальными социально-экономическими проблемами. Управление проектами в этой сфере становится особенно актуальным, поскольку позволяет упорядочить процессы планирования, реализации и оценки молодежных программ, гарантируя их результативность и соответствие целям общества.

Молодое поколение является ключевым ресурсом для развития страны, и его вовлечение в социально значимую деятельность требует профессионального управления. Проектные подходы позволяют не только привлекать молодежь к участию в общественных инициативах, но и стимулировать их лидерские качества, творческое мышление и профессиональные навыки. В эпоху цифровой трансформации и глобализации традиционные методы работы с молодежью уступают место инновационным проектам.

В настоящее время проектное управление в сфере молодежной политики становится передовым направлением в управленческой практике, играющим все более важную роль в решении вопросов, касающихся молодежи. Активное внедрение разнообразных массовых, культурных и политических инициатив в молодежной среде привело к заметному повышению эффективности многих направлений работы с молодежью.

Проектная деятельность в молодежной политике ежегодно расширяет спектр охватываемых направлений, включая научные исследования, искусство и культуру, образовательные и государственные процессы, передовые информационные технологии, а также различные социально-политические и экономические сферы, ориентированные на молодежь. Многие организации, работающие в сфере молодежной политики, добились значительных успехов в развитии проектов, главным образом благодаря использованию инновационных подходов, обеспечивающих быстрые и качественные изменения, а также внедрению современных технологий [1].

В российской практике сформирован широкий набор методик и ресурсов для взаимодействия с молодежью. Ранее многие из них успешно решали узкоспециализированные задачи, охватывая конкретные молодежные группы. Однако, зачастую, их применение сводилось к отдельным мероприятиям, проводимым различными организациями, что не приводило к желаемому комплексному результату.

Стратегия государственной молодежной политики в Российской Федерации, утвержденная распоряжением Правительства РФ 29 ноября 2014 года и действующая до 2025 года, применяет проектный подход к этой области и, в соответствии с приоритетами молодежной политики, устанавливает систему общефедеральных проектов. Общефедеральный проект – это метод и инструмент непосредственного вовлечения молодежи в решение как личных, так и общенациональных задач.

Для реализации ключевой цели – активного привлечения молодых людей к социальной деятельности и расширения их знаний о возможностях самореализации на территории РФ – разработаны и внедряются такие инициативы, как «Российская молодежная информационная сеть «Новый взгляд», платформа «Доброволец России», программа «Карьера» и проект «Молодая семья России».

Для эффективного достижения целей государственной молодежной политики необходимо внедрять механизмы прямого взаимодействия с молодым поколением. Это позволит оперативно и результативно управлять процессами и тенденциями, формирующимися в молодежной среде. Именно этому направлены проекты, разработанные для развития приоритетных направлений молодежной политики и предназначенные для реализации как на федеральном, так и на региональном уровнях [2].

Концепция развития молодежной политики в Республике Татарстан на период с 2016 по 2021 годы и с перспективой до 2030 года направлена на модернизацию региональных подходов к работе с молодежью. Ключевая задача – формирование, расширение и сохранение кадрового резерва из числа молодого поколения, а также раскрытие их потенциала посредством создания современной и комфортной среды.

Приоритетным направлением является активное вовлечение молодежи в развитие региона и укрепление его конкурентоспособности. Основополагающие принципы молодежной политики заключаются в создании оптимальных условий для всесторонней реализации молодежного потенциала в различных областях: экономике, общественной деятельности, политике, культуре, искусстве, спорте, медиа и других сферах.

Данная стратегия предполагает активное использование инновационных образовательных технологий, мотивирующих молодежь к непрерывному обучению, самосовершенствованию и освоению альтернативных форм образования. Важным элементом является формирование системы ценностей, учитывающей многонациональный состав региона, развитие межкультурного диалога, создание условий для воспитания молодежи, осознающей свои права и обязанности, приверженной гуманистическим идеалам, обладающей крепкими моральными принципами, знанием и уважением к истории и культуре своей страны.

Кроме того, стратегия предусматривает продвижение здорового образа жизни, создание соответствующей инфраструктуры, поддержку молодых семей путем формирования благоприятных условий для повышения рождаемости, укрепления семейных ценностей и оказания всесторонней помощи. Также планируется создание эффективной системы информационного сопровождения молодежной политики, основанной на современных технологиях, для снижения воздействия негативной информации, укрепления взаимодействия между государственными структурами, общественными организациями, СМИ и молодежью, а также внедрение инструментов для дальнейшего совершенствования государственной молодежной политики, физической культуры и спорта.

Для успешной реализации молодежных инициатив в Татарстане были приняты организационные и финансовые меры. В частности, в бюджете республики предусмотрены средства на целевое финансирование молодежных программ, а также велась активная работа по обновлению нормативно-правовой базы. В сфере молодежной политики было принято три закона и более 350 подзаконных актов, направленных на их реализацию.

Появилось множество молодежных объединений, учитывающих интересы молодых людей. Многие из них на протяжении пятнадцати лет успешно сотрудничают с государством в рамках реализации молодежной политики. В настоящее время в регионе функционирует около сотни молодежных и детских организаций, объединяющих более 300 тысяч человек.

Среди ключевых организаций можно выделить Студенческую лигу Республики Татарстан, Молодежную палату при Государственном Совете Республики Татарстан, Республиканский совет детских организаций, движение одаренной молодежи «Созвездие-Йолдызлык», Совет молодежных объединений Республики Татарстан, Татарстанский республиканский молодежный фонд «Сэлэт», Движение молодых ученых и специалистов Республики Татарстан, Организацию «Союз молодежи предприятий и организаций Республики Татарстан», «Академию творческой молодежи Республики Татарстан», Организацию «Центр развития добровольчества Республики Татарстан».

Реализуемые проекты не только способствуют личностному росту молодых людей, но и создают основу для активного гражданского сообщества, формируя положительный имидж республики и обеспечивая развитие эффективной молодежной политики, способной адаптироваться к современным вызовам и воспитывать ответственных граждан [3].

В сфере государственной молодежной политики сформирован квалифицированный кадровый резерв, включающий руководителей и специалистов Министерства по делам молодежи и спорту Республики Татарстан, профильных подразделений в муниципалитетах, республиканских подведомственных организаций, подростковых клубов, молодежных и детских оздоровительных центров, а также социальных служб для молодежи. В настоящее время их число превышает 2,5 тысячи человек.

Молодежная политика в Республике Татарстан имеет свои сильные стороны и определенные вызовы. К преимуществам можно отнести поддержку молодого поколения, создание благоприятной среды для самореализации и развития инновационных идей, а также формирование активной гражданской позиции у молодежи. Программы, реализуемые в рамках молодежной политики РТ, направлены на раскрытие талантов, повышение профессиональных навыков и стимулирование творческого потенциала, что позволяет молодым людям найти свое призвание, воплотить задуманное и активно участвовать в жизни общества. Кроме того, молодежная политика в Татарстане способствует внедрению современных технологий и инновационных подходов в различные сферы, тем самым стимулируя прогресс страны. Значительное внимание уделяется патриотическому воспитанию, формированию гражданской ответственности и сплочению молодежи, созданию комфортной среды для адаптации к различным социальным условиям.

Вместе с тем, существуют и недостатки, такие как проявление формализма, недостаточная эффективность отдельных мероприятий, необходимость большей гибкости и учета индивидуальных потребностей молодежи. Не всегда проекты соответствуют специфическим условиям и запросам молодежи в различных районах республики. Бюрократические процедуры, связанные с получением финансирования и реализацией проектов, могут быть сложными и затяжными, что снижает интерес молодежи к участию. Для повышения результативности молодежной политики в РТ важно уделять больше внимания конкретным потребностям и интересам молодых людей, проявлять гибкость и адаптивность, а также упростить процесс финансирования и реализации проектов.

В молодежной политике Татарстана присутствуют определенные трудности. В частности, предлагаемые решения не всегда соответствуют актуальным запросам молодых людей, что снижает их вовлеченность в государственную молодежную политику. Кроме того, недостаток ресурсов, направленных на развитие творческих и предпринимательских способностей молодежи, сдерживает прогресс региона в инновационной сфере.

Преодолеть эти препятствия возможно путем налаживания более тесного диалога с молодежью, увеличения объема финансирования и поддержки молодежных проектов, создания новых площадок для самовыражения и развития способностей, а также улучшения взаимодействия между молодежью и органами власти [4].

Таким образом, государственная поддержка молодежных инициатив является ключевым фактором для активизации молодежи и ее участия в общественно-политической жизни страны. За последние два десятилетия были созданы структуры, обеспечивающие качество работы с молодежью как на центральном, так и на региональном уровнях.

Значительный вклад в развитие молодежных инициатив внесли федеральные и региональные нормативные акты.

Законодательная база, поддерживающая молодежную политику, играет ключевую роль в обеспечении эффективного управления молодежными программами, подчеркивая важность законодательно закрепленных принципов для устойчивого и комплексного развития молодежной инфраструктуры. Наблюдается тенденция к установлению партнерских отношений между региональными властями и молодежными организациями. Развитие и расширение имеющегося опыта поддержки молодежных инициатив является важной задачей для всех уровней власти [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Балашов А.И., Рогова Е.М., Тихонова М.В., Ткаченко Е.А*. Управление проектами: учебник и практикум для вузов. М.: Издательство Юрайт, 2025. 383 с.

2. *Кибанов А.Я.* Реализация молодежной политики в Российской Федерации. М.: ИНФРА-М, 2024. 149 с.

3. Закон Республики Татарстан «О молодежи и государственной молодежной политике в РТ» от 19 октября 1993 года № 1983-XII: принят Государственным Советом Республики Татарстан 19 октября 1993 года // Интернет-сайт «Электронный фонд правовых документов».

4. Постановление Кабинета Министров Республики Татарстан "О внесении изменений в постановление Кабинета Министров Республики Татарстан от 05.03.2019 № 158 «Об утверждении государственной программы «Развитие молодежной политики в Республике Татарстан на 2019 – 2025 годы» // Интернет-сайт «Электронный фонд правовых документов».

5. *Воронина О.А.* Государственная молодежная политика в Российской Федерации: учебное пособие. Киров: ВятГУ, 2022, 176 с.

PROJECT MANAGEMENT IN THE FIELD OF YOUTH POLICY (BASED ON THE MATERIALS OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN)

Kiseleva K.M.

Supervisor: Larionova I.V., Associate Professor, Candidate of Sociological Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article discusses a number of issues of project conceptualization and the specifics of implementing youth policy through a project approach. The article examines the specifics of using approaches and tools of project management in the field of youth policy. Successful examples are analyzed and recommendations are formulated to optimize the implementation of youth projects.

УДК 316.3

СОЦИАЛЬНЫЕ ОТНОШЕНИЯ И ПОТЕНЦИАЛ МОЛОДЕЖИ В ДВУХ ЭПОХАХ: ИНДУСТРИАЛЬНОЙ И ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОЙ

Кобелева В.А.

Научный руководитель: Сидоров Л. Г., доцент, к. э. н.

(Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева, г. Рыбинск)

Аннотация. В данной статье показано исследование, как меняются социальные отношения молодежи при переходе от индустриального к постиндустриальному обществу, оно выделяет ключевые изменения в профессиональной самореализации, образовании и социализации. Работа демонстрирует, как замена жестких классовых структур на гибкие сетевые модели взаимодействия расширяет возможности молодежи, но также создает новые вызовы: цифровое неравенство, нестабильную занятость и необходимость постоянной

адаптации. Анализ двух эпох позволяет сделать вывод о фундаментальном изменении условий для реализации молодежного потенциала: от предопределенности социальным статусом к самостоятельному построению жизненной траектории в быстро меняющемся мире.

Актуальность данной темы обусловлена трансформацией социальных и профессиональных условий, влияющих на процесс социализации и профессионального становления молодежи в современном обществе. Сравнительный анализ этих изменений с индустриальной эпохой позволяет выявить ключевые вызовы и перспективы, с которыми сталкивается новое поколение в условиях постмодернистской социальной реальности.

Целью данного исследования является проведение сравнительного анализа характеристик социальных взаимодействий и потенциала молодежи в индустриальных и постиндустриальных социумах.

Социальные отношения молодежи представляют собой многослойную систему взаимодействий, разворачивающихся в разнообразных институциональных и культурных контекстах. Эти отношения формируются под влиянием социального статуса молодых людей, а также различных форм активности, проявляемых ими в процессе социализации [1].

Трансформация от индустриального к постиндустриальному обществу привела к значительным изменениям в социальных отношениях и роли молодежи, что оказало глубокое воздействие на все аспекты их жизни. Эти изменения затронули не только формы коммуникации, но и возможности для самореализации, образовательные траектории и профессиональную идентичность [2].

В период индустриализации, охватывающий XIX и первую половину XX века, социальные отношения характеризовались строгой иерархией и классовой структурой. В этот период можно выделить несколько ключевых особенностей [3]:

1. Профессиональная ориентация была строгой. Большинство молодых людей продолжали дело своих родителей и начинали работать уже в возрасте 12–14 лет. Обучение профессии происходило непосредственно на производстве через систему ученичества.
2. Труд был организован коллективно. Молодые рабочие объединялись в артели и бригады, что способствовало формированию особой производственной солидарности. На крупных предприятиях создавались целые династии рабочих.
3. Социальная мобильность была ограничена. Переход между сословиями и профессиональными группами был затруднён. Лишь немногие могли преодолеть сословные барьеры благодаря образованию или предпринимательству.
4. Отношения были основаны на патернализме. На многих предприятиях мастера и администрация проявляли заботу о молодых работниках, сочетая это с жёсткой дисциплиной.
5. Формировалась рабочая элита. Наиболее квалифицированные молодые рабочие могли рассчитывать на высокий доход и стабильное положение.
6. Развивалось рабочее движение. Молодёжь активно участвовала в создании профсоюзов и стачечных комитетов, что стало важным фактором социальных изменений.

Молодежь, как правило, наследовала профессиональные роли своих родителей и начинала трудовую деятельность в раннем возрасте. Социализация в эту эпоху осуществлялась преимущественно через традиционные социальные институты, такие как семья, религиозные организации и профессиональные сообщества, что способствовало укреплению социальной стабильности и сохранению статус-кво.

Образование являлось ключевым аспектом жизнедеятельности молодых людей в индустриальную эпоху, хотя для большинства ограничивалось начальной школой или ремесленными училищами. Они активно интегрировались в политическую сферу общества, формировали субкультуры и молодежные движения, что нередко сопровождалось возникновением социальных конфликтов.

Основные возможности для молодежи реализовывались в промышленном производстве, где приоритетное значение придавалось физическому труду и профессиональным навыкам, передаваемым традиционным путем из поколения в поколение.

Индустриальное общество можно рассматривать как сложную социальную систему, в которой горизонтальные и вертикальные каналы социальной мобильности были ограничены классовыми барьерами и экономическими рамками. Социальные лифты, хотя и существовали, функционировали недостаточно эффективно, что существенно ограничивало возможности молодежи для социальной и профессиональной мобильности [4].

Таким образом, индустриальная эпоха характеризовалась строгими социальными регламентациями, где социальная идентичность молодежи определялась классовой принадлежностью и профессиональной преемственностью. Ограниченные возможности для самореализации и социальной мобильности свидетельствуют о высоком уровне социального расслоения и консервативности институциональной структуры того времени.

Переход от индустриального к постиндустриальному обществу ознаменовал кардинальные изменения в экономике, социальной структуре и культуре. Если индустриальная эпоха (XIX – середина XX века) базировалась на массовом промышленном производстве, жесткой социальной иерархии и физическом труде, то постиндустриальная (конец XX – XXI век) сместила акцент на информацию, знания и услуги. Вместо традиционных иерархических систем появляются сетевые структуры, где ключевыми становятся не статусные атрибуты, а индивидуальные навыки и профессиональные компетенции. Цифровизация, которая является неотъемлемой частью этого процесса, существенно меняет механизмы социализации, интегрируя в них социальные сети, онлайн-образование и виртуальные сообщества.

Современная молодёжь демонстрирует активный рост в сферах интеллектуального труда, креативных индустрий и технологических стартапов, что свидетельствует о глубоких структурных изменениях в экономике и профессиональной самореализации. Эти тенденции отражают переход от индустриального к постиндустриальному обществу, где доминирующую роль играют знания, инновации и креативность.

Образование, как ключевой институт социализации, претерпевает значительные изменения, становясь более доступным и разнообразным. Развитие цифровых технологий создаёт новые возможности для международной мобильности и удалённой работы, формируя глобальное образовательное пространство. Однако, наряду с этими положительными аспектами, постиндустриальное общество также порождает ряд проблем [5].

Усиление конкуренции на рынке труда, нестабильность занятости и психологические нагрузки, связанные с информационным перенасыщением, требуют от молодых людей постоянного самообучения и адаптации к быстро меняющимся условиям.

Таким образом, анализ трансформации социальных отношений молодёжи в постиндустриальном обществе позволяет выделить как положительные, так и отрицательные аспекты этого процесса. С одной стороны, цифровизация и глобализация создают новые возможности для профессионального роста и самореализации. С другой стороны, они также создают новые вызовы, требующие от молодёжи высокой степени адаптивности и готовности к постоянному обучению (см. Таблица 1).

Таблица 1

Сравнение социальных отношений молодежи в индустриальном и постиндустриальном обществах

Критерии	Индустриальное общество (XIX - сер. XX вв.)	Постиндустриальное общество (кон. XX - XXI вв.)
Социальная мобильность	Ограниченность социальных возможностей, обусловленная классовыми барьерами.	Высокая, определяется уровнем профессиональных навыков и компетенций. -
Ключевые ценности	Профессиональная компетентность, дисциплина и коллективизм.	Творческий подход, гибкость, самореализация. -

Образование	Являлось ключевым аспектом жизни, хотя для большинства ограничивалось начальной школой или ремесленными училищами.	Более доступное, разнообразное и длительное. - - -
Основная сфера занятости	Промышленное производство, физический труд.	Сфера услуг, интеллектуальный труд, креативные индустрии.
Возраст начала трудовой деятельности	12-14 лет -	18-25 лет -
Основные вызовы	Разделение на классы, эксплуатация, неблагоприятные условия работы.	Цифровое неравенство, информационная перегрузка, нестабильность занятости. -
Социальные институты социализации	Семья, школа, церковь, производственные коллективы.	Семья, образовательные учреждения, СМИ, Интернет, социальные группы.

Переход от индустриального общества к постиндустриальному сопровождался значительными изменениями в социальной сфере, в том числе в процессе социализации молодёжи. В условиях индустриализации социальный статус молодых людей определялся их происхождением и принадлежностью к определённому классу. Профессиональная идентичность формировалась через непосредственное участие в производстве с раннего возраста, а социализация проходила в рамках традиционных институтов, таких как семья, религиозные организации и трудовые коллективы.

В постиндустриальном обществе произошли глубокие изменения в социальной структуре. Иерархические модели социальной организации уступили место сетевым структурам, где акцент сместился с атрибутов социального статуса на индивидуальные компетенции и профессиональные навыки. Цифровизация привела к появлению новых каналов социализации через социальные сети и онлайн-платформы, что способствовало формированию гибридных форм социального взаимодействия, сочетающих элементы виртуальной и реальной коммуникации. Одним из наиболее значимых изменений стало изменение профессиональных траекторий. В индустриальную эпоху молодые люди, как правило, наследовали профессиональные роли своих родителей, в то время как в современном постиндустриальном обществе они вынуждены постоянно переопределять свою профессиональную идентичность в условиях быстро меняющегося рынка труда. Это предоставляет им новые возможности, такие как свобода профессионального выбора и глобальная мобильность, но также сопряжено с рисками, включая профессиональную нестабильность и кризис профессиональной идентичности.

Образовательные траектории также претерпели значительные изменения. Многоуровневое образование на протяжении всей жизни стало нормой, а концепция непрерывного образования приобрела императивный характер. В отличие от индустриальной эпохи, когда образование было социальным лифтом для ограниченного круга людей, сегодня оно стало более демократизированным, но в то же время более дифференцированным по качеству и доступности.

Социальные отношения молодых людей в постиндустриальном обществе характеризуются большей свободой, но и повышенной ответственностью за формирование своего жизненного пути. Отказ от жёстких социальных рамок индустриального общества способствовал расширению возможностей для самореализации, но потребовал от молодых людей развития таких навыков, как адаптивность, эмоциональный интеллект и способность к постоянному обучению [6, 7].

При анализе двух исторических периодов можно констатировать, что индустриальная парадигма обеспечивала молодым людям более детерминированный, но ограниченный вектор профессионального и личностного развития. В свою очередь, постиндустриальное общество предоставило значительно расширенные возможности для самореализации, однако потребовало от индивидов повышенной гибкости и индивидуальной ответственности [8].

Современная молодежь обладает беспрецедентной степенью свободы выбора профессиональных и жизненных стратегий, что обусловлено динамичными трансформациями социальной среды. Однако данный феномен сопряжен с необходимостью самостоятельного формирования карьерных и жизненных планов в условиях стремительного изменения социально-экономических реалий [9].

Будущее общественного прогресса во многом определяется эффективностью адаптации новых социальных институтов к потребностям и потенциалу молодого поколения, обеспечивая при этом гармоничное сочетание возможностей и стабильности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Лунева Е.* Характеристика молодежи в индустриальном обществе // [Электронный ресурс] URL: https://studme.org/386296/sotsiologiya/harakteristika_molodezhi_industrialnom_obschestve (Дата обращения – 13.05.2025).

2. *Борисова Т.Я.* Социальный потенциал молодежи: к вопросу определения дефиниции. 2016. // CyberLeninka. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialnyy-potentsial-molodyozhi-k-voprosu-opredeleniya-definitsii (Дата обращения – 14.05.2025).

3. *Бессонова А.А.* Молодежь как социальная общность постиндустриальной информационной реальности. 2012. // [Электронный ресурс] URL: https://cyberleninka.ru/article/n/molodezh-kak-sotsialnaya-obschnost-postindustrialnoy-informatsionnoy-realnosti/viewer (Дата обращения – 15.06.2025).

4. *Дидковская Я.В.* Работающая молодежь индустриальных регионов России: социальные идеалы, ожидания и настроения – 2020. // [Электронный ресурс] URL: https://sfk-mn.ru/PDF/31SCSK420.pdf (Дата обращения – 15.06.2025).

5. *Ефимова Т.В.* Резервы и ресурсы развития современных образовательных систем. 2011. // [Электронный ресурс] URL: https://obrazovanie21.narod.ru/Files/2011-4_p004-009.pdf (Дата обращения 15.05.2025).

6. *Чурина Ю.* Институты социализация личности в современном поле // Отношения с окружающими. 2023. // [Электронный ресурс] URL: https://www.b17.ru/article/436591/ (Дата обращения 16.06.2025).

7. *Саликов А.Э.* Молодежь и культура: способы взаимодействия Молодежь: социальные аспекты. 2023. // Электронная библиотека БГУ. URL: https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/316538/1/%D0%A1%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2_%D0%9C%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%B6%D1%8C_12_24-091-096.pdf (Дата обращения – 17.06.2025).

8. *Шишов С.Е.* Цифровая культура и ее влияние на развитие личности: исторический контекст и современные вызовы. 2025 // [Электронный ресурс] URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-kultura-i-ee-vliyanie-na-razvitie-lichnosti-istoricheskiy-kontekst-i-sovremennye-vyzovy (Дата обращения – 17.06.2025).

9. Молодежь в современном мире: проблемы и перспективы: сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции, 17 мая 2023 г. / Башкирский институт социальных технологий (филиал) ОУП ВО «Академия труда и социальных отношений». — Уфа: Изд-во БИСТ (филиала) ОУП ВО «АТиСО», 2023. // [Электронный ресурс] URL: https://ufabist.ru/wp-content/uploads/2023/07/Sbornik_Molodej-2023_s.pdf (Дата обращения – 13.05.2025).

SOCIAL RELATIONS AND THE POTENTIAL OF YOUTH IN TWO EPOCHS: INDUSTRIAL AND POST-INDUSTRIAL

Kobeleva V.A.
Supervisor: Sidorov L.G., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences
(Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solovyov, Rybinsk)

Abstract. This article shows a study of how the social relations of young people change during the transition from an industrial to a post-industrial society, it highlights key changes in professional self-realization, education and socialization. The work demonstrates how replacing rigid class structures with flexible network models of interaction expands the opportunities of young people, but also creates new challenges: digital inequality, precarious employment and the need for constant adaptation. The analysis of two epochs allows us to conclude that the conditions for realizing youth potential have fundamentally changed: from being predetermined by social status to independently building a life trajectory in a rapidly changing world.

УДК 316.4

СОЦИАЛЬНАЯ МОБИЛЬНОСТЬ И САМООПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛОДЁЖИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБЩЕСТВА

Корсаков А.И.
Научный руководитель: Сидоров Л.Г., доцент, к. э. н.
(Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева, г. Рыбинск)

Аннотация. В докладе рассматриваются изменения социального положения молодёжи на фоне перехода от индустриального к постиндустриальному обществу. Анализируются цифровые вызовы и возможности, влияющие на социальную мобильность, а также особенности самоопределения нового поколения в условиях сетевой культуры и гибкой занятости.

Переход от индустриального общества к постиндустриальному вызвал коренные изменения в социальной структуре, формах занятости и типах взаимодействия между поколениями. Особенно ярко эти изменения проявились в отношении молодёжи — группы, наиболее чувствительной к общественным трансформациям.

Если в индустриальной модели молодёжь встраивалась в заранее заданные профессиональные и социальные траектории, то в постиндустриальной среде она сталкивается с необходимостью самостоятельного выбора, постоянного обучения и адаптации к быстро меняющимся условиям. Современное молодое поколение становится не просто участником, а активным агентом цифровых трансформаций, создающим новые модели социального поведения.

Цель данного доклада — исследовать, как меняется социальная мобильность и самоопределение молодёжи в контексте цифровых технологий и постиндустриальных изменений, а также какие возможности и вызовы при этом возникают.

Молодёжь в индустриальном обществе: ограниченные рамки и стандартизированное развитие

Переход от индустриального общества к постиндустриальному вызвал коренные изменения в социальной структуре, формах занятости и типах взаимодействия между поколениями. Особенно ярко эти изменения проявились в отношении молодёжи — группы, наиболее чувствительной к общественным трансформациям.

Если в индустриальной модели молодёжь встраивалась в заранее заданные профессиональные и социальные траектории, то в постиндустриальной среде она сталкивается с необходимостью самостоятельного выбора, постоянного обучения и адаптации к быстро

меняющимся условиям. Современное молодое поколение становится не просто участником, а активным агентом цифровых трансформаций, создающим новые модели социального поведения.

Цель данного доклада — исследовать, как меняется социальная мобильность и самоопределение молодёжи в контексте цифровых технологий и постиндустриальных изменений, а также какие возможности и вызовы при этом возникают.

Индустриальное общество характеризовалось стабильной, но жёстко структурированной социальной системой. Основой экономики были заводы, фабрики, тяжёлая промышленность, а ключевым социальным ориентиром — производительность и дисциплина. Молодёжь в этой системе выступала как ресурс, который необходимо «подготовить» к конкретной роли. Это означало, что путь каждого молодого человека был во многом предопределён заранее.

Профессиональный выбор, как правило, ограничивался семейными или региональными традициями. Социальная мобильность была минимальной: если ты родился в рабочей семье — с высокой вероятностью становился рабочим. Система образования (школа, ПТУ, реже — вуз) направляла молодёжь в нужное русло: быстро подготовить специалиста для нужд государства и экономики. Индивидуальные интересы и стремления чаще всего оставались вне поля общественного внимания. Вопросы самоопределения сводились к «правильному» выполнению социально одобряемой роли — будь то комсомолец, инженер или учитель. Главными ценностями считались стабильность, дисциплина, соответствие нормам коллектива. Творчество, самовыражение, поиск личного пути были второстепенны и часто воспринимались как девиация.

Таким образом, молодёжь в индустриальном обществе развивалась по шаблонной модели: через систему вертикальной социализации, с чётким набором допустимых маршрутов.

Цифровая трансформация и новая социальная среда: вызовы и возможности для молодёжи

Переход к постиндустриальному обществу связан не просто с техническими инновациями, а с кардинальным изменением самой логики социальной жизни. Основу экономики теперь составляют знания, информационные технологии, цифровые платформы и креативные индустрии. Это меняет все сферы: от занятости до образования, от общения до самореализации. Молодёжь оказалась в центре этих процессов как самая восприимчивая и адаптивная группа.

Одним из ключевых изменений стало разрушение прежних социальных лифтов и появление новых, менее формализованных, но более динамичных. Молодой человек больше не ограничен профессией родителей или местом жительства. Онлайн-образование, глобальные карьерные платформы и доступ к мировым рынкам труда открыли безграничные возможности для тех, кто готов быстро учиться и менять направление.

Цифровая трансформация влияет не только на занятость, но и на культуру. Молодёжь всё чаще социализируется не в офлайн-коллективах (школа, двор, кружок), а в онлайн-сообществах по интересам [3]. Это может быть форум программистов, творческая студия в Discord или международный волонтёрский проект. Такие формы коммуникации способствуют развитию горизонтальных связей и гибких форм идентичности. Однако за возможностями следуют и вызовы. Отсутствие чётких ориентиров порождает тревожность. Если раньше маршрут «школа – вуз – работа» был универсален, то теперь он размывается. Молодым приходится принимать самостоятельные решения, брать ответственность за собственное развитие, искать менторов и ориентиры в информационном хаосе.

Кроме того, возникает разрыв между поколениями. Старшие ориентированы на стабильные иерархии, а молодые живут в культуре постоянной переменчивости. Это создаёт трудности в коммуникации, особенно в образовании и на рынке труда.

Важным следствием цифровизации стало появление культуры постоянного самопрезентирования. Социальные сети стимулируют молодых транслировать «успешный»

образ себя, что повышает уровень стресса и психологического давления. Вместе с тем это развивает навыки самобрендинга, управления репутацией и критического отбора информации — те компетенции, которые становятся определяющими в новом обществе.

Самоопределение в условиях цифровой культуры: новые формы идентичности и пути развития

Цифровая трансформация современного общества коренным образом изменила сам механизм формирования личности. В условиях постиндустриальной культуры самоопределение молодёжи происходит не по заранее заданной модели, а в контексте постоянного выбора и многовекторного влияния.

Традиционно самоопределение молодого человека происходило через принадлежность к семье, учебному заведению, трудовому коллективу. В постиндустриальном обществе появляется новая структура — цифровая идентичность, формируемая в социальных сетях, онлайн-платформах и сетевых сообществах. Молодёжь создает «цифровой образ» — страница в Instagram или Telegram-канал становится не только площадкой для общения, но и отражением профессиональных амбиций, взглядов, ценностей. Это требует навыков самопрезентации, управления информацией, визуальной культуры.

Современная молодёжь имеет доступ к инструментам, позволяющим реализовать идеи и проекты без посредников. Онлайн-курсы, краудфандинг, образовательные платформы, социальные сети — всё это становится каналами для развития индивидуальных инициатив [4]. Например, молодой дизайнер может создать собственный бренд через интернет-магазин, студент — разработать приложение и выйти на рынок, активист — запустить общественную кампанию. Такая модель самореализации строится на личной инициативе и самоорганизации. Отсюда растёт значимость «мягких навыков» (softskills): критического мышления, работы в команде, адаптивности, лидерства. Эти компетенции всё чаще оказываются важнее, чем формальное образование.

Тем не менее, процесс самоопределения в цифровой культуре сопряжён с рядом проблем. Во-первых, молодёжь оказывается под давлением постоянного сравнения — рейтингов, лайков, успехов других. Во-вторых, высокая скорость информационного потока может вызывать эмоциональное выгорание, тревожность, потерю ориентиров.

Кроме того, цифровая свобода — это и вызов для социальной ответственности. В условиях анонимности и разбросанности сетей важно сохранять этические нормы, критичность и уважение к другим.

Примеры реализации молодёжного потенциала в условиях цифровой среды

Трансформация среды создаёт не только трудности, но и реальные возможности для самореализации молодого поколения. Примеры из практики показывают, как цифровая культура открывает новые формы участия молодёжи в социальной, экономической и культурной жизни общества.

Одним из самых ярких направлений является цифровое образование. Например, платформа Stepik позволяет студентам создавать собственные онлайн-курсы, делиться знаниями и зарабатывать. Молодёжь не просто потребляет контент, а становится активным производителем знаний. Это усиливает её образовательную автономию и прокладывает путь к предпринимательству в сфере EdTech.

В условиях пандемии и дистанционного обучения тысячи студентов использовали Zoom и GoogleMeet для создания кружков по интересам, студенческих клубов и даже виртуальных лабораторий. Это пример того, как из ограничений рождаются новые формы социальной активности. Цифровая среда стимулирует молодёжь к созданию собственных проектов. Яркий пример — российский стартап «SkillFactory», основанный студентами. Он вырос в полноценную онлайн-школу по программированию и аналитике данных, обучившую тысячи пользователей. Другой случай — проект «Добро Mail.ru», в который активно вовлечены молодые разработчики, объединяющие благотворительность и технологии.

Молодые предприниматели создают приложения, маркетплейсы, игры и платформы, востребованные как в России, так и за рубежом. При этом многие из них используют ресурсы

бесплатных инкубаторов, акселераторов и фондов, поддерживающих молодёжные инициативы.

Не менее важны кейсы из сферы социального действия. В 2021 году группа школьников из Новосибирска запустила цифровую карту раздельного сбора отходов в своём городе, интегрировав её в местные соцсети. Это помогло повысить осведомлённость населения и улучшить экологическую ситуацию. Подобные проекты доказывают, что молодёжь способна не только адаптироваться к новым условиям, но и преобразовывать их, инициируя значимые изменения. Это и есть практическое выражение их социальной мобильности и самоопределения.

Переход от индустриального к постиндустриальному обществу открыл перед молодёжью уникальные возможности и одновременно поставил перед ней серьёзные вызовы. Если в прошлом путь самоопределения был чётко регламентирован и ограничен, то сегодня он стал гибким, многоуровневым и зачастую нестабильным. Молодёжь теперь формирует собственную идентичность и профессиональный путь в условиях постоянного информационного потока, конкуренции и необходимости самостоятельных решений.

Цифровая трансформация изменила само понимание социальной мобильности. Теперь это не столько движение по жёстким вертикальным лестницам, сколько динамичная адаптация к меняющимся условиям, способность к междисциплинарности, сетевому взаимодействию и самопрезентации.

Для устойчивого развития общества крайне важно поддерживать молодёжь в её стремлении к самоопределению. Это требует от государства, образовательных учреждений и бизнеса гибких инструментов поддержки: менторства, грантов, образовательных платформ и механизмов участия в общественной жизни. Современная молодёжь — это не просто ресурс, это активный субъект цифровой эпохи, способный инициировать и реализовывать социальные изменения. Поддерживая её потенциал, мы инвестируем в будущее общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Иванова С.Н.* Цифровая трансформация молодёжной занятости: риски и перспективы // Молодой учёный. 2023.

2. *Петренко А.В.* Социальная активность молодёжи в онлайн-среде: социологический аспект // Общество: социология, психология, педагогика. 2022.

SOCIAL MOBILITY AND SELF-DETERMINATION OF YOUTH IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION OF SOCIETY

Korsakov A.I.

Supervisor: Sidorov L.G., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solovyov, Rybinsk)

Abstract. The report examines the changes in the social status of young people against the background of the transition from an industrial to a post-industrial society. The article analyzes digital challenges and opportunities affecting social mobility, as well as the peculiarities of self-determination of the new generation in the context of a network culture and flexible employment.

УДК 316.346.32

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МОЛОДЕЖИ В ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОМ ОБЩЕСТВЕ

Лазарева А.С.

Научный руководитель: Родионова Е.В., доцент, к. э. н.

(Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Муром)

Аннотация. В статье исследована проблема оттока молодежи из большинства регионов России. Анализируются факторы, определяющие миграционные настроения молодежи, такие как возможности трудоустройства, уровень заработной платы, качество социальной инфраструктуры и перспективы самореализации. На основе проведенного анализа предлагается комплексный подход к решению проблемы, включающий развитие экономики малых городов, модернизацию социальной инфраструктуры, поддержку образования и культуры, формирование позитивного имиджа территорий и вовлечение молодежи в процесс принятия решений.

Население крупных городов постоянно пополняется за счет приезжих. Значительную часть из них составляют молодые люди из малых городов России. Причем, молодежь покидывает как развитые, так и менее развитые территории.

С 1989 по 2024 год численность населения сократилась примерно в 70% городов России. Сегодня в стране насчитывается 129 малых городов, находящихся под угрозой исчезновения. В них суммарно проживает 3,4 миллиона человек. За последние десять лет численность населения в них сократилась на 314 тысяч человек [1].

Проблема оттока молодежи из малых городов касается как чиновников, так и работодателей, а также самих жителей малых городов. Медленно умирающие населенные пункты покидают и выпускники школ, и квалифицированные специалисты, которым нет возможности строить карьеру в своем городе, и молодые семьи.

Безусловно, такая тенденция наносит существенный урон экономике городов. Муниципалитет потратил ресурсы на образование, социализацию и медицинское обслуживание — и вот потенциальная трудовая единица уезжает в другой город или регион. Денег в местный бюджет она не возвращает и прибыли не приносит.

Некоторые населенные пункты Брянской, Новгородской, Кировской областей находятся в наиболее уязвимом положении. Тяжелая ситуация и в некоторых северных промышленных городах, такие как Верхний Тагил (Свердловская область), Инта (Коми), Кемь и Медвежьегорск (Карелия) [2]. «Вымирающие» города в южных аграрно-индустриальных регионах находятся в чуть лучшем положении за счет продовольственной безопасности и более благоприятных условий проживания населения.

Несмотря на рекордно низкий уровень безработицы, в России сохраняется дефицит кадров во многих сферах: строительной, медицинской, сельскохозяйственной, туристической, добывающей. Не хватает как квалифицированных, так и рабочих кадров. В Дальневосточном и Сибирском федеральных округах дефицит рабочей силы достигает критических значений, в одном- до 35% от необходимого числа работников, в другом до 29%. Как утверждают эксперты, к 2026 году появится потребность более чем в 300 тыс. специалистах по новым технологическим направлениям. Строительная отрасль является лидером по нехватке персонала, там дефицит превысил 1,2 млн. чел., промышленность- 1 млн. чел., сельское хозяйство- 500 тыс. чел., транспортная отрасль- 220 тыс. чел., здравоохранение- 150 тыс. чел [1]. Согласно данным рекрутингового агентства Skypro, «на некоторые вакансии не поступало ни одного резюме за месяц».

В таблице 1 представлена классификация регионов по миграционным характеристикам (табл. 1) [3].

Таблица 1

Характеристика регионов по уровню миграции

Название	Характеристика	Показатель востребованности вузов региона среди выпускников школ	Показатель послевузовской миграции	Регионы
«Регионы-магниты»	Высокоразвитые территории с самыми сильными вузами, а также высоким валовым региональным продуктом на душу населения	Выше 1	От 5 до 25%	Москва с Московской областью, Санкт-Петербург с Ленинградской областью, Свердловская область и Татарстан.
«Транзитные регионы» (выступают в качестве «перевалочных» пунктов	Исторически сильные университеты, средний уровень экономического развития, слабая городская инфраструктура	Выше 1	От 33,1 до 50%	Томская, Тюменская, Омская, Орловская, Воронежская, Ивановская области
«Замкнутые» регионы	Ограниченное количество университетов, наличие крупных промышленных и сельскохозяйственных предприятий, высокий уровень оплаты труда	Ниже 1	От 26 до 33%	Пермский край, Магаданская и Мурманская области, Краснодарский край, республики Коми, Алтай и Кабардино-Балкария.
Регионы-«экспортеры»	Ограниченное количество учебных заведений, низкая интенсивность хозяйственной деятельности, относительно слабая инфраструктурная обеспеченность территорий	Ниже 1	От 51 до 60%	Псковская, Владимирская, Тверская, Курганская, Волгоградская области, а также Чувашия и Адыгея. Часть этих регионов отдают абитуриентов двум столицам (Тверь и Владимир — Москве, Псков — Санкт-Петербургу).

Федеральным агентством по делам молодежи (Росмолодежь) в 2024 г. был проведен опрос, согласно которому выяснилось, что 75 % выпускников школ в малых городах хотят уехать из них сразу после школы. Направления миграции разные. Факторы, которые могут

влиять на выбор нового места жительства: возможность для трудоустройства и зарплата не ниже рынка, так ответили 47% опрошенных. На втором месте оказался транспорт, этот критерий назвали 36% опрошенных. На третьем - социальная структура, которая нужна 35% опрошенных [4]. Качественное образование и развлечения назвали 29% опрошенных. При этом историческая архитектура, которой славятся многие малые города, наименее важный фактор для переезда. Этот критерий в ходе опроса назвали всего 11% опрошенных.

Эксперты Министерства экономического развития выделяют следующие миграционные тенденции (рис.1).

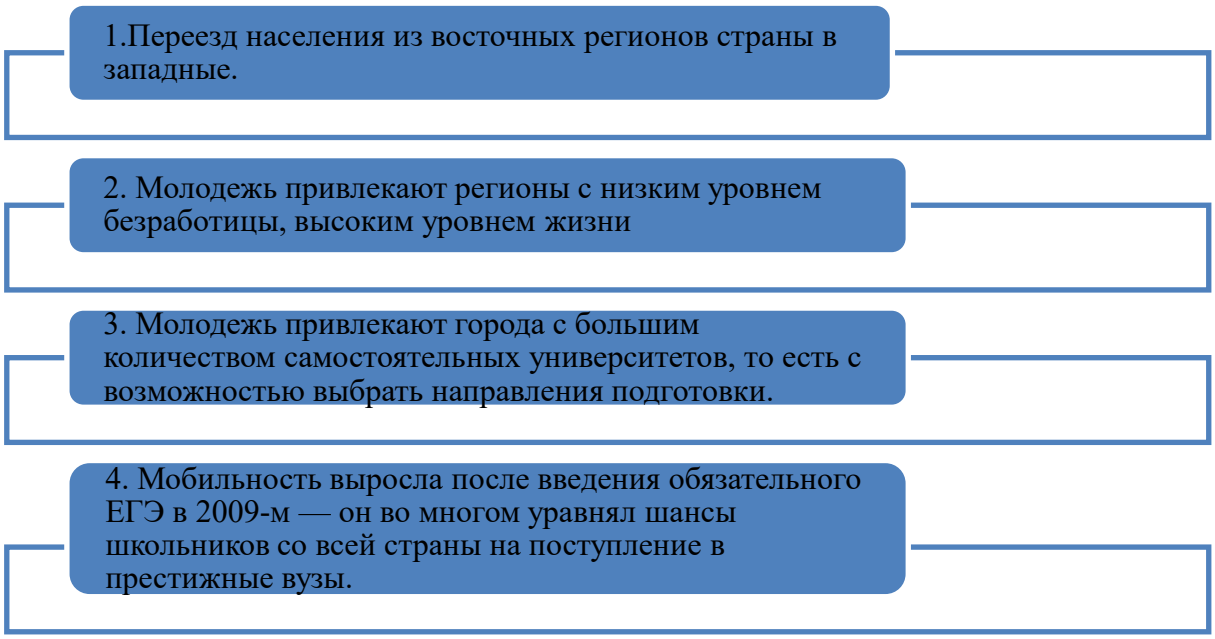


Рисунок 1.Тенденции развития молодежной миграции

В 2013–2019 годы вузовская сеть существенно сократилась: сильные университеты укрупнились, слабые закрылись, общее число организаций высшего образования уменьшилось на 42%, в основном за счет филиалов – их стало меньше на 56%. В городах с численностью до 100 тыс. человек число вузов уменьшилось на 70%, в населенных пунктах с численностью 100 -250 тыс. чел. - на 25% [5].

При этом распределяются университеты неравномерно. Более половины студентов учатся в 2 из 8 федеральных округах, Центральном и Приволжском. Москва и Санкт-Петербург собирают около 25% всех российских студентов. За вычетом двух столиц, 9 из 89 субъектов собирают еще 30% учащихся вузов.

Возвратная же миграция молодежи в малые города невелика. Чаще всего она связана с появлением хорошего рабочего места или неудачным опытом в крупном городе. Данные исследований говорят о том, что «три четверти из всех миграционно настроенных выпускников, вероятно, «навсегда потеряны как жители для своих городов» [3]. Вступление в брак с коренным жителем региона иммиграции также значительно снижает шансы на возвращение мигрирующей молодежи на малую родину.

Процесс «сжатия» малых городов может растянуться на несколько поколений. Однако такой процесс не всегда являются необратимыми. Многое зависит от способности региона, местного сообщества и предпринимателей адаптироваться к новым условиям, а также от стратегических решений на уровне федеральной и местной политики. Территории должны конкурировать за качественные человеческие ресурсы, поскольку «менее развитые регионы покидают наиболее талантливые и профессиональные кадры».

Чтобы удержать молодежь, территорию нужно развивать комплексно. Используя современные модели коммуникации, можно не только лучше узнать потребности и запросы

молодого поколения, но найти идеи реализации. Если человек с детства осознает свою нужность региону и чувствует свои силы, ему гораздо сложнее из него уехать.

Местная администрация должна быть более активной и участвовать в разнообразных федеральных и региональных проектах. В 2025 г. запланировано реализовать 106 инвестпроектов с инфраструктурным развитием. До 2030 года регионам будет доступно свыше 2 триллионов рублей в рамках различных механизмов поддержки.

Важным направлением, которое может способствовать удержанию молодежи, является развитие городской инфраструктуры, а именно модернизация сетей ЖКХ (водоснабжение, отопление, водоотведение) для обеспечения именно городского уровня коммунального комфорта. Как утверждают эксперты, коммунальная инфраструктура «особенно в небольших городах» изношена в среднем на 60% [4].

Также развитие образовательных возможностей в регионе может не только удержать молодое поколение, но и привлечь потенциальных жителей. Так, в 2018 г. было открыто четыре новых творческих вуза в Калининграде, Владивостоке, Севастополе и Кемерове [6]. В июне 2025 г. на Дальнем Востоке стартовала приёмная кампания филиалов: Театрального института имени Бориса Щукина в Южно-Сахалинске, ВГИКа в Хабаровске и ГИТИСа в Благовещенске. В 2025 году в этих образовательных учреждениях предусмотрено 85 бюджетных и платных мест для очного и заочного обучения.

В Пермском крае для удержания молодого поколения был разработан Пермский культурный проект, в рамках которого реализовывали программу паблик-арта, фестивальное движение «Белые ночи в Перми», выставку «Пермь — культурная столица Европы». Проект привлек внимание зарубежных деятелей культуры и журналистов как пример преобразования провинциального промышленного региона в центр культурной жизни.

Удержание населения в малых городах возможно не столько за счет инфраструктуры, сколько за счет продвижения нового образа периферии. Местная администрация должна делать упор на следующие факторы: экологическая среда, возможность жить в своем доме, баланс между работой и свободным временем.

В рамках Всероссийского форума «Развитие малых городов и исторических поселений» было отмечено, что небольшим городам необходимо формировать свой собственный уникальный имидж. В каждом российском городе есть своя история и свои уникальные особенности, на которые можно делать упор. Человеку всегда хочется принадлежать к чему-то большему. Когда у тебя обычный город N в не самом популярном регионе, то тебе хочется переехать в крупный федеральный центр. Совсем другое отношение, если из маленького провинциального города сделать интересный бренд.

Довольно чёткий и устойчивый имидж сложился в городе Муром Владимирской области. Муром считается «городом любви» — здесь покоятся покровители семьи, любви и верности Пётр и Феврония. Мощи святых находятся в Свято-Троицком монастыре. Их почитание имеет огромное значение для города и привлекает паломников и туристов. Ежегодно в городе проводится один из главных российских праздников семьи «День семьи, любви и верности».

Чтобы более эффективно заниматься развитием территории, администрация муниципального образования должна выделить конкретного специалиста, способного креативно мыслить и быть посредником между городскими сообществами и властями.

В 2023 году Президентом РФ была создана Программа развития муниципального кадрового управленческого резерва «Школа мэров». На протяжении обучения были созданы выездные модули с практическими занятиями в 10 регионах России [4]. Целью этих выездов было знакомство с лучшими региональными практиками. В 2025 году школу окончили 160 управленцев из 82 регионов.

Таким образом, реализация комплексной стратегии развития территории, позволит малым городам не только удержать своих жителей, но и привлечь новых. Особое внимание следует уделить поддержке перспективных направлений, в таблице 2 выделены основные из них (табл.2).

Таблица 2

Направления развития малого города

Способ	Мероприятия
Укрепление связей между руководствами вуза и города	• Университет включается в создание стратегии развития региона. Регион, в свою очередь, использует его разработки себе во благо.
Децентрализация высшего образования	• В регионах открываются филиалы вузов и кампусы. • Развивается дистанционное обучение
Создание карьерных перспектив	• Регион поддерживает местные предприятия, в том числе частные, которые создают целевые места для выпускников • Развивается наставничество
Экономические меры поддержки	• Местным студентам доступны дотации, льготы и программы доступного жилья • Предоставление земли для индивидуального жилищного строительства
Развитие локальной культуры и идентичности	• Города и регионы «обзаводятся» собственным брендом • Реализуется поддержка языков, традиций и обычаев малых народов, а также частных культурных инициатив и малого креативного бизнеса.
Укрепление городской инфраструктуры	• Школы, поликлиники и другие учреждения получают поддержку • Развивается инфраструктура: новые дороги, реакционные зоны и т.д. • Проводится скоростной интернет, в том числе для удаленных работников
Воспитание и работа с сообществами	• Создаются и развиваются локальные сообщества • Регион поддерживает курс на раннюю социализацию • Развивается музейная педагогика и краеведение

Таким образом, проблема оттока молодёжи из малых городов России представляет собой комплексную социально-экономическую задачу, оказывающую негативное влияние на развитие как отдельных муниципалитетов, так и страны в целом.

Поддержка перспективных направлений, таких как развитие внутреннего туризма и привлечение инвестиций в инфраструктурные проекты, позволит создать новые рабочие места и повысить качество жизни населения, а формирование уникального имиджа каждого малого города и привлечение креативных управленцев поможет удержать талантливую молодежь и обеспечить устойчивое развитие этих территорий в будущем. Решение этой проблемы требует совместных усилий органов власти, бизнеса и местных сообществ, направленных на создание перспективной и комфортной среды для жизни и самореализации молодого поколения в малых городах России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Регионы России. Социально-экономические показатели. - Текст электронный. - 2024. – URL: https://www.demoscope.ru/weekly/2025/01061/biblio03.php?ysclid=mevryciabl721538809 (дата обращения: 22.08.2025).

2. Федеральная служба государственной статистики. - Официальный сайт.- 2024.- URL: https://rosstat.gov.ru/?ref (дата обращения: 22.08.2025).

3. Внутрироссийская миграция молодежи: повышение привлекательности малых городов. - Текст электронный. - 2024. – URL: https://stolypin.institute/storage/app/media/IMC4Stolypin%20Inst_Migration%20Survey_2024_FINAL-EXTRA%20PPT.pdf?ysclid=mevrpdpig5997292705 (дата обращения: 22.08.2025).

4. «Мода на малые города» поднимет экономику отдельных регионов. - Текст электронный- 2024. – URL: https://monocle.ru/2024/02/19/moda-na-malyye-goroda-podnimet-ekonomiku-otdelnykh-regionov/?ysclid=mevrtasmgk708092430 (дата обращения: 22.08.2025).

5. *Роговая А.В., Левченко Р.В.* Образование, занятость и досуг как факторы миграции молодежи из малых городов // Ойкумена. Регионоведческие исследования. 2020. № 4. С. 23-33.

6. *Зубок Ю.А., Чупров В.И.* Молодежь в культурном пространстве: саморегуляция жизнедеятельности: монография. М.: Норма, 2020. 304 с.

SOCIO-ECONOMIC PROBLEMS OF YOUTH IN A POST-INDUSTRIAL SOCIETY

Lazareva A.S.

Supervisor: Rodionova E.V., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Murom Institute (branch) of the Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov Vladimir State University, Murom)

Abstract. The article examines the problem of youth outflow from most regions of Russia. The article analyzes the factors that determine the migration attitudes of young people, such as employment opportunities, wages, the quality of social infrastructure, and the prospects for self-realization. Based on this analysis, the article proposes a comprehensive approach to solving the problem, which includes developing the economy of small cities, modernizing social infrastructure, supporting education and culture, creating a positive image of the territories, and involving young people in decision-making processes.

УДК 005.95

ЭФФЕКТИВНЫЙ ОПЫТ НЕМАТЕРИАЛЬНОЙ МОТИВАЦИИ ТРУДА ПЕРСОНАЛА В ООО «ЯНДЕКС»

Латыпов И.И.

Научный руководитель: Ларионова И.В., доцент, к. соц. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье проанализирована сущность нематериальной мотивации сотрудников, выделены ее факторы, а также показана ее важность для организации. Рассмотрена специфика системы нематериальной мотивации в ООО «ЯНДЕКС».

Современные организации все чаще обращают внимание на эффективные методы мотивации персонала, понимая, что успех компании во многом зависит от вовлеченности и удовлетворенности сотрудников. Наряду с традиционными материальными стимулами, такими как заработная плата и премии, особую значимость приобретает нематериальная мотивация. Она основана на психологических и социальных потребностях работников, включая признание, профессиональной развитие, комфортную рабочую среду и чувство причастности к общему делу. В условиях высокой конкуренции и динамично меняющегося рынка труда именно нематериальные стимулы помогают удерживать ценных специалистов, повышать их лояльность и продуктивность. В отличие от финансовых поощрений, они требуют более тонкого подхода и индивидуального анализа потребностей коллектива. Нематериальная мотивация включает в себя широкий спектр инструментов: от гибкого графика и корпоративной культуры до программ обучения, наставничества, публичного признания заслуг и создания условий для самореализации. В отличие от финансовых стимулов, она формирует более глубокую эмоциональную связь сотрудника с компанией, снижая текучесть кадров и укрепляет имидж компании. Однако ее внедрение сопряжено с определенными сложностями: необходимо учитывать индивидуальные потребности

работников, поддерживать баланс между контролем и свободой, а также постоянно адаптировать методы к меняющимся условиям. Грамотное сочетание материальных и нематериальных стимулов позволяет не только привлекать лучших работников, но и раскрывать их потенциал, что в итоге ведет к достижению стратегических целей бизнеса.

Мотивация в профессиональной среде формируется под влиянием различных факторов. В их основе лежат как личностные устремления сотрудника, так и внешние стимулы, инициируемые руководством или средой организации. Фактор (лат. *factor*— делающий, производящий) трактуется как движущая сила совершающегося процесса или одного из его необходимых условий [1]. Факторы, оказывающие влияние на эффективность нематериальной мотивации, условно можно подразделить на следующие группы: социальные, организационные и личностные.

Социальные факторы направлены на удовлетворение социальных и духовных потребностей. Мотивация сотрудников формируется под влиянием множества социальных факторов, которые можно условно объединить в две группы. Первая категория охватывает социальный аспекты внутри организации. К ней относятся репутация компании, создающая чувства гордости у сотрудников, комфортная инфраструктура рабочего пространства, а именно зона отдыха, медицинский кабинеты, столовая, удовлетворенность занимаемой должностью и осознание значимости своего труда, возможности профессионального роста через обучение и наставничество, принципы равноправия и доступность образовательных ресурсов. Вторая группа факторов связана с внешней социальной средой. Данная группа охватывает такие факторы, как качество жизни в регионе, социальную защищенность (медицинское страхование, компенсации) и культурно-досуговые возможности, влияющие на общее благополучие сотрудников.

Организационные факторы включают три ключевых аспекта: особенности профессиональной деятельности, групповую динамику и управленческие подходы. В профессиональной деятельности важную роль играют эргономика рабочего места, свобода творчества и инноваций, возможность реализации потенциала через интересные задачи, здоровая конкурентная среда и интеллектуальная составляющая работы. Групповые факторы подразумевают гармонию в коллективе, синхронизацию рабочих процессов и четкое распределение ролей. Управленческие аспекты включают гибкость организационной структуры, акцент на развитие персонала и справедливую систему мотивации.

Личностные факторы охватывают индивидуальные особенности сотрудников: их систему ценностей и жизненных приоритетов, физические и психологические возможности, внутреннюю мотивацию к качественной работе, личностные качества, такие как ответственность и инициативность, а также восприятие условий труда. Данные факторы тесно взаимосвязаны и оказывают комплексное влияние на трудовую мотивацию.

Среди ключевых методов повышения мотивации особое значение имеет система регулярной обратной связи, когда руководитель открыто обсуждает с подчиненными их достижения и зону для развития. Не менее важным является создание условий для роста самооценки сотрудников через справедливое признание их заслуг, вовлечение в процесс принятия важных решений в работе. Индивидуальные карьерные планы, программы профессионального обучения, доступ к сложным и интересным проектам, а также поддержка инновационных идей – все это способствует раскрытию потенциала работников в организации.

Подобные меры не только повышают удовлетворенность сотрудников своей работой, но и создают среду, способствующую профессиональному росту и полной реализации потенциала каждого члена коллектива. В итоге это приводит к значительному повышению общей эффективности работы организации.

Особый интерес вызывают системы нематериальной мотивации в различных крупных компаниях, так как поддерживать мотивацию тысяч сотрудников в десятки раз сложнее, нежели мотивировать несколько десятков человек. Тем более эффективность систем

мотивации больших компаний анализировать легче: просто отслеживая их развитие, анализируя отзывы сотрудников, оценивая текучесть кадров.

Крупнейшей в России IT–компанией является ООО «ЯНДЕКС». Она была основана еще в прошлом веке и прошла путь от небольшой компании, предоставлявшей лишь поисковую сеть до гиганта сферы IT. На данный момент компания предоставляет широкий спектр услуг, начиная от такси, музыкальных платформ, заканчивая электронными хранилищами данных, также имеется собственный маркетплейс. По данным различных источников, в том числе исходя из финансовой отчетности данной компании [2], можно сделать вывод об экономическом росте компании, что является свидетельством правильности принятия стратегических решений, анализа рынка и, безусловно, работающей системы мотивации, которая стимулирует сотрудников развиваться, принося пользу компании.

Одним из важнейших элементов системы мотивации является свободное регулирование своего графика офисными сотрудниками данной компании. Офис открыт круглосуточно, учета времени, которое сотрудник был на работе, никто не ведет, предметом внимания является лишь его продуктивность, которую оценивает непосредственный руководитель. Также в организации действует нераспространенная особенность: сотрудники имеют 3 дополнительных выходных дня в квартал. В данное время они не могут быть привлечены к работе. Такое нововведение связано с целью дать сотрудникам дополнительный отдых, если им он нужен.

Офисы в ООО «ЯНДЕКС» являются примером обустроенности для многих фирм, так как в них есть множество помещений для отдыха сотрудников: в зданиях организации есть столы для настольного тенниса, бильярда, оборудованные спортивные залы, залы для йоги, танцев. Интересным фактом является то, что в офисе всегда присутствуют массажист и врач. Также по некоторым офисам, которые построились позже остальных, можно передвигаться на компактных средствах передвижения, а также на территориях некоторых офисов есть велодорожки.

Стоит отметить и питание в компании. Данный аспект тоже был продуман весьма креативно: у каждого работника офиса есть пропуск, на который компания периодически переводит определенную сумму денег, которые сотрудник может потратить на питание в офисе или рядом с ним. Также на территории офиса имеются пойнты – место, где сотрудники могут выпить чай, кофе, перекусить овощами и фруктами. Необходимо добавить, что от сезона к сезону ассортимент меняется: летом преобладают яблоки, арбузы, дыни, а, например, осенью – имбирь, орехи, сухофрукты [3].

Также помимо возможности иметь гибкий график организация предоставляет своим сотрудникам возможность удаленной работы. Данный факт является крайне привлекательным как для молодых специалистов, так и для более старших сотрудников, давая всем возможность не тратить время на дорогу в офис, больше времени проводить дома или в другом месте для эффективной работы [4]. Стоит отметить, что данное разрешение компании не распространяется на всех: безусловно, есть должности, которые предполагают обязательное нахождение в офисе.

Далее можно упомянуть про различные конкурсы с призами для коллективов, различные конференции и обучения даже для тех сотрудников, которые находятся на удаленном формате работы. Данный факт позволяет сотруднику ощутить себя частью команды. Важным аспектом мотивации является рабочая атмосфера и коллектив: благодаря качественному отбору кадров в компании «ЯНДЕКС» трудятся профессионалы своего дела, благодаря чему в организации, в каждом ее филиале, появляется здоровая конкуренция, атмосфера, располагающая к профессиональному и личностному росту [5].

Еще одним важным фактором мотивации является возможность карьерного роста: за преуспевание в своей отрасли у сотрудника есть все возможности продвинуться дальше не только в своем отделе, но и участвовать в конкурсе на вакансию в другом отделе наравне с внешними претендентами [6]. Большим плюсом компании по отзывам сотрудников является также и то, что задачи, которые необходимо решать всегда разные. Работникам ежедневно в их

личный кабинет приходят различные задачи, за выполнение которых можно браться в течение дня. Эти задачи разные: от самых простых в соответствии со специальностью сотрудника до сложных, для выполнения которых нужно узнать что-то новое. Главное здесь то, что сотрудник замотивирован развиваться профессионально, браться за сложные задачи и решать их. Безусловно, здесь присутствует не только нематериальная мотивация: за сложные задачи можно получить значительно большую заработную плату, однако, именно наличие конкуренции, готовности организации оказать помощь и обучить чему-то новому имеют важнейшее значение в желании сотрудника работать лучше и развиваться [7].

Подводя итог анализу нематериальной мотивации сотрудников в ООО «ЯНДЕКС», можно с уверенностью сказать, что их система является одной из самых продвинутых среди многих крупных компаний России. Для штатных сотрудников создается множество условий, дающих им возможность работать в удобное время в удобных условиях. Также стоит отметить грамотный подбор персонала, так как в каждом отделе или филиале создается здоровая конкуренция и рабочая атмосфера, подталкивающая сотрудников к личностному и профессиональному росту. Возможность дополнительного обучения внутри компании, повышение квалификации, свободный график – сейчас данные инструменты популярны не только для удержания ценных кадров, но и привлечения новых. Стоит отметить, что результат от нематериальной мотивации возможен только в том случае, когда удовлетворены материальные потребности сотрудников, с чем в ООО «ЯНДЕКС» также нет никаких проблем: в компании существует продуманная система заработка, позволяющая иметь доход ее сотрудникам выше среднего по отрасли.

Таким образом, система мотивации в ООО «ЯНДЕКС» является одной из самых продуманных и детализированных среди отечественных компаний, она сочетает в себе различные инструменты, среди которых гибкий график, отсутствие рутинной работы, здоровая конкуренция и возможности для карьерного роста и обучения. Судить об эффективности той или иной системы мотивации объективно, можно лишь опираясь на показатели компании на рынке. ООО «ЯНДЕКС» развивается на протяжении многих лет в нескольких областях экономики, привлекая к себе новых талантливых сотрудников и сохраняя существующих. На данный момент система нематериальной мотивации в ООО «ЯНДЕКС» демонстрирует показатели значительно выше среднего по стране.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Трапицына С.Ю.* Мотивация и стимулирование трудовой деятельности: Учебник. М.: Юрайт, 2025.

2. ООО "ЯНДЕКС": бухгалтерская отчетность и финансовый анализ / [Электронный ресурс] // audit-it.ru: [сайт]. — URL: https://www.audit-it.ru/buh_otchet/7736207543_ooo-yandeks?ysclid=mbklirp5iu536364821.

3. *Дудкин К.С., Илюхина Л.А.* Анализ мотивации и стимулирования персонала на примере компаний «Google» и «Яндекс» // Экономические науки. 2023. № 2 (11). С. 135.

4. Портале отзывов «Отзовик» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://otzovik.com/reviews/rabota_v_yandeks_crowd/2/?ysclid=mawiqfkjmr263785010, свободный.

5. Портале оценок и отзывов «Хабр Карьекра» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://career.habr.com/companies/yandex/scores/2022?ysclid=mawioj39te942328530, свободный.

6. «7 неочевидных бонусов работы в Яндекс» // Официальный интернет-сайт Яндекса [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://yandex.ru/jobs/blog/bonusy-raboty, свободный.

7. Интернет-рекрутмент «hh» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://kazan.hh.ru/employer/1740?ysclid=mawjrvfm3b639284459, свободный.

NON-MATERIAL MOTIVATION OF STAFF IN THE ORGANIZATION

Latypov I.I.
Supervisor: Larionova I.V., Associate Professor, Candidate of Sociological Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article describes the essence of non-material motivation of employees, its factors, and shows its importance for the organization. The system of non-material motivation in YANDEX LLC is considered.

УДК 316.346.32-053.6

ПАРАДОКС РЫНКА ТРУДА: ТРАНСФОРМАЦИЯ СФЕРЫ ЗАНЯТОСТИ И РОСТ ИЖДИВЕНЧЕСКИХ НАСТРОЕНИЙ СРЕДИ ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОЙ МОЛОДЕЖИ

Мичко И.В.
(Фонд поддержки детей, находящихся в трудной жизненной ситуации, г. Москва)

Аннотация. В исследовании проанализированы отношение молодежи к труду, трансформация рынка труда в целом. Обозначены основные тенденции и проблемные аспекты рынка труда, особенности постиндустриальной молодёжи и её потенциала в качестве трудового ресурса.

Общество в процессе своего развития претерпевает ряд изменений, приобретает новые необходимые характеристики и утрачивает менее актуальные. Все трансформации более ярко и наглядно отражаются на молодёжной среде и подрастающем поколении, которое впитывает новые веяния, растёт среди уже сложившегося к этому моменту прогресса. То время, в которое мы живём катастрофически уникально, а постиндустриальная молодёжь не перестаёт удивлять своей самобытностью.

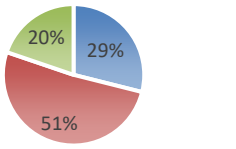
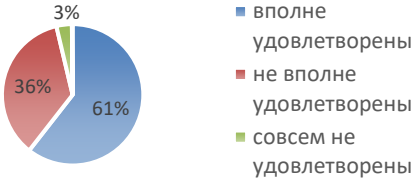
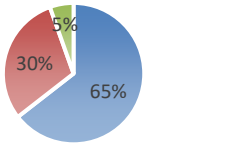
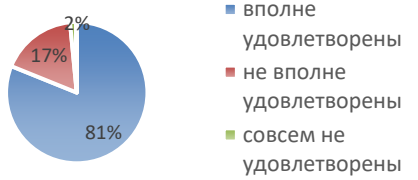
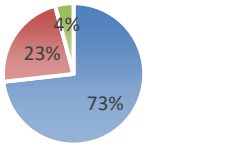
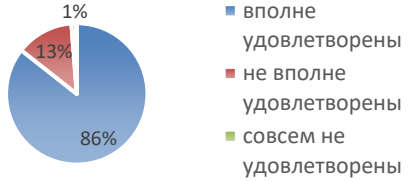
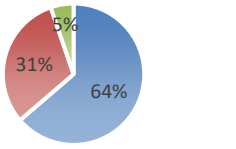
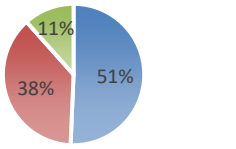
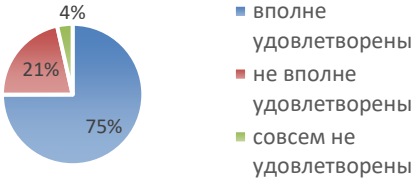
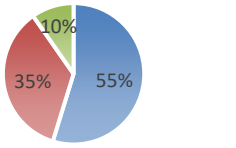
Развитие российской молодёжи в целом соответствуем мировым тенденциям, сложившимся в связи с цифровизацией общества и пересмотром ценностей, и, конечно влияет на многие аспекты социально-экономического состояния государства. Большой интерес представляет сложившийся экономический парадокс рынка труда, заключающийся в трансформации сферы занятости и росте иждивенческих настроений среди постиндустриальной молодежи, определяющей потенциал развития государства.

По данным комплексного наблюдения условий жизни населения 2011 и 2022 годов, проводимых Федеральной службой государственной статистики (далее – Росстат, наблюдение соответственно) [1], значительные изменения за выбранное десятилетие претерпело отношения молодёжи к трудовой деятельности и условиям труда. Рассмотрим динамику выборочных показателей в таблице 1.

По данным наблюдения можно отметить, что в целом все исследуемые показатели улучшились. Так, количество молодых людей, удовлетворённых заработной платой, увеличилось вдвое, однако достаточно значимой остаётся доля тех, кто не вполне удовлетворён получаемой заработной платой – 36%. Аналогичная ситуация наблюдается и по другим показателям. Необходимо отметить, что значительно снизилась доля молодёжи, совсем не удовлетворённой исследуемыми показателями трудовой деятельности. Например, по показателю заработной платы данный показатель снизился более чем в 6 раз.

Таблица 1

Удовлетворённость молодёжи работой по данным комплексного наблюдения условий жизни населения 2011 и 2022 годов [1]

2011 год	2022 год
заработная плата	
	
выполняемые обязанности	
	
режим работы	
	
условия труда	
	
профессиональная удовлетворенность	
	
моральное удовлетворение	
	

** Не берётся в расчет доля молодёжи, выбравшая вариант «не определено», введённый в 2022 году, так как он составляет от 0,1 до 0,2 и не представляет особой значимости для анализа наблюдения.*

Данные наблюдения во многом объясняют тягу молодёжи к построению карьеры, профессиональной самореализации в связи с улучшением условий трудовой деятельности. По данным опроса ООО «инФОМ» в рамках заказа российской исследовательской организации – фонда «Общественное мнение», молодёжь ставит перед собой жизненные цели, отражённые в рисунке 1 (опрос опубликован на официальном сайте 05.07.2024) [2].

Рисунок 1. Жизненные цели молодёжи по данным опроса ООО «инФОМ» в рамках заказа российской исследовательской организации – фонда «Общественное мнение»

Данные рисунка 1 подтверждают факт первостепенности материального благополучия (26% опрошенных), достойной работы, построения карьеры (14%). Получение образования и востребованной профессии находятся у молодёжи на 3 месте – 9% опрошенных; саморазвитие и создание семьи занимают только 4 место с 5% опрошенных.

В то же время доля молодёжи, имеющей профессию (специальность), подтверждённую дипломом (свидетельством) с 2011 года к 2022 году снизилась на 9,8% и составила меньше половины от общего числа (49,3%) [1]. Сложившаяся ситуация определяет кадровый дефицит квалифицированных специалистов, особенно в специфических областях деятельности, а также выявляет снижение статуса и необходимости наличия диплома (свидетельства) в современных реалиях.

Несмотря на то, что 82% молодёжи вполне морально удовлетворены своей трудовой деятельностью, значительно выросла среди молодёжи доля тех, кто иногда испытывает нервное направление и стресс на работе – с 49,1 в 2011 года показатель поднялся до 62% в 2022 году [1]. В связи активно развивается корпоративная культура на предприятиях, разрабатываются стратегии тимбилдинга, в некоторых компаниях создаются комнаты эмоциональной разгрузки [3]. Данное явление также способствовало развитию рынка предоставления услуг в сфере психологии и психотерапии, что еще в 2011 году не было так популярно и вызывало недоумение у большинства населения. Сейчас молодые люди всё чаще обращаются к специалистам за психологической (психотерапевтической) помощью. С одной стороны, это является положительным аспектом, так как молодёжь научилась принимать проблему и решать её при помощи профессиональной помощи, а с другой стороны в синтезе вышеобозначенной проблемы наличия профессии (специальности), подтверждённой дипломом (свидетельством) с развитием использования интернета и онлайн-площадок для

организации трудовой деятельности начали появляться неквалифицированные коучи, продвигающие свои курсы, методики.

Возвращаясь к проблеме стресса, следует отметить, что нацеленность молодёжи на построение карьеры следует в ногу с достижением ментального здоровья, избегая стрессовых ситуаций и напряжённой работы [4]. Это объясняет то, что молодёжь чаще ищет трудоустройство с гибким графиком, выбирает дистанционную работу, стремятся получать высокую зарплату. Зарплатные ожидания не всегда соответствуют реальной заработной плате на рынке труда.

В связи с вышеизложенным сложился парадокс рынка труда, при котором у молодёжи в приоритете стоят карьера, деньги, профессиональное признание и рост, а с другой стороны – иждивенческий образ жизни, отказ от трудовой деятельности [5].

Многие работодатели в настоящее время столкнулись со следующими проблемами:

1. Сильные расхождения в зарплатных ожиданиях молодых специалистов и предложениях по реальной заработной плате работодателей [6]. Молодёжь, стремясь к материальному благополучию и карьеризму, на начальном этапе трудовой деятельности уже желает получать завышенную оплату труда и высокую статусную должность, зачастую не имея необходимого опыта, квалификации, профессии.

2. Кадровый дефицит в организациях с графиком работы 5/2 и полной занятостью. В основном страдают государственные организации, не практикующие гибридный график работы, имеющие строгий регламент работы [7].

3. Рост иждивенческих настроений среди постиндустриальной молодежи. Данная проблема достаточно актуальна и широка в своём проявлении. Во-первых, тот факт, что создание семьи находится не на первых местах в рейтинге жизненных целей, обуславливает увеличение доли молодёжи, проживающей с родителями и продолжающей «подростковый» формат жизни за счёт средств родителей. Для такого формата характерен отказ от трудовой деятельности или частая смена работы «в поиске себя», поиске более соответствующих ожиданиям условий труда, откладывание сепарирования от родителей и создания собственной семьи.

4. Работодатели столкнулись и с новыми тенденциями, характерными постиндустриальной молодёжи. Например, участились случаи прогулов, а также ситуации, когда молодой сотрудник во время рабочего дня покидает рабочее место и сообщает посредством сотовой связи работодателю, что принял решение о прекращении трудовой деятельности в организации, решив, что она его не удовлетворяет, нарушая при этом трудовое законодательство.

Для решения обозначенных проблем необходима разработка комплекса мер, способствующего сепарированию молодёжи, формирования у неё ответственности, прививание ей правильных традиционных ценностных ориентиров. Комплекс мер должен обеспечивать стабильное социально-экономическое развитие государства посредством формирования достойного кадрового потенциала молодёжи, так как именно она определяет будущее государства.

В качестве таких мер можно рассмотреть введение целевого обучения по месту жительства гражданина. В таком случае гражданину по итогам прохождения необходимых отборочных процедур предоставлялось бы гарантированное целевое обучение по месту жительства. Второй мерой может стать введение льготной ипотечной программы для работающей молодёжи. В качестве такой меры может быть предусмотрена сниженная процентная ставка для молодых людей, занятых официальной трудовой деятельностью более 3-5 лет без длительного перерыва.

Таким образом, в настоящее время сфера труда переживает достаточно сильные трансформации. Сложившийся парадокс рынка труда, заключающийся с одной стороны в росте иждивенческих настроений у молодёжи, а с другой стороны – в приоритетном положении построения карьеры, профессионального утверждения, требует более пристального внимания и регулирования со стороны государства, так как от характерных

явлений значительно страдает рынок труда, растет дефицит кадров, в особенности квалифицированных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Официальный сайт федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/ (дата обращения: 15.05.2024).

2. Официальный сайт российской исследовательской организации – фонда «Общественное мнение» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://fom.ru/TSennosti/15039 (дата обращения: 27.05.2025).

3. Журнал «HR-ПАРТНЕР. ВремяВызовыРешения» // ООО «Ультрафиолет. 2024. № 1 (10). С. 11-12.

4. *Голобоков А.С., Тюгаев А.Р.* Особенности и проблемы карьеры современной Российской молодежи // Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2017. № 2 (19). С. 338–341.

5. *Шевелева Н.П., Кузнецов И.С.* Предпосылки формирования социального иждивенчества в среде Российской молодежи // Теория и практика общественного развития. 2015. №18. С. 21-23.

6. *Вакуленко Е.С., Гурвич Е.Т.* Гибкость реальной заработной платы в России: сравнительный анализ // Журнал Новой экономической ассоциации. 2016. № 3 (31). С. 67–92.

7. *Кондратюк В.С.* Кадровый голод в государственных учреждениях: анализ причин нехватки кадров // Молодой ученый. 2025. № 5 (556). С. 78-82.

THE LABOR MARKET PARADOX: THE TRANSFORMATION OF EMPLOYMENT AND THE GROWTH OF DEPENDENCY ATTITUDES AMONG POST-INDUSTRIAL YOUTH

Michko I.V.

(The Russian Children in Need Fund, Moscow)

Abstract. The study analyzes the attitude of young people to work, the transformation of the labor market as a whole. The main trends and problematic aspects of the labor market, the features of post-industrial youth and their potential as a labor resource are outlined.

УДК 316.35

МОЛОДЁЖЬ КАК СОЦИАЛЬНАЯ ОБЩНОСТЬ ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Муртазина К.И.

Научный руководитель: Ибрагимова А.А., доцент, к. соц. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Исследование рассматривает исторические попытки мыслителей охарактеризовать молодежь и выявить её индивидуальные и коллективные черты, показывая, как различные теории изменяются под влиянием конкретных исторических условий. Также изучено становление социологии развития как самостоятельной научной области, уделяя внимание классификации подходов, исследующих молодежь через её созидательные и разрушительные аспекты.

На протяжении всей истории мыслители неоднократно стремились определить, что такое молодёжь, и раскрыть особенности её развития как в индивидуальном, так и в коллективном измерениях. Теории, рассматривающие политические аспекты социального сообщества, постоянно находились под влиянием конкретных исторических обстоятельств.

Изучая подходы к исследованию проблем развития в социологии, можно заключить, что становление социологии развития в качестве самостоятельного направления прошло через несколько этапов (рис. 1).

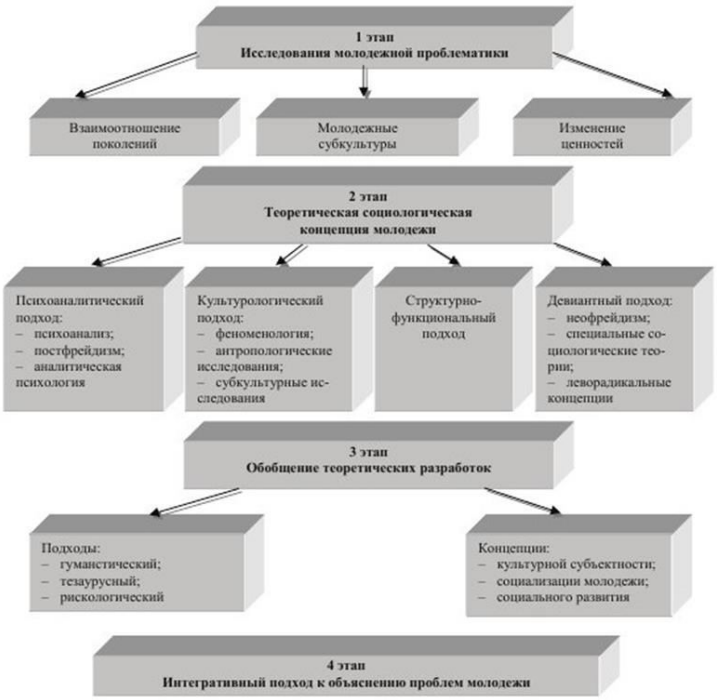


Рисунок 1. Этапы развития социологии молодежи

Анализ рассмотренных концепций, посвящённых проблемам молодёжи, даёт возможность классифицировать существующие подходы по признаку их конструктивного или деструктивного отношения к молодёжи (рис. 2).

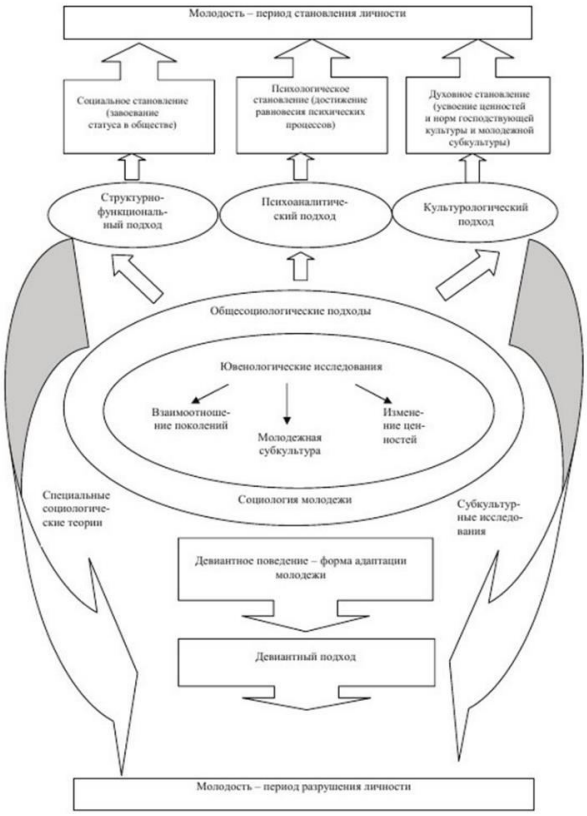


Рисунок 2. Основные подходы в социологии молодежи

Ювенологические исследования, возникшие в начале XX века, сыграли важную роль в распространении социологии в различные отрасли социологического знания. Эти исследования развивались по трём ключевым направлениям: изучение нарушений норм, анализ молодежных субкультур и исследование трансформации ценностей.

Теоретические труды Ф. Тенбрука [1] и Х. Шельского [2] впервые чётко сформулировали ключевые вопросы социологии молодёжи и заложили основу для новой области социологических исследований.

Изучение вопросов, связанных с молодёжью, проводится в рамках общесоциологических подходов, трактующих молодость как этап формирования личности в психологическом, историческом и духовном планах. Представители психоаналитической школы исследуют присущие молодости психофизические особенности, рассматривая её как самый сложный и насыщенный кризисами период жизни человека. В этом контексте молодёжь понимается как социальная группа, обладающая этими характеристиками и находящаяся в процессе психологического формирования личности.

В рамках культурологического подхода внимание уделяется тому, как молодёжь усваивает господствующую в обществе культуру, а также ценности и нормы молодёжной субкультуры, что способствует духовному формированию личности.

Структурные функционалисты рассматривают молодёжную группу как совокупность системных ролей, которые осваиваются её участниками. Это подразумевает гибкое освоение социальных ролей и способствует социальному развитию личности.

Идеи структурного функционализма легли в основу ряда специальных социологических теорий. Параллельно с этим в русле культурологического взаимодействия развивались субкультурные исследования, инициируемые властными структурами. Слияние этих направлений привело к формированию девиантного подхода в социологии молодёжи. В рамках этого подхода фиксируются сбои процесса социализации, что усиливает напряжённость среди молодёжи и расширяет спектр возможностей для девиантного и делинквентного поведения. В итоге девиантность становится своеобразным способом адаптации молодёжи к социальным структурам. Таким образом, молодость в этом контексте воспринимается как этап, в котором преобладают деструктивные тенденции и процессы внутри молодёжной среды.

Интерес к молодежи, как к социальной группе начал активно формироваться в социально-гуманитарных науках, особенно в социологии, с наступлением эпохи индустриализации. Этому способствовало возрастание значения образования в индустриальном обществе, что привело к удлинению переходного периода между детством и взрослой жизнью. В результате молодежь получила больше свободы от трудовых обязанностей до достижения 21 года.

Основные особенности индустриального общества включают следующие моменты [3, с. 162-163]:

- формирование единой нации-государства, объединённой общим языком и культурой;
- распространение товарного производства и свёртывание натурального хозяйства;
- господство машинного производства и фабричная организация труда;
- снижение числа людей, занятых в сельском хозяйстве;
- рост числа городских жителей и развитие городов;
- повышение уровня грамотности среди населения;
- введение всеобщего избирательного права и развитие массовых политических партий
- широкое внедрение науки в различные сферы жизни, особенно в промышленность, а также постепенная рационализация общества.

В индустриальном обществе культура занимает исключительное положение. С её помощью человек может освоиться в изменяющихся условиях, а система ценностей помогает отсекать лишнее в сознании. Станислав Лем в произведении «Философия случая» указывал на стохастическую природу культуры, благодаря чему между природой и культурой появляется пространство выбора, некая степень свободы [4]. Человек изначально обладает

универсальными человеческими ценностями, но впоследствии оказывается под влиянием культурного кода, который уникален для каждой цивилизации.

Особое значение имеет вопрос выбора механизма. Станислав Лем утверждает, что попытка охватить абсолютно всё способна лишь разрушить или заблокировать культуру, превратив её в неработающую память. Мы обращаемся к культуре за ориентирами, когда оказываемся перед сложным выбором, и ждем от неё не просто набор шаблонных выражений, а настоящей поддержки и совета [4, с. 408].

Научно-техническая революция избавила людей от необходимости постоянно бороться за выживание. Освободившееся время – тот самый «люфт» – стало заполняться новыми моделями поведения, которые в первую очередь диктовались цивилизацией. Развитые индустриальные страны общества массового потребления предоставили людям различные возможности организации досуга. Так сформировалась новая культура, основное внимание в которой уделяется художественно-эстетической стороне жизни, что способствует особому способу усвоения ценностей в рамках этой социальной группы.

Индустриализация дала толчок возникновению множества новых социальных явлений, которые обратили пристальное внимание общества на вопросы взросления и выделили юность как самостоятельный этап формирования личности. В XX веке происходили молодежные протесты, революции и бунты, появлялись различные субкультуры и молодежные движения. Всё это способствовало прогрессу в политической, научной и культурной сферах.

В конце 1950-х – начале 1960-х годов молодежь окончательно утвердилась как самостоятельная социальная сила со своими уникальными культурными и политическими интересами. Именно этот период ознаменовал начало эры молодежных протестов. Среди самых заметных событий того времени можно выделить: в 1950-х годах в США появились битники, ставшие предшественниками хиппи и панков; в 1960-х активно развивалось движение хиппи; в 1968 году во Франции прошли студенческие волнения; в 1970-х в Германии возникли «красные бригады» из числа молодых марксистов; в начале 1970-х в США и Великобритании появились субкультуры яппи и панков; в 1980-х в СССР получили распространение поклонники субкультур и «ништяков» и так далее.

В молодежной культуре можно отметить несколько характерных особенностей [3, с. 271]:

– молодежная культура в первую очередь связана с досугом, а не с трудовой деятельностью;

– социальные связи в этой среде строятся вокруг коллектива сверстников;

– особое внимание уделяется стилю – это проявляется в использовании специфического сленга, предпочтениях в одежде и музыке, выборе определенных форм проведения свободного времени, а также в интересе к внешнему виду.

Исходя из этого, можно заключить, что эпоха индустриального общества стала временем появления молодежи как самостоятельной социальной группы, формирующей собственную систему ценностей и играющей важную роль в общественном воспроизводстве. Это, в свою очередь, привело к развитию профессионального образования для молодежи, поскольку именно молодое поколение начало рассматриваться как главная производительная сила.

В конце 80-х – начале 90-х годов XX века молодежь сталкивается с новыми общественными изменениями и начинает рассматриваться социологами как ключевой субъект социальных трансформаций. При этом особое внимание уделяется вопросам ценностных ориентаций, процессов самоидентификации и социализации молодежи.

Индустриальное общество выделяет молодежь по трем главным критериям: возрастные особенности, специфические социальные позиции, а также различные социально-психологические качества, присущие этому возрасту.

Также стоит подчеркнуть, что в индустриальном и постиндустриальном обществе главным ресурсом и продуктом становится информация, а ведущая роль принадлежит

профессионалам, обладающим глубокими знаниями и способным работать с большими объемами данных.

Д. Белл, один из главных разработчиков идеи постиндустриального общества, в своей книге «Грядущее постиндустриальное общество» подчеркивал, что ключевой ценностью этого строя становится теоретическое знание, стимулирующее научные инновации и формирующее направления государственной политики. Согласно его взглядам, новая классовая структура определяется прежде всего защитой и поддержкой знаний. В обществе появляется новый интеллектуальный слой – так называемый «технический класс», оказывающий значительное влияние на принятие решений в различных сферах общественной жизни. Приоритетной областью деятельности для стран, стремящихся соответствовать постиндустриальному статусу, становятся научные исследования и разработки, которые объединяют науку, технологии и экономику.

Белл также делал акцент на том, что именно культурный аспект станет основополагающим фактором развития постиндустриального общества. Человек, живущий в новой информационной среде, должен обладать принципиально иными ориентирами по сравнению с представителем индустриальной эпохи.

Если в индустриальном обществе ключевым критерием для социального статуса выступал экономический уровень и принадлежность к определенному классу, то в условиях постиндустриального общества на первый план выходят такие показатели, как уровень образования, культурный капитал, доход и схожие характеристики.

В индустриальном обществе основой производства выступают природные ресурсы, тогда как постиндустриальное общество формирует и использует в качестве ключевого ресурса интеллектуальный капитал. Уровень развития постиндустриального общества определяется объемом информации и теоретических знаний, которыми оно располагает.

Молодежь, как отдельная социальная группа в условиях постиндустриальной информационной среды, должна обладать следующими навыками:

- умение принимать решения;
- способность эффективно усваивать большие объемы информации;
- быстрая адаптация и ориентация в новой ситуации;
- навыки анализа, проектирования и прогнозирования.

Таким образом, специфика постиндустриального общества заключается в повышении значимости науки, которая становится главным драйвером общественного прогресса и его устойчивого развития. Молодежь в этих условиях превращается в основной интеллектуальный и инновационный ресурс, от которого зависит уровень развития научной и высокотехнологичной сферы. Благодаря этому, индустрия будет соответствовать современному статусу постиндустриального общества [6].

Учитывая особенности формирования молодежи как социальной общности в условиях постиндустриальной информационной реальности, можно выделить ее ключевые черты:

- демографические – определение молодежи через возрастные рамки, характерные для определенного этапа жизненного цикла;
- социально-исторические – восприятие молодежи как социальной группы, исходя из специфики текущей социально-экономической системы и структуры общества;
- социально-психологические – уникальные психофизиологические особенности и этапы психологического становления молодого человека;
- духовно-культурологические – формирование ценностей, образа жизни, культурных норм молодежной среды и, в результате, духовное развитие личности;
- социологические – освоение молодежью новых общественных ролей и расширение ее влияния в процессе социального прогресса;
- конфликтологические – специфика отношений между личностью и обществом, тенденция к проявлению девиантного и делинквентного поведения в молодежной среде
- инновационные – трактовка молодежи как главного носителя интеллектуального и инновационного потенциала общества.

Таким образом, молодежь можно рассматривать как особую социальную группу, обладающую определенным набором социально-психологических и духовно-культурологических признаков. В процессе социализации у молодых людей формируется психологическая и духовная зрелость, а также происходит освоение новых общественных ролей, главным из которых становится путь во взрослую жизнь. Благодаря этому молодежь превращается в значимый элемент общественной структуры.

Молодое поколение – носитель интеллектуального потенциала, от которого зависят этапы исторического развития, особенности экономических и социальных систем, структура классов, национальный менталитет, а также динамика различных геополитических процессов.

Сравнивая характеристики лидерства и научной деятельности в индустриальном и постиндустриальном обществах, можно отметить, что в индустриальную эпоху существовала острая нехватка молодых исследователей, и именно их появление стало важным условием развития современного общества. В то время как в постиндустриальной реальности роль молодежи значительно возросла благодаря высокой ценности знаний и инноваций.

В постиндустриальном обществе количество информации достигло такой степени, что создание по-настоящему новых идей стало крайне затруднительным. Тем не менее, это не свидетельствует об отсутствии научной интеллигенции, а скорее указывает на изменение характера научной деятельности. В наше время основными мотивами для занятий наукой становятся стремление к высокому материальному вознаграждению, построение успешной карьеры и повышение социального статуса.

Следует особенно подчеркнуть влияние материального фактора. Заниматься фундаментальной наукой сегодня не всегда соответствует материальным ожиданиям молодых специалистов, поэтому молодежь чаще реализует свои способности в тех направлениях, где исследовательская работа приносит практические и финансовые выгоды, например, в области технологических инноваций, IT и других высокотехнологичных компаниях.

В результате ведущие позиции занимают прикладные сферы, позволяющие получать значительные доходы от исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Тенбрук Ф.* Молодежь и общество. М.: Прогресс. 1980.

2. *Шельский Г.* Скептическое поколение. М.: Молодая гвардия. 1976.

3. *Аберкромби Н., Хилл С., Тернер Б.С.* Социологический словарь / пер. с англ. И.Г. Ясовеева. М.: Весь мир. 2004.

4. *Лем С.* Философский случай. М.: Эксмо. 2005.

5. *Белл Д.* Грядущее постиндустриальное общество: опыт социологического прогнозирования / пер. с англ. В.Л. Иноземцева. М.: Academia. 1999.

6. *Ньюгартен Б.Н., Мур Дж.У., Лоу Дж.К.* Возрастные нормы, возрастные ограничения и социализация взрослых // Американский журнал социологии. 1965. Т. 70. № 6.

YOUTH AS A SOCIAL COMMUNITY OF POST-INDUSTRIAL INFORMATION REALITY

Murtazina K.I.

Supervisor: Ibragimova A.A., Associate Professor, Candidate of Sociological Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The study examines historical attempts by thinkers to characterize youth and identify its individual and collective traits, showing how various theories change under the influence of specific historical conditions. It also explores the development of developmental sociology as an independent scientific field, with particular attention to the classification of approaches that study youth through its creative and destructive aspects.

УДК 005.9

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ДЕЛОВОЙ КАРЬЕРОЙ И РАЗВИТИЕМ ПЕРСОНАЛА В РОССИЙСКОМ ОБЩЕСТВЕ

Нестерова А.П.
Научный руководитель: Ахметшина А.А., доцент, к. соц. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье раскрываются особенности управления карьерой и развитием персонала в условиях современного российского общества. Даны определения ключевым понятиям, таким как объективная, субъективная, горизонтальная, проектная карьеры, многоуровневая траектория развития карьеры, цифровизация карьерного пути, карьерные роли. Дана классификация основных инструментов развития персонала, а также выделены внутренние и внешние факторы, влияющие на него. Определена роль и перспективы применения цифровых решений в процессе управления карьерой и развитием персонала.

В условиях ускоряющейся трансформации социально-экономических процессов, вызванной цифровизацией, изменением форм занятости, ростом гибких рабочих практик и изменением трудовой мотивации молодого поколения, система управления персоналом в российском обществе сталкивается с новыми вызовами. Традиционные подходы к построению карьеры, основанные на линейной иерархической модели, всё чаще уступают место гибридным, проектным и горизонтальным траекториям развития, возрастает конкуренция за квалифицированные кадры, а концепция непрерывного образования становится нормой. В этих условиях особенно востребован новый подход к управлению карьерой, основанный на персонализации профессионального развития и активном использовании цифровых HR-инструментов.

Это требует пересмотра привычных форм организации кадровой политики и внедрения механизмов, ориентированных на развитие и удержание персонала.

Особое внимание к проблематике управления карьерой и развитием персонала обусловлено, в частности, и тем, что в настоящее время уровень безработицы в России находится на исторически низком уровне (по данным Росстата в мае 2025 года он составил 2,2%). Именно поэтому человеческий капитал становится одним из главных ресурсов современных российских организаций. Пандемия COVID-19 также оказала серьёзное влияние на многие аспекты управления персоналом. Ограничения очного взаимодействия, переход на удалённый формат работы, рост эмоционального выгорания и тревожности среди сотрудников потребовали от организаций гибкости и способности оперативно перестраивать внутренние процессы. Управление карьерой в таких условиях стало не только механизмом удержания сотрудников, но и инструментом стабилизации коллектива и сохранения ценностного ядра организации.

В контексте Российской Федерации тема управления карьерой приобретает особую значимость в условиях демографических и миграционных изменений, цифровой трансформации экономики и реформирования системы образования. Особое внимание уделяется молодёжи как стратегическому ресурсу страны, что требует создания эффективных механизмов карьерной навигации и развития компетенций в рамках профессиональной реализации.

В условиях ускоренного развития экономики знаний, цифровизации и социальной мобильности понятие деловой карьеры приобретает новое содержание и значение. Сегодня деловая карьера рассматривается не только как вертикальное продвижение по служебной лестнице, но и как многоуровневая траектория развития, включающая горизонтальные перемещения, профессиональную специализацию, проектную деятельность, временные формы занятости и даже переход в смежные области. Как отмечает Т. Ю. Базаров, «карьера – это результат осознанной позиции и поведения человека в области трудовой деятельности,

связанный с должностным или профессиональным ростом» [1, с. 41]. Такой путь требует от организации создания благоприятных условий, инфраструктуры развития и карьерного консультирования, а от работника – активности и ответственности за собственное развитие.

Особенности деловой карьеры в современном российском обществе заключаются в следующем: индивидуализация карьерных траекторий – отказ от универсальных моделей в пользу персонализированных стратегий; рост значения горизонтальных и проектных карьер – особенно в командах с гибкой структурой; цифровизация карьерного пути – через платформы, трекеры компетенций, цифровые профили развития; совмещение карьерных ролей – один человек может одновременно развиваться как специалист, лидер и ментор. Кроме того, в научной литературе различают объективную и субъективную карьеру. Первая – это формальные продвижения, измеряемые внешне: повышение, зарплата, должность. Вторая – личное восприятие успеха: удовлетворённость, рост навыков, реализация потенциала [2, с. 54]. На сегодняшний день всё чаще акцент делается на том, что карьера – это не просто продвижение «по служебной лестнице», а динамичная система взаимодействия личности и организации, в которой ключевыми являются не формальные достижения, а возможности профессионального, личностного и социального роста. Сотрудник не только выполняет определённые трудовые функции, но и накапливает знания, расширяет кругозор, укрепляет своё положение в профессиональном сообществе. В. М. Маслова акцентирует внимание на важности стратегического управления карьерой как фактора удержания талантов [3, с. 205]. В контексте социологических и психологических теорий карьера может рассматриваться и как социальный механизм, позволяющий формировать устойчивую мотивацию, привязанность к профессии и ценностную самоидентификацию. Например, в исследованиях М. В. Ушакова подчёркивается, что восприятие человеком своей карьеры влияет на самооценку, уровень жизненной удовлетворённости и стремление к самореализации [4, с. 112]. Кроме того, следует отметить, что развитие карьеры происходит неравномерно, и для многих работников характерны перерывы, смена сфер деятельности, временная стагнация. Это особенно актуально для молодёжи, у которой карьерные экспектации часто не совпадают с реальными возможностями. В этих условиях важно наличие в организации механизмов карьерного консультирования, индивидуального сопровождения и системы оценки потенциала сотрудников. Интерес представляет и точка зрения зарубежных исследователей. В современных условиях активно развивается концепция «безграничной карьеры», которая предполагает построение профессиональной траектории вне рамок одной организации. Эта концепция основана на мобильности, непрерывном обучении, мультидисциплинарности и расширении профессиональных сетей. В российских условиях подобная модель реализуется, в том числе, через участие в проектной деятельности, междисциплинарных командах, волонтёрских и общественных инициативах. Особенно важно учитывать, что в условиях цифровой трансформации понятие карьеры становится тесно связано с компетентностным подходом: продвижение происходит не только за счёт стажа или формальной квалификации, но и через развитие ключевых гибких навыков – таких как критическое мышление, коммуникация, цифровая восприимчивость, эмоциональный интеллект. Это создаёт основу для гибкой, адаптивной модели управления карьерой, в которой каждый сотрудник получает возможность развиваться по индивидуальной траектории.

Карьерный рост представляет собой неотъемлемый элемент профессиональной реализации личности и ключевое направление деятельности системы управления персоналом. Эффективное управление карьерой предполагает знание основных моделей и этапов её построения, которые позволяют организации осознанно формировать кадровую политику и сопровождать развитие своих сотрудников. Как подчёркивает Е. В. Рябова, современные модели всё чаще становятся гибридными, сочетая вертикальные и горизонтальные элементы, включающие саморазвитие, наставничество, цифровые инструменты и вовлечённость в социальные практики [5, с.118].

Понимание моделей и этапов карьерного роста позволяет более точно выстраивать кадровую политику, соответствующую условиям современной экономики, технологическим вызовам и ценностям сотрудников.

Согласно Н. В. Петровой, «развитие персонала – это стратегический процесс, нацеленный на раскрытие внутреннего потенциала сотрудников и повышение эффективности их деятельности» [6, с. 47]. Развитие персонала представляет собой одну из ключевых функций системы управления человеческими ресурсами, направленную на формирование профессионального потенциала, повышение квалификации, мотивации и устойчивости сотрудников к внешним и внутренним изменениям. В современных условиях оно рассматривается как стратегический элемент, от которого во многом зависит успешность реализации организационных целей и адаптивность коллектива. Под развитием персонала понимается целенаправленный, систематический процесс воздействия на знания, умения, навыки, установки и личностные качества работников с целью их профессионального роста и повышения эффективности трудовой деятельности [7, с. 42]. В отличие от обучения, развитие включает более широкий спектр задач: формирование карьерных стратегий, поддержку инициативности, наставничество, создание кадрового резерва, работу с талантами. Содержательно развитие персонала включает в себя: профессиональное развитие – обновление и углубление знаний, повышение квалификации; карьерное развитие – формирование индивидуальных траекторий, рост в рамках должностей или проектов; личностное развитие – развитие лидерских качеств, эмоционального интеллекта, коммуникативных и социальных навыков; организационное развитие – включение сотрудников в реализацию стратегических целей, развитие корпоративной культуры. Как подчёркивает А. Я. Кибанов, развитие персонала должно быть ориентировано не только на текущие, но и на перспективные задачи, включая подготовку к будущим профессиональным вызовам и цифровым трансформациям [8, с. 88]. Среди основных инструментов развития персонала можно выделить следующие:

1) Наставничество и коучинг: передача опыта от опытных сотрудников; сопровождение адаптации новых работников; развитие лидерства и управленческих компетенций.

2) Обучение (формальное и неформальное): повышение квалификации, тренинги, курсы, вебинары; внутреннее обучение (корпоративные программы); внешние программы (вузы, образовательные платформы: «СберУниверситет», Stepik, Skillbox и др.).

3) Ротация и проектная работа: временные переводы на другие должности/отделы; участие в кросс-функциональных командах; вовлечение в реализацию стратегических задач.

4) Оценка компетенций и обратная связь: ассессмент-центры, тестирование, оценочные интервью; индивидуальные планы развития (IDP).

Помимо традиционных методов, особое внимание в последние годы уделяется интеграции развития персонала в процессы организационного управления. Это означает, что обучение и профессиональный рост должны быть встроены в повседневную деятельность сотрудников, быть частью бизнес- или проектных процессов. Например, сотрудники могут осваивать новые навыки, решая реальные задачи, а не только участвуя в семинарах и тренингах. Такой подход называют «обучением через действие», и он особенно эффективен в небольших и гибких командах. Важно также учитывать влияние организационной культуры на развитие персонала. В организациях с поддерживающей, открытой культурой сотрудники активнее включаются в обучение, делятся опытом, стремятся к самореализации. Наоборот, в иерархичных и авторитарных структурах процессы развития часто сводятся к формальной аттестации и обязательным курсам. Построение среды, благоприятной для неформального роста, является одним из ключевых условий успешного развития команды. В научной и прикладной литературе также выделяют внутренние и внешние факторы развития персонала.

1) Внутренние – мотивация, амбиции, уровень образования, психологическая устойчивость.

2) Внешние – поддержка руководства, наличие бюджета, стратегические приоритеты организации, доступ к цифровым ресурсам.

Все это означает, что компаниям необходимо учитывать индивидуальную специфику кадров, предлагать персонализированные, адресные маршруты развития, а также использовать адаптивные форматы и отслеживать эффективность развития с помощью цифровых инструментов анализа и сбора данных (KPI, трекеры прогресса, CRM-отчёты). Особую значимость приобретает и корпоративное наставничество как форма межпоколенческой передачи знаний, когда старшие сотрудники помогают молодым освоиться в профессиональной среде, формируют у них чувство принадлежности и уверенности в своих знаниях. Таким образом, успешное построение карьеры – это двусторонний процесс, зависящий не только от личных стремлений работника, но и от активности организации в создании условий для его развития.

Современные социально-экономические тенденции подчёркивают важность гибридных форм развития карьеры, сочетающих онлайн и оффлайн-обучение, работу в смешанных командах и персонализированные форматы роста. Большую роль начинают играть микрообучение (microlearning), внутренние digital-библиотеки, а также платформы с адаптивным контентом, где каждый сотрудник может максимально эффективно оптимизировать имеющиеся знания и приобрести новые.

П. Каппелли полагает, что карьерные траектории будущего должны строится не вертикально, а модульно: сотрудник самостоятельно выбирает направление, чередуя роли и проекты [9, p. 78]. Например, компания Google позволяет сотрудникам тратить до 20% рабочего времени на собственные проекты, что способствует росту инициативности и раскрытию лидерского потенциала. В Европе популярна модель дуального образования (особенно в Германии и Швейцарии), эффективно сочетающая обучение в учебных заведениях и практику на предприятии [10, p. 113]. Становление карьеры в данных случаях начинается намного раньше непосредственного устройства на работу и сопровождается постоянным менторством, системой стажировок и встроенными карьерными трекерами. К общим чертам многих зарубежных систем построения карьеры мы можем отнести: чёткую оценку потенциала и компетенций будущего сотрудника; систему индивидуальных планов развития (IDP); активное применение цифровых HR-инструментов; наличие карьерных консультантов; а также прозрачность карьерных маршрутов [11, p. 220]. Несомненно, эффективная система карьерного роста должна быть встроена в общую HR-стратегию компании, только в этом случае карьерное продвижение сотрудников становится фактором устойчивого развития самой организации.

Можно отметить, что в современной России наблюдается заметное развитие в сфере формирования систем управления карьерой. Ключевые изменения связаны с переходом к рыночной экономике, ростом конкуренции за кадры, усилением роли частных компаний, появлением новых форм занятости, а также исторически минимальный уровень безработицы в стране. Наиболее активно карьерное планирование применяется в крупных корпорациях, таких как Сбер, Газпром, Росатом, Яндекс. В них формируются корпоративные университеты, создаются центры оценки и развития, внедряются цифровые трекеры роста и платформы по управлению талантами. Так, например, СберУниверситет реализует модули по проектированию индивидуальной траектории развития сотрудника и формированию его управленческих компетенций [12, с. 110]. Активное развитие получают такие проекты, как «Лидеры России», «Кадровый резерв», «Россия - страна возможностей», стимулирующие развитие управленческого и лидерского потенциала. Что касается небольших организаций и некоммерческого сектора, здесь система управления карьерой часто развита фрагментарно или вовсе отсутствует. Однако наблюдаются и положительные изменения: создаются грантовые и акселерационные программы, проводятся тренинги для молодых специалистов, расширяется доступ к онлайн-образованию и стажировкам [13, с. 201].

В современных условиях особую актуальность приобретают так называемые гибридные модели карьерного развития, которые сочетают элементы западного и отечественного подходов. Наиболее эффективным их применение становится в небольших, но динамично развивающихся организациях. Такие модели ориентированы не только на

продвижение по служебной лестнице, но и на непосредственную вовлеченность сотрудника в проектную деятельность организации, развитие лидерских компетенций, инициативности, готовности к принятию самостоятельных решений и обучению. Карьерные треки, выстроенные на основе портфолио достижений сотрудника, где карьерный рост зависит не от стажа или возраста, а от конкретных результатов, инициатив и выполненных проектов, могут стать примерами подобной гибридной модели. Применение цифровых платформ и аналитики HR-данных, таких как Битрикс24, TalentSoft, позволяют создавать персонализированные траектории, анализировать «карьерное поведение» сотрудников, отслеживать уровень вовлеченности и прогнозировать потенциальное выгорание или уход. Использование информационных систем и цифровых инструментов способствует формированию гибкой, прозрачной и результативной модели управления карьерой. Одним из наиболее востребованных решений в организациях разного масштаба стало внедрение CRM-систем (Customer Relationship Management) [14], адаптированных под нужды HR-служб. Также всё большее значение приобретает международная мобильность, особенно среди молодых специалистов. Возможность участия в стажировках, грантовых программах, транснациональных проектах рассматривается как часть успешного карьерного пути.

Ещё одним важным аспектом цифровых решений в управлении карьерой становится использование искусственного интеллекта (ИИ) и HR-аналитики. В международной практике ИИ всё чаще применяется для прогнозирования карьерных траекторий, выявления скрытого потенциала сотрудников, составления персонализированных рекомендаций по обучению и развитию. Алгоритмы анализируют поведение, компетенции, достижения и сопоставляют их с корпоративными стандартами и целями.

Таким образом, цифровые инструменты становятся неотъемлемой частью современного подхода к управлению карьерой и развитием персонала. Они позволяют перейти от интуитивного и фрагментарного подхода к системному сопровождению роста сотрудника на всех этапах его профессионального пути [15, С. 105]. В условиях растущей цифровизации использование подобных инструментов позволяет не просто автоматизировать учёт, но и формировать цифровую экосистему развития, где карьера – это не набор случайных событий, а последовательный и осознанный путь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Базаров Т.Ю.* Управление персоналом. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2021. 359 с.

2. *Корнилова Н.А.* Теория карьеры: социологический и психологический подходы. Казань: Казанский ун-т, 2019. С. 54.

3. *Маслова В.М.* Управление персоналом. М.: Юрайт, 2023. 451 с.

4. *Ушаков М.В.* Социальные аспекты формирования деловой карьеры. М.: Изд-во ИСЭ РАН, 2018. С. 112.

5. *Рябова Е.В.* Управление карьерой персонала: теория и практика. М.: Инфра-М, 2022. 236 с.

6. *Петрова Н.В.* Оценка и развитие кадрового потенциала. М.: ИНФРА-М, 2020. 288 с.

7. *Зайцева Г.А.* Управление персоналом организации. М.: ИНФРА-М, 2020. 208 с.

8. *Кибанов А.Я.* Основы управления персоналом. М.: ИНФРА-М, 2020. 312 с.

9. *Cappelli P.* Talent on Demand: Managing Talent in an Age of Uncertainty. Boston: Harvard Business Press, 2008. 270 p.

10. *Armstrong M.* Armstrong’s Handbook of Human Resource Management Practice. 15th ed. London: Kogan Page, 2020. 760 p.

11. *Ulrich D., Brockbank W.* The HR Value Proposition. Boston: Harvard Business Press, 2005. 320 p.

12. *Иванова И.П.* Стратегии управления персоналом в условиях цифровой трансформации. – М.: КНОРУС, 2022. – 180 с.

13. *Моргунов В.В.* Карьера как объект управления: психолого–управленческий подход. – М.: Академический проект, 2019. – 272 с.

14. Документация CRM Битрикс24: https://www.bitrix24.ru (дата обращения 27.04.2025).
15. *Романов А.В.* Цифровая трансформация управления персоналом. – М.: Проспект, 2021. – 264 с.

CURRENT TRENDS OF BUSINESS CAREER MANAGEMENT AND PERSONNEL DEVELOPMENT IN RUSSIAN SOCIETY

Nesterova A.P.
Supervisor: Akhmetshina A.A., Associate Professor, Candidate of Sociological Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article reveals the features of career management and staff development in modern Russian society. Definitions of key concepts such as objective, subjective, horizontal, project careers, multi-level career development trajectory, digitalization of the career path, career roles are given. The classification of the main tools of personnel development is given, as well as internal and external factors influencing it are highlighted. The role and prospects of using digital solutions in the process of career management and staff development are defined.

УДК 378.4:37.034

АКСИОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ВОСПИТАТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ В ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Пелевина К.М.
Научный руководитель: Лаукарт-Горбачева О.В., зав. кафедрой, к. соц. н.
(Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева, г. Рыбинск)

Аннотация. Статья посвящена анализу формирования традиционных духовно-нравственных ценностей у студентов технических университетов в контексте государственной политики по укреплению национальной безопасности и суверенитета России. Обосновывается эффективность комплексного подхода к воспитательной работе, включающего интерактивные образовательные методы, волонтерскую деятельность, культурно-творческие проекты и междисциплинарные инициативы. Особое внимание уделяется практическому опыту РГАТУ по реализации воспитательных программ через студенческие клубы, культурно-исторические проекты и социально значимые мероприятия. Исследование подтверждает необходимость системного воздействия на формирование ценностных ориентаций будущих инженеров для подготовки социально ответственных специалистов, способных гармонично сочетать технологический прогресс с сохранением культурного наследия.

На недавнем заседании Совета Безопасности по вопросам защиты традиционных духовно-нравственных ценностей Владимир Путин подчеркнул их прямую связь с национальной безопасностью и суверенитетом России. Социальная значимость и приоритетность развития традиционных ценностей декларируется в Указе Президента РФ «Об утверждении Основ государственной политики по сохранению и укреплению традиционных российских духовно-нравственных ценностей» (от 9 ноября 2022 года № 809) [1].

Президент определил духовно-нравственное воспитание молодежи как стратегический приоритет. Молодое поколение должно быть глобально конкурентоспособным, но при этом сохранять связь с традиционными российскими ценностями и не отделять свою судьбу от судьбы страны. В рамках Концепции суверенного мышления подчеркивается, что традиционные ценности формируют особое мировоззрение, которое в сочетании с профессиональными навыками создает «суверенное мышление», способное противостоять

внешнему давлению и защищать национальные интересы. Стратегия развития включает активное продвижение российских ценностей как внутри страны, так и на международной арене в сотрудничестве со странами БРИКС, СНГ и ОДКБ, разделяющими принципы мировоззренческого самоопределения. Развитию заявленных приоритетов способствуют активизация воспитательной работы в образовательных организациях разного уровня, системная работа по историческому просвещению через «Разговоры о важном», активизация деятельности Движения Первых и Юнармии для формирования патриотического каркаса у подрастающего поколения [2].

Воспитательная составляющая образовательного процесса в вузах нацелена на укрепление и развитие традиционных ценностей у студентов. В технических университетах воспитательная работа играет ключевую роль в формировании целостной личности инженера, способного гармонично сочетать технологический прогресс с сохранением культурного наследия и моральных основ общества. Традиционные ценности – такие как уважение к труду, семье, отечеству, честность, ответственность и служение общему благу – создают прочный этический фундамент для будущих специалистов, которые будут принимать решения, влияющие на развитие технологий и их применение. В условиях глобализации и цифровизации особенно важно, чтобы технические специалисты сохраняли связь с национальными и культурными корнями, понимали социальную значимость своей деятельности и руководствовались не только экономической эффективностью, но и принципами морали и духовности. Это позволяет готовить инженеров, которые будут развивать технологии не в ущерб традиционным ценностям, а в гармонии с ними, способствуя созданию более справедливого и устойчивого общества.

Проблемы и перспективы развития патриотического образования как основы устойчивости российского общества на перспективу до второй четверти XXI века обсудили на «Форуме будущего 2050» в МГУ. Заместитель главы Минобрнауки Ольга Петрова отметила проактивную позицию молодежи, которая выражает гражданскую позицию через «деятельный патриотизм» – добрые дела, помощь и здоровый активизм на всех уровнях: от школы до региона. Было подчеркнуто, что системные меры в высшем образовании включают образовательные инициативы (новый базовый учебник «История России», модуль «Основы российской государственности»), практическую деятельность (Ассоциация студенческих патриотических клубов «Я горжусь», программа «Обучение служением», волонтерская деятельность, локальные вузовские мероприятия) и проекты социальной направленности (акция «Вузы для фронта», проекты «Победили тогда, победим и сейчас», «Без срока давности» и др.). Инновационные форматы воспитания используют современные медиа-технологии и культурные платформы: историческая медиашкола, видеоподкасты «Историки против мифов», фестивали «Кино на службе Отечеству», «Российская студенческая весна», проект «Знание. Кино». Участниками Форума отмечено, что формирование общероссийской идентичности в студенческой среде через комплексное сочетание традиционных образовательных методов с современными интерактивными форматами позволяет эффективно укреплять патриотические позиции молодежи в контексте долгосрочного развития страны [3].

В РГАТУ имени П.А. Соловьева воспитательная работа имеет стратегическое значение для подготовки высококвалифицированных специалистов, способных эффективно функционировать в современном технологическом обществе. Она обеспечивает комплексное развитие личности студента, формируя не только профессиональные компетенции, но и социальную зрелость, коммуникативные навыки, лидерские качества и способность к адаптации в быстро меняющейся профессиональной среде. Систематическая воспитательная работа способствует развитию критического мышления, творческого подхода к решению технических задач, формированию профессиональной этики и ответственности за результаты своей деятельности. Особую важность приобретает воспитание у будущих инженеров понимания социальной значимости их профессии, экологической ответственности и готовности использовать технические знания для решения актуальных проблем общества, что

делает выпускников не просто техническими исполнителями, а социально ответственными профессионалами, способными к инновационной деятельности и лидерству в своей области.

С целью определения ценностных установок студентов первого курса РГАТУ и оценки возможностей их развития через социально-гуманитарные дисциплины, в частности «Основы российской государственности», в начале 2024-2025 учебного года было проведено анкетирование. В исследовании приняли участие 283 респондента, среди которых 69% составили мужчины и 31% женщины. Большинство опрошенных (68%) являются выпускниками общеобразовательных школ небольших городов, 17% – крупных городов, 15% – поселков и сел. При этом 73% респондентов окончили обычные общеобразовательные школы, 15% – гимназии и лицеи, 12% – школы с углубленным изучением предметов [4].

Анализ представлений студентов о сущности ценностей показал достаточно зрелое понимание данной категории. Наиболее значимыми содержательными аспектами ценности для опрошенных стали формируемые социокультурной средой идеалы, принципы и убеждения (27%), а также идеи и обоснования, формирующие мировоззрение и поведенческие установки (26%). Каждый пятый респондент (20%) понимает ценности как определенные явления, предметы и их свойства, значимые как для человека, так и для общества в целом. Лишь небольшая доля опрошенных (9%) демонстрирует узкое и эгоцентричное понимание ценностей. В топ-5 наиболее значимых личных ценностей студенты включили здоровье (11%), материально обеспеченную жизнь (10%), наличие хороших и верных друзей (9%), счастливую семейную жизнь (8%) и интересную работу (8%). Характерно, что в нижней части рейтинга оказались духовные и альтруистические ценности: духовное развитие (3%), творческое развитие (3%), счастье других (2%), общественное признание (1%) и гармония с природой (1%). Это свидетельствует о преобладании материально-прагматических ориентаций над духовно-нравственными в сознании современных студентов.

Несмотря на прагматичность личных предпочтений, студенты демонстрируют позитивное отношение к развитию традиционных социальных ценностей в российском обществе. Подавляющее большинство респондентов считают важным развитие сотрудничества и взаимопомощи (92%), милосердия (85%), гражданственности (81%), семейных ценностей (81%), гражданской солидарности (79%). Также высоко оценивается значимость гуманизма (77%), коллективизма (75%), патриотизма (70%) и лидерства (58%). Такие результаты указывают на сохранение в студенческой среде понимания важности коллективистских и патриотических ценностей для общественного развития. Среди внеучебных мероприятий, способствующих развитию ценностных ориентаций, студенты выделили туристические путешествия и тематические клубы по интересам (по 10%), командные спортивные игры и участие в общественных проектах (по 9%). Наиболее эффективными формами работы на занятиях признаны дискуссии и дебаты (14%), деловые игры (13%), интеллектуальные игры и конкурсы (12%).

Воспитательная работа в университете включает в себя несколько аспектов: формирование профессиональной культуры, развитие лидерских качеств, нравственное воспитание, физическое развитие, творческое развитие. В РГАТУ в рамках воспитательной работы в 2024-2025 учебном году были проведены спортивные, творческие, общественно-культурные мероприятия, а также научные конференции, стратегические сессии, встречи с бизнесом и XI международный технологический форум «Инновации. Технологии. Производство».

В университете создан волонтерский отряд «Чайка». Ни одно мероприятие не прошло без волонтеров. Важно заметить, что обучающиеся первого курса очень заинтересованы в данной деятельности и активно помогают в организации и проведении мероприятий. Каждое участие проходит верификацию часов на сайте «Добро.Ру». Таким образом, мы можем сделать вывод, что более активными являются обучающиеся 1 и 2 курсов. Это обусловлено тем, что в возрасте 18-20 лет молодые люди еще не задействованы в исследованиях, крупных проектах, а также еще не задаются вопросом о трудоустройстве. На более поздних курсах обучающиеся начинают подготовку к выпускной квалификационной работе, активно участвуют в научных

проектах и исследованиях, а также нередко вступают в брак, уходят в академический отпуск и активно начинают поиск работы.

Будучи студентом 1 курса бакалавриата за период обучения в моем личном кабинете верифицирован 21 час, 6 добрых дел, а волонтерский опыт включает «Ветераны и Историческая память», «Дети и молодежь», «Образование». По моему мнению, будучи волонтером, мы учимся быть нужными, сопереживать и помогать людям в решении их проблем, а также приобретаем коммуникативные и организаторские навыки.

Кроме волонтерского отряда в РГАТУ с 1983 г. создан студенческий клуб «Прометей», который в настоящее время находится в принадлежащем университету старинном польском Костеле. Несмотря на техническую направленность университета, данный клуб пользуется популярность среди обучающихся всех уровней обучения, в том числе у магистрантов и аспирантов. Важно отметить, что, несмотря на учебную и рабочую загруженность, участники клуба проводят активную культурную деятельность среди обучающихся и популяризуют среди жителей г. Рыбинска. Студенческий клуб «Прометей» включает в себя 7 секций разной направленности: фехтование и исторические танцы, изобразительное искусство, КВН, театральное искусство, музыка, настольные и ролевые игры, а также театра огненного и светового шоу. У каждой секции есть своя история, правила, традиции, которым следует каждый участник. В настоящее время стало популярным такое определение, как культурный код. В рамках дисциплины «Основы российской государственности» данное понятие определяется как система ценностей и информация, позволяющие идентифицировать культуру. По моему мнению, воспитательная работа в клубе направлена на сохранение культурного кода нашего университете, г. Рыбинска и России в целом.

В структуру РГАТУ включен Культурно-просветительский центр «Компас». За прошедший учебный год Центром были проведены такие общественно-культурные мероприятия, как: фест «НЕпоследний звонок», который направлен на привлечение абитуриентов и празднование окончания экзаменов у выпускников школ, и «РГАТУфест», который проводился для обучающихся университета с целью подведения итогов года.

Интересным опытом воспитательной деятельности университета стал культурно-исторический проект «Слагаемые побед. Адмирал Федор Ушаков». В рамках этого проекта был создан фильм «Слагаемые побед. Адмирал Федор Ушаков», снятый при сотрудничестве с Общероссийским движением Поддержки Флота, Рыбинской епархией и музеями. Главными героями выступили обучающиеся первого и пятого курсов университета. Важно отметить, что приняли участие не только обучающиеся РГАТУ, а также ребята из Севастопольского государственного университета, курсанты Государственного морского университета имени адмирала Федора Федоровича Ушакова и Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. Авторами идеи стали ректор РГАТУ Валерий Иванович Кошкин и директор Института общественных наук и международных отношений СГУ Дмитрий Борисович Татарков. В рамках проекта было проведено множество исследований и поисков. Учащиеся и преподаватели проделали колоссальную работу, как в библиотеке, так и вне её. Читали книги, общались с экспертами, которые потратили всю свою жизнь на изучение биографии Федора Федоровича Ушакова, посещали тематические выставки, посвящённые, как лично Ушакову, так и морскому флоту, той эпохи. В связи с широкой географией исследования, съемки проходили в Рыбинске и Рыбинском районе, Санкт-Петербурге, Москве, Севастополе, Новороссийске. В реализации картины задействованы историки, писатели, научные сотрудники музеев, священнослужители и морские офицеры. Считаю необходимым отметить, что в связи с тем, что РГАТУ были инициаторами данного проекта, то именно эта площадка была выбрана главной для презентации фильма. Реализация подобных проектов является важной формой активности, способствующей развитию культурного наследия нашей Родины, сохранению исторической памяти, развитию патриотических и гражданских ценностей обучающихся.

Таким образом, изучая аксиологический потенциал воспитательной работы в техническом университете на примере РГАТУ, можно сделать следующие выводы:

- воспитательная работа в университете является одним из важных инструментов для формирования традиционных духовно-нравственных ценностей, рассматриваемых как основа национальной безопасности и суверенитета России. Формирование «суверенного мышления» через сочетание профессиональных навыков с традиционными ценностями становится приоритетным направлением государственной политики;

- в техническом вузе воспитательная работа наиболее результативна при использовании интерактивных форм (дискуссии, деловые игры, волонтерство) и практической деятельности. Особенно активны студенты младших курсов, что обусловлено их меньшей загруженностью академическими и карьерными вопросами;

- реализация культурно-исторических проектов типа «Слагаемые побед. Адмирал Федор Ушаков» демонстрирует эффективность междисциплинарного подхода, объединяющего образовательную, культурную и патриотическую составляющие через практическое участие обучающихся;

- успешное формирование традиционных ценностей требует комплексного воздействия через образовательные дисциплины («История России», «Основы российской государственности» «Обучение служением» и др.), внеучебную деятельность (волонтерство, творческие клубы) и социально значимые проекты, что позволяет преодолеть разрыв между теоретическим пониманием и практическим усвоением ценностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Об утверждении Основ государственной политики по сохранению и укреплению традиционных российских духовно-нравственных ценностей [Электронный ресурс]: Указ Президента Российской Федерации от 9 ноября 2022 года № 809 // Консультант Плюс: законодательство РФ. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_430906/?ysclid=m26dq1w3b1831569928 (дата обращения: 10.06.2025).

2. Заседание Совета Безопасности Российской Федерации (10 июня 2025 г.). URL: http://www.kremlin.ru/events/president/news/77160 (дата обращения: 10.06.2025).

3. Форум будущего 2050. URL: https://forumfuture2050.ru/ (дата обращения: 10.06.2025).

4. *Лаукарт-Горбачева О.В., Сидоров Л.Г., Лихоманова А.А.* Аксиологический потенциал учебной дисциплины «Основы российской государственности» в техническом вузе / Стратегические ориентиры развития высшего образования: управление кадровым потенциалом. Сборник статей I Всероссийского форума преподавателей высшего образования «Академическое сообщество 2024»: сборник статей / коллектив авторов; под ред. Е.В. Ляпунцовой и Ю.М. Белозеровой. Москва: КНОРУС, 2025. С. 643-649.

AXEOLOGICAL POTENTIAL OF EDUCATIONAL WORK AT A TECHNICAL UNIVERSITY

Pelevina K.M.

Supervisor: Laukart-Gorbacheva O.V., Candidate of Sociological Sciences,

(Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solovyov, Rybinsk)

Abstract. The article is devoted to analyzing the formation of traditional spiritual and moral values among students of technical universities in the context of state policy for strengthening Russia's national security and sovereignty. The effectiveness of a comprehensive approach to educational work is substantiated, including interactive educational methods, volunteer activities, cultural and creative projects, and interdisciplinary initiatives. Special attention is given to the practical experience of the Rybinsk State Aviation Technical University in implementing educational programs through student clubs, cultural and historical projects, and socially significant events. The study confirms the necessity of systematic influence on the formation of value orientations of future engineers to prepare socially responsible specialists capable of harmoniously combining technological progress with the preservation of cultural heritage.

УДК 316.34

МОЛОДЕЖЬ КАК СОЦИАЛЬНО-ФИЛОСОФСКАЯ КАТЕГОРИЯ В ИНДУСТРИАЛЬНОМ И ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОМ ОБЩЕСТВАХ

Протасова А.К.
Научный руководитель: Мезина Н.А., доцент, к. э. н.
(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва)

Аннотация. В статье рассматривается молодежь как социально-философская категория, отражающая изменения в обществе в индустриальную и постиндустриальную эпохи. Анализируется трансформация роли молодежи от воспринимаемой как рабочей силы в индустриальном обществе к активному создателю идей и технологий в постиндустриальном, а также поднимаются актуальные вопросы: безработица и психическое здоровье.

Молодежь представляет собой уникальную социально-философскую категорию, отражающую динамику и изменения в обществе, как в индустриальную, так и в постиндустриальную эпоху. Категория охватывает не только возрастные рамки, но и культурные, социальные, экономические и психологические аспекты. Молодежь формирует свою идентичность через взаимодействие с окружающим миром: поиск своего места в обществе, развитие ценностей и норм, а также формирование групповой принадлежности. С точки зрения философии, молодежь может рассматриваться как символ надежды и перемен. Философами обсуждаются вопросы свободы выбора, поиска смысла жизни и места человека в обществе [1].

Молодежь отражает не только текущие социальные реалии, но и формирует будущее общества через свои действия, идеи и стремления.

Характерными чертами индустриального общества являются:

- наличие сплоченной нации-государства;
- урбанизация общества;
- рост грамотности населения;
- применение науки во всех сферах жизни;
- преодоление машинного производства, перерастающее в фабрики;
- исключение натурального хозяйства.

Особенностью индустриального общества является культура. Именно благодаря культуре человек может адаптироваться к существующим реалиям, формируя человеческое сознание. Индустриализация породила много новых социальных процессов, которые в свою очередь, акцентировали внимание на проблемах взросления человека и способствовали выделению молодости как особого периода становления личности [2].

В индустриальном обществе молодежь часто воспринимается через призму рабочей силы, что обусловлено необходимостью заполнения производственных вакансий и поддержания экономического роста [3]. На этом этапе молодые люди сталкиваются с жесткими социальными структурами, которые формируют их идентичность и жизненные ориентиры. Социальные институты, такие как семья и образовательные учреждения, акцентируют внимание на трудовой этике и коллективизме, что зачастую ограничивает индивидуальные стремления молодежи. Однако молодежь играла важную роль в социальных движениях. Особенно в 1960-70-х годах, когда активисты выступали за права человека, гражданские права и социальные изменения.

Если в индустриальном обществе статус определяется местом в экономической структуре, иными словами – относится к классу, то в постиндустриальном обществе статус формируют образование, культуру, профессионализм и проч.

С переходом к постиндустриальному обществу роль молодежи претерпевает значительные изменения. Здесь акцент смещается на знания, информацию и креативность, что открывает новые горизонты для самовыражения и социальной мобильности. Молодежь

становится не только потребителем информации, но и активным создателем новых идей и технологий. В этом контексте она начинает играть ключевую роль в социальных изменениях, используя цифровые технологии для организации, коммуникации и активизма. Постиндустриальное общество характеризуется ростом индивидуализма, что позволяет молодежи более свободно исследовать свои интересы и жизненные цели [4].

Молодежь как социальная общность постиндустриальной информационной реальности должна обладать следующими способностями:

- принятие критических решений;
- освоение большого количества информации;
- быстрая ориентация в любой ситуации.

Особенности молодёжи в постиндустриальном обществе:

- самостоятельность и целеустремлённость личности, смена приоритетов саморазвития в сторону большей нацеленности на самообразование, самореализацию, личностный и карьерный рост.

- новый средний класс, который составляют лица, занятые высококвалифицированным интеллектуальным, творческим трудом, самостоятельно добивающиеся собственного благополучия и статуса, отличающиеся активностью не только в экономической, но и в социальной сфере.

- изменение мотива занятия научно-исследовательской деятельностью: основными становятся достижение высокого материального положения, построение успешной карьеры, завоевание высокого статуса в обществе и т. д.

Согласно данным ЮНЕСКО к 2026 году более 50% всех рабочих мест в мире будут требовать высшего образования или профессиональной подготовки. Это свидетельствуем о том, что молодежь должна адаптироваться к новым требованиям рынка труда, что в свою очередь подчеркивает важность знаний и навыков в постиндустриальном обществе.

Однако с новыми возможностями приходят и новые вызовы. Молодежь сталкивается с проблемами безработицы, нестабильности на рынке труда и психического здоровья. В условиях глобализации и быстрого технологического прогресса возникают вопросы о социальной справедливости и доступе к ресурсам [4]. Эти проблемы требуют философского осмысления, так как они затрагивают основные аспекты человеческого существования — смысл жизни, идентичность и социальные связи. По данным ООН более 25% молодежи в развивающихся странах рассматривают возможность миграции за границу для улучшения своих жизненных условий, это свидетельствует о стремлении к социальной мобильности и поиску новых возможностей.

Ключевые аспекта, которые подчеркивают значимость молодежи в современном мире:

1. Креативность и инновации: В постиндустриальном обществе акцент на знания и креативность приводит к тому, что молодежь становится источником новых идей и решений.

2. Цифровая грамотность: Поскольку цифровые технологии становятся основой коммуникации и взаимодействия, молодежь использует свои навыки для создания контента, ведения блогов, работы в социальных сетях и участия в онлайн-активизме.

3. Социальные изменения и активизм: Молодежь активно использует платформы социальных сетей для организации протестов, экологические инициативы и другие социальные движения.

4. Индивидуализм и самовыражение: Постиндустриальное общество способствует росту индивидуализма, что позволяет молодежи исследовать свои интересы, идентичности и жизненные цели.

5. Образование и постоянное обучение: В условиях быстро меняющегося мира молодежь понимает важность непрерывного образования и саморазвития.

Безработица и нестабильность на рынке труда подчеркивает необходимость переосмысления традиционных моделей образования и карьерного роста. Век информации и постоянной связи может приводить к перегрузке, чувству изоляции и депрессии. Молодежь

часто испытывает давление со стороны общества, ожидающего от него успеха и соответствия идеалам. Также проблемы могут возникать из-за самих представителей поколения Z.

Поколение Z, также известное как «цифровое поколение», включает людей, родившихся примерно с середины 1990-х до начала 2010-х годов. Это поколение выросло в эпоху стремительных технологических изменений и глобализации, что оказало значительное влияние на их восприятие работы и карьеры, также оно сталкивается с уникальными вызовами на рынке труда, но также обладает возможностями для адаптации и изменения подходов к работе. Для успешного трудоустройства важно развивать навыки, быть открытым к новым возможностям и активно искать пути самореализации.

Специалисты по подбору персонала жалуются, что многим молодым специалистам, учитывая, что они более эффективны в онлайн или удаленных задачах, чем предыдущее поколение, при этом им не хватает навыков, таких как умение работать в команде, организационные навыки и самообладание.

В индустриальном обществе безработица часто связана с экономическими циклами, такими как рецессии и депрессии. Социальные проблемы, такие как бедность и отсутствие доступа к медицинской помощи, например, могут усугубить психологическое здоровье.

Говоря о безработице в постиндустриальном обществе, то акцент смещается на услуги и технологии. Появляется новый феномен – «цифровая безработица», когда автоматизация и искусственный интеллект угрожают традиционным рабочим местам. Растает уровень тревожности и неопределенности относительно будущего посредством постоянного изменения технологий и рынка труда. По данным Росстата, в январе 2025 года уровень безработицы в России по сравнению с декабрем 2024 года составил 2,4%, при этом на молодежь до 25 лет среди безработных пришлось 19%.

В обоих обществах важность образования и возможности для переобучения становятся критическими для адаптации к изменениям на рынке труда. Однако в постиндустриальном обществе акцент смещается на навыки, связанные с технологиями и креативностью.

Постиндустриальное общество перенасыщено информацией, поэтому создать сегодня что-то новое практически невозможно. Однако изменились мотивы в проведении научно-исследовательской деятельности: повысить материальное положение, построить успешную карьеру и проч. В настоящий момент молодежь занимается научной деятельностью, реализуя свой интеллектуальный потенциал, с целью практической пользы, иными словами технологическая революция, в которая может приносить хороший доход. В связи с этим существует тенденция старения российской науки, низкое качество знаний, претендующего на новизну, а также изменение ценности науки для молодежи [2].

Таким образом, молодежь как социально-философская категория является важным объектом исследования в контексте изменений, происходящих в обществе. Понимание ее роли в индустриальном и постиндустриальном обществах позволяет не только выявить актуальные проблемы, но и разработать стратегии поддержки молодежи, способствующие ее интеграции в современный мир. В конечном итоге, молодежь — это не просто переходный этап жизни, а активный участник социокультурных изменений, способный влиять на будущее своего общества.

Также важно учитывать, что молодежь обладает уникальными перспективами и креативными подходами к решению современных проблем. Их активное участие в общественной жизни, волонтерских движениях и инновационных проектах может значительно ускорить процесс социальных изменений и сделать общество более адаптивным к вызовам времени. Поддержка молодежи не только способствует ее развитию, но и является инвестициями в будущее всего общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Бахтин М.К.* Философия молодежи. СПб.: Азбука, 2000.

2. *Кузнецов В.Н.* Социология молодежи: Учебник/ Под ред. Д-ра социол. Наук, проф., чл.-корр. РАН В.Н. Кузнецова. М.: Гардарики, 2005. 335 с.

3. Youth &Society: Shaping the Future Together. — Текст: электронный. — 2024.— URL: https://journals.sagepub.com/ (дата обращения 30.06.2025).
4. *Усынина Н.И*. Определение сущности понятия «Молодежь» // Вестник Удмуртского университета. Серия «Философия. Психология. Педагогика». 2013 № 1. С. 26-28.

YOUTH AS A SOCIO-PHILOSOPHICAL CATEGORY IN INDUSTRIAL AND POST-INDUSTRIAL SOCIETIES

Protasova A.K.
Supervisor: Mezina N.A., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow)

Abstract. The article examines youth as a socio-philosophical category reflecting changes in society in the industrial and post-industrial era. It analyzes the transformation of France's role, perceived as a labor force in an industrial society in relation to an active creator of ideas and technologies in a post-industrial one, and also raises topical issues: unemployment and mental health.

УДК 316.733

СОЦИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ ДОСТУПНОСТИ ИНТЕРНЕТ-ДОСУГА ДЛЯ МОЛОДЫХ ИНВАЛИДОВ

Сахнова А.В.
Научный руководитель: Курганова С.В., к. соц. н.
(*Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов)*

Аннотация. В статье представлен анализ интернет-досуговых практик молодых россиян с ограниченными возможностями здоровья, основанный на результатах опроса 87 участников в возрасте 16-35 лет. Рассматриваются особенности использования интернета в зависимости от пола, группы инвалидности, возраста и места проживания, а также выявляются основные причины и предпочтения в организации досуга. Сделан вывод о необходимости индивидуализированного и комплексного подхода к развитию интернет-досуговых возможностей для данной категории населения с целью их социальной интеграции и самореализации.

Интернет - это очень важный ресурс, который становится окошком в мир и средством для обогащения содержания жизни людей с ОВЗ. Инвалиды очень дифференцированная группа и есть категории, которым определенный вид досуга более или менее доступен. Мы рассмотрим категории, которые наиболее активно проявляют себя в интернет досуге [1].

Для изучения данной проблемы, в феврале-марте 2024 года был проведен интернет-опрос среди молодых россиян с ограниченными возможностями здоровья. Поиск целевой группы проводился на Интернет-форумах и в социальных сетях, таких как «Dislife», форум инвалидов «Дискуссионный клуб», «Соседи». Всего в анкетировании приняло участие 87 человек в возрасте 16-35 лет, из которых 50,6% мужчин и 49,4% женщин. 25,3 % инвалиды 1 группы, 16,1 % инвалиды 2 группы, 58,6 % инвалиды 3 группы.

Из результатов анкетирования стало известно, что 93,1% респондентов пользуются интернетом, причем 71,3% опрошенных делают это практически ежедневно, что указывает на активное пользование [2].

Были выявлены причины, из-за которых респонденты не уделяют время интернет-досугу. Мужчинам больше не хватает финансов (22,7%) на организацию досугу, чем женщинам (9,3%) ($Хи^2(1) = 2,903$, $p=0,08$). Причинами нехватки финансов могут являться определенные предпочтения в досуге. Одной из причин может выступать отношение к деньгам. Женщины чаще планируют бюджет и стараются избегать ненужных трат, тогда как мужчины

могут быть склонны к импульсивным покупкам и большим расходам на развлечения. Это может объяснять, почему у мужчин возникает ощущение нехватки финансов для досуга, хотя объективно их доходы могут быть выше [3].

Интересно, что основные виды интернет-досуга для молодых инвалидов включают просмотр видео, фильмов, сериалов (63,2%), общение в социальных сетях (57,5%), онлайн игры (47,1%), участие в социальных группах и форумах (40,2%), сетевые игры (35,6%), онлайн-мероприятия (28,7%), прослушивание музыки (23%). Таким образом, можно сказать, что люди с ограниченными возможностями интегрируются в общество опосредованно благодаря таким ресурсам как: просмотр видео, фильмов, сериалов, прослушивание музыки, тогда как: общение в социальных сетях, участие в группах и форумах, онлайн мероприятиях дает активное общение, новые социальные связи [4].

В большинстве, именно женщины используют прослушивание музыки как способ организации Интернет-досуга (32,6%) ($Хи^2(1)=4,398$, $p=0,036$). Прослушивание музыки женщинами, в данном случае, является гендерным предпочтением. Остальные виды занятий одинаковы свойственны и мужчинам, и женщинам.

Еще одним приоритетным способом организации досуга является просмотр видео, фильмов, сериалов, которые наиболее распространены среди пенсионеров (100%), что отличает их от наемных работников (78,3%), школьников и студентов (55%), само занятых (53,8%), безработных (42,9%) ($Хи^2(4)=7,551, p=0,109$). Пенсионеры с инвалидностью проводят больше времени за просмотром видео по сравнению с другими группами населения. Причиной может служить наличие большего количества свободного времени, из-за ограничений в физической активности и трудовой деятельности. Это позволяет им чаще заниматься просмотром видео, что становится для них доступным и увлекательным способом провести время.

Выяснилось так же, что респонденты мужского пола не слишком вникают в деятельность социальных проектов, направленных на поддержку инвалидов ($\dot{x}_{ср} = 2,51$), женщины же считают такие проекты важными и необходимыми ($\dot{x}_{ср} = 2$). Это может быть связано с тем, что мужчины и женщины могут иметь разные интересы и приоритеты в жизни. Мужчины могут уделять больше внимания карьере, спорту или техническим аспектам, в то время как женщины могут быть более заинтересованы в вопросах семьи, воспитания детей и социальной справедливости.

Еще одной характеристикой выступал размер населенного пункта и его влияние на присутствие интернета в различных сферах жизни инвалидов. Было выяснено что, чем меньше размер населенного пункта, тем меньше влияние интернета на сферы жизни общества. Тау-в (85)=-0,168 p=0,059.

В крупных городах развитая инфраструктура обеспечивает высокоскоростной доступ к интернету, в то время как в небольших населённых пунктах доступ к качественному интернету ограничен из-за отсутствия развитых сетей связи. Это создаёт трудности для людей с ОВЗ в использовании онлайн-сервисов и образовательных платформ. Влияние интернета снижается из-за комплекса факторов, включая инфраструктуру, доступность услуг, уровень цифровой грамотности, экономическую доступность и социальную поддержку.

И последней сравнимой мерой выступает доход. Люди с высоким доходом имеют больше возможностей для удовлетворения своих потребностей благодаря доступу к качественным медицинским услугам, личным помощникам и специализированным объектам. Это позволяет им меньше полагаться на интернет при поиске информации о здоровье, работе, образовании и других аспектах жизни. Кроме того, из-за занятости на работе или в бизнесе у них может быть меньше свободного времени для активного использования интернета. Тау-с (85)=0,118 p=0,163 [5].

Таким образом, анализ данных показал, что досуговые практики в основном ориентированы на определенные группы инвалидности, и требуют большего разнообразия и индивидуализации подходов. Включение молодых инвалидов в общественную жизнь через досуговые мероприятия способствует их самореализации, развитию творческих способностей,

формированию социального круга, карьерному росту. Исследование подтвердило необходимость комплексного подхода к организации досуга для молодых инвалидов, включающего учет их демографических характеристик, индивидуальных потребностей и социальных барьеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Асанова И.М.* Организация культурно-досуговой деятельности: учебник для студ. учреждений высш. проф. Образования / И.М. Асанова, С.О. Дерябина. — Москва: Издательский центр ≪Академия≫, 2011. — 192 с.

2. *Зиммель Г.* Социальная дифференциация // Тексты по истории социологии XIX-XX вв. М.: Наука, 1994. – 339 с.

3. *Козлитина О.В., Масловская Ю.С., Турищева Л.В.* Психологические аспекты инклюзивного образования // Всё для администратора школы. 2015. - №9(45). - С.33-45.

4. *Паршутина С.В.* Методическая деятельность в условиях инклюзивного образовательного процесса // Теория и практика образования в современном мире: материалы VII Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). - СПб.: Свое издательство, 2015. - С. 116-119.

5. *Рябова Ю.В.* Правовой аспект социокультурной политики в отношении лиц с инвалидностью (на примере международного законодательства) // Право: история, теория, практика: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). - СПб.: Свое издательство, 2015. - С. 139-141.

SOCIAL FACTORS OF ACCESSIBILITY OF INTERNET LEISURE FOR YOUNG PEOPLE WITH DISABILITIES

Sakhnova A.V.

Supervisor: Kurganova S.V., Candidate of Sociological Sciences.

(Saratov National Research State University named after N. G. Chernyshevsky, Saratov)

Abstract. The article presents an analysis of online leisure practices of young Russians with disabilities, based on the results of a survey of 87 participants aged 16-35 years. The features of Internet use depending on gender, disability group, age and place of residence are considered, as well as the main reasons and preferences in leisure activities are identified. The conclusion is made about the need for an individualized and integrated approach to the development of online leisure opportunities for this category of the population in order to integrate them socially and self-actualize.

УДК 316.733

ИНДИВИДУАЛИЗАЦИЯ КАК ТЕНДЕНЦИЯ СОВРЕМЕННОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ В СФЕРЕ МОДЫ

Серазетдинова Д.М.

Научный руководитель: Галимуллина Н.М., доцент, к. и. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе раскрывается тема индивидуализации и кастомизации в модной индустрии как современная тенденция. Автор приводит результаты социологического опроса, направленного на оценку отношения молодежной аудитории к индивидуальному дизайну аксессуаров. Проведенный анализ может послужить обоснованием потенциальной востребованности проекта по созданию изделий индивидуального дизайна.

Мода является одной из составляющей социальной жизни и концептом, отображающим определенные культурные особенности в демографическом, историческом, экономическом и иных контекстах. Мода реализует ряд функций, как эстетических, так и социальных

(обозначение социального статуса, выражение позиции по социально-значимым вопросам, способ произвести определенное впечатление) [1]. Иными словами, мода служит средством социальной коммуникации, самовыражения, демонстрации статуса и принадлежности к определенным группам, эстетического удовольствия и развлечения.

В то же время Масленцева Н. Ю. отмечает нивелировку индивидуальности как одну из дисфункций моды за счет ориентация на западные и американские культурные образцы, подражание молодежным кумирам» [2].

Согласимся, что модная индустрия испытывает последствия пандемии 2020 г. с локдауном, когда закрытие магазинов дало определенный толчок к переосмыслению личного отношения к потреблению вещей, активному использованию экодизайна и кастомайзинга. Под кастомайзингом понимается декорирование и переделка уже готовых вещей в соответствии с пожеланиями их владельца [3]. Фактически это индивидуализация отношений производителя и потребителя [4]. Кастомайзинг дает возможность проявить свою креативность, уникальность, ведь в современном обществе большинство людей через одежду пытаются показать свое «Я» [5].

В рамках проведения исследования, направленного на изучение потребительских предпочтений и ожиданий жителей Казани относительно вещей с индивидуальным дизайном, автором работы был проведен анкетный опрос, в котором приняло участие 40 респондентов. Для относительной репрезентативности выборки в опросе приняли участие как женщины (72,5%), так и мужчины (27,5%), также, был выбран разный возраст у респондентов.

Возраст большинства опрошенных сотрудников составил от 18 до 24 лет (10 человек, 25%), а также от 35 до 44 лет (10 человек, 25%). Третья по численности возрастная группа респондентов включала 9 человек (22,5%), чей возраст находился в диапазоне от 25 до 34 лет.

Две оставшиеся возрастные группы, принимавшие участие в опросе, формируют собой группы респондентов в возрасте от 45 до 54 лет (8 человек, 20%), а также от 55 до 64 лет (3 человека, 7,5%) (рис. 1). Респонденты в возрасте от 65 лет и старше участие в опросе не принимали.

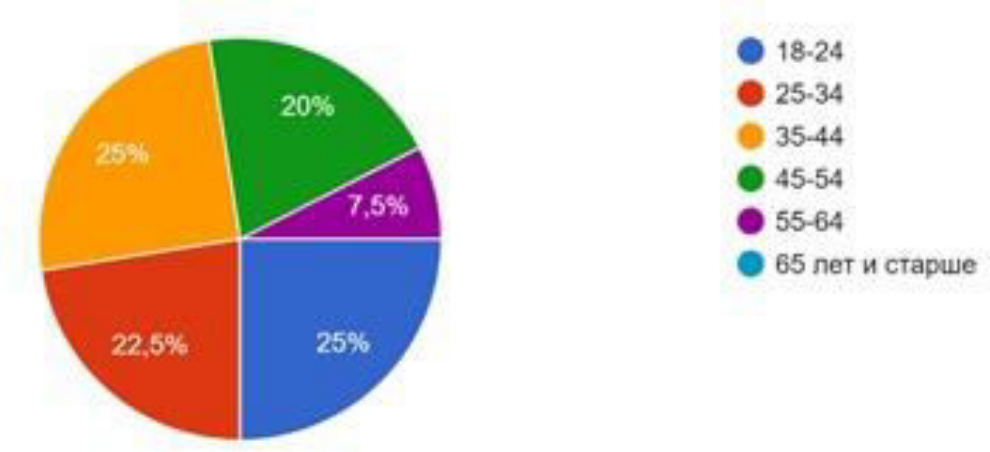


Рисунок 1. Возраст респондентов, в % к числу опрошенных

В ходе проведения анкетного опроса важным было выяснение отношения респондентов к вещам ручной работы, а именно их отношение к вещам с индивидуальной росписью и вязаным сумкам. Из представленных результатов опроса можно сделать вывод о том, что в основном, респонденты положительно относятся к кастомизированным изделиям, поставив 5 баллов из 5 возможных (67,5%). Однако, меньшинство опрошенных, все же, отметили свое скептичное или негативное отношение к данным товарам (рис. 2).

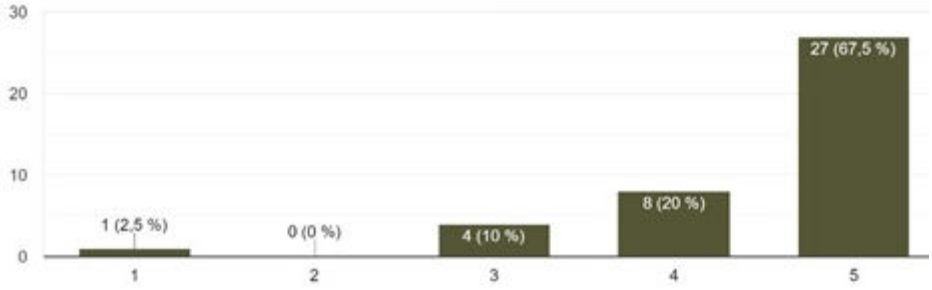


Рисунок 2. Распределение ответов на вопрос: «Укажите, пожалуйста, на представленной ниже шкале, как Вы относитесь к товарам ручной работы, вещам с индивидуальным дизайном?», в % к числу опрошенных

Также, следует отметить и то, что доминирующее большинство анкетируемых выразили желание приобрести эксклюзивную вещь (85%) (рис. 3).

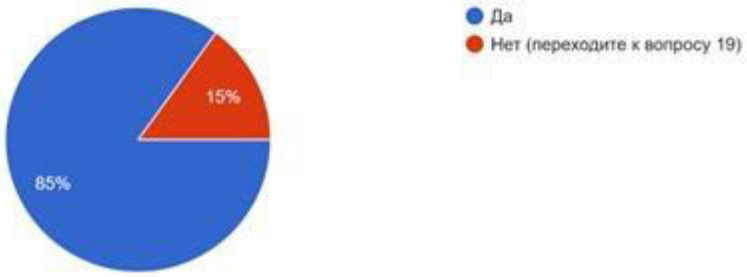


Рисунок 3. Распределение ответов на вопрос о том, хотели бы респонденты приобрести вещь с индивидуальным дизайном, в % к числу опрошенных

Эти результаты созвучны с результатами более масштабного исследования, которое выявило, что отношение к индивидуализации связано с возрастом. Если школьники чувствуют себя не вполне уверенно и склонны копировать модели поведения других, более успешных людей (звезд шоу-бизнеса – актрис, певиц, моделей), то студенты выражают более радикальный настрой, демонстрируя свою независимость и самобытность [6].

Так как анкетирование было направлено на изучение мнений потенциальных потребителей, считается важным отметить, что в вопросе о предпочтительных типах товаров, лидирующее положение взяли аксессуары (шарфы, украшения и т.д.) (27 человек, 75%). Анализ данных ответов может показать, что бренду, возможно, следует развиваться и в других направлениях, например, в создании эксклюзивных аксессуаров и украшений (рис. 4).

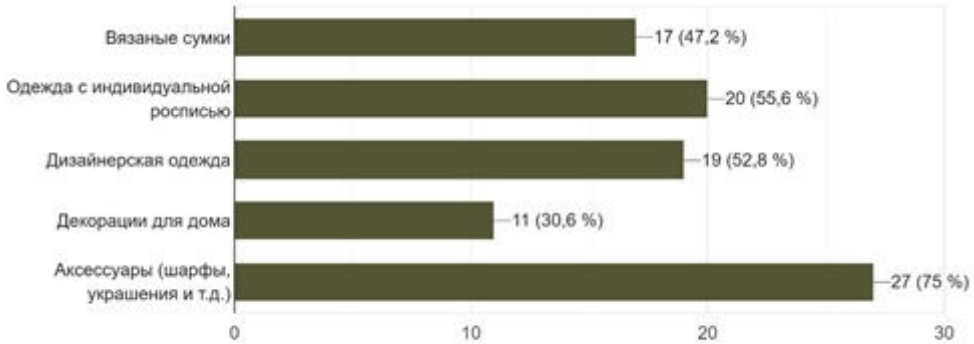


Рисунок 4. Распределение ответов на вопрос: «Какие типы товаров Вам наиболее интересны?», в % к числу опрошенных

Вопросы о ценовой политике также являются важными и показательными для бренда. По результатам обоих вопросов выяснилось, что практически половина опрошенных готовы заплатить от 2000 до 4000 руб. как за вещь с индивидуальной росписью (18 человек, 58,1%) (рис. 5), так и за вязаную сумку (14 человек, 51,9%) (рис. 6).

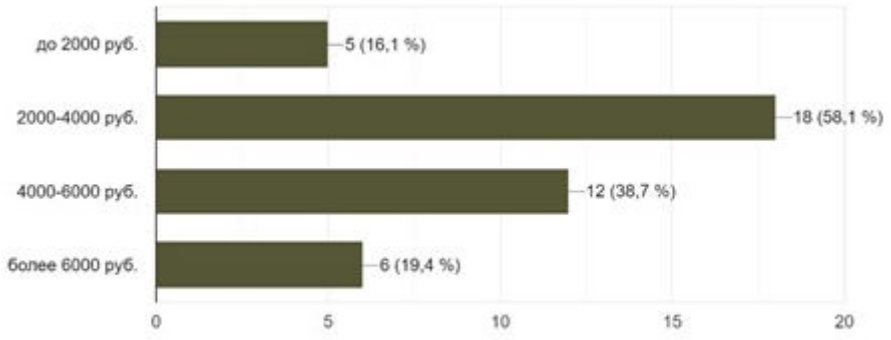


Рисунок 5. Распределение ответов на вопрос о том, какой максимальной ценовой предел респонденты готовы заплатить за вещь с индивидуальной росписью, в % к числу опрошенных

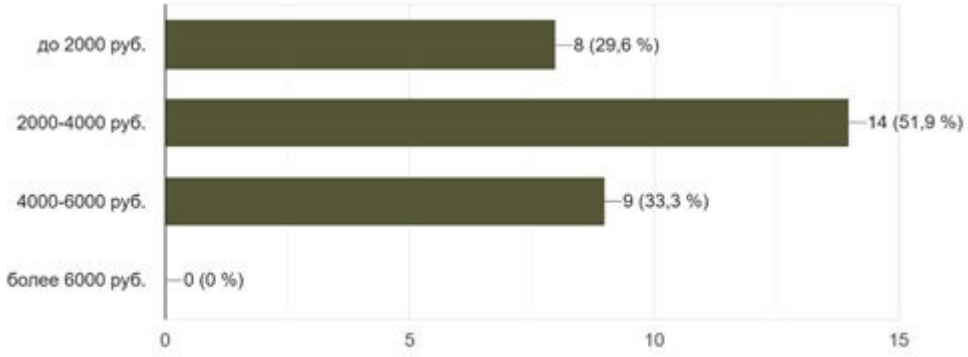


Рисунок 6. Распределение ответов на вопрос о том, какой максимальной ценовой предел респонденты готовы заплатить за вязаную сумку, в % к числу опрошенных

Таким образом, по результатам опроса можно сделать несколько выводов: потенциальные потребители положительно относятся к кастомизированным изделиям; следует обратить внимание на нишу аксессуаров ручной работы; чтобы привлечь еще больше потенциальных покупателей; потребители, в основном, рассчитывают потратить на эксклюзивные вещи от 2000 до 4000 рублей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Игнатенко Е.А.* Мода: эстетические и социальные функции // Вестник СПбГИК. 2023. №3 (56). С. 120-124.

2. *Масленцева Н.Ю.* Молодежная мода в одежде в условиях современной России: Социологический анализ: диссертация на соискание ученой степени кандидата социологических наук: 22.00.06. Екатеринбург, 2003. 135 с.

3. *Митрохина Т.А.* Кастомайзинг одежды как проектная технология в экодизайне костюма // Сборник трудов II международной научно-практической конференции «Инновации и дизайн». 2022. №1. С.176-178.

4. *Баркова Н.Ю.* Массовая кастомизация в индустрии моды // Вестник ГУУ. 2018. №5. С. 85-90.

5. *Керопян Г.Б., Чижова Н. В.* Кастомизация одежды как один из способов осознанного потребления // Вестник науки. 2023. №12 (69). С. 1385-1389.

6. *Репецкая А.И.* Отношение различных групп молодежи к моде и модной одежде // Материалы XXII Международной конференции памяти профессора Л. Н. Когана «Культура, личность, общество в современном мире: методология, опыт эмпирического исследования». 2019. С. 604-609.

INDIVIDUALIZATION AS A TREND OF MODERN FASHION CONSUMPTION

Serazetdinova D.M.
Supervisor: Galimullina N.M., Associate Professor, Candidate of Historical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper reveals the topic of individualization and customization in the fashion industry as a modern trend. The author presents the results of a sociological survey aimed at assessing the attitude of the youth audience to the individual design of accessories. The conducted analysis can serve as a justification for the potential demand for a project to create individual design products.

УДК 316.35

МОЛОДЕЖЬ В ЦИФРОВОМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Серягин Р.О., Хошимов Б.О.
Научный руководитель: Нагматуллина Л.К., доцент, к. соц. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается цифровое образовательное пространство как источник формирования новых знаний и навыков, способных обеспечить современной молодежи успешную личностную и профессиональную самореализацию. Показаны преимущества использования цифровых технологий в образовательной среде. Авторы отмечают, что для молодых поколений, являющихся носителями цифровой культуры, ключевую роль в достижении намеченных жизненных целей играет цифровая образовательная среда, содействующая формированию молодежи технологически грамотной, социально ответственной, способной реализовывать проекты развития страны.

В настоящее время динамичной цифровизации всех сфер жизни общества, кардинальным образом изменившей картину современного мира и неуклонно приближающей человечество к моменту технологической сингулярности, информационные средства трансформировали и наполнили повседневное жизненное пространство множеством нововведений, способных сделать жизнь человека не только проще, но и открыть новые перспективы для дальнейшего качественного совершенствования и развития различных областей деятельности.

Для молодых поколений, активно осваивающих цифровые инновации и интенсивно реализующих стратегию жизненного сценария при активном задействовании возможностей цифрового пространства, и для которых его «ценность все более набирает вес, становится местом сосредоточения интересов, устремлений, площадкой реализации инициатив» [1], цифровая среда становится также источником формирования дополнительных ресурсов в виде новых знаний и навыков, способных обеспечить в дальнейшем успешную личностную и профессиональную самореализацию, стимулировать процесс «раскрытия потенциала и талантов молодых людей»[2].

Обеспечить приобретение молодежью глубоких знаний, раскрытие потенциала ее возможностей и формирование умения эффективно распоряжаться интеллектуальным ресурсом, а в дальнейшем - конкурентоспособность и востребованность на современном рынке труда при одновременном повышении статуса в системе специалистов с аналогичным

образованием, в сложившейся практике организации образовательного процесса в высших учебных заведениях, позволяет использование цифровых технологий.

Среди наиболее значимых видов и форм онлайн-активности, наполняющих жизнь современной молодежи, наиболее значимой является использование цифровой среды в целях обучения. Так, в высших учебных заведениях сформировано пространство, сочетающее в себе как традиционные методы обучения, так и основанные на применении информационных технологий. Новые цифровые образовательные практики не стремятся конкурировать с традиционными технологиями обучения, а лаконично их дополняют, формируя сбалансированную систему получения новых знаний и навыков. Формат сочетания двух образовательных парадигм позволяет организовывать на качественно новом уровне весь процесс обучения, обеспечивать его эффективность, формируя благоприятные условия для воспитания высокообразованных молодых людей, способных обогатить отечественные организации персоналом с уровнем профессионализма, соответствующего современным требованиям рынка труда.

Для современной молодежи, являющейся объектом активного воздействия цифровых технологий, такое их свойство как интерактивность позволяет в процессе обучения осуществлять самостоятельное планирование образовательной траектории, вести диалог между участниками образовательного процесса, поддерживая, таким образом, интерес к изучаемому материалу и формируя эмоциональную связь с представляемым материалом, что в свою очередь может усиливать мотивацию к обучению и обмену мнениями[3] в процессе получения знаний.

Одним из ключевых преимуществ использования цифровых технологий в образовательном пространстве является наличие возможности индивидуализации образовательного процесса, когда предлагаемые программы обучения возможно адаптировать под уникальные потребности и интересы обучающихся, вовлекая их в учебный процесс и повышая эффективность усвоения материала.

Современные образовательные программы, выстроенные с учетом интеграции традиционных и цифровых технологий, способны обеспечить развитие навыка самостоятельного изучения материала, формирование умения работать с большими массивами информации, когда обучающиеся учатся не только добывать необходимую информацию, но и анализировать, систематизировать ее, критически оценивать и выделять ключевые моменты из обширного объема знаний. Продуктивно в этом плане использование в образовательном процессе онлайн-курсов, видеокурсов, электронных учебников, разработанных ведущими учеными и экспертами в различных областях и специалистами-практиками, имеющими большой опыт работы, а также различных цифровых платформ, электронных библиотечных систем. Так, например, в Казанском национальном исследовательском техническом университете (КНИТУ-КАИ) успешно внедрена и активно используется в процессе обучения онлайн-платформа Blackboard Learn, которая является одним из элементов цифровой образовательной среды вуза. В рамках этой системы для каждой дисциплины создается и поддерживается виртуальное образовательное пространство в форме структурированного электронного курса. Каждый такой курс представляет собой целостную цифровую среду обучения, содержащую полный комплекс необходимых учебно-методических материалов различного формата.

Курсы наполнены лекционными презентациями, разработанными с применением современных технологий, что значительно усиливает наглядность и восприятие теоретического материала. Наряду с этим, курсы включают методические указания, содержащие пошаговые алгоритмы освоения учебного материала, рекомендации по изучению отдельных тем и разделов, а также инструкции по выполнению практических заданий и лабораторных работ.

Особую ценность представляет интеграция в курсы тщательно подобранных и систематизированных ссылок на дополнительные внешние образовательные ресурсы - специализированные базы данных, электронные библиотечные системы и актуальные

периодические издания. Это позволяет существенно расширить образовательные возможности и обеспечить доступ к наиболее современным и актуальным источникам информации по изучаемым дисциплинам.

Все перечисленные компоненты проходят регулярную актуализацию и методическую корректировку, что гарантирует их соответствие как требованиям образовательных стандартов, так и современному уровню развития соответствующей области знаний. Такая комплексная организация учебного контента создает условия для реализации особого подхода в обучении и поддержки различных образовательных интересов студентов. Преподаватели активно используют систему для оперативного информирования студентов через модуль объявлений, который входит в структуру цифровой образовательной платформы, для организации обсуждений различных вопросов на форумах, в блогах, Вики-страницах, а также для контроля выполненных обучающимися работ в виде рефератов, заданий и проектов. Важной функцией цифровой системы является инструмент тестирования, который позволяет проводить текущий и рубежный контроль знаний с автоматизированной проверкой результатов. Все оценки фиксируются в электронном журнале, что обеспечивает прозрачность информации и позволяет студентам в реальном времени отслеживать свою успеваемость. Данная платформа, функционирующая в КНИТУ-КАИ, не только существенно расширяет доступ к образовательному контенту, обеспечивая гибкость и возможность обучения из любой точки, но и эффективно упрощает учебные процедуры, выступая в роли надежного цифрового инструмента качественной реализации как очных, так и дистанционных образовательных программ.

Социальные сети как пространство взаимодействия большого количества участников, также располагает множеством возможностей для реализации образовательных интерактивных методик, вовлекая в различные опросы, викторины и проекты большое количество обучающихся. Такие образовательные решения, с одной стороны, расширяют доступ к качественной информации, формируют исследовательские навыки, стратегически необходимые в современных условиях для организации процессов разработки и реализации проектов в различных отраслях экономики, с другой - активизируют механизмы, способствующие повышению мотивации молодежи к самообразованию.

В настоящее время вопросам участия молодежи в инициации и реализации различных проектов, поддержке творческих инициатив, уделяется особое внимание, поэтому «создание благоприятных условий для научной и творческой деятельности, личного роста молодых людей» [4] определено в качестве одной из ключевых задач в Стратегии реализации молодёжной политики в России на период до 2030 года. Студенческая молодежь имеет возможность участвовать в разработке проектов, подключаясь к межвузовским исследовательским инициативам через онлайн-платформы, участвуя в различных конкурсах и мероприятиях, что способствует формированию компетенций, которые будут востребованы в будущей профессиональной деятельности. В стремлении повысить «мотивацию молодых людей к самообразованию и активному построению карьеры, занятию предпринимательской и научной деятельностью» [5], государство предоставляет молодежи широкий спектр грантовых программ, направленных на поддержку инициатив, предпринимательских проектов и инновационных разработок. В этом плане цифровые платформы фондов и программ, поддерживающих талантливую молодежь, акселераторы, на базе которых осуществляется содействие зарождающемуся бизнесу, предоставляют полную информацию о проводимых конкурсах, о возможности получения поддержки инновационных идей. Таким образом, цифровая среда активно работает на раскрытие интеллектуального, творческого ресурса молодежи.

В контексте значимости цифровых технологий для процессов образования и самообразования молодежи, следует отметить и роль цифрового образовательного формата в значительном расширении горизонта знаний и формировании профессиональных навыков. Цифровизация образовательных процессов существенно увеличивая доступ к разнообразным образовательным ресурсам и предлагая новые формы обучения и взаимодействия,

одновременно позволяет обучающимся получать знания в любое время и в любом месте, тем самым обеспечивая гибкость и удобство в процессе обучения [6], реализовывать дистанционную форму обучения в случае необходимости, развивать навыки использования полученных теоретических знаний в условиях решения реальных практических задач с помощью виртуальных симуляторов, погружающих обучающихся в среду, максимально приближенную к условиям будущей профессиональной деятельности. При этом цифровая образовательная среда не только способствует приобретению фундаментальных знаний, но и может стать платформой для их практического применения и коммерциализации. Ярким примером этого служат акселераторы, с помощью которых осуществляется продвижение в направлении реализации инновационных, творческих инициатив студенческой молодежи с опорой на полученные знания и навыки. Они берут на себя роль своеобразного «моста», соединяющего теоретическую подготовку и возможности применить приобретенные навыки в реальных условиях рынка: если образовательные платформы предоставляют молодежи возможность получить знания в выбранном направлении подготовки и различные виды навыков, которые будут востребованы в дальнейшей профессиональной деятельности, то акселераторы помогают превратить идеи в готовый продукт или бизнес при интенсивной менторской поддержке со стороны представителей бизнеса, финансирование и доступ к профессиональным сетям.

Современная молодежь, демонстрирует растущую потребность в получении знаний, самореализации и поиске будущей профессиональной деятельности, востребованной на современном рынке труда. Для молодых поколений, являющихся носителями цифровой культуры и для которых «интернет-пространство не дополняет привычную с детства социальную реальность, а изначально является одной из фундаментальных основ этой реальности» [6], ключевую роль в достижении намеченных жизненных целей, безусловно, играет цифровая образовательная среда, содействующая формированию молодежи технологически грамотной, социально ответственной, способной реализовывать проекты развития страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ефлова М.Ю., Ямалнеев И.М., Максимова О.А., Нагматуллина Л.К.* Трансформация практик цифровой активности современной молодежи: сопоставительный анализ // Вестник экономики, права и социологии. 2024. №3. С.198-199.

2. Путин: Россия выступает за создание условий для раскрытия талантов молодежи. - URL: https://ria.ru/20240610/putin-1951889430.html (дата обращения 26.05.25).

3. Мультимедийная революция: как молодежь меняет потребление информации - URL: https://itg-open.ru/tpost/clp9nvong1-multimediinaya-revolyutsiya-kak-molodezh (дата обращения 01.06.25).

4. Распоряжение Правительства РФ от 17.08.2024 N 2233-р (ред. от 08.05.2025) <Об утверждении Стратегии реализации молодежной политики в Российской Федерации на период до 2030 года. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_484654/ (дата обращения 29.05.25).

5. Что такое цифровизация образования и зачем она нужна. - URL: https://skillspace.ru/blog/chto-takoe-cifrovizaciya-obrazovaniya-i-zachem-ona-nuzhna/ (дата обращения 29.05.25).

6. *Максимова О.А., Нагматуллина Л.К.* Цифровая социализация российской молодежи: соотношение реальных и виртуальных коммуникационных практик. Казанский социально-гуманитарный вестник. 2023;(5 (62)):42–47. - URL: https://doi.org/10.26907/2079-5912.2023.5.42–47 (дата обращения 01.06.25).

YOUTH IN THE DIGITAL EDUCATIONAL SPACE

Seryagin R.O., Khoshimov B.O.
Supervisor: Nagmatullina L.K., Associate Professor, Candidate of Sociological Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article considers the digital educational space as a source of formation of new knowledge and skills capable of providing successful personal and professional self-realization to modern youth. The advantages of using digital technologies in an educational environment are shown. The authors note that for the younger generations, who are carriers of digital culture, the digital educational environment plays a key role in achieving their life goals, contributing to the formation of technologically literate, socially responsible youth, capable of implementing national development projects.

УДК 316.772.4

РОЛЬ КОММУНИКАЦИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТОМ «ШКОЛЬНАЯ ЛИГА ПО ТЭГ-РЕГБИ»

Топунова М.П., Максимов В.Д.
Научный руководитель: Малышева Е.В., к. соц. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье анализируется роль коммуникаций в системе управления социальным проектом «Школьная лига по тэг-регби», реализующимся в Республике Татарстан. Актуальность данной темы исследования заключается в том, что в современных условиях спортивные организации сталкиваются с необходимостью осуществления эффективного взаимодействия, как между различными уровнями управления, так и с внешними участниками. Эффективная коммуникация позволяет спортивным организациям улучшать качество проведения мероприятий, повышать удовлетворённость участников и укреплять свою репутацию в сфере спорта.

Управление спортивной организацией в современных условиях требует не только эффективного стратегического планирования, но и грамотной системы коммуникаций, которая является основным элементом в достижении ключевых целей организации. Коммуникации играют важную роль в управлении спортивной организацией, обеспечивая эффективное взаимодействие между сотрудниками, партнерами и болельщиками, формируя команду единомышленников и укрепляя имидж организации. Они необходимы для принятия решений, мотивации коллектива, привлечения инвестиций и поддержки со стороны общественности, что в конечном итоге способствует достижению поставленных задач и финансовому успеху организации. В условиях быстро меняющейся внешней среды, высокой конкуренции и растущих ожиданий со стороны различных заинтересованных сторон, важность коммуникационных процессов в спортивной организации становится особенно актуальной.

В современном мире развитие детского спорта играет ключевую роль в формировании здорового и активного общества. Одним из перспективных направлений в этой области является тэг-регби, представляющее собой разновидность классического регби, адаптированное для детей и подростков [1]. Этот вид спорта отличается простотой правил, безопасностью и доступностью, что делает его востребованным для массового внедрения в общеобразовательные учреждения.

Организация «Школьная лига по тэг-регби» была основана в 2020 году, выступив как проект-заявка на участие в грантовом конкурсе Благотворительного фонда «Татнефть». «Школьная лига по тэг-регби является действующим проектом для выполнения целей

стратегического менеджмента Федерации Регби Республики Татарстан. Несмотря на сложности, вызванные пандемией COVID-19, проект получил свою реализацию лишь спустя год – в 2021 году, когда ситуация в стране стабилизировалась, и обстоятельства позволили осуществлять полноценную деятельность проекта. На современном этапе актуальной задачей данной лиги становится разработка новых эффективных подходов к физическому воспитанию обучающихся образовательных учреждений, который позволил бы повысить интерес у детей и подростков к систематическим занятиям физической культурой и спортом и формированию у них здорового образа жизни. В связи с этим, важным направлением в области физического воспитания подрастающего поколения является внедрение в образовательный процесс спортивно-ориентированных форм обучения, новых игровых видов спорта, в частности, регби. В образовательных организациях в целях массового обучения регби целесообразно использовать его разновидность – тэг-регби («бесконтактное регби»). Тэг-регби представляет собой разновидность классического регби с упрощёнными правилами и наличием дополнительного инвентаря в виде двух ленточек на липучках, которые и называются «тэгами». В тэг-регби играют в основном дети и подростки, так как он является более безопасным по сравнению с традиционным регби видом спорта. В последние годы тэг-регби завоевывает в России все большую популярность благодаря своей простоте и доступности для людей разного уровня подготовки. «Школьная лига по тэг-регби» ставит перед собой цель популяризации данного вида спорта среди детей младшего школьного возраста, а также содействия развитию физической культуры и здорового образа жизни.

Важным аспектом проекта «Школьная лига по тэг-регби» является его направленность преимущественно на небольшие города и отдельные районы Республики Татарстан, где нет переизбытка спортивных школ и спортивных мероприятий для детей. В рамках проекта на данный момент охвачено 16 районов Республики Татарстан, где функционируют более 100 общеобразовательных учреждений. В проекте принимают участие более 2000 школьников, что позволяет создать условия для массового вовлечения детей к занятию спортом. Для реализации проекта привлекаются молодые спортсмены-регбисты, которые выполняют функции менеджеров, инструкторов и судей соревнований.

Для реализации проекта «Школьная лига по тэг-регби» привлекаются следующие кадры:

– исполнительный директор Федерации регби Татарстана (руководитель): осуществляет общее управление проектом, взаимодействует с государственными органами и контролирует реализацию всех этапов проекта;

– менеджер проекта: работает с представителями и педагогами школ, собирает данные о партнерах и участниках, готовит документацию и организует закупки необходимого оборудования;

– главный судья: выступает координатором судейского корпуса, готовит правила, программу и расписание соревнований;

– секретарь: оформляет документы, ведет учет работы судей, выдает результаты соревнований;

– бухгалтер: ведёт финансовую отчётность и контролирует расход бюджетных средств;

– тренеры и инструктора: профессиональные спортсмены и студенты различных вузов, проводящие тренировки и обеспечивающие судейство соревнований;

– волонтёры: учащиеся общеобразовательных школ или иных учебных заведений, оказывающие помощь в организации мероприятий.

Для обеспечения стабильного функционирования организации «Школьная лига по тэг-регби» необходимо создание эффективной системы стратегического управления, которая включает в себя оптимизацию внутренних и внешних коммуникаций. На современном этапе для осуществления своей деятельности организация «Школьная лига по тэг-регби» использует внешние и внутренние коммуникационные каналы, такие как: официальный сайт Федерации регби Татарстана, социальные сети (ВКонтакте), телеканалы региона («ТНВ», «ВГТРК»), информационные рассылки в образовательные учреждения; электронная почта руководителей

и сотрудников, Google формы и таблицы для сбора данных и проведения анкетных опросов, телефонные звонки и личные встречи с представителями регионов. Коммуникация в организации «Школьная лига по тэг-регби» организована следующим образом:

1. Информация о предстоящих событиях публикуется на официальном сайте организации и в социальных сетях.

2. Инструкторы проводят семинары для педагогов и организаторов.

3. Сбор данных о командах и участниках осуществляется через Google формы.

4. Обратная связь организуется посредством личных встреч и телефонных звонков.

5. Итоги соревнований освещаются в местных СМИ и социальных сетях.

Большую роль в деятельности спортивной организации играют внешние коммуникации, поскольку они формируют ее имидж, привлекают болельщиков и спонсоров, а также способствуют социальному развитию, привлекая инвестиции и повышая общественную ценность спорта. Эти коммуникации охватывают взаимодействие со СМИ, партнерами и обществом в целом, создавая спортивной организации положительную репутацию и обеспечивая поддержку для достижения ею спортивных и коммерческих целей. Обзор научной литературы показывает, что в настоящее время в Республике Татарстан регби и тэг-регби сталкиваются с недостаточной осведомлённостью общества о данных видах спорта [2]. Чтобы увеличить информированность общества о регби и тэг-регби и привлечь к занятию данными видами спорта больше заинтересованных лиц необходимо активно продвигать проект через социальные сети и местные СМИ, делая акцент на преимущества тэг-регби, а также сотрудничать с местными радиостанциями для продвижения проекта.

Наряду с внешними значимую роль в эффективности деятельности спортивной организации играют внутренние коммуникации. Улучшение системы внутренних коммуникаций в спортивной организации необходимо для повышения лояльности и вовлеченности персонала, формирования единого понимания целей и стратегии, улучшения командной работы и морального климата, а также для поддержания должного уровня конкурентоспособности. Отлаженная система внутренних коммуникаций помогает сотрудникам чувствовать себя частью команды, получать необходимую информацию и обратную связь, что в итоге положительно сказывается на достижении целей организации.

Основная часть рабочего времени руководителя организации «Школьная лига по тэг-регби» отводится на межличностную коммуникацию, в частности на обмен информацией с сотрудниками и партнерами, что является ключевым элементом успешного управления и координации деятельности организации. В современных условиях именно через эффективные коммуникации обеспечивается своевременное принятие решений, разрешение конфликтных ситуаций и поддержание позитивного климата в коллективе [3]. В связи с этим особую важность приобретает задача повышения качества и эффективности внутренних коммуникаций в организации «Школьная лига по тэг-регби», а также проведения систематического анализа и устранения возникающих на этом пути преград и барьеров. Такой подход позволяет не только улучшить взаимодействие внутри команды, но и укрепить партнерские связи, что в конечном итоге способствует достижению стратегических целей организации. К основным задачам, направленным на улучшение качества и эффективности системы внутренних коммуникаций в организации «Школьная лига по тэг-регби» и своевременного предотвращения коммуникационных барьеров можно отнести следующее:

1. Создание эффективной структуры коммуникации внутри организации, что включает в себя:

– определение роли и функций каждой позиции в организационной структуре;

– формирование механизмов передачи информации и обратной связи между руководством и исполнителями.

2. Оптимизация информационных потоков путем:

– использования современных цифровых инструментов для сбора и анализа данных;

– создания единой информационной платформы для оперативного принятия решений.

Анализ системы коммуникаций «Школьной лиги по тэг-регби» показал, что в данной организации возникают сложности в координации действий большого количества участников, тренеров и судей. Проблемы в коммуникации могут возникнуть:

– между руководством и судьями: недостаточная информированность судей. Судьи могут не получать своевременную информацию об изменениях в расписании или новых требованиях. Это может привести к путанице и несогласованности в процессе проведения соревнований. Кроме того, отсутствие обратной связи может затруднить оперативное решение возникающих проблем;

– между руководством и тренерами: нечеткость задач и отсутствие координации. Тренеры могут не получать четких инструкций по проведению тренировок и соревнований, что может привести к несогласованным действиям и снижению качества подготовки участников;

– между судьями и тренерами: разногласия в интерпретации правил и отсутствие координации. Судьи и тренеры могут по-разному интерпретировать правила игры, что может привести к спорным ситуациям и снижению качества соревнований.

Таким образом, качественная коммуникация является обязательным условием для согласованной работы всех участников проекта и достижения эффективных результатов деятельности. Четкий обмен информацией между руководством, судьями и тренерами помогает избежать путаницы, снизить риск споров и повысить эффективность проведения соревнований. Надёжная коммуникация позволяет оперативно решать возникающие проблемы, устраняет пробелы в подготовке спортивных соревнований и способствует созданию единого стандарта действий [4]. Без налаженной коммуникации трудно достичь высоких показателей деятельности и гарантировать справедливость и честность состязаний.

Для решения этих проблем необходимо внедрить эффективные механизмы коммуникации и координации действий, в частности:

– регулярные совещания: проведение регулярных онлайн- и офлайн-встреч позволит руководству, судьям и тренерам обсуждать текущие задачи, проблемы и предложения. Это поможет обеспечить согласованность действий и оперативное решение возникающих вопросов;

– создание групп в мессенджерах, не только в «Whats’App», но и в «Telegram», что позволит оперативно обмениваться информацией и координировать действия. Это особенно важно для своевременного информирования всех участников об изменениях в расписании или правилах проведения соревнований;

– назначение лиц, ответственных за коммуникацию с судьями и тренерами поможет обеспечить своевременный обмен информацией и оперативное решение проблем. Это позволит избежать путаницы в текущей деятельности «Школьной лиги по тэг-регби» и повысить эффективность ее работы;

– проведение совместных семинаров и тренингов для судей и тренеров поможет унифицировать понимание правил и улучшить координацию действий на поле. Это снизит вероятность возникновения конфликтов и повысит качество проведения соревнований;

– использование видеосвязи: организация видеоконференций позволит обсуждать спорные моменты и согласовывать действия в режиме реального времени. Это особенно важно для решения сложных вопросов и предотвращения конфликтов;

– создание системы обратной связи позволит судьям, тренерам и участникам делиться своими предложениями и проблемами. Это поможет руководству оперативно реагировать на возникающие вопросы и улучшать качество проведения соревнований.

Таким образом, можно отметить, что специфика коммуникаций в системе стратегического управления «Школьной лигой по тэг-регби» заключается в создании комплексной системы взаимосвязанных процессов, обеспечивающей эффективное взаимодействие между всеми участниками проекта и позволяющей оперативно реагировать на изменения внешней среды. Улучшение системы коммуникаций между руководством, судьями и тренерами является ключевым фактором для успешного функционирования

организации «Школьная лига по тэг-регби». Использование современных средств коммуникации и регулярное проведение встреч и семинаров поможет обеспечить согласованность действий на разных уровнях управления организацией и повысить эффективность ее работы, а также позволит создать условия для качественного проведения спортивных соревнований и достижения поставленных организацией целей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Нестерова М.Н., Светличная Е.Е., Глуханюк Н.В.* Тег-регби как перспективное направление физического воспитания учащейся молодежи // Наука. 2020. № 7. С. 10-13.

2. *Андреенко Т.А., Череп З.П., Попов А.П., Хомутова Е.В., Павленко Е.П., Серженко Е.В.* Тег-регби как перспективное направление физического воспитания учащейся молодежи в неспециализированном высшем учебном заведении // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. 2021. № 7. С. 197-201.

3. *Быцко В., Оглоблин В.А.,* Ключевые навыки коммуникации в менеджменте // Economy and Business: Theory and Practice. 2023. №12. С. 23-26.

4. *Третьяков О.В.* Совершенствование процесса коммуникационного взаимодействия при организации управления персоналом компании // Московский экономический журнал. 2021. № 9. С.204-223.

THE ROLE OF COMMUNICATIONS IN THE PROJECT MANAGEMENT SYSTEM "TEG RUGBY SCHOOL LEAGUE"

Topunova M.P., Maksimov V.D.

Supervisor: Malysheva E.V., Candidate of Sociological Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article analyzes the role of communications in the management system of the social project "Tag Rugby School League" implemented in the Republic of Tatarstan. The relevance of this research lies in the fact that in modern conditions sports organizations are faced with the need for effective interaction both between different levels of management and with external participants. Effective communication allows sports organizations to improve the quality of events, increase participant satisfaction and strengthen their reputation in the field of sports.

УДК 338.2

РОЛЬ МОЛОДЕЖИ В ЦИФРОВИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Фатыхов Р.Р.

Научный руководитель: Беляев В.А., профессор, д. пол. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена вопросам цифровизации и автоматизации в проектной деятельности, раскрывая их значение для повышения эффективности, сокращения затрат и ускорения процессов управления. Особое внимание уделено роли молодёжи как ключевого драйвера цифровых трансформаций, а также анализу практического опыта внедрения современных технологий в российских компаниях.

В современную эпоху стремительного технологического прогресса и усиливающейся глобальной конкуренции цифровизация и роботизация выходят на первый план в качестве стратегически значимых инструментов обеспечения устойчивого роста и повышения конкурентоспособности компаний. Ни одна организация, стремящаяся к эффективному

управлению ресурсами и достижению высоких результатов, не может игнорировать потенциал, заложенный в новых цифровых технологиях.

Особенно важную роль данные процессы играют в сфере проектной деятельности, которая традиционно считается одной из наиболее ресурсоемких и ответственных областей управленческой практики. Именно здесь необходимость внедрения передовых инновационных решений становится наиболее острой, поскольку эффективность выполнения проектов напрямую влияет на достижение организационных целей, соблюдение сроков и оптимизацию издержек.

Цифровизация, в широком смысле, представляет собой процесс комплексного внедрения информационно-коммуникационных технологий в бизнес-среду компании, направленный на совершенствование процессов управления, обмена данными, планирования и контроля. Это не просто внедрение новых программных решений, а трансформация всей логики функционирования предприятия с упором на использование цифровых ресурсов.

Автоматизация же, в свою очередь, предполагает использование специализированных программных комплексов и алгоритмов для выполнения рутинных, повторяющихся операций, которые ранее требовали значительных трудозатрат со стороны персонала. В результате такого перехода освобождаются ресурсы для более креативной, аналитической и стратегической деятельности сотрудников, что положительно сказывается как на внутренней эффективности команды, так и на результатах всего проекта.

Особое значение в этих трансформационных процессах приобретает активное участие молодёжи — поколения, для которого цифровая среда является естественной. Молодые специалисты, обладающие высоким уровнем цифровой грамотности, быстрой адаптацией к новым технологиям и инновационным мышлением, становятся важнейшим ресурсом для организаций, стремящихся к модернизации своих бизнес-процессов. Их вовлечение в проектную деятельность позволяет не только ускорить внедрение новых цифровых решений, но и обеспечить приток свежих идей, нестандартных подходов и гибкости в условиях меняющегося рынка.

Цифровизация и автоматизация в проектной деятельности имеют ряд преимуществ. Во-первых, они способствуют повышению результативности команд. Внедрение систем управления проектами, таких как «1С: Управление проектами» или Asana, позволяет командам продуктивно планировать, контролировать выполнение задач в режиме реального времени. Эти инструменты обеспечивают быструю обратную связь между участниками проекта. Это, в свою очередь, снижает количество ошибок при выполнении задач и уменьшает временные затраты на совещания.

Во-вторых, автоматизация рутинных задач позволяет освободить время сотрудников для более стратегических и творческих задач. Согласно данным исследования, проведенного организацией «Деловой Профиль», внедрение автоматизации позволяет достигнуть компаниям следующих результатов: до 81% сокращать производственные затраты, до 74% снижать себестоимость продукции, до 39% повышать эффективность и сроки эксплуатации оборудования, до 56% улучшать качество продукции, до 21% сокращать потери рабочего времени [1]. В-третьих, цифровизация снижают риски, связанные с человеческим фактором. Например, использование компьютерных технологий для учета материалов и ресурсов в строительстве помогает избежать недостач и перерасходов, что особенно актуально в условиях нестабильных цен на сырье.

В-третьих, цифровизация также позволяет собирать и обрабатывать массивы информации, что обеспечивает более обоснованное принятие решений. Применение аналитических инструментов и технологий машинного обучения позволяет определять тренды и прогнозировать результаты, что особенно значимо в условиях неопределенности. Например, аналитика в режиме онлайн помогает компаниям быстро реагировать на колебания рыночной ситуации и адаптировать свои стратегии. В последние годы наблюдается значительное влияние искусственного интеллекта на процессы цифровизации и автоматизации. Развитие ИИ позволяет улучшать существующие алгоритмы автоматизации, а

также добавлять новые функции, такие как предсказательная аналитика и адаптивное управление проектами. Внедрение ИИ позволяет интеллектуальным системам учиться на предоставленных данных, что повышает точность прогнозов и управленческих решений.

Компании, которые активно внедряют ИИ, получают шанс автоматизировать не только стандартные, но и более сложные процессы. К примеру, использование чат-ботов для обслуживания клиентов позволяет минимизировать время реакции на запросы до нескольких секунд, а системы на основе машинного обучения могут анализировать проектные сведения и выявлять риски на ранних стадиях [2]. Невзирая на плюсы, цифровизация и автоматизация сопряжены с рядом трудностей. Одной из основных является необходимость изменения корпоративной культуры. Чтобы внедрение технологий было успешным, требуется согласие персонала на перемены и их обучение работе с новыми системами.

Также бизнес сталкивается с рисками, вызванными зависимостью от технологий и возможными сбоями в работе программного обеспечения. Сотрудники могут испытывать сопротивление внедрению новых решений из-за страха перед незнакомыми технологиями. Например, по данным исследования, проведенного исследовательским центром НИУ ВШЭ, 55% работников высказали опасения по поводу влияния автоматизации на свои рабочие места и необходимость переквалификации несмотря на то, что согласно исследованию, только у 10% опрошенных рутинные операции [3].

На практике многие российские компании уже внедрили цифровизацию и роботизацию.

1. Сбербанк реализовал проект по автоматизации обработки клиентских запросов, что помогло сократить время обработки клиентских запросов с 15-20 минут до 1 минуты, снизив нагрузку на операционных сотрудников и освободило их время для решения других задач [4].
2. Группа «Самолет» внедрила ИИ для предсказания цен на строительные материалы, что позволило оптимизировать расходы на закупку на 9,3% [5].
3. Транснефть применяет технологии искусственного интеллекта для мониторинга и контроля своих проектов, что позволяет оптимизировать временные показатели работ и оптимизировать расходы на эксплуатацию оборудования [6].
4. Российские железные дороги активно внедряют цифровые технологии в управление проектами, включая автоматические программы планирования и мониторинга, которые позволяют оптимизировать ресурсы и улучшить учет фактических результатов. [7].

Для более эффективной цифровизации и автоматизации в проектной деятельности рекомендуется:

1. Вкладывать средства в образование работников: курсы повышения квалификации персонала являются ключевыми факторами успешного применения новых технологий. Нужно быть готовым к изменениям и понимать, как использовать новые инструменты для увеличения своей продуктивности.
2. Проводить регулярный анализ процессов: Компании должны регулярно анализировать свои бизнес-процессы, чтобы определить, где можно внедрить автоматизацию. Это поможет сократить расходы и улучшить работу.
3. Создавать культуру инноваций: важно формировать в организации культуру, способствующую развитию новых идей и их реализации. Это подразумевает поощрение работников за инициативу и желание экспериментировать.
4. Использовать более современные методы управления проектами, например, Agile и Scrum, которые позволяют быстрее реагировать на новые реалии и эффективно управлять проектами в условиях неопределенности.

Кроме того, молодое поколение становится одним из ключевых драйверов цифровизации и автоматизации бизнес-процессов в проектной деятельности. С раннего возраста они свободно оперируют облачными сервисами и проектными платформами, мгновенно осваивая новые инструменты – от систем планирования спринтов до CI/CD-конвейеров (Конвейеры непрерывной интеграции и непрерывной доставки). Эта способность не только ускоряет их вхождение в работу, но и позволяет им самостоятельно инициировать

важнейшие этапы автоматизации и оптимизации бизнес-процессов в проектах. Одновременно их предпринимательская активность выступает мощным катализатором инноваций: участие в хакатонах, акселераторах и отраслевых форумах создаёт критическую массу знаний и опыта, на основе которых формируются стартапы с минимумом затрат времени и ресурсов. За счёт использования Big Data и low-code/no-code платформ молодые команды за считанные недели выводят прототипы в пилот, что в дальнейшем переносится в корпоративные практики крупных компаний в формате MVP и гибких методологий.

Одновременно молодёжь становится катализатором изменений корпоративной культуры: инициативы по внедрению Agile/Scrum-методологий, регулярного прототипирования и юзабилити-тестов нередко исходят именно от молодых специалистов. Их готовность к экспериментам и способность к самообучению создают внутри команд среду постоянного улучшения, где технические и надпрофессиональные навыки (коммуникация, критическое мышление, креативность) развиваются параллельно с цифровыми компетенциями.

Количественные данные подтверждают эту роль, согласно исследованию Finfax, 20 % молодых предпринимателей уже активно используют CRM-системы и BI-инструменты для продвижения, тогда как в среднем по отрасли таких — около 14 % [8]. Это способствует более быстрому масштабированию проектов и более точному принятию решений на основе аналитики.

Наконец, участие в профессиональных сообществах — от отраслевых конференций до онлайн-библиотек и вебинаров — создаёт для молодёжи «сеть поддержки», где они делятся практиками автоматизации, обучают коллег и перенимают лучшие подходы. Это формирует внутри компаний среду взаимного наставничества и ускоряет распространение цифровых инициатив на всех уровнях организации.

Цифровизация и автоматизация процессов в проектной деятельности являются необходимыми составляющими для увеличения производительности и конкурентоспособности организаций. Внедрение современных технологий позволяет оптимизировать процессы, сократить расходы и повысить эффективность. Цифровизация способствует улучшению качества данных, что позволяет принимать более обоснованные решения, а также ускоряет процессы планирования и выполнения задач, что в свою очередь сокращает время выхода на рынок. Кроме того, оптимизация проектной деятельности способствует автоматизации рутинных операций, освобождая сотрудников для выполнения более творческих и стратегических задач, что повышает общую продуктивность команды. Однако для реализации проектов по цифровизации необходимо учитывать сложности и опасности, которые возникают при изменении корпоративной культуры и потребностью в обучении персонала. В результате успех применения IT в управлении проектами зависит от способности организаций адаптировать новые решения к своим потребностям и целям. Компании, которые активно инвестируют в цифровизацию и автоматизацию, смогут обеспечить себе устойчивое конкурентное преимущество на рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Рынок автоматизированных систем управления в России в 2023 году // Деловой профиль. URL: https://delprof.ru/press-center/open-analytics/rynok-avtomatizirovannykh-sistemy-upravleniya-v-rossii-v-2023-godu/ (дата обращения: 10.01.2025).

2. *Городнова Н.В.* Применение искусственного интеллекта в бизнес-сфере: современное состояние и перспективы // Вопросы инновационной экономики. 2021. №. 4. С. 1473-1492.

3. *Гимпельсон В.Е., Капелюшников Р.И.* Рутинность и риски автоматизации на российском рынке труда // Вопросы экономики. 2022. №. 8. С. 68-94.

4. Платформа SaluteBot помогла сотрудникам Sber Private Banking в 15 раз быстрее обрабатывать запросы клиентов // Сбербанк. URL: https://developers.sber.ru/portal/cases/sber-private-banking (дата обращения: 11.01.2025).

5. Как Группа «Самолет» использует искусственный интеллект в своих бизнес-процессах // Все о стройке. URL: https://всеостройке.рф/kak-gruppa-samolet-ispolzuet-iskusstvennyj-intellekt-v-svoih-biznes-processah/ (дата обращения: 11.01.2025).
6. ПАО «Транснефть» подвело итоги использования системы управления знаниями для АСУТП // Транснефть. URL: https://www.transneft.ru/media-center/newspress/news/INT_14749/ (дата обращения: 11.01.2025).
7. *Абдуллаева Л.К.* Преимущества цифровизации железнодорожного транспорта с экономической точки зрения // Вестник науки. 2025. №. 1. С. 20-28.
8. *Кузнецов Д.* Цифровизация малого бизнеса: растет доверие молодых предпринимателей к технологиям // Finfax. URL: https://finfax.ru/news/cifrovizaciya-malogo-biznesa-rastet-doverie-molodih-predprinimateley-k-tehnologiyam-2025-02-20

THE ROLE OF YOUTH IN DIGITALIZATION AND AUTOMATION OF BUSINESS PROCESSES IN PROJECT ACTIVITIES

Fatykhov R.R.
Supervisor: Belyaev V.A., Full Professor, Doctor of Political Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article is devoted to the issues of digitalization and automation in project activities, revealing their importance for increasing efficiency, reducing costs and accelerating management processes. Particular attention is paid to the role of young people as a key driver of digital transformations, as well as an analysis of the practical experience of implementing modern technologies in Russian companies.

УДК 304.2

РОЛЬ МОЛОДЕЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В РАЗВИТИИ ГРАЖДАНСКОГО ОБЩЕСТВА

Хафизова Л.И.
Научный руководитель: Малышева Е.В., доцент, к. соц. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье рассматривается роль молодежных организаций как ключевого элемента формирования и укрепления гражданского общества. Анализируется влияние молодежных организаций на процессы социализации молодежи, развитие культуры участия и демократизации, приводятся примеры реализации успешных молодежных инициатив и поднимаются актуальные проблемы, которые стоят перед молодежью в современном обществе.

В условиях современных трансформаций политической и социальной структуры общества особую значимость приобретает изучение механизмов вовлечения молодежи в общественную жизнь. Одним из таких механизмов выступают молодежные организации, которые в последние десятилетия становятся не просто формой коллективной самоорганизации молодых людей, но и важнейшим элементом в развитии гражданского общества. Гражданское общество в наиболее общем виде представляет собой совокупность негосударственных структур, обеспечивающих участие граждан в жизни общества, защиту их прав и интересов, формирование горизонтальных связей и культуры самоуправления [1]. Молодежные организации в этом контексте выполняют двойную функцию: с одной стороны, они служат инструментом социализации молодежи, а с другой – становятся пространством политической и гражданской активности, направленной на изменение общественных реалий.

Исторически молодежные движения формировались как ответ на политические и социокультурные вызовы своего времени. В индустриальном обществе молодёжь рассматривалась преимущественно как объект воспитания и адаптации к существующему порядку, в то время как в постиндустриальную эпоху происходит переосмысление роли молодежи как активного субъекта социальных изменений. Это связано не только с изменением характера труда и форм участия молодежи в жизни социума, но и с ростом цифровых технологий, которые позволяют молодежным объединениям действовать вне традиционных рамок. В результате молодежные организации начинают играть ключевую роль в процессе демократизации, развития публичных пространств и повышения уровня гражданской ответственности.

Особенностью молодежных объединений в современных условиях является их многообразие и гибкость. Они могут существовать в формальном виде – как зарегистрированные некоммерческие организации, студенческие союзы, молодежные парламенты, а также осуществлять свою деятельность в неформальных форматах – инициативные группы, цифровые сообщества, волонтерские платформы. При этом молодежные объединения различаются и по цели своей деятельности: от защиты прав и интересов молодежи до продвижения экологической, антикоррупционной и правозащитной повестки. Важной характеристикой таких организаций является их способность адаптироваться к быстро меняющейся политической и технологической среде, наличие у них возможностей использовать новые форматы коммуникации, в том числе цифровые, а также налаживать взаимодействия с государственными структурами, бизнесом, международными организациями [2].

При этом молодежные организации вносят вклад в развитие гражданского общества прежде всего через формирование у молодежи гражданской идентичности, понимания прав человека, механизмов участия в принятии решений, а также чувства солидарности с другими социальными группами. Участие в подобных объединениях способствует развитию так называемой «культуры участия», при которой молодые люди не только информированы о событиях, происходящих в обществе, но и осознают свою ответственность за общественные процессы. Именно в рамках молодежных организаций формируются практики волонтёрства, коллективного действия, проектного мышления, что способствует укреплению горизонтальных социальных связей и снижению уровня социальной апатии.

Важно отметить, что в ряде стран молодежные организации становились инициаторами масштабных общественных изменений. Например, студенческое движение, сыгравшее ключевую роль в «революции любви» в Армении в 2018 году, смогло мобилизовать широкие массы граждан для мирного протеста против автократического управления. Организация массовых акций носила исключительно ненасильственный характер и базировалась на принципах самоорганизации, горизонтального лидерства и цифровой координации через социальные сети, что стало образцом «сетевого гражданского общества» [3]. Подобные примеры наблюдаются и в других странах: молодежные инициативы в Белоруссии, Гонконге, Тунисе и Чили демонстрируют способность молодежи оказывать реальное влияние на политическую повестку и общественное мнение.

Международный опыт также показывает, что молодежные организации могут быть важным звеном в системе гражданского участия. Так, Европейский молодежный форум (YFJ), объединяющий национальные молодежные советы и международные организации, активно взаимодействует с институтами Европейского союза, участвует в разработке молодежной политики, инициирует мониторинг соблюдения прав молодежи, а также продвигает принципы устойчивого развития и инклюзивности. Согласно последнему отчёту YFJ, около 100 миллионов молодых людей в Европе вовлечены в деятельность молодежных объединений различного уровня, что подтверждает высокую значимость этого сектора для функционирования гражданского общества [4].

Однако, несмотря на позитивные примеры, молодежные организации сталкиваются с рядом вызовов. Среди них можно выделить политизацию со стороны властных структур,

зависимость от внешнего финансирования, бюрократизацию и вымывание инициативной повестки, а также ограниченность доступа к ресурсам у молодежи из социально уязвимых групп. Кроме того, в условиях цифровизации появляется следующая угроза: онлайн-активность может подменять реальное участие молодежи в общественной жизни, снижая глубину и устойчивость вовлеченности [5].

Тем не менее, потенциал молодежных организаций в контексте укрепления гражданского общества остается значительным. Для его реализации необходимо создание благоприятной нормативной и ресурсной среды, развитие образовательных программ по гражданскому участию, а также расширение институциональных механизмов включения молодежи в процессы принятия решений. Важной задачей является обеспечение инклюзивности молодежных структур, чтобы участие в них стало доступным для всех категорий молодежи – вне зависимости от социального, культурного или территориального происхождения.

Особую роль играет международное сотрудничество, позволяющее молодежным организациям обмениваться опытом, ресурсами и лучшими практиками. Примеры транснациональных инициатив, таких как «Fridays for Future», «Youth4Climate» или международные студенческие объединения, демонстрируют, как молодежь может влиять на глобальную повестку, в том числе в сфере климатических изменений, прав человека и устойчивого развития [6].

В российском контексте молодежные организации также играют важную роль в развитии гражданского общества. С начала 2000-х годов наблюдается институционализация молодежной политики, в рамках которой активно развиваются государственные и окологосударственные молодежные объединения, такие как Российский союз молодежи, «Молодая гвардия Единой России», движение «Юнармия» и Российские студенческие отряды [7].

Существенную роль в развитии гражданского общества в России играют также независимые молодежные и волонтерские объединения. Примером может служить волонтерское движение «Волонтеры-медики», оказавшее значительную помощь системе здравоохранения в период пандемии COVID-19 [8]. Развитие университетской среды как пространства гражданского самоопределения также не менее важно. Во многих вузах действуют студенческие советы, дебатные клубы, инициативные группы. Так, движение «Кружок» формирует сеть инициатив по развитию открытого образования и критического мышления [9].

Таким образом, молодежные организации в России демонстрируют высокий потенциал в формировании активного гражданства, укреплении традиционных ценностей и служении обществу. Их деятельность становится важным ресурсом устойчивого развития страны и мощным инструментом формирования ответственной, сознательной, трудолюбивой молодежи, готовой вносить вклад в будущее России.

Следует также отметить вклад платформы «Добро.ру» и федерального проекта «Волонтеры Победы», объединяющих миллионы молодых россиян. Молодежь активно участвует в акциях памяти, помощи ветеранам, сохранении исторической памяти о Великой Отечественной войне. Такие проекты не только формируют нравственные ориентиры, но и вносят существенный вклад в консолидацию российского общества на основе патриотизма и исторической преемственности.

Примером эффективного вовлечения молодежи в решение экологических проблем стало движение «Чистая Арктика», поддерживаемое на федеральном уровне. Участники экспедиций и волонтерских выездов очищают прибрежные и северные территории от мусора, участвуют в научных исследованиях и формируют культуру экологической ответственности среди сверстников. Эти действия способствуют не только защите природы, но и укреплению патриотизма и гордости за природное и научное наследие России.

Большую работу по вовлечению молодежи в социально-значимую деятельность ведут Российские студенческие отряды (РСО), являющиеся организацией с многолетней историей,

восходящей к советскому периоду. В современной России РСО объединяют более 240 тысяч молодых людей, работающих в педагогических, строительных, сервисных, медицинских и других отрядах. Молодежь, входящая в РСО, не только приобретает профессиональные навыки, но и формирует активную гражданскую позицию, служит примером дисциплины, ответственности и трудового патриотизма.

Российский союз молодежи (РСМ), как одна из старейших молодежных организаций страны, реализует множество инициатив, направленных на поддержку студенчества, развитие лидерских качеств, предпринимательства и добровольчества. Среди флагманских проектов можно отметить Всероссийский конкурс «Студенческий лидер», платформу «Территория смыслов», а также активное участие РСМ в международных молодежных форумах, где молодые россияне демонстрируют высокий уровень подготовки, культуры и патриотической мотивации.

В Российской Федерации молодежные организации играют значительную и многогранную роль в укреплении основ гражданского общества, выступая не только в качестве институтов социализации, но и как активные участники общественных преобразований, направленных на укрепление национального единства, патриотизма и социальных ценностей. Одним из ярких примеров является движение «Юнармия», созданное при поддержке Министерства обороны Российской Федерации. Эта организация охватывает сотни тысяч школьников по всей стране.

Таким образом, молодежные организации представляют собой важнейший элемент гражданского общества, способный не только отражать интересы молодежи, но и инициировать масштабные общественные изменения. Их развитие способствует формированию активного, ответственного и солидарного гражданства, что делает поддержку молодежного сектора стратегически важной задачей для устойчивого демократического развития общества в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гельман В.Я.* Гражданское общество в постсоветской России: мифы и реальность // Полис. 2019. № 3. С. 9–24.

2. *Войтоловский Ф.Г.* Молодежные организации и политическое участие: новые тренды // Вестник МГИМО. 2020. № 6 (75). С. 115–128.

3. *Ishkanian A.* Civil Society, Development and Environmental Activism in Armenia // Communist and Post-Communist Studies. 2019. Vol. 52, № 4. P. 309–320.

4. *European Youth Forum (YFJ).* Annual Report 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://www.youthforum.org, свободный.

5. *Loader B.D., Vromen A., Xenos M.* The Networked Young Citizen: Social Media, Political Participation and Civic Engagement. London: Routledge, 2014.

6. *Waisbord S.* Youth, Social Movements and the Politics of the Future // Communication, Culture and Critique. 2022. Vol. 15. № 2. P. 174–190.

7. *Шестопал Е.Б.* Молодежная политика в современной России: тенденции и противоречия // Вестник МГУ. Серия 12. Политические науки. 2021. № 1. С. 22–38.

8. *Волонтеры-медики.* Официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: https://xn--80abje3a4b.xn--p1ai/, свободный.

9. *Кружковское движение.* [Электронный ресурс]. URL: https://kruzhok.io, свободный.

THE ROLE OF YOUTH ORGANIZATIONS IN DEVELOPMENT OF CIVIL SOCIETY

Khafizova L.I.

Supervisor: Malysheva E.V., Associate Professor, Candidate of Sociological Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article examines the role of youth organizations as a key element in the formation and strengthening of civil society. The influence of youth organizations on the processes

of socialization of youth, the development of a culture of participation and democratization is analyzed, examples of the implementation of successful youth initiatives are given and topical problems facing young people in modern society are raised.

УДК 316

ОСОБЕННОСТИ КУЛЬТУРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОЛОДЕЖИ В СОВРЕМЕННОМ РОССИЙСКОМ ОБЩЕСТВЕ

Хафизова Л.И.
Научный руководитель: Ларионова И.В., доцент, к. соц. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются культурные особенности идентификационных процессов в условиях цифровизации и глобализации. Особое внимание уделяется молодежи России как носителю сложной, гибридной идентичности, формируемой под влиянием локальных традиций и глобальных культурных практик. Исследование основано на анализе субкультур, цифровой социализации, региональных различий и трансформации ценностных установок.

Глобализация оказывает мощное воздействие на все сферы общественной жизни, включая культуру и формы молодежной социализации. Современная молодежь представляет собой уникальную социальную группу, чья идентичность формируется на стыке локальных традиций и глобальных культурных потоков. В этих условиях социальную идентификацию молодежи нельзя рассматривать вне контекста культурной трансформации. Культурный потенциал молодежи проявляется в способности адаптироваться к меняющимся условиям, вырабатывать новые формы выражения идентичности, а также в участии в культурном воспроизводстве и инновациях. Однако глобализация не просто расширяет горизонты культурного выбора, но и ставит молодежь перед вызовами фрагментации, потери устойчивых культурных ориентиров и возникновения новых форм неравенства.

Российская молодежь в этом процессе занимает двойственное положение. С одной стороны, сохраняется влияние традиционных культурных кодов, основанных на исторической памяти, этнической принадлежности и национальных ценностях. С другой стороны, молодые россияне вовлечены в глобальные коммуникационные сети, массовую культуру и цифровые практики, формирующие новые смыслы и идентичности. Одним из ключевых факторов трансформации молодежной культуры выступает цифровизация. Цифровые платформы стали не только источником информации, но и пространством культурного производства. ВКонтакте, Telegram, TikTok и YouTube позволяют молодым людям выражать свою идентичность, создавать и распространять уникальные культурные продукты, вступать в диалог с глобальными трендами. Важно отметить, что цифровая социализация сопровождается процессом «размывания» границ между локальным и глобальным, что способствует формированию гибридных идентичностей [1]. Ярким примером культурной гибридности является сосуществование интереса к патриотическим инициативам с потреблением глобального культурного контента. Согласно исследованию ВЦИОМ, около 60% молодежи заявляют о приверженности национальным ценностям, одновременно 58% считают важным «быть открытым миру». [2]. Такая двойственность требует от молодежи способности к критическому осмыслению своей культурной позиции.

В контексте социальных трансформаций и поиска новых идентификационных моделей молодежные субкультуры продолжают оставаться значимым объектом научного анализа. Они выступают не просто маркерами стилевых предпочтений, но и сложноорганизованными социальными полями, в которых формируются, транслируются и легитимируются альтернативные идентичности, противостоящие или дополняющие доминирующие

культурные образцы. В современном российском обществе наблюдается рост интереса к музыкальным и художественным направлениям, таким как рэп-культура, электронная музыка, неофолк.

Согласно исследованию «Медиапотребление и культурные предпочтения российской молодежи», проведенному НИУ «Высшая школа экономики», рэп и хип-хоп занимают лидирующие позиции в музыкальных предпочтениях у 38% респондентов в возрасте 16-25 лет, в то время как интерес к электронной музыке демонстрируют 24% опрошенных [3]. При этом отмечается, что данные предпочтения редко носят сугубо музыкальный характер, чаще всего формируя целостный стиль жизни и систему ценностей.

Рэп-культура выступает особым каналом рефлексии урбанистического опыта, поиска самореализации в мегаполисе и кризиса индивидуальности, что находит живой отклик у аудитории. В противовес урбанизму рэпа, субкультура неофолка, как показало этнографическое исследование, проведенное Центром современной культуры РГГУ, сознательно обращается к архетипическим и мифологическим пластам сознания [4]. Ее фанаты демонстрируют выраженный интерес к этнической эстетике (в музыке, визуальном искусстве, одежде). Идентичность в рамках неофолк-сцены выстраивается через противопоставление «механистичной» цивилизации «органическому» миру природы

Региональная специфика также играет важную роль в формировании идентификационных ориентиров. Молодежь Северного Кавказа, например, активно сохраняет традиционные ценности и религиозные нормы, и в то же время участвует в глобальных цифровых процессах, таких как блогинг и развитие исламской моды. В Якутии и Сибири наблюдается расцвет этнической культуры через кино и музыку на национальных языках, что, с одной стороны, укрепляет локальную идентичность, а с другой — встраивается в глобальный культурный рынок [5]. Особое внимание заслуживает молодежь из среды мигрантов, которая одновременно осваивает российскую культурную среду и сохраняет элементы своего этнического наследия. Это создает уникальные формы культурного синтеза, которые проявляются в блогинге, моде, уличной культуре и музыкальном творчестве.

Важно отметить, что современная молодежь России демонстрирует ценностную амбивалентность. Исследования РАНХиГС показывают распространение таких приоритетов, как личная свобода, самореализация, ментальное здоровье и карьерный рост. При этом традиционные ценности (семья, Родина) также сохраняют значимость [6]. Это указывает на переход от коллективистской к индивидуалистской модели культурной идентичности.

Кроме указанных аспектов, важным направлением в изучении культурного потенциала молодежи становится анализ новых форм медиаобразования и культурной грамотности. Молодежь активно взаимодействует с мультимедийным контентом, в результате чего развиваются навыки критического мышления, способности к самостоятельному анализу информации, а также медийная креативность. Это особенно заметно в образовательной среде, где формируются цифровые компетенции, включая создание подкастов, видеоблогов, участие в медиапроектах. Таким образом, молодежь становится не только потребителем, но и активным создателем культурного пространства.

Культурное предпринимательство также приобретает актуальность. Молодые дизайнеры, музыканты, авторы комиксов и организаторы фестивалей все чаще реализуют собственные проекты в сфере креативной экономики. Примерами являются культурные инициативы в Казани и Екатеринбурге, где молодежные пространства (например, «Смена», «Циферблат», «Типография») стали платформами для развития локальных сообществ и культурных индустрий. Поддержка таких инициатив важна для укрепления самореализации молодежи и формирования новых уровней идентичности, основанных на гражданской активности и культуре участия.

Одновременно с этим, современная молодёжь сталкивается с новыми рисками: фрагментацией идентичности, цифровым неравенством, а также психологическим давлением среды социальных медиа [7]. Соответствующие исследования указывают, что переизбыток сетевой активности может вызывать тревожность и снижение самоценности [8]. Эти факторы

должны учитываться в стратегиях формирования медиабезопасности и психологического благополучия молодёжи.

Следует отметить, что культурный потенциал молодежи во многом зависит от степени участия в институтах гражданского общества. Организации волонтерства, молодежные парламенты, культурные клубы и международные обмены способствуют межкультурному взаимодействию. В России примерами таких платформ служат «Российское движение детей и молодежи», инициативы Росмолодежи и международные молодежные форумы, такие как «Таврида» и «Восточный форум» [9]. Важно подчеркнуть, что культурные различия в молодежной среде становятся источником взаимного обогащения. Участие в межэтнических и межконфессиональных диалогах способствует выработке ценностей мультикультурализма и взаимного уважения. В этом контексте, программы по интеграции мигрантской молодежи, развитие языковой среды и культурных центров играют важную роль в укреплении общественной сплоченности.

Еще одним важным аспектом является экологическая культура молодежи. Глобальные вызовы, связанные с климатическими изменениями, вызвали рост молодежных экологических движений. В России это выражается в деятельности инициатив, таких как «РазДельный Сбор», «ЭКА» и волонтерских отрядов в университетах. Молодежь не только осваивает экологически устойчивые практики, но и активно вовлекается в общественные дискуссии, демонстрируя высокий уровень социальной ответственности. Экологическая повестка становится значимой частью культурного самовыражения, особенно среди городских и университетских сообществ.

В последние годы особую актуальность приобретает экологическая идентичность. Эмпирические данные подтверждают тенденцию к интеграции экологической составляющей в гражданскую идентичность россиян. Согласно мониторинговому исследованию состояния гражданского общества, проведённому Общественной палатой Российской Федерации, в 2023 году более половины (52 %) опрошенных граждан принимали участие в тех или иных экологических инициативах. Значимым представляется тот факт, что в молодёжной когорте (респонденты в возрасте 18–24 лет) уровень вовлечённости остается чрезвычайно высоким, достигая 47 %. Эти данные коррелируют с выводами исследования Всероссийского центра изучения общественного мнения (ВЦИОМ), согласно которому 74% россиян сортируют дома хотя бы один вид отходов, что свидетельствует о глубоком проникновении экологических практик в повседневность [10].

Молодежная культура также испытывает влияние политической и медийной среды. Развитие цифровых каналов коммуникации, а также воздействие инфлюенсеров формируют новые стили общения, моды на самопрезентацию и способы культурной социализации [11]. При этом существует и обратный эффект — рост тревожности, давления на самоидентификацию, особенно в условиях алгоритмического контроля и цифрового неравенства. Эти вызовы требуют комплексного подхода к формированию цифровой гигиены и медиабезопасности среди молодежи. Культурный потенциал молодежи представляет собой динамичную структуру, основанную на множественности идентичностей, высокой чувствительности к глобальным процессам и способности к адаптации. Его развитие возможно только при наличии среды, в которой ценится разнообразие, обеспечивается доступ к культурным и образовательным ресурсам, а также поддерживаются формы молодежной самоорганизации. В условиях глобализации именно молодежь становится связующим звеном между традицией и инновацией, между локальным сообществом и глобальным социокультурным полем. Учет всех этих факторов критически важен для осмысления молодежи как стратегического ресурса социального развития.

Анализ культурных особенностей молодежи в глобализирующемся мире, с акцентом на российскую ситуацию, показывает, что культурная идентификация молодежи формируется в условиях культурной полифонии и многомерности. Российская молодежь демонстрирует высокую адаптивность, способность к культурной навигации и созданию новых форм идентичности на пересечении традиционного и инновационного. Цифровая среда становится

не просто каналом коммуникации, а пространством культурного творчества, где молодежь реализует себя как носитель и транслятор культурных смыслов.

При этом важным результатом трансформации идентичности выступает усиление роли индивидуального выбора, автономии и креативности, что отражает переход от коллективистской к индивидуализированной модели культурной самореализации. Молодые люди осознанно выстраивают собственные идентичности, комбинируя локальные и глобальные культурные коды, обращаясь к национальным традициям, но в то же время, активно интегрируясь в мировое информационное пространство. Гибридность становится нормой, а способность к культурной рефлексии - ключевым элементом гражданской зрелости.

Особое значение приобретает участие молодежи в креативной экономике, волонтерских инициативах и культурных сообществах, где формируются новые модели гражданского участия и цифрового гражданства. Эти практики укрепляют социальную сплоченность, развивают навыки медиаграмотности и создают почву для формирования ответственной, критически мыслящей личности. Молодежь превращается из объекта культурной политики в активный субъект общественного развития, способного генерировать инновации и выстраивать мосты между различными культурными пространствами.

Кроме того, формирующаяся экологическая и гражданская идентичность демонстрирует, что культура для нового поколения - это не только система символов, но и способ действия, этическая позиция и форма общественного участия. Молодежь России все чаще проявляет себя как социальная группа, способная осмысленно реагировать на глобальные вызовы — от экологических до цифровых, от ценностных до межкультурных.

Таким образом, современная молодежь выступает стратегическим ресурсом культурного и социального развития России. Ее способность к синтезу традиций и инноваций, креативное мышление и готовность к межкультурному диалогу формируют основу для устойчивого развития общества в XXI веке. Эффективная молодежная политика должна не столько задавать направления, сколько создавать условия для самореализации, культурного многообразия и цифрового гражданства, обеспечивая баланс между национальной идентичностью и глобальной открытостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шматова Ю.С.* Противоречие в вопросе культурной идентичности российской молодежи: влияние глобализации и традиций // Известия УрФУ. 2020. № 2. С. 41–47.

2. ВЦИОМ. Исследование ценностей и самоощущения молодежи России. М.: ВЦИОМ, 2023.

3. Медиапотребление и культурные предпочтения российской молодежи: аналитический отчет / НИУ ВШЭ. — М., 2023. — 67 с.

4. *Петрова В.А.* «Возвращение к корням»: неофолк-сцена в России как поиск новой идентичности // Журнал исследований социальной политики. — 2021. — Т. 19, № 1. — С. 87–102.

5. *Муращенкова Н.В.* и др. Этническая, гражданская и глобальная идентичности как предикторы эмиграционной активности молодежи // Культурно-историческая психология. 2022. № 3. С. 59–67.

6. РАНХиГС. Доклад о молодежной политике. М.: РАНХиГС, 2023.

7. *Ларионова И.В., Максимова О.А.* Цифровая компетентность российской молодежи: состояние и факторы влияния. // Казанский социально-гуманитарный вестник. 2023. № 5 (62). С. 23-29.

8. *Акопов Г.В., Глушкова С.А.* Социальные сети и их психологическое воздействие // Вестник науки. – 2022. – № 6 (51). – С. 148–155. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialnye-seti-i-ih-psihologicheskoe-vozdeystvie/viewer (дата обращения: 10.06.2025).

9. Росмолодежь. Отчет о реализации молодежной политики в России за 2023 год. М.: Росмолодежь, 2024.

10. Доклад о состоянии гражданского общества в Российской Федерации за 2023 год / Общественная палата Российской Федерации. — М., 2023. — 158 с. — URL: https://www.oprf.ru/files/2023/doklad/doklad_2023.pdf (дата обращения: 10.06.2025).

11. *Ларионова И.В., Максимова О.А.* Формирование идентичности молодого поколения в контексте влияния информационно-сетевых технологий // Вестник экономики, права и социологии. 2017. № 4. С. 275-278.

FEATURES OF CULTURAL IDENTIFICATION OF YOUTH IN MODERN RUSSIAN SOCIETY

Khafizova L.I.

Supervisor: Larionova I.V., Associate Professor, Candidate of Sociological Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the cultural features of identification processes in the context of digitalization and globalization. Special attention is paid to the youth of Russia as the bearer of a complex, hybrid identity formed under the influence of local traditions and global cultural practices. The research is based on the analysis of subcultures, digital socialization, regional differences and the transformation of value attitudes.

УДК 005.95

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПОДБОРА И ОТБОРА ПЕРСОНАЛА МАЛОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОМ ОБЩЕСТВЕ

Хисматуллина З.А.

Научный руководитель: Ахметшина А.А., доцент, к. соц. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В условиях социально-экономических, политических и культурных трансформаций, происходящих в современном российском обществе, становится чрезвычайно важным понимание процессов подбора и отбора квалифицированных кадров, особенно, если речь идет о малом и среднем бизнесе. В связи с этим в статье подробно рассматриваются базовые понятия найма персонала, а также ключевые теории его подбора и отбора.

В современных социально-экономических реалиях, когда уровень безработицы в стране находится на уровне, близком к нулю, успех компаний все больше зависит от качества нанимаемых сотрудников, особенно остро стоит вопрос подбора персонала для малых предприятий. Процесс найма персонала – трудоемкий и один из важных процессов в работе любой организации.

Теория рекрутинга представляет собой научно обоснованный подход к системному управлению процессами привлечения, оценки и отбора кандидатов, направленный на обеспечение организаций персоналом, соответствующим их стратегическим целям и корпоративной культуре. В данной теории рассматривается идея о том, что эффективный рекрутинг не ограничивается заполнением вакансий, а является ключевым элементом стратегии управления человеческими ресурсами, которые влияют на стабильность и конкурентоспособность компании.

Подбор и отбор персонала являются ключевыми компонентами стратегического управления персоналом. Эффективность этих процессов зависит от использования теоретических концепций, которые обеспечивают структурированный подход к отбору кандидатов. Рассмотрение ключевых теоретических моделей и их практического применения помогут глубже изучить процессы, определяющие принятие решений о найме. Такой подход

не только оптимизирует процесс подбора персонала, но и способствует созданию взаимодействия между ценностями компании и индивидуальными особенностями сотрудников, что в свою очередь положительно сказываются на общей производительности и развитии организации.

Рекрутинг существует в мировой практике достаточно давно. В нашей стране данное направление стало развиваться в 90-х гг. XX в. С распадом СССР, советским кадровикам пришлось немедленно адаптироваться к западным способам привлечения и удержания работников для сохранения функциональности организаций, которые имели большую вероятность ликвидации. Приоритетной задачей стала разработка стратегий антикризисных программ работы с персоналом, снижения социально-психологической напряжённости, разрешения социально-трудовых конфликтов.

С учетом доминирования в современном обществе научно-технического прогресса и активного развития информационно-коммуникационных технологий традиционные методы привлечения сотрудников претерпели значительные изменения. Современные методики и технологии поиска и подбора персонала позволяют быстро и качественно обеспечить трудоустройство соответствующих категорий кандидатов. Наличие большого количества различных понятийных значений процессов, неразрывно связанных с рекрутментом, имеет большое значение в силу достаточно частого и ошибочного их рассмотрения в качестве синонимов [1].

Рекрутмент (от англ. «вербовать, привлекать к участию») – вид экономической деятельности, направленный на создание условий для заполнения вакантных рабочих мест специалистами, имеющими соответствующую специальную профессиональную подготовку.

Рекрутинг – технология кадрового менеджмента, включающая комплекс организационных, экономических и социально-психологических мероприятий по поиску, подбору, отбору и оценке профессиональных качеств потенциального работника с целью его последующего найма на вакантные рабочие места организации.

Подбор – это комплексный процесс поиска, отбора и найма сотрудников, необходимых организации для достижения её целей. Это не просто заполнение вакансий, а стратегическая функция, направленная на привлечение и удержание талантливых специалистов, способных обеспечить эффективность и конкурентоспособность компании.

Отбор – часть процесса найма персонала, связанная с выделением одного или нескольких кандидатов на вакантную должность среди общего числа людей, претендующих на данную должность.

Исходя из терминологии, можно сделать вывод, что процесс рекрутмента является более широким понятием по поиску и привлечению потенциальных претендентов по сравнению с другими смежными операциями.

Рекрутинг активно влияет на деятельность организаций, так как привлекает в компанию людей, нужных для развития выбранных ею направлений. В условиях современного рынка рекрутмент становится наиболее оптимальным инструментом для увеличения продаж и повышения узнаваемости продукции компании и превращается в маркетинговый процесс или в рекламную кампанию по подбору креативных высококвалифицированных кандидатов широкого спектра [2]. После привлечения кандидатов необходимо применить эффективные методы подбора и отбора персонала, которые помогут выбрать наиболее подходящих из них.

Подбор потенциальных претендентов. Подбор персонала – это этап, который непосредственно предшествует отбору, и цель подбора персонала –подготовить почву для процесса отбора, подготовив в идеале наименьшее количество кандидатов, которые, по-видимому, способны выполнять любую из следующих функций: выполнение ими необходимых задач на рабочем месте с самого начала или развитие способности выполнять их в течение определенного периода времени [3].

Подбор персонала включает в себя поиск кандидатов, определение требований к должности, определение необходимых профессиональных навыков, стаж, человеческие

качества и способности. Результатом подбора является создание кадрового резерва, позволяющего компании оперативно и эффективно закрывать вакансии, выбирая лучших специалистов. При осуществлении подбора персонала используется ряд технологий, на которых базируется его классификация:

– классический (пассивный) рекрутинг – поиск кандидатов через пассивные способы реализации, когда размещается объявление о вакансии, или самостоятельно ищут резюме кандидатов.

– технологии прямого поиска (активного) – поиск среди кандидатов, которые не находятся в поиске новой работы;

– проактивный рекрутинг – соединение классических и активных технологий поиска, привлечение сотрудников до появления вакансии;

– аутплейсмент – трудоустройство увольняемого персонала;

– интернет-рекрутинг, в том числе крауд-рекрутинг [4].

Следующее направление классических школ рекрутинга hheadhunting (хедхантинг) – это переманивание конкретного сотрудника (руководителя, топ-менеджера, редкого специалиста) из одной компании в другую компанию по заданию компании заказчика [5]. Этот подход, нацелен на привлечение высококвалифицированных и высокооплачиваемых руководителей высшего звена и редких специалистов, спрос на которых превышает предложение. Прямой поиск кандидатов – это широкий подход, включающий как поиск среди людей, активно ищущих работу, так и среди тех, кто уже работает. Он сосредоточен на привлечении конкретных, высококвалифицированных специалистов, часто из конкурирующих компаний. Это могут быть руководители высшего звена или эксперты с уникальными, редкими навыками. Поскольку такие специалисты высоко ценятся, хедхантинг – это довольно дорогостоящая услуга. Здесь задача – не просто найти подходящего человека, а «переманить» его.

Проактивный рекрутинг – это компромиссный вариант, сочетающий в себе преимущества пассивного и активного подхода. С одной стороны, компания размещает вакансии, ожидая откликов от соискателей. С другой стороны, рекрутеры параллельно активно ищут потенциальных кандидатов на рынке труда, используя различные методы прямого поиска. Таким образом, это более гибкая стратегия, чем чистый прямой поиск или исключительно ожидание откликов на объявления.

Аутплейсмент персонала – это технология классического рекрутинга, предполагающая трудоустройство увольняемого персонала из компании-заказчика в определенные сроки и на определенных условиях [6]. Компании обращаются к услугам аутплейсмента, когда происходят значительные изменения в их структуре, например, при реорганизации, объединении или других управленческих преобразованиях. Существуют различные формы аутплейсмента, ориентированные на разные категории сотрудников: массовый (для больших групп), индивидуальный (для высококвалифицированных специалистов и менеджеров) и конфиденциальный (для руководителей высшего звена). Аутплейсмент может быть реализован как через внешние рекрутинговые агентства, так и внутренними ресурсами компании.

Рассмотрим этапы отбора и подбора персонала:

1. Потребность в персонале требует планирования, что является неотъемлемой частью общего организационного планирования. Планирование осуществляется, исходя из целей, которые направлены на оптимальную организацию работы с кадровым составом в долгосрочной перспективе. Для обеспечения эффективного планирования персонала необходимо определить следующее: количество работников, требуемая квалификация, место и время предполагаемого осуществления трудовых функций; способы привлечения работников; предполагаемое сокращение либо оптимизация избыточного персонала; потенциал работников исходя из их навыков, способностей и мотивации; методы и приёмы, направленные на развитие работников; финансовые ресурсы для осуществления запланированных мероприятий [7];

2. Формирование профиля вакансии: Ключевым этапом является тщательный анализ заявки на подбор персонала и определение необходимых компетенций будущих сотрудников. На основе этого создается подробное описание вакансии, включающее перечень обязанностей, квалификационные требования, условия работы и преимущества, предлагаемые компанией. Также указывается информация о порядке подачи заявок и требуемых документах. Для минимизации ошибок рекомендуется опираться на проверенную модель компетенций;

3. Для поиска соискателей используются разнообразные каналы:

– публикации на специализированных сайтах, социальные сети, сотрудничество с рекрутинговыми агентствами и привлечение внутренних ресурсов компании;

– в случае поиска редких специалистов может применяться прямой поиск (headhunting).

4. Отбор кандидатов: Процесс начинается с формирования расширенного списка потенциальных сотрудников. Затем проводится отбор, в ходе которого из общего числа кандидатов выделяются те, кто наилучшим образом соответствует требованиям вакансии и способен эффективно выполнять поставленные задачи. Первоначально, до принятия решения о приёме на работу кандидату необходимо пройти несколько ступеней отбора:

– анализ анкетных данных (предполагает, что жизненный опыт индивида достаточно точно отражает его способность эффективно справляться с конкретными производственными задачами);

– предварительную отборочную беседу (основная задача собеседования заключается в оценке уровня образования, его внешнего вида и личностных качеств);

– заполнение бланка заявления (претенденты, успешно преодолевшие предварительную беседу, должны заполнить специальный бланк заявления и анкету);

– беседу по найму;

– тестирование (получение информации о качествах, существенно влияющих на поведение человека в организации, и обслуживающее его профессиональную эффективность);

– проверку рекомендаций и послужного списка;

– медицинский осмотр;

– принятие решения (сравнение кандидатов. представление результатов на рассмотрение руководству, принимающему решения).

5. Соискатели, преодолевшие предварительные этапы отбора, получают приглашение на итоговое интервью. Встреча представляет собой организованное взаимодействие между кандидатом и представителем компании, целью которого является многоаспектная проверка профессиональной компетентности, выявление степени заинтересованности в позиции и определения перспектив долгосрочного сотрудничества с организацией;

6. Тестирование и оценка. Данная фаза включает системное исследование экспертных навыков, психологических характеристик, ценностных ориентаций и степени адаптивности кандидата к корпоративным стандартам. Для минимизации субъективности и повышения достоверности выводов применяется комбинация диагностических инструментов, обеспечивающих многоуровневый анализ профессионального потенциала претендентов:

– структурированное интервью

– оценка профессиональной компетентности с помощью индивидуальных тестов;

– психологические и когнитивные тесты.

– ассессмент-центр [7].

7. Предложение о трудоустройстве: если кандидат проходит успешно все стадии собеседования, то респонденту предлагается стать частью компании. На этом этапе обговаривается график работы, заработная плата, условия труда и т.д;

8. Оформление документов: сотрудник, который принял предложение о работе, должен принести соответствующие документы (паспорт, трудовая книжка, СНИЛС, мед. полис), а также написать заявление о приеме на работу;

9. Адаптация: с первых дней пребывание на рабочем месте, сотрудник проходит период адаптации. Это может включать в себя вводные инструктажи, знакомство с коллегами и правилами компании. Цель адаптации – помочь сотруднику быстро освоиться в новой рабочей среде, стать частью команды и эффективно выполнять свои обязанности.

Грамотный подбор персонала, достигаемый благодаря этим этапам, критически важен для продуктивной деятельности компании. В то же время, изменчивость рынка труда диктует необходимость непрерывного найма. Как правило, в крупных организациях подбор персонала является зоной ответственности отдела кадров, который занимается не только наймом, но и другими важными задачами в области управления персоналом. Тем не менее, качественный подбор персонала важен как для крупных, так и для малых предприятий. Если в крупной компании некомпетентные сотрудники могут нанести ущерб, то в небольшой фирме они могут привести к банкротству. При этом у малого бизнеса не всегда есть возможность нанять рекрутера. В таких случаях владельцу компании или ее руководителю приходится постоянно заниматься наймом сотрудников самостоятельно, отвлекаясь от других важных дел.

В последние годы появились инновационные подходы к поиску и отбору персонала. Один из них – диджитализация, направленная на оптимизацию затрат (временных и трудовых) при массовом найме. Этот метод особенно полезен при подборе персонала для удаленной работы, поскольку здесь есть свои особенности. Обычно для удаленных работников собеседования проводятся с использованием современных платформ, обеспечивающих текстовую, голосовую и видеосвязь, или посредством видеоинтервью. Многие компании отдают предпочтение автоматизированным системам, что позволяет сократить расходы по сравнению с традиционным наймом.

Также на помощь современным HR-специалистам приходят и социальные сети. Все большую популярность приобретают специализированные чат-боты. Исследования российских и зарубежных аналитических агентств свидетельствуют о возрастающем интересе к автоматизированному тестированию соискателей. Чат-боты, демонстрирующие устойчивый рост популярности, становятся одним из многообещающих цифровых решений для массового рекрутинга. В настоящее время используются телефонные, текстовые и видео-боты, позволяющие кандидатам общаться с работодателями без участия менеджеров. Чат-боты способны обрабатывать данные в соответствии с заданным алгоритмом и автоматически уведомлять кандидатов о результатах рассмотрения их заявок.

Так, компания Impress.ai разработала чат-бота на основе искусственного интеллекта, который способствует проведению собеседований в организациях [8]. Данная платформа существенно облегчает взаимодействие между HR-специалистами и сотрудниками в процессе поиска работы. Во время пандемии рынок труда значительно изменился, превратив его в конкурентную среду: кандидаты вынуждены были бороться за ограниченное количество открытых вакансий и сталкиваться с частыми отказами или даже отсутствием обратной связи. Новая система стала помощником для рекрутеров и сотрудников отдела кадров, когда на каждую вакансию поступало большее количество заявок;

Таким образом, выбор верного способа поиска лучших кандидатов, успешный отбор среди них наиболее подходящих сотрудников и хорошая адаптация, сделают из любой организации сильную и устойчивую структуру. С наличием компетентных сотрудников бизнес начнет расти и продолжать получать прибыть, приумножая ее в разы.

Если говорить про малые и средние предприятия, то в условиях ограниченного бюджета и сильной конкуренции, организациям стоит внимательнее подойти к теме рекрутинга. Потому что недоработка в какой-то сфере, может привести компанию к серьезным ошибкам, которые могут повлечь за собой банкротство компании. Малому бизнесу нужны гибкие и адаптируемые подходы к привлечению персонала. Нестандартные решения, такие как интервью через чат-бота или диджитализация, могут служить вспомогательными инструментами, но не должны подменять собой беспристрастную и объективную оценку квалификации соискателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Казарян И.Р.* Технологии оценки в системе управления персоналом: учебное пособие. Чита: ЗабГУ, 2022. – 188 с.

2. Как работают рекрутинговые агентства [Электронный ресурс]. – URL: https://hr-profi.ru/articles/obuchenie-motivatsiya/kak-rabotayut-rekrutingovye-agentstva-otvechaem-navoprosy-soiskateley (дата обращения: 08.05.2025).

3. *Ifeanyichukwu H.* A critical assessment of staff recruitment, selection, & organizational productivity // Alvan Journal of Social Sciences (AJSS). – 2024. – Vol. 1, Iss. 1. – 15 p.

4. *Денисов А. М.* Организация работы рекрутингового (кадрового) агентства: учебное пособие. М.: РТУ МИРЭА, 2021. 112 с.

5. *Хасбулатова О.А.* Управление персоналом организации: учебное пособие. Иваново: ИвГУ, 2020. 300 с.

6. *Симченко Н.А.* Организация работы рекрутингового агентства: учебное пособие. Симферополь: КФУ им. В. И. Вернадского, 2020. 120 с.

7. *Сафонова Л.А*. HR-менеджмент: учебное пособие. Новосибирск: СибГУТИ, 2021. 115 с.

8. ИИ вместо HR: как проходит собеседование с роботом [Электронный ресурс] // RB.RU – новые технологии, бизнес и карьера в цифровой экономике. – 2021. – URL: https://rb.ru/story/chatbot-as-hr/ (дата обращения: 20.05.2024).

THEORETICAL ASPECTS OF THE SYSTEM IMPLEMENTATION RECRUITMENT AND SELECTION OF PERSONNEL OF A SMALL ENTERPRISE IN A POST-INDUSTRIAL SOCIETY

Khismatullina Z.A.

Supervisor: Akhmetshina A.A., Associate Professor, Candidate of Sociological Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In the context of socio-economical, political and cultural transformations taking place in a modern Russian society, it is becoming extremely important to understand the processes of recruitment and selection of qualified personnel, especially when it comes to small and medium-sized businesses. In this regard, the article discusses in detail the basic concepts of hiring staff, as well as key theories of its recruitment and selection.

УДК 659.3

ПРОБЛЕМА ПОПУЛЯРИЗАЦИИ ТЕАТРАЛЬНОГО ИСКУССТВА В РОССИИ

Чупрова А.С.

Научный руководитель: Галимуллина Н.М., доцент, к. и. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье анализируется отношение современной молодежи к сфере культуры, в частности, к театральному искусству. Автор приводит результаты социологических опросов российского масштаба, а также статистику, собранную в рамках собственного анкетирования. В качестве решения, способствующего популяризации театров среди молодежи, предлагается расширение использования Интернет-технологий в деятельности учреждений культуры, в том числе, в виде взаимодействия с блогерами.

Сущность проблемы – разрыв между театром и современной аудиторией, недостаточная информированность потенциальных зрителей о современном театральном пространстве (новые постановки, новые жанры).

Данная проблема актуальна для всех возрастных групп потенциальных зрителей, затрагивает, как начинающую аудиторию, которая только начинает интересоваться и погружаться в «мир театра», но и «фанатов театра», которые уже разбираются в жанрах и постановках.

Социологические опросы, проводимые ВЦИОМ с определенной периодичностью, подтверждают наличие этой тенденции, впрочем, позитивные изменения здесь так же зафиксированы.

Так, в 2008 году только 13% российских респондентов посещали театры несколько раз в год и с более частой периодичностью, а к 2024 г. количество таких «театралов» выросло до 25%, что по-прежнему является очень низким показателем развития сферы культуры в обществе; 19% граждан Российской Федерации в 2024 г. признались, что они – редкие посетители театров, в 2008 г. наши сограждане указывали, что бывали в театре один раз в несколько лет 15%, в 2019 г. – 27% [1].

В целом, по данным 2008 г. 28% опрошенных становились зрителями театральных постановок с той или иной периодичностью, в 2019 г. доля приобщенных к театральной культуре достигла 48% [2]. Но в 2024 г. 34% респондента указали, что практически не посещают театры, в 2008г. их доля составляла 46%. 21% участников опроса 2024 г. никогда не бывали в театре, в 2008 г. таковых насчитывалось 22%, в 2019 г. – 18% [1].

Интересны демографические характеристики любителей театра, выявленные с помощью опросов Всероссийского центра изучения общественного мнения (2024 г.): средний возраст лиц, посещающих театры, составляет 37 лет, чаще остальных становятся зрителями спектаклей лица в возрасте 45-59 лет, что составляет 53%, молодежь 18-24 лет составляет 39% любителей театрального искусства.

Показательно, что жители городов-миллионников среди театралов превалируют (71%); среди них жителей столицы - 40%. Люди, имеющие высшее образование, составляют среди любителей театра большинство - 67%, лица с хорошим материальным положением - 33%. Среди постоянных посетителей театров преобладает женская аудитория (30%), мужчин-театралов - 17%.

Эти сведения подтверждают данные исследования театральной аудитории, проведенного Лабораторией будущего театра ГИТИСа в 2019 г. Тогда выяснилось, что самой слабо наполненной группой театралов является сегмент подростков в возрасте 12–17 лет (5 %), зрители в возрасте 26 - 35 лет составляли более 25% всех опрошенных.

При этом тип театра влияет на аудиторию зрителей - средний возраст посетителей современных театральных площадок составляет 36,1 года, когда как средний возраст посетителей классического театра -38,4 года. По данным этого исследования так же было выявлено, что более трех четвертей зрителей российских театров получили образование выше среднего, у 57,4 % - одно высшее образование, 14,1 % получили несколько высших образований, у 4,3 % присутствует ученая степень [3, с. 109].

Исследование 2024 г. позволило составить психографический (43% не посещающих театр являются активными телезрителями) и демографический срез группы тех, кто практически не посещает театры: для таких граждан характерен более высокий процент лиц старше 60 лет (42%), преобладают мужчины (37%), женщин чуть меньше - 32%.

Никогда не посещали театр 25% мужчин, 60% россиян с неполным средним, 34% со средним и 29% со средним специальным образованием.

Представлялось важным выяснить причины, препятствующие посещению театра. 33% в этой группе сетовали на отсутствие театра по месту его проживания (в 2008 г. их было 36%), эту причину чаще указывали граждане старше 45 лет (44%), когда, как только 7% в группе до 25 лет.

Нехватка свободного времени была обозначена как причина в 23% ответов. Чаще этот вариант называли опрошенные до 45 лет (18-24 лет – 30%, 25-34 лет – 37%, 35-44 лет – 33%) и жители городов (Москва– 30%, города-миллионники – 42%) [1].

Еще 17% в этой группе честно указали, что у них нет интереса к театральному искусству (2008 г. – 16%), доля таковых выше среди мужчин – 24% (10% среди женщин), и, что важно в контексте данной работы, среди молодых в возрасте 18-24 лет – 45%.

Дороговизна билетов останавливает 8% тех, кто редко ходит в театр или вовсе не ходит туда [1].

Для уточнения данных нами был проведен анонимный опрос. Он был проведен для того, чтобы определить, как востребованность театров, так и то, что интересно аудитории в театральных постановках.

По результатам мы видим, что 41,2% посещают театры 1-2 раза в год, однако мы можем видеть 17,6% респондентов, которые посещают театры более 5 раз в год, что может говорить о том, что посещение театров для них является значимым.

58,8% опрошенных привлекают комедийные спектакли, что говорит о том, что люди приходят в театры, чтобы зарядиться позитивным настроением и отдохнуть.

Для большинства респондентов 64,7% известность актеров или режиссеров влияет на решение посетить театр, 47,1% в качестве определяющего фактора отметили тематику постановки и стоимость билетов, 5,9% респондентов отметили, что на решение влияют посты блогера о театре. Эти данные созвучны с результатами регионального исследования - студенты при выборе постановки для посещения обращают оценивают жанр спектакля (29,5 %), обращают внимание на цену билета (13,2 %), учитывают рекомендациям друзей (13,2 %), ориентируются на состав труппы и конкретных актеров, задействованных в постановке (11,5 %) [4].

41,2% опрошенных очень положительно относится к современному театру. Следует сказать о полном отсутствии показателя «очень отрицательно», что говорит о том, что аудитории, в целом, интересно посещение театра.

Проблема очерчена, рассмотрим основные пути ее решения, а именно – технологии и инструменты популяризации театрального искусства.

Согласимся, что одной из причин низкой популярности театров среди молодежи, пусть и косвенной, является развитие рынка рекреационных услуг и высокая конкуренция с другими досуговыми учреждениями, которые более доступны и в финансовом плане, и в других аспектах, например, место покупки билетов, время посещения, дорога до учреждения досуга и т. д. [5]. Преимуществами кино, музыкального искусства является возможность онлайн-потребления, значит нужно расширить перенос театров в цифровой формат.

Так, уже сейчас специализированные онлайн-платформы позволяют оперным театрам представлять свои представления и события в формате, доступном для онлайн-просмотра. Это увеличивает доступность оперного искусства для широкой аудитории и позволяет привлечь зрителей из разных географических регионов и любой возрастной категории [6].

Практически у каждого театра есть официальный сайт, группы в сетях, развиваются порталы и сайты профессиональных театральных сообществ [7].

Театральное искусство связано с коллективным восприятием, когда возможность обсудить увиденный спектакль, поделиться впечатлениями приобретает важность, возможно, поэтому лишь 8,4 % студентов посещают театр в одиночку [4]. Вовлечение блогеров к освещению театральной тематики может стать заменой коллектива – дистанционно зрители смогут обменяться мнениями в комментариях. Это утверждение подтверждено результатами нашего собственного опроса - большая часть респондентов (82,4%) хотели бы получать информацию о театральной индустрии от блогеров. При этом 70,6% респондентов указали, что им интересен розыгрыш билетов на постановки, что говорит о том, что аудиторию будут привлекать различные конкурсы, в которых необходимо будет принимать участие, а блогеры, как известно, хорошо отработали методику разработки и проведения вовлекающих онлайн ивентов.

Не противоречат наши рекомендации и данным исследования 2019 г.: когда на вопрос «откуда зрители получают информацию» 68% опрошенных заявили, что узнают о театральных

событиях и новостях, как правило, из онлайн-медиа, 48% респондентов отметили, что важным каналом выступают социальные сети.

Таким образом, на основе проведенного опроса нами сделан вывод, что аудитории интересно получать информацию от блогеров о предстоящих постановках, самих театрах, а также интересны конкурсы в виде розыгрыша билетов. Привлечение блогеров для популяризации театрального искусства может стать эффективным решением.

Нами был проведен анализ данной идеи проекта в форме SWOT-анализа, который представлен в таблице 1.

Таблица 1

SWOT-анализ проекта «Блогер в театре»

Strenghts (сильные стороны)	Weakness (слабые стороны)
Уникальный контент о закулисье театра Прямой доступ к артистам и создателям спектаклей Возможность создания тесных связей с театрами и аудиторией Профессиональный рост и знания в сфере искусства	Ограниченный доступ к закрытым мероприятиям Финансовые затраты на посещение театров Необходимость постоянного присутствия на мероприятиях Высокая конкуренция среди театральных блогеров
Opportunities (возможности)	Threats (угрозы)
Рост интереса к театральному искусству Развитие новых форматов контента (VR-туры, прямые трансляции) Создание образовательных проектов Участие в театральных фестивалях и премиях Развитие профессионального/экспертного статуса	Изменение политики театров по работе с блогерами Появление новых конкурентов Снижение интереса аудитории к театральному контенту Сложности с авторским правом на материалы Риск потери репутации из-за негативных отзывов

Продуктом проекта станет уникальный экспертный контент о театральном искусстве (бэкстейджи, интервью с артистами, закулисье, рецензии).

Таким образом, необходимо расширить работу театров в Интернет-пространстве, чтобы повысить популярность театрального искусства у россиян. Форматы цифровизации могут быть разнообразными: и система онлайн-сбыта билетов, и онлайн-трансляции спектаклей, и использование лидеров мнений, например, блогеров и как источник информации о театральных новинках, так и в качестве инструментов активизации обсуждения новостей театральной жизни, развития театральной критики и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Весь мир – театр! – Текст: электронный. 2024. – URL: https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/ves-mir-teatr (дата обращения: 20.06.2025).

2. Пойдем в театр? – Текст: электронный. 2019. – URL: https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/pojdyom-v-teatr (дата обращения: 20.06.2025).

3. *Большакова Н.В., Максимова А.С.* Театральная социология: зритель настоящего и его ожидания от будущего // Театр. Живопись. Кино. Музыка. 2019. №4. С. 105-121.

4. *Блохина М.В., Григорьев Л.Г.* Отношение студенческой молодежи к театральному искусству: результаты социологического исследования в Твери // ВЭПС. 2021. №3. – Текст: электронный. – 2021. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otnoshenie-studencheskoy-molodezhi-k-teatralnomu-iskusstvu-rezultaty-sotsiologicheskogo-issledovaniya-v-tveri (дата обращения: 20.06.2025).

5. *Тимохович А.Н., Лелякова А.С., Шкуропацкая В.А.* Отношение студенческой молодежи к театрам: результаты эмпирического исследования // Primo aspectu. 2023. №2 (54). С. 20-29.

6. *Цагарейшвили С.А.* Использование социальных сетей и онлайн-платформ для продвижения оперных театров // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023. №9-2 (84). С. 250-254.

7. *Куличкина Г.В.* Современные отечественные медиа в сфере театра: место в медиасистеме // Вестник ВУиТ. 2021. №2 (35). С. 127-139.

THE PROBLEM OF POPULARIZATION OF THEATRICAL ART IN RUSSIA

Chuprova A.S.

Supervisor: Galimullina N.M., Associate Professor, Candidate of Historical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article analyzes the attitude of modern youth to the sphere of culture, in particular, to theatrical art. The author provides the results of Russian-scale sociological surveys, as well as statistics collected as part of his own survey. As a solution to promote theaters among young people, it is proposed to expand the use of Internet technologies in the activities of cultural institutions, including in the form of interaction with bloggers.

УДК 796.062

ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ ДЕТСКО-ЮНОШЕСКОГО СПОРТА В РЕГИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Шаймарданова Я.З.

Научный руководитель: Малышева Е.В., к. соц. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье анализируются возможности развития детско-юношеского спорта в Республике Татарстан на примере деятельности спортивной школы олимпийского резерва, функционирующей в г. Набережные Челны. Представлены результаты анализа эффективности деятельности данной спортивной школы, предложены стратегии оптимизации ее работы в контексте развития детско-юношеского спорта в исследуемом регионе.

Развитие детско-юношеского спорта в региональных условиях критически важно для формирования здорового, гармонично развитого молодого поколения, а также для повышения общего уровня физической культуры и спорта в регионе. Спортивные школы играют ключевую роль в развитии детско-юношеского спорта, обеспечивая систематические занятия спортом, физическое и нравственное развитие воспитанников школ, а также подготовку спортсменов, способных выступать на соревнованиях. Спортивные школы являются важным звеном в системе физической культуры и спорта, способствуя формированию здорового образа жизни, патриотическому воспитанию и гражданской идентичности у молодого поколения. Для обеспечения качественной подготовки юных спортсменов и достижения ими высоких результатов детско-юношеским спортивным школам требуется эффективное управление. В частности, спортивная школа олимпийского резерва «ВИТЯЗЬ», функционирующая в г. Набережные Челны, как одна из ведущих спортивных школ региона, нуждается в разработке и внедрении эффективных стратегий для повышения своей конкурентоспособности и улучшения результатов деятельности. Анализ деятельности СШОР «Витязь» позволит выявить как существующие проблемы, так и потенциал развития спорта в исследуемом регионе, а также разработать стратегии, направленные на повышение эффективности деятельности спортивной школы для достижения ею высоких результатов, обеспечения устойчивого развития и максимизации ее влияния на общество.

Эффективность деятельности организации – это многогранное понятие, которое охватывает различные аспекты функционирования и развития организации. В широком смысле эффективность можно определить, как соотношение между достигнутыми результатами и затраченными ресурсами. Это соотношение позволяет оценить, насколько успешно организация реализует свои цели и задачи, а также насколько рационально использует имеющиеся ресурсы – финансовые, человеческие, материальные и временные. Эффективность может быть измерена через различные показатели, такие как прибыльность, производительность труда, уровень удовлетворенности клиентов и сотрудников, а также устойчивость к внешним вызовам [1].

Спортивные организации имеют свои специфические возможности и ограничения в разработке стратегий развития деятельности, которые преимущественно зависят от уровня соревнований, в которых участвует организация. Это могут быть региональные, национальные или международные соревнования. На каждом из таких соревнований предусмотрены различные условия участия спортсменов и возможности для реализации бизнес-стратегий [2].

Спортивная школа олимпийского резерва «Витязь», осуществляющая свою деятельность в городе Набережные Челны, представляет собой важный центр по подготовке спортсменов, который играет значительную роль в развитии физической культуры и спорта в регионе. Основанная с целью выявления и развития спортивных талантов, школа активно работает над созданием условий для занятий спортом на высоком уровне [3].

Для качественной оценки деятельности СШОР «Витязь» воспользуемся методом SWOT-анализа, являющимся инструментом стратегического планирования и позволяющим систематизировать информацию о внутренних и внешних факторах, влияющих на деятельность организации. Данный метод позволяет выявить внутренние сильные и слабые стороны организации, а также возможности и угрозы ее внешней среды, что способствует более объективной оценке текущего положения организации и разработке эффективной стратегии ее развития.

Раскроем сильные стороны деятельности СШОР «Витязь», к которым можно отнести:

1. Наличие квалифицированного тренерского состава с подтвержденными успехами в подготовке спортсменов высокого уровня, обладающих необходимыми знаниями, навыками и опытом для эффективного обучения и развития спортсменов, а также для достижения ими высоких спортивных результатов.

2. Устоявшаяся репутация спортивной школы, связанная с длительным периодом осуществления своей деятельности (школа работает на протяжении 23 лет при среднем показателе по данной отрасли в 13 лет), высокими спортивными результатами, качественной подготовкой молодых спортсменов, наличием квалифицированных тренеров и благоприятной атмосферой в школе, что формирует ее положительный имидж на рынке, доверие со стороны спортсменов-учащихся школы и их родителей, а также позволяет установить доверительные отношения с ключевыми партнерами.

3. Традиционные методики обучения: СШОР «Витязь» использует в своей деятельности неоднократно апробированные на практике программы тренировок, основанные на передовых научных знаниях и многолетнем опыте, соответствующие стандартам и требованиям конкретного вида спорта, а также адаптированные к возрасту и уровню подготовки спортсменов.

4. Устоявшиеся традиции спортивного мастерства и благоприятная атмосфера в спортивной школе, положительно влияющие на физическое и психологическое здоровье воспитанников школы, мотивируют их на достижение высоких спортивных результатов и создают позитивную среду для развития.

5. Регулярное участие воспитанников школы в соревнованиях различного уровня, включая районные, городские и национальные, и достижение ими высоких спортивных результатов повышают узнаваемость школы, привлекают внимание талантливых спортсменов и спонсоров.

Раскроем слабые стороны деятельности СШОР «Витязь»:

1. Наличие в школе устаревшей инфраструктуры, требующей замены большей части имеющегося оборудования. Более половины инвентаря школы полностью амортизированы, что негативно влияет на комфорт тренировочного процесса, обеспечение безопасности в подготовке спортсменов и имидж спортивной школы.

2. Низкая эффективность маркетинговой деятельности: недостаточное продвижение услуг школы и привлечение новых спортсменов приводит к снижению количества ее воспитанников, упущенным возможностям для развития и недостаточной нагрузке у тренерского состава.

3. Недостаток внебюджетного финансирования: сильная зависимость от государственного финансирования делает школу уязвимой к изменениям в бюджетной политике и ограничивает возможности для развития и улучшения материально-технической базы.

4. Ограниченный спектр дополнительных услуг: отсутствие или недостаточное развитие дополнительных сервисов (спортивное питание, психологическая поддержка, восстановительные процедуры) может снижать конкурентоспособность школы по сравнению с другими спортивными учреждениями, функционирующими в г. Набережные Челны.

Деятельность СШОР «Витязь» сопровождается следующими возможностями, предоставляемыми ей внешней средой:

1. Активный поиск грантов, предоставляемых государственными и частными фондами, а также привлечение спонсорской поддержки от местных предприятий и крупных компаний, заинтересованных в развитии спорта и поддержке молодежи, что позволит обновить инфраструктуру спортивной школы, закупить современное оборудование и расширить спектр предоставляемых ею услуг.

2. Разработка и предложение дополнительных платных услуг, таких как организация индивидуальных тренировок с опытными тренерами, предоставление путевок в специализированные спортивные лагеря в каникулярное время, а также предоставление услуг по спортивной медицине и реабилитации позволит увеличить доходы спортивной школы и обеспечить ее финансовую устойчивость.

3. Активное сотрудничество с местными предприятиями и компаниями (предоставление скидок сотрудникам на спортивные занятия), школами (организация совместных спортивных мероприятий и секций), детскими садами (проведение ознакомительных занятий и привлечение новых учащихся) и другими спортивными организациями (обмен опытом и проведение совместных тренировок) позволит расширить охват аудитории и повысить узнаваемость спортивной школы в регионе.

4. Совершенствование маркетинговой и PR-кампаний. Разработка и реализация эффективной маркетинговой стратегии, включающей активное продвижение школы в социальных сетях (публикация интересных новостей, фотографий и видео с тренировок и соревнований), создание привлекательного и информативного веб-сайта, участие в местных мероприятиях и выставках, а также налаживание связей со СМИ для публикации статей и репортажей о достижениях школы позволит привлечь в школу новых спортсменов-учащихся, повысить узнаваемость школы на рынке спортивных услуг и заинтересовать потенциальных спонсоров.

5. Внедрение современных и востребованных видов спорта, а также организация секций по общефизической подготовке и оздоровительным видам спорта для привлечения более широкой аудитории позволит расширить контингент учащихся и адаптироваться к изменяющимся потребностям рынка.

Ключевые внешние угрозы, влияющие на деятельность СШОР «Витязь», включают в себя следующее:

1. Сокращение бюджетного финансирования: риск уменьшения государственного финансирования, вызванный экономическими факторами или изменением приоритетов в государственной политике, может привести к сокращению штата тренеров, ухудшению

материально-технической базы школы и снижению качества тренировочного процесса.

2. Конкуренция: наличие других спортивных школ и клубов в регионе, предлагающих аналогичные или более привлекательные услуги, обладающих более современной инфраструктурой и использующих инновационные методики тренировок может привести к оттоку учащихся и снижению конкурентоспособности СШОР «Витязь».

3. Экономический спад в регионе или стране, приводящий к снижению доходов предприятий и населения, может существенно затруднить привлечение спонсоров и грантов, а также снизить платежеспособность родителей, готовых оплачивать спортивные занятия своим детям.

4. Нехватка кадров: сложность в поиске и привлечении высококвалифицированных тренеров, обладающих опытом работы с детьми и подростками, способностью мотивировать и вдохновлять их на достижение высоких результатов, а также риск потери ценных сотрудников из-за низкой заработной платы, отсутствия возможностей для профессионального роста или неблагоприятных условий труда.

5. Изменения демографической ситуации: снижение рождаемости в регионе, приводящее к уменьшению числа потенциальных воспитанников спортивной школы, а также изменение интересов детей и подростков, предпочитающих спорту другие виды деятельности, может привести к снижению спроса на спортивные занятия и уменьшению количества спортсменов, обучающихся в школе.

Для осуществления более точной оценки эффективности деятельности СШОР «Витязь» автором в апреле-мае 2025 года был проведен анкетный опрос среди спортсменов данного учреждения (n=50 человек). Результаты, полученные в ходе проведения анкетного опроса, позволили выявить как положительные, так и отрицательные стороны работы спортивной организации «Витязь».

Раскроем сильные стороны деятельности СШОР «Витязь», к которым, как показал анализ результатов анкетирования, можно отнести следующие аспекты:

1. Удовлетворенность обучающихся организацией тренировочного процесса: большинство респондентов (40% - «Очень удобно и эффективно» + 24% - «В основном удобно и эффективно») положительно оценивают организацию тренировочного процесса в СШОР «Витязь», считая ее способствующей эффективным занятиям. Это свидетельствует о высоком качестве образовательного процесса, эффективной системе тренировок в данной спортивной школе, а также о положительном влиянии занятий на физиологическое и психологическое состояние обучающихся. Однако необходимо учитывать, что значительная часть респондентов (31%) занимает в этом вопросе нейтральную позицию, что может указывать на наличие зон для улучшения.

2. Умеренная удовлетворенность информационной поддержкой: значительная часть респондентов удовлетворена информационной поддержкой со стороны администрации спортивной школы (16% - «Полностью удовлетворен» + 32% - «В основном удовлетворен»), что свидетельствует об эффективной коммуникации и доступности информации для обучающихся. Однако стоит отметить, что почти половина респондентов (44%) выразила меньшую степень удовлетворенности данным аспектом, что требует проведения дополнительного анализа и разработки комплекса мероприятий, направленных на улучшение процесса информирования потенциальных и имеющихся воспитанников спортивной школы о различных сторонах ее деятельности.

3. Умеренная оценка интенсивности тренировок: большинство респондентов (16% – «В полной мере» + 24% – «В значительной степени») считают, что тренировки в спортивной школе в достаточной степени интенсивны и способствуют достижению поставленных целей. Это свидетельствует об адекватном уровне нагрузки и эффективности тренировочного процесса для значительной части обучающихся. Однако важно обратить внимание на то, что 44% респондентов оценили интенсивность тренировок на среднем и низком уровне, что может указывать на необходимость индивидуализации подхода и адаптации нагрузки под конкретного обучающегося.

4. Высокий уровень рекомендаций: значительная часть опрошенных (32% – «Обязательно порекомендую» + 32% – «Скорее порекомендую») готовы рекомендовать данное спортивное учреждение своим знакомым, что является показателем общего позитивного восприятия и удовлетворенности респондентами предоставляемыми школой услугами. Тем не менее, 20% респондентов затрудняются с ответом или не готовы рекомендовать данное спортивное учреждение, что указывает на наличие проблем, требующих внимания.

Наряду с сильными сторонами, анализ результатов анкетного опроса выявил и ряд направлений, требующих оптимизации, в частности:

1. Недостаточная удовлетворенность респондентами условиями для подготовки и участия в соревнованиях: несмотря на то, что часть респондентов оценивает условия для подготовки и участия в соревнованиях положительно (24% «Отлично» и 20% «Хорошо»), значительная доля опрошенных (28% – «Удовлетворительно» + 12% – «Плохо» + 16% - «Очень плохо») выражает неудовлетворенность данным аспектом работы спортивной школы. Это является серьезной проблемой, требующей проведения дополнительного анализа и последующего улучшения условий, предоставляемых данным спортивным учреждением для подготовки и участия учащихся в соревнованиях.

2. Недостаток необходимых ресурсов (инвентарь, оборудование, площадки) для проведения качественных тренировок, на что указывают 80 % опрошенных.

Таким образом, результаты анкетного опроса показали, что СШОР «Витязь» демонстрирует достаточно высокую эффективность в плане организации тренировочного процесса и достижения ее воспитанниками высоких спортивных результатов. Однако нехватка ресурсов является существенной проблемой, которая может привести к снижению качества тренировочного процесса, увеличению риска травм у спортсменов, ухудшению результатов и даже к оттоку талантливых спортсменов. Это также может негативно сказаться на общем здоровье и физическом развитии воспитанников школы, а также ни их мотивации к занятиям спортом.

Повышение эффективности деятельности СШОР «Витязь» требует комплексного подхода, учитывающего финансовое состояние спортивной школы, ее материально-техническую базу и управленческие аспекты. Для решения выявленных в ходе исследования проблем предлагается комплексный подход, включающий в себя:

1. Повышение квалификации тренерского состава: организация профессиональной подготовки и переподготовки тренеров с акцентом на современные методики, инновационные технологии и психологию работы со спортсменами разного возраста и уровня подготовки. Привлечение высококвалифицированных специалистов (мастеров спорта, спортивных психологов, специалистов по физической реабилитации) для проведения мастер-классов и консультаций.

2. Привлечение и мотивация кадров: вовлечение студентов профильных учебных заведений в организацию физкультурно-массовой работы, проведение стажировок и практик. Введение системы материального стимулирования тренеров, включающей премии за высокие результаты воспитанников, личные достижения тренера, участие в научно-исследовательской деятельности и личный вклад в развитие школы.

3. Улучшение материально-технической базы СШОР «Витязь»: активное привлечение спонсоров, участие в грантовых программах для модернизации спортивного оборудования, ремонта и обновления помещений, а также создание современных условий для тренировок и соревнований.

4. Совершенствование учебно-тренировочного процесса: усиление работы по повышению качества учебно-тренировочного процесса, разработка индивидуальных программ для спортсменов с учетом их физиологических особенностей и целей, расширение направлений внеучебной деятельности (лекции, семинары, анализ техники), увеличение числа спортивных мероприятий различного уровня (внутришкольные соревнования, участие в турнирах).

5. Организацию работы с особыми категориями спортсменов: разработка специализированных программ для работы со спортсменами, имеющими медицинские ограничения с привлечением специалистов по лечебной физкультуре и спортивной медицине.

6. Пропаганду здорового образа жизни и популяризацию спорта: активная пропаганда здорового образа жизни через СМИ и социальную рекламу, организация открытых тренировок и мастер-классов для населения, проведение спортивных праздников и мероприятий, направленных на привлечение детей и подростков к занятиям спортом.

Реализация предложенных мер в рамках комплексной программы позволит значительно повысить эффективность деятельности СШОР «Витязь», улучшить качество подготовки спортсменов, расширить спектр оказываемых ею услуг, укрепить позиции спортивной школы на региональном рынке.

Успешная реализация разработанных стратегий потребует четкого планирования, контроля выполнения поставленных задач и гибкого реагирования на изменения внешней среды. Регулярный мониторинг эффективности применяемых мер, включая проведение повторных анкетных опросов и анализ спортивных результатов, позволит корректировать стратегию и достичь целей по повышению эффективности деятельности СШОР «Витязь» и обеспечить устойчивое развитие организации в дальнейшей перспективе.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что совершенствование деятельности спортивных школ является необходимым условием для успешного развития детско-юношеского спорта, поскольку именно в этих учреждениях закладывается фундамент для будущего спорта, формируются спортивные таланты и осуществляется подготовка спортсменов. Совершенствование спортивных школ, включая модернизацию инфраструктуры, повышение квалификации тренеров, внедрение современных методик тренировок, позволяет повысить уровень подготовки юных спортсменов и популяризовать спорт среди молодежи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Журавлев П.В.* Финансовый анализ в спортивной организации. М.: Юрайт, 2023. С. 32-34.

2. *Смирнов Э.А.* Стратегическое управление: Учебник. М.: Юнити, 2023. С. 40-41.

3. 2Rusprofile.ru Информационный портал. Официальная страница Муниципального автономного учреждения дополнительного образования города Набережные Челны «Спортивная школа «Витязь» имени М.Ш. Бибишева» [Электронный ресурс]. URL: https://www.rusprofile.ru/id/316840?ysclid =mb5mbmyl53570105960, свободный (дата обращения: 23.05.2025).

OPPORTUNITIES FOR THE DEVELOPMENT OF YOUTH SPORTS IN REGIONAL CONDITIONS

Shaimardanova Y.Z.

Supervisor: Malysheva E.V., Candidate of Sociological Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article analyzes the possibilities of developing children's and youth sports in the Republic of Tatarstan using the example of the Olympic Reserve sports school operating in Naberezhnye Chelny. The results of the analysis of the effectiveness of this sports school are presented, strategies for optimizing its work in the context of the development of youth sports in the region under study are proposed.

УДК 316

СМЕНА ПРИОРИТЕТОВ МОЛОДЁЖИ В ВЫБОРЕ ПРОФЕССИИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБЩЕСТВА

Шафигуллина А.М.
Научный руководитель: Ларионова И.В., доцент, к. соц. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева - КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается влияние цифровизации на трансформацию рынка труда и профессиональное самоопределение молодежи. Анализируются ключевые тренды: переход от традиционных профессий к цифровым специальностям, рост спроса на гибкие навыки и междисциплинарные компетенции, а также изменение ценностей новых поколений в выборе карьеры. Особое внимание уделяется роли непрерывного образования и адаптивности в условиях быстро меняющейся технологической среды. На основе данных исследований (ВЦИОМ, PwC, VK Education) показано, как цифровая эпоха переопределяет понятие профессионального успеха и созданию индивидуальных профессиональных траекторий развития.

Современное общество переживает эпоху стремительной цифровизации, которая трансформирует все сферы жизни, включая рынок труда и профессиональное самоопределение молодёжи. Ускоренный технологический рост, внедрение автоматизированных систем и развитие искусственного интеллекта существенно перекраивают перечень традиционных профессий, оказывая, тем самым, воздействие на решения, принимаемые новым поколением при выборе профессии.

Темпы нынешних изменений настолько масштабны, что их часто сравнивают с промышленной революцией. Если раньше технологические сдвиги занимали десятилетия, то сейчас новые технологии и платформы возникают за считанные годы, радикально меняя требования к навыкам и знаниям сотрудников, необходимым для работы. Эти стремительные изменения ставят перед современным поколением принципиально новые вызовы, заставляя переосмыслить сам подход к профессиональному развитию. В эпоху, когда технологии стремительно меняют профессии, опережая образовательные программы, критически важно понимать суть и последствия цифровизации.

Профессиональные предпочтения молодежи определяются технологическим прогрессом. Вместо стабильности и престижа, на первый план выходят возможности роста в цифровой среде, удаленная работа и гибкий график. Профессии в сфере IT, анализа данных и цифрового маркетинга привлекают больше студентов, чем традиционные специальности. По данным исследования компания «VK Education» большинство участников опроса (73%) видит перспективы для карьерного роста в крупных и средних компаниях. Среди важных факторов выбора работодателя большая часть респондентов (около 59%) упомянули гибкий график, 49% выделяли возможность удаленной работы, 46% — социальный пакет, а 44% — поддержку обучения со стороны компании [1].

Ключевым становится не столько образование, сколько готовность к постоянному обучению и развитию. Это связано с тем, что технологии меняют саму суть работы, стирая границы между физическим и цифровым пространством. Молодые люди выбирают профессии, позволяющие работать из любой точки мира, при этом имея доступ к информации, которая позволяет им осваивать различные скилы в дистанционном формате. Информационный поток очень быстрый, поэтому молодёжь должна научиться приспосабливаться и оперативно обновлять свои знания, ведь современная организация отдает предпочтения реальным компетенциям и опыту, а не формальным дипломам.

Особенно показательно изменение отношения к традиционным профессиям – многие молодые люди сознательно отказываются от карьеры в госструктурах или на крупных промышленных предприятиях в пользу более рискованных, но перспективных направлений в

цифровой экономике. Такой выбор отражает не только экономический расчёт, но и новые жизненные ценности поколения, выросшего в эпоху интернета – стремление к свободе, самореализации и возможности влиять на происходящие изменения. При этом успешное профессиональное развитие всё чаще строится не вокруг одной специальности, а на стыке нескольких дисциплин, что требует от молодых специалистов широкого кругозора и междисциплинарного подхода. Результаты исследований общественного мнения свидетельствуют о существенных изменениях в восприятии россиянами статуса профессий за последние десятилетия. По данным ВЦИОМ, в 2006 году 28% опрошенных считали престижным быть специалистом в юридической сфере, 20% - экономистом, 10% - работником банковской сферы, 10% - предпринимателем [2]. А в 2023 году совершенно иная статистика, юридическую сферу выбирают всего лишь 7% респондентов, экономистами хотят стать 4% участников опроса, банковскую сферу предпочли 3% опрошенных [3]. В то же время, рейтинг IT- специальностей за последние годы повысился. Если в 2006 году работу в сфере информационных технологий включали в тройку наиболее престижных профессий только 7% опрошенных, то в 2023 году подобный выбор сделали уже 31% опрошенных ВЦИОМ граждан РФ.

Цифровая революция не просто расширяет рынок труда новыми профессиями, она кардинально перекраивает его. Традиционные представления о стабильной работе и предсказуемой карьере устаревают. На смену им приходит гибкая модель, где востребованы проектная деятельность, дисциплина и умение быстро адаптироваться. Чтобы преуспеть в этом новом мире, молодежи необходимо развивать цифровые навыки, способность к непрерывному обучению, эмоциональный интеллект и умение эффективно взаимодействовать с людьми из разных культур.

Рынок труда характеризуется высокой изменчивостью и неопределенностью. Успех больше не гарантируется традиционным карьерным ростом, а требует адаптивности и способности быстро переключаться между различными задачами. На первый план выходят реальные результаты, умение справляться с комплексными задачами и работать в команде. Профессиональное развитие становится непрерывным процессом проб и ошибок, где каждый самостоятельно выстраивает свою траекторию, комбинируя различные навыки и опыт. В этих условиях образование превращается в постоянную потребность, а не разовый этап, реализуясь через наставничество и взаимное обучение.

Трансформация профессиональной сферы требует от системы образования и молодых специалистов инновационных решений. Старые методы профориентации больше не актуальны. Государство старается поддержать молодежь различными способами: школьная программа по информатике обновлена с учетом последних достижений в программировании и искусственном интеллекте. Сейчас идет разработка единого государственного учебника; Минпросвещения предлагает с 2025 года проводить Всероссийскую олимпиаду по робототехнике и БПЛА; кабинеты информатики в школах оснащены современным компьютерным и мультимедийным оборудованием [4].

Вузы России же в свою очередь пытаются в быстром темпе внести обновления в образовательную программу и внедрить как можно больше цифровых решений для студентов. Ярким примером является КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, где в 2022 году открылся Проект «Цифровая кафедра КАИ» и стал частью программы «Приоритет-2030». Суть проекта — обучение ИТ-специальностям всех желающих, вне зависимости от основной программы обучения в вузе. Поступить на кафедру могут обучающиеся очной и очно-заочной формы обучения от 2 курса и выше (бакалавриата и специалитета), а также магистранты вуза. По информации на 2022 год, обучение по программам Цифровой кафедры КНИТУ-КАИ успешно завершили 749 человек.

Благодаря поддержке со стороны государства у молодежи развиваются навыки самоанализа и осознанного выбора, чтобы они могли не просто выбирать профессию, а создавать собственные, уникальные профессиональные роли, объединяя различные области знаний.

Современный мир стремительно трансформируется под влиянием цифровых технологий, проникающих во все сферы жизни - от повседневного общения до глобальных бизнес-процессов. Цифровизация кардинально меняет рынок труда, стирая границы между традиционными профессиями и создавая принципиально новые требования к компетенциям специалистов. В условиях, когда технологии устаревают быстрее, чем заканчивается обучение по стандартным образовательным программам, ключевым преимуществом становится не столько объем накопленных знаний, сколько способность к их постоянному обновлению. Это требует развития способностей, позволяющих быстро осваивать новые знания и адаптироваться к динамичным условиям цифровой экономики. В подобной среде особую ценность приобретают когнитивная гибкость, цифровая грамотность и готовность к непрерывному обучению, которые становятся фундаментом профессиональной успешности в эпоху цифровой трансформации.

Современные реалии цифровой экономики кардинально изменили традиционные представления о возрастных ограничениях в профессиональном обучении. Если раньше дополнительное образование ассоциировалось преимущественно с молодыми специалистами, то сегодня мы наблюдаем принципиально иную картину: специалисты всех возрастных категорий демонстрируют удивительную готовность к постоянному развитию. Опытные работники активно осваивают цифровые инструменты. По данным «PwC Global Workforce Hopes and Fears Survey 2022» 74% работников по всему миру готовы учиться новым навыкам или полностью переучиться, чтобы остаться востребованным [5]. Также по результатам совместного опроса «Ингосстраха» и Финансового университета при Правительстве РФ, опубликованным в апреле 2024 года, где участвовали россияне в возрасте от 45 до 65 лет выяснилось, что 41,9% участников опроса намерены повысить квалификацию в текущей профессии и получить новые знания и навыки на рабочем месте; 26,2% собираются учиться для саморазвития, повышения культурного уровня, расширения кругозора и развития хобби [6].

Можно сказать, что цифровая трансформация общества кардинально изменила подходы к профессиональному самоопределению молодёжи. Современные технологии не просто создают новые профессии – они формируют принципиально иную систему трудовых отношений, где ценится гибкость, адаптивность и способность к непрерывному обучению. Традиционные модели профессиональной подготовки молодежи уступают место гибким программам развития будущих компетенций, где акцент делается на цифровой грамотности, творческом мышлении и способности решать комплексные задачи. Особую важность приобретает формирование экосистемы непрерывного образования, сочетающей формальное обучение с онлайн–платформами и практическим опытом.

Цифровая трансформация – это не просто технологический сдвиг, а фундаментальное изменение всей философии профессионального развития, требующее от нового поколения особой ментальной гибкости и стратегического подхода к построению карьеры. Ключевыми становятся способность проектировать свой путь в профессию, комбинируя различные навыки и дисциплины, а также готовность к постоянной самореализации в условиях неопределённости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Исследование: 53% молодежи планирует связать свою карьеру с IT // URL: https://knife.media/it-career-study/ (дата обращения 05.06.2025).

2. Профессии в России: престиж, доходность, востребованность // ВЦИОМ. URL: https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/professii-v-rossii-prestizh-dokhodnost-vostrebovannost?ysclid=mbmq1twxc6545288868 (дата обращения 05.06.2025).

3. Работать айтишниками в России стало престижнее, чем врачами или юристами // URL: https://www.dp.ru/a/2023/07/07/rabotat-ajtishnikami-v-rossii?ysclid=mbmq4vhr3r173817842 (дата обращения 06.06.2025).

4. За три года количество студентов цифровых направлений в России выросло на 42% // URL: https://объясняем.рф/articles/news/za-tri-goda-kolichestvo-studentov-tsifrovykh-napravleniy-v-rossii-vyroslo-na-42/ (дата обращения 06.06.2025).
5. Global Workforce Hopes and Fears Survey 2022 // URL: https://www.pwc.com/gx/en/hopes-and-fears/downloads/global-workforce-hopes-and-fears-survey-2022-v2.pdf (дата обращения 06.06.2025).
6. Пятая часть россиян от 45 до 65 лет хотели бы овладеть новой профессией // URL: https://russian.rt.com/russia/news/1300884-rossiyane-rabota-professiya (дата обращения 07.06.2025).

CHANGING THE PRIORITIES OF YOUNG PEOPLE IN CHOOSING A PROFESSION IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION OF SOCIETY

Shafigullina A.M.
Supervisor: Larionova I.V., Associate Professor, Candidate of Sociological Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan)

Abstract. The article examines the impact of digitalization on the transformation of the labor market and professional self-determination of young people. The key trends are analyzed: the transition from traditional professions to digital specialties, the growing demand for flexible skills and interdisciplinary competencies, as well as the changing values of new generations in choosing a career. Special attention is paid to the role of continuing education and adaptability in a rapidly changing technological environment. Based on research data (VTsIOM, PwC, VK Education), it is shown how the digital age redefines the concept of professional success and the creation of individual professional development trajectories.

УДК 82.1 + 1(091)

ИДЕИ И СМЫСЛЫ АКТУАЛЬНЫЕ СЕГОДНЯ ДЛЯ СОЦИУМА В РУССКОЙ ЛИТЕРАТУРЕ

Штурбабин Н.С.
Научный руководитель: Дружинина И.А., доцент, к. и. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье анализируются основные социально-философские идеи Л.Н. Толстого, его путь к синтезу представленных идей, которые по сей день актуальны для социума.

Творчество Льва Николаевича Толстого занимает центральное место в истории русской литературы, выступая не только образцом художественного мастерства, но и глубоким философским исследованием ключевых вопросов человеческого существования. В его произведениях, и особенно в эпопее «Война и мир», философские размышления органично вплетены в ткань повествования, формируя уникальный синтез искусства и мысли. Уже в этом масштабном романе, созданном в 1860-е годы, Толстой закладывает основы своих идей, которые позднее, к концу XIX — началу XX века, кристаллизуются в целостную философскую систему, охватывающую этику, историософию, религию и проблему смысла жизни.

В «Войне и мире» Толстой исследует природу свободы и необходимости, роль личности в истории, противоречие между индивидуальным выбором и стихийным ходом событий. Через судьбы героев, таких как Пьер Безухов или Андрей Болконский, автор раскрывает экзистенциальные поиски истины, стремление к нравственному идеалу и осмыслению своего места в мире. Эти темы становятся прологом к философско-этическим трудам позднего периода, где Толстой, пережив духовный кризис 1870-х годов, обращается к вопросам

непротивления злу насилием, критике государственных институтов и религии как основы морали.

Важно подчеркнуть, что философские взгляды Толстого, выраженные в «Войне и мире», не остались статичными — они эволюционировали, отражая его растущий интерес к этическому учению, основанному на евангельских заповедях, и к идее «опрощения» как пути к духовной свободе. Однако уже в романе заметны зачатки его будущих идей: отрицание насилия, вера в единение людей через любовь и сострадание, скепсис по отношению к рациональному познанию в пользу интуитивного постижения жизни. Изучение философских идей Толстого сквозь призму «Войны и мира» и их связи с поздними работами позволяет глубже понять не только эволюцию мыслителя, но и уникальность русской литературы как пространства, где художественное слово становится инструментом философского диалога. Это делает исследование его творчества ключом к осмыслению духовных исканий эпохи, отраженных в единстве искусства и мысли.

Роман-эпопея «Война и мир» (1863–1869) стал для Льва Толстого не только литературным, но и философским манифестом, в котором впервые системно проявились его ключевые мировоззренческие установки. Центральной темой произведения выступает историософия Толстого, отвергающая «великую личность» как двигатель истории. На примере Кутузова и Наполеона автор демонстрирует, что истинная сила исторического процесса кроется в стихийной воле народа, а не в амбициях отдельных правителей [1]. Этот тезис позднее разовьётся в критику государственного насилия и культа власти в публицистике Толстого.

Важнейшим философским аспектом романа становится противопоставление свободы и необходимости. Герои, такие как Андрей Болконский и Пьер Безухов, проходят путь от иллюзорной веры в собственную исключительность к осознанию себя частью всеобщего потока жизни. Например, ранение Болконского под Аустерлицем [2] и его созерцание «высокого неба» символизируют прозрение: истинная свобода возможна лишь через отказ от эгоистических устремлений и слияние с миром.

Особое место занимает этика «естественной жизни» [2], воплощённая в образах Платона Каратаева и Наташи Ростовой. Простота, интуитивное доверие к жизни и способность к самоотдаче, по Толстому, противостоят искусственности светского общества. Эти мотивы станут основой позднейшей идеи «опрощения» — возврата к крестьянскому труду и отрицанию цивилизации как источника нравственной деградации. Не лишним будет упомянуть о том, что роман начинается с диалога на французском языке. На нем разговаривала вся русская аристократия того времени. Сам Лев Николаевич относился к аристократическому сословию, и тем удивительнее его переход к диаметрально противоположному дворянскому взгляду на жизнь и жизненный уклад.

Уже в «Войне и мире» заметен скептицизм Толстого к рационализму. Пьер Безухов, ищущий смысл жизни в масонстве и философских системах, обретает покой лишь через простое человеческое участие — помощь семье Курагиных или общение с Каратаевым. Это предвосхищает поздние мысли писателя о том, что истина познаётся не через разум, а через любовь и духовный опыт. К слову приходится афоризм, приписываемый Эразму Роттердамскому: «Глупость — порождение ума». Ведь порча глупости не в самой разумности, а в использовании ума. Мысль никогда не бывает завершена. Поэтому опора лишь на одну сторону реальности содержит в себе зародыш глупости.

К концу 1870-х годов Лев Толстой переживает глубокий экзистенциальный кризис, описанный в «Исповеди» (1882). Несмотря на успех «Войны и мира» и «Анны Карениной», его охватывает ощущение бессмысленности жизни: «Моя жизнь остановилась. Я не знал, зачем жить» [3]. Этот период становится катализатором трансформации его философии. Кризис был вызван противоречием между творчеством и нравственным идеалом. Толстой осознал, что литература, даже глубокая, не отвечает на главный вопрос: «Как жить?».

Духовный кризис завершает формирование толстовства как философско-религиозного учения, где ключевыми становятся вопросы: смысла жизни, личной ответственности,

единения людей через любовь. Однако его корни, как показывает анализ «Войны и мира», уходят в раннее творчество, где герои-искатели, подобно самому автору, уже шли к истине через сомнения и страдания.

К концу XIX века этико-философские взгляды Льва Толстого кристаллизовались в целостную систему, основанную на этике ненасилия, духовного самосовершенствования и отрицания социальных институтов, противоречащих «естественному» нравственному закону.

Важным следствием кризиса становится отрицание государства и социальных институтов. Толстой приходит к выводу, что власть, суды, армия и даже искусство (если оно не служит народу) основаны на насилии и лицемерии. В отличие от «Войны и мира», где критика элит оставалась в рамках художественного обобщения, теперь он открыто заявляет: «Не участвуйте в зле!» — призывая к пассивному сопротивлению.

Центральным стержнем его мысли стал поиск универсального смысла жизни, который писатель видел не в индивидуальном спасении, а в служении человечеству через любовь и единение. Толстой отвергал деление философии на абстрактные дисциплины, утверждая, что истинная мудрость должна отвечать на практический вопрос: «Как жить?».

Основой его учения стала интерпретация христианства, очищенная от церковных догм и мистицизма. В трактатах «В чём моя вера?» и «Царство Божие внутри вас» Толстой сформулировал «пять заповедей», сводящихся к запрету гнева, насилия, клятв, сопротивления злу и деления людей на «своих» и «чужих». Эти принципы, по его мнению, отражали суть Нагорной проповеди и были доступны каждому, независимо от образования или социального статуса[4]. Эволюция мыслителя демонстрирует преемственность с ранними идеями «Войны и мира».

Учение о непротивлении злу насилием стало краеугольным камнем философской системы Толстого и наиболее радикальным выражением его этических взглядов. Писатель утверждал, что любое насилие, даже оправданное борьбой за справедливость, порождает новое зло, разрывая естественную связь между людьми.

Критикуя революционное насилие и пассивное повиновение власти, Толстой предлагал третий путь — «нравственную революцию». Отказ от участия в институтах, основанных на принуждении (армия, суды, налоги), должен был, по его мысли, привести к распаду системы угнетения. Примером такого сопротивления стал сам писатель: его отказ от авторских прав на произведения, публичная критика царского режима и призывы к солдатам сложить оружие.

Философское обоснование непротивления злу Толстой находил в законе любви, который, в отличие от юридических норм, «вложен в сердце каждого человека». Насилие же он считал следствием страха и невежества, затуманивающих врождённую способность к состраданию. В этом контексте даже самозащита оценивалась как грех, ибо подменяла веру в провиденциальный смысл жизни стремлением сохранить иллюзорную индивидуальную свободу.

Идеи Толстого, однако, не сводились к пассивности. Непротивление требовало мужества, готовности к жертве и ежедневного труда над собой. В повести «Отец Сергий» или пьесе «И свет во тьме светит» герои, следуя этим принципам, сталкиваются с трагическими противоречиями между идеалом и реальностью, что подчёркивает сложность воплощения учения в жизнь. Тем не менее, для Толстого именно в этой борьбе раскрывалась подлинная свобода человека — свобода от страха, насилия и власти обстоятельств.

Учение о непротивлении завершило формирование толстовства как философско-религиозного движения, повлиявшего на мыслителей XX века — от Махатмы Ганди [5] до Мартина Лютера Кинга. Оно стало логическим итогом эволюции писателя: от историософских размышлений в «Войне и мире» до создания этической системы, где любовь и ненасилие провозглашались единственным условием преображения мира [6].

Философские идеи Льва Толстого, воплощённые в его литературных и публицистических трудах, представляют собой уникальный синтез художественного гения и глубокого этического поиска. От ранних размышлений в «Войне и мире» о свободе, необходимости и роли личности в истории до радикального учения о непротивлении злу

насилием в поздних трактатах, мысль писателя эволюционировала, сохраняя при этом внутреннее единство. Центральной осью этой эволюции стал вопрос о смысле жизни, который Толстой решал через призму служения человечеству, отрицания социального насилия и духовного преображения личности.

Творчество Толстого демонстрирует, что русская литература XIX века стала не только зеркалом общественных противоречий, но и пространством философского диалога, где художественные образы превращались в инструменты этического и историософского анализа. Его критика государства, церкви, цивилизации и рационализма, выраженная через идеи «опрощения» и нравственной революции, бросила вызов современникам, предложив альтернативу как революционному радикализму, так и консервативному застою. Учение о непротивлении злу, несмотря на кажущийся утопизм, оказалось пророческим: его принципы легли в основу философии ненасилия Махатмы Ганди, Мартина Лютера Кинга и других деятелей, доказавших действенность этического сопротивления в XX веке [7].

Однако философия Толстого не лишена противоречий. Стремление к абсолютной чистоте морального идеала сталкивалось с невозможностью его полной реализации в мире, где зло принимает системные формы. Трагизм этого противоречия отражён в его поздних произведениях, где герои, подобно самому автору, разрываются между идеалом и компромиссами реальности. Тем не менее, именно в этой борьбе раскрывается главная сила толстовской мысли — её способность пробуждать в человеке нравственное чувство, заставляя задуматься о личной ответственности за мировое зло.

Вклад Толстого в русскую и мировую культуру невозможно переоценить. Он расширил границы литературы, превратив её в лабораторию философских идей, и создал этическую систему, которая остаётся актуальной в эпоху социальных кризисов и экзистенциальных поисков. Его наследие напоминает, что подлинная свобода начинается не с внешних изменений, а с внутреннего преображения, основанного на любви, сострадании и отказе от насилия. Таким образом, Лев Толстой предстаёт не только гениальным писателем, но и мыслителем, чьи идеи продолжают вдохновлять человечество на путь к духовной и социальной гармонии.

Лично для меня, и, возможно, для молодых людей последних поколений удивительная простота и ясность данной этики может стать неоспоримым преимуществом перед какой-либо другой философско-социальной концепцией. Разумеется, она проста только на словах, на деле же она трудна к исполнению и требует настоящего мужества. Но разве бывает что-либо хорошее без определённого усилия?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Толстой Л.Н.* Письмо Н.Н. Страхову от 23 апреля 1876 г. // Полное собрание сочинений: В 90 т. М.: Гослитиздат, 1953. Т. 62. С. 268–270.

2. *Толстой Л.Н.* Война и мир // Собрание сочинений: В 22 т. М.: Художественная литература, 1978–1985. Т. 3–6.

3. *Толстой Л.Н.* Исповедь // Собрание сочинений: В 22 т. М.: Художественная литература, 1983. Т. 16. С. 109–180.

4. *Толстой Л.Н.* Царство Божие внутри вас // Собрание сочинений: В 22 т. М.: Художественная литература, 1983. Т. 24. С. 1–320.

5. *Толстой Л.Н.* Письмо М.К. Ганди от 7 октября 1909 г. // Полное собрание сочинений: В 90 т. М.: Гослитиздат, 1956. Т. 80. С. 23–25.

6. *Эйхенбаум Б.М.* Лев Толстой: Семидесятые годы. Л.: Советский писатель, 1974. 360 с.

7. *Кинг М.Л.* Сила любить. М.: Эксмо, 2020. 256 с.

IDEAS AND MEANINGS RELEVANT TO CONTEMPORARY SOCIETY IN RUSSIAN LITERATURE

Shturbabin N.S.
Supervisor: Druzhinina I.A., Associate Professor, Candidate of Historical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the key socio-philosophical ideas of Leo Tolstoy and his intellectual journey toward synthesizing these concepts, which retain their relevance for contemporary society.

СЕКЦИЯ 25
АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ ОТРАСЛЬ: ИСТОРИЯ И КОММУНИКАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА

УДК 355.292.3

УЧАСТНИКИ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ – РАБОТНИКИ КАФЕДРЫ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ КНИТУ-КАИ

Баженова А.А.

Научный руководитель: Черноглазова А.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань).

Аннотация. В работе рассказывается о судьбах работников кафедры производства летательных аппаратов (ПЛА) Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ, которые приняли участие в Великой Отечественной войне и внесли значительный вклад в развитие авиастроения.

Кафедра ПЛА была организована в 1934 году, спустя два года после основания Казанского Авиационного Института. Она получила название «Производство и организация производства самолетов». Заведующим кафедрой был назначен И.Ф. Пархоменко. На протяжении нескольких лет, с 1934 по 1936 годы, коллектив кафедры принимал участие в строительстве самолетов КАИ-1 и КАИ-3, а в 1938 году под руководством нового заведующего Е.Н. Сивальнева – в создании новой продукции на Казанском авиационном заводе.

В годы Великой Отечественной войны преподаватели кафедры разделили свою судьбу с бойцами Красной Армии и отправились на фронт.

Васильев Георгий Николаевич (родился 19 ноября 1926 года) – уроженец Казани. Окончив среднюю школу в 1943 году, он поступил в КАИ, но через несколько месяцев был призван в ряды Красной армии и направлен в Ижевскую школу авиаспециалистов. После ее окончания сержант Васильев был назначен на должность мастера авиавооружения в 124-ю Истребительную авиадивизию ПВО Западного фронта.

Рисунок 1 – Васильев Г.Н. в молодости

Георгий Николаевич принимал участие в сражениях за освобождение Риги и Пскова. За отвагу и мужество был награжден медалью «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.».

После демобилизации в ноябре 1945 года Васильев Г.Н. вернулся в Казань, восстановился в институте и успешно окончил его в 1951 году.

Георгий Николаевич продолжил обучение в аспирантуре на кафедре производства летательных аппаратов. Именно с этой кафедрой он связал дальнейшую жизнь и профессиональную деятельность: с 1952 года он работал ассистентом, а с 1954 по 1997 год -

старшим преподавателем. Кроме того, с 1972 по 1995 годы Г.Н. Васильев занимал должность заместителя декана факультета летательных аппаратов.

Рисунок 2 – Старший преподаватель кафедры ПЛА Васильев Г.Н.

Лычников Петр Алексеевич родился в с. Старые Матаки Спасского района Татарской АССР в 1912 году. С юных лет он трудился в колхозе, а затем слесарем на заводах Казани и Зеленодольска. В 1941 году был принят на работу в Казанский авиационный институт, а уже в декабре 1941 года его отправили на фронт.

Рисунок 3 – Лычников Петр Алексеевич

Петр Алексеевич был связистом в пехотных подразделениях 6-й армии 1-го Украинского фронта. В 1944 году его демобилизовали после тяжелого ранения. Награжден медалями «За отвагу», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.»

Вернувшись на родину, Лычников П.А. трудился в КАИ с 1944 по 1946 годы в должности препаратора, а с 1954 по 1976 годы - механика кафедры. Петр Алексеевич также являлся старшим научным сотрудником Научно-исследовательского института имени Н.Г. Чеботарева, доцентом кафедры механики КГУ.

Недосугов Иван Степанович (родился 16 января 1917 года) - уроженец села Омары Мамадышского уезда Казанской губернии.

В 18 лет окончил рабочий факультет при Казанском институте инженеров коммунального строительства, затем продолжил обучение на факультете самолетостроения КАИ. С июля 1941 года работал технологом на Казанском авиационном заводе.

Рисунок 4 – Недосугов И.С. в молодости

В 1942 году был призван в ряды Красной армии. Авиамеханик, техник отдельного летного отряда Недосугов И.С. проходил службу на Калининградском и Прибалтийском фронтах.

За боевые заслуги был награжден медалью «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.».

В 1945 году, после демобилизации, И.С. Недосугов вернулся обратно в Казань и был зачислен на 5-й курс КАИ. Защитив успешно диплом в 1946 году, Иван Степанович продолжил свою трудовую деятельность в институте.

Рисунок 5 – Недосугов Иван Степанович

С 1959 года Недосугов И.С. работал старшим преподавателем кафедры производства летательных аппаратов вплоть до 1984 года.

Рисунок 6 – Слушатели Военно-воздушной академии им. Н.Е. Жуковского – бывшие студенты КАИ. 1 ряд – Б. Есипов (справа), М. Сапожников (слева). 2 ряд слева направо – Е. Мокринский, К. Амелин, И. Недосугов. 2-й Прибалтийский фронт. 1944 г.

Судьбы этих людей должны остаться в нашей памяти на века. Мы должны гордиться ими.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Коняхина В.И., Канчурина Г.И., Игонина И.Д.* Этот день мы приближали как могли. // Казанский авиационный институт, 1941-1945. Казань: Изд-во Казанского гос. технического ун-та, 2010. – 441.

2. *Коломыцына К.А*. История института авиации, наземного транспорта и энергетики. XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодежная научная конференция, 9-10 ноября 2023 года: Материалы конференции. Сборник докладов. Казань: ИП Сагиева А.Р., 2023. – 4002-4006 с

PARTICIPANTS OF THE GREAT PATRIOTIC WAR – WORKERS DEPARTMENTS OF AIRCRAFT MANUFACTURING KNITU-KAI

Bazhenova A.A.

Supervisor: Chernoglazova A.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper tells about the fate of employees of the Department of Aircraft Manufacturing (PLA) of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, who took part in the Great Patriotic War and made a significant contribution to the development of aircraft industry.

УДК 930

СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ В 1920 – 1940-е гг.: ИСТОРИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Бочков М.О.

Научный руководитель: Сыченкова А.В., доцент, к. и. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе представлен начальный период исследования возможности создания ядерного оружия в СССР, но учтено развитие атомных программ в Германии, США для сравнения. Акцент сделан на вопросах научного первенства, что подразумевает первоначальное предположение и первичные разработки в рассматриваемой сфере. Сделан вывод о том, что победа СССР над гитлеровской Германией, оплаченная огромной ценой, дала советской державе неоспоримое лидерство в мире.

В данной статье сделан акцент на развитии ядерного оружия в СССР, но учтено развитие атомных программ в Германии, США для сравнения. Однако отметим, что разрабатывались подобные технологии в Великобритании, Франции и Японии. Также данная статья должна представить точный ответ на вопрос: «Какая страна является основоположником создания ядерной бомбы?» или «Чье первенство в создании ядерного оружия?». Данный вопрос подразумевает не первое физическое создание и испытание ядерного оружия, а первоначальное предположение и первичные разработки в рассматриваемой сфере, потому что для того, чтобы создать подобное сложное изделие, самое главное – это заполучить научное первенство среди остальных, а сама реализация проекта – необходимость подходящих условий в стране. Термоядерное оружие куда более мощнее первых атомных образцов, по сути, является логическим продолжением и совершенствованием первых ядерных разработок с иным принципом атомного процесса,

поэтому раскрывать последующую историческую часть в гонке за создание термоядерного оружия в послевоенное время, пожалуй, нет необходимости.

В 1928 году в СССР был основан Харьковский физико-технический институт, где уже в 1932 году советские ученые (А.К. Вольтер, Г.Д. Латышев, А.И. Лейпунский) впервые расщепили ядро лития. Однако «Большой террор» 1938-1939 годов затронул и институт: многие сотрудники, включая И.В. Обреимова и А.И. Лейпунского, были арестованы, хотя Лейпунского позже освободили, и он возглавил ядерное направление [3].

Примерно в то же время в декабре 1938 года немецкие физики Отто Ган и Фриц Штрассман осуществили расщепление атома урана. В апреле 1939 года П. Хартек и В. Грот из Гамбургского университета направили немецким военным письмо, указав на принципиальную возможность создания нового взрывчатого вещества на основе расщепления урана-235 [5].

По хронологии стоит вернуться к Советскому союзу, потому что сотрудники ХФТИ В. Маслов, Ф. Ланге, В. Шпинель подали заявки насчет успехов работ по атому и его возможном использовании в новом типе оружия, отрывки из писем ученых [4]:

«…Как известно, согласно последним данным физики, в достаточно больших количествах урана < ...> может произойти взрыв колоссальной разрушительной силы… В отношении уранового взрыва, помимо его колоссальной разрушительной силы < ...> необходимо отметить ещё одну чрезвычайно важную особенность. Продуктами взрыва урановой бомбы являются радиоактивные вещества. Последние обладают отравляющими свойствами в тысячи раз более сильной степени, чем самые сильные яды (а потому и обычные отравляющие вещества) < ...> трудно сказать, какая из особенностей (колоссальная разрушающая сила или же отравляющие свойства) урановых взрывов наиболее привлекательна в военном отношении.»

Эти заявки попали на рассмотрение академику В.Г. Хлопину, его ответ был таков: «Необходимо относительно первой заявки сказать, что она в настоящее время не имеет под собой реального фундамента. Кроме того, по существу в ней очень много фантастического».

Ответ был отрицательным, по этой причине В. Маслов обратился с подобным письмом к С. К. Тимошенко: «Чисто научная сторона вопроса сейчас находится в такой стадии, что позволяет перейти к форсированному проведению работ в направлении практического использования энергии урана. Для этой цели мне представляется крайне необходимым как можно быстрее создать в одном из институтов лабораторию специально для урановых работ. Это дало бы нам возможность проводить исследования в постоянном контакте с наиболее квалифицированными < ...> специалистами нашей страны».

Ответ был таков: «Не подтверждается экспериментальными данными». — Неизвестный эксперт. То есть ответ был таким же отрицательным от высших руководств страны по поводу рассмотрения энергии атома как высокоэффективное оружие [4].

Что же США? В 1939 году был создан «Урановый комитет», а также в августе 1939 года Лео Силард и Эджеин Вигнер составили письмо Эйнштейна Ф. Рузвельту, в котором было предупреждение о возможности разработки в Германии бомбы нового типа [1]. Так, послание было получено президентом США и 1 ноября 1939 года комитет доложил о возможности создания сверхмощной бомбы на основе урана.

В июне 1940 года «Урановый комитет» реорганизовали в подкомитет S-1 при Исследовательском комитете национальной обороны. Затем 28 июня 1941 года президент Рузвельт издал указ № 8807, согласно которому было учреждено Управление научных исследований и разработок, а его возглавил Вэнивар Буш.

Опасения, что Германия создаст ядерное оружие раньше, подтолкнули США к развитию собственной атомной программы.

В СССР с началом войны атомный проект приостановили, а ученых перевели в Казань для работы над оборонными исследованиями. В. Маслов погиб на фронте добровольцем, а В. Шпинель стал известным специалистом в ядерной физике и получил патент на изобретение под грифом «Совершенно секретно». Важную роль сыграла разведка: полученные секретные

данные об американской атомной бомбе убедили сначала Л.П. Берию, а затем и И.В. Сталина в реальности угрозы, что значительно ускорило советский атомный проект [6].

Стоит отметить, что занимались реализацией атомного проекта не только харьковские ядерщики, но и ленинградские ученые были подключены к этому проекту. Однако продвижение ученых-ядерщиков, несмотря на их успехи, было мало в сравнении с немецкими и американскими физиками. Проблема заключалась в том, что геологическая разведка выдала данные о бедности земель СССР на урановую руду. Урановой руды, по сути, немало, но основная проблема добычи урана состоит в его составе, а именно около 99, 3 % составляет U-238, который мало подходит на роль источника атомной энергии, а 0, 7% - U-235 как раз подходит для добычи энергии и, соответственно, для создания ядерной боеголовки.

К 1943 году было добыто около 100-120 тонн такой руды, но чтобы запустить только экспериментальный реактор, требовалось 100 тонн урановой руды, само собой переработанной, что было трудоемким процессом в независимости от распоряжения любого количества рабочего сырья. США обгоняло СССР по количеству добытого сырья, потому что к ней привозили урановую руду из Канады и Конго. В Германии к тому времени была развита инфраструктура по переработке и экспериментальными исследованиями урана, а рабочее сырье было закуплено ещё в 1939 году в Бельгийском Конго.

Переломным моментом в развитии советского проекта было подключение наркома Л. П. Берии, ведь от 11 февраля 1943 года распоряжением ГКО по протекции академика А.Ф. Иоффе новым научным руководителем назначили И.В. Курчатова. Также, с декабря 1944 года при НКВД был организован в ГУЛАГ «Спецмет управление НКВД СССР», научно-исследовательский институт «Институт специальных металлов НКВД – Инспецмет НКВД». Местом для проведения ядерных испытаний Л.П. Берия выбрал прииртышские степи казахской ССР.

Несмотря на то что до конца Великой Отечественной войны оставалось всего несколько месяцев, атомный проект под руководством ГКО активно развивался. В мае 1945 года группа ученых из Лаборатории №2 во главе с В.А. Махневым отправилась в Германию, откуда вывезла в СССР 250 кг металлического урана, 3 тонны окиси урана, 20 литров тяжелой воды и полграмма радия [3]. Помимо этого, А.П. Завенягин сообщил Л.П. Берии об отправке в СССР еще 250-300 тонн урановых соединений и около 7 тонн металлического урана. К работе также привлекли немецких физиков-ядерщиков, попавших в советский плен. Таким образом, к середине 1945 года советские ученые получили необходимое сырье для начала работы над созданием реакторов.

Стоит рассказать о развитии ядерной программы в Германии. Немецкие учёные в разных науках показывали огромные успехи по сравнению со своими иностранными коллегами. Вопрос о возможности создания учёными Третьего рейха атомной бомбы остается открытым до сих пор.

В период с 1939 по 1941 год у Германии были созданы благоприятные предпосылки для разработки атомного оружия: существовали подходящие промышленные возможности, а также обеспечивалась достаточная финансовая поддержка и доступ к широкому спектру необходимых материалов. Нельзя не отметить и высокий уровень научно-исследовательской деятельности, располагавшей требуемыми фундаментальными знаниями в сфере физики атомного ядра. [5]. Нельзя забывать и о трагических событиях, связанных с харьковской оккупацией в октябре 1941 года. Помимо этого, следует учитывать роль разведывательной деятельности, включая научный шпионаж, которая была широко распространена в годы Великой Отечественной войны. Не исключено, что информация о советской ядерной программе могла быть передана из-за утечки данных, совершенной харьковскими физиками - ядерщиками, несмотря на значительный вклад ленинградских ученых под руководством И.В. Курчатова.

Конечно, город был почти захвачен, Красная армия и мирные жители давали ожесточенный отпор неприятелю и в 23 августа 1943 года Харьков был окончательно освобожден от немецких войск. Кстати, хочу также отметить, 23 августа 1943 года Курская

дуга продвинулась на запад. Делая акцент на датах и развитии немецкой ядерной программы, к 1943 году немецкие войска были измотаны и им пришлось отступать с боем, но что примечательно, урановые немецкие лаборатории и заводы по переработке урана функционировали до окончания войны, вплоть до захвата научных отделений. Конечно, не будь война, немцам удалось бы создать атомную бомбу и разместить ядерную составляющую в ракету типа «ФАУ», однако причинами невозможности реализации данной программы у немцев поспособствовал ряд причин:

1. Немцы выбрали путь создания ядерного оружия с использованием «тяжёлой воды», который был не самым быстрым для достижения необходимой цепной реакции. К моменту поражения Германии ни этот метод, ни разработанный к концу войны “графитовый” метод не успели привести к созданию атомной бомбы.

2. Хотя высшие руководители Рейха, такие как Гиммлер и Геринг, не принимали непосредственного участия в совещаниях по ядерным разработкам, они были в курсе хода работ и проблем. Во время войны приоритет отдавался проектам, обещавшим быстрые результаты.

В фильме 2023 года «Оппенгеймер» (режиссёр - К. Нолан) описывается биография Р. Оппенгеймера, его непосредственное участие в Манхэттенском проекте, создание ядерного боезаряда «Тринити», его испытание на полигоне, а также преследующее ученого физика чувство вины до конца своих дней. Ученый создал, а только потом осознал, какое разрушительное оружие было сделано его силами. Следует подчеркнуть, что масштаб «проекта Манхэттен» был поистине колоссальным: в нем участвовало порядка 130 тысяч специалистов, а общий бюджет достиг почти 2 миллиардов долларов США. Помимо Роберта Оппенгеймера над созданием ядерного оружия трудилось множество ведущих ученых-ядерщиков со всего мира. Основную долю расходов – более 90% – составляло строительство промышленных мощностей и производство необходимого сырья, тогда как на непосредственную разработку и изготовление оружия уходило менее 10%. Работы велись в США, Великобритании и Канаде. Нельзя не упомянуть и о научном шпионаже: в рамках операции «Алсос» сотрудники «проекта Манхэттен» действовали в Европе, нередко в опасной близости от врага, добывая ядерные материалы, документы и привлекая немецких специалистов. Парадоксально, но для реализации атомных программ в Германии и СССР требовались значительно меньшие инвестиции и персонал. Однако обе страны столкнулись с дефицитом сырья, что замедлило процесс создания оружия. Значительный вклад в становление атомной науки в США до начала Второй мировой войны внес Энрико Ферми, который также принимал участие в «проекте Манхэттен» [2].

Интересно, что над американским атомным проектом работали лучшие ученых-ядерщики из США, Канады, Великобритании, Германии и не только.

Огромным преимуществом США перед своими конкурентами – СССР и Германия. Последняя имела экономически развитую и отлаженную инфраструктуре по добыче, переработке урана и сильную команду физиков-ядерщиков, т.е. большой научный потенциал для реализации проекта. Чего только стоит получение урана из Конго и Канады. Конечно, после испытания «Тринити» власть США осознала своё первенство в оружие на мировой арене, и после этого началась больше не научная гонка, а политическая и военная. Важно отметить, что американская сторона стремилась провести ядерные взрывы ещё до Потсдамской конференции 1945 года, где должны были встретиться лидеры Советского Союза, Соединенных Штатов и Великобритании. Целью испытаний, организованных США, было продемонстрировать мощь Советскому Союзу – главному конкуренту. Однако советская внешняя разведка, Л.П. Берия (руководитель административной части советского атомного проекта) и академик И.В. Курчатов (научный руководитель советского ядерного проекта с 1943 года) регулярно информировали Сталина о прогрессе в американской разработке оружия массового уничтожения. Поэтому политическое давление, оказанное американской делегацией, и намек президента Трумэна на начало гонки вооружений не застали И.В. Сталина врасплох.

Так, после окончания долгой войны 18 октября 1951 года были проведены испытание ядерного оружия на семипалатинском полигоне в СССР, что дало понять уже утвердившейся ядерной державе – США, что СССР – серьезный соперник с новым видом вооружения.

В данной статье были рассмотрены первоначальные разработки ядерного оружия СССР, США и нацистской Германии. Если учитывать, что в СССР произвели первыми расщепление атома, то преимущество к получению исторической славы склоняется в сторону СССР. Однако само предположение о возможности создать на основе энергии атома оружие нового типа появилось быстрее у немцев, нежели у советских ученых – 24 апреля 1939 года против 1940 года. При этом только из-за угрозы создания немцами первого сверхмощного оружия США форсировано организовывают свои разработки в области ядерной физики – 1 ноября 1939 года – начало 1940 года.

Несмотря на попытки осуществления ядерного проекта до войны и во время неё, первенство в разработке и осуществлении ядерного проекта США обусловлено внешними условиями – отсутствие разрушительного влияния Второй мировой войны, успешная внешняя торговли с другими странами, обеспеченность различными ресурсами и научный потенциал.

Май 1945 года приговорил немецкий атомный проект стать незавершенным, а все наработки немецких ученых, как и сам научный коллектив, попросту «разорвали» между собой оставшиеся державы – США и СССР. Только победа СССР над гитлеровской Германией, оплаченная огромной ценой, дала советской державе неоспоримое лидерство в мире.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Судариков А.М., Фролов М.И.* Вклад учёных-ленинградцев в реализацию советского атомного проекта в годы Великой Отечественной войны / А.М. Судариков, М.И. Фролов // Вестник Ленинградского государственного университета имени А.С. Пушкина. - 2010. – Т. 4, № 1 - С. 196–209.

2. *Баранов М.И.* Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 7: Создание ядерного и термоядерного оружия / М.И. Баранов // Электротехника и электромеханика. - 2012. – Вып. 2 – С. 3 – 15.

3 *Жарков О.Ю.* Исторические предпосылки создания первого в СССР комбината промышленного производства плутония / О. Ю. Жарков // Социум и власть. - 2011. – Вып. 3 – С. 109-113.

4. Проект атомной бомбы ХФТИ 1940 года // Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/?curid=2324739&oldid=144347456 (дата обращения: 17.04.2025).

5. Немецкая ядерная программа // Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/?curid=3066295&oldid=141421780 (дата обращения: 15.04.2025).

6. Манхэттенский проект // Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/?curid=124549&oldid=144383734 (дата обращения: 21.04.2025).

CREATION AND DEVELOPMENT OF NUCLEAR WEAPONS IN THE 1920s – 1940s: HISTORICAL ASPECT

Bochkov M.O.

Supervisor: Sychenkova A.V., Associate Professor, Candidate of Historical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper presents the initial period of research into the possibility of creating nuclear weapons in the USSR, but takes into account the development of nuclear programs in Germany and the United States for comparison. The emphasis is on issues of scientific primacy, which implies an initial assumption and initial developments in the field under consideration. It is concluded that the victory of the USSR over Nazi Germany, paid a huge price, gave the Soviet power an indisputable leadership in the world.

УДК 070:629.7

О НАУЧНЫХ ИЗДАНИЯХ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

Горохова А.В.

(АО «Организация «Агат», г. Москва)

Аннотация. В настоящем исследовании рассматриваются научные издания, а именно научные журналы, выпускаемые организациями, входящими в контур Госкорпорации «Роскосмос», с целью доведения до широких масс исследований, проводимых на предприятиях ракетно-космической отрасли России. Проводится сопоставление наукометрических характеристик, а также тематики существующих изданий.

Научные издания: книги, журналы и другие виды научных произведений могут являться сопутствующей составляющей функционирования высокотехнологичных, наукоориентированных предприятий – крупных субъектов хозяйственной деятельности. Выпуск научного издания может быть направлен на достижение двух глобальных целей:

1. Демонстрацию научных достижений организации, обнародования новых, инновационных, прорывных технологий, методов управления и т.п.;
2. Популяризацию той области научного знания, к которой относится деятельность предприятия, и науки в целом.

Одним из часто встречающихся видов периодических научных изданий являются научные журналы, которые мы рассмотрим подробнее в рамках данной работы. Выпуск научных журналов в особенности представляется актуальным для организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы. Среди субъектов хозяйственной деятельности это, как правило, представители таких отраслей промышленности, как авиационная, ракетно-космическая, двигателестроительная, энергетическая, в частности атомная, судостроительная и ряд других. Результаты исследований, публикуемые в научных журналах, служат одним из маркеров результативности их деятельности.

Посредством собственного научного журнала предприятие может как оперативно информировать свою целевую аудиторию и научное сообщество в целом, контролируя содержание и направление информации, формировать собственную научную информационную повестку, отвечающую текущим задачам и направлениям развития, так и развивать, и поддерживать собственную научную школу [1]. Кроме того, деятельность по выпуску научных журналов может выступать в качестве дополнительного источника дохода (за счёт платной подписной кампании).

Наличие собственного научного журнала в перспективе способно расширить поле научной деятельности организации, а именно в части:

- создания инструмента содействия подготовке научных кадров;
- создания возможностей для учреждения на базе предприятия учёного (диссертационного) совета для присвоения научных степеней;
- укрепления связей с профильными вузами;
- увеличения числа кандидатов и докторов наук в организации;
- содействия предприятиям отрасли в присвоении их сотрудникам научных степеней по профильным специализациям.

Таким образом, научный журнал представляет собой стратегический актив для любой организации, стремящейся к развитию, инновациям и укреплению своих позиций на рынке и в научном обществе [2].

Целый ряд организаций ракетно-космической отрасли уже не первый год выпускает собственные научные журналы: из около ста организаций, входящих в контур Госкорпорации «Роскосмос», в настоящее время эту деятельность осуществляют десять предприятий. Это АО «Российские космические системы», АО «НПЦАП», АО «Корпорация «ВНИИЭМ»,

АО «НПО Энергомаш», ПАО «РКК «Энергия», АО «ЦНИИмаш», АО «НПО «Техномаш», АО «НПО Лавочкина», ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» и АО «Организация «Агат».

С 2014 года АО «Российские космические системы» занимается ежеквартальным изданием научно-технического журнала «Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы». В нём освещаются вопросы связи и навигации, а также создания приборов, комплексов, систем и наземного оборудования для космических аппаратов как с теоретической, так и прикладной точки зрения. Журнал включён в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и Перечень рецензируемых научных изданий ВАК.

Журнал «Труды «НПЦАП». Системы и приборы управления», ежеквартально выпускаемый АО «НПЦАП» с 2007 года, в основном концентрируется на вопросах развития современной теории управления и технологии изготовления динамических систем. Данное издание включено в систему РИНЦ и Перечень рецензируемых научных изданий ВАК.

АО «Корпорация «ВНИИЭМ» издаёт журнал «Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ» с 1959 года. Он выпускается шесть раз в год и охватывает вопросы создания и испытания электромеханики, космической метеорологии и приборостроения. Журнал является частью системы РИНЦ и Перечня рецензируемых научных изданий ВАК.

Журнал «Труды НПО Энергомаш» под эгидой АО «НПО Энергомаш» публикуется единожды в год с 1969 года. Содержание сборника покрывает полный спектр вопросов, связанных с проектированием, отработкой и испытаниями жидкостных ракетных двигателей. Издание входит в систему РИНЦ и Перечень рецензируемых научных изданий ВАК.

Журнал «Космическая техника и технологии», ежеквартально издаваемый ПАО «РКК «Энергия» с 2013 года, освещает широкую тематику научных вопросов по космической технике и технологиям в целом. Он представлен в системе РИНЦ и Перечне рецензируемых научных изданий ВАК.

Научно-технический журнал «Космонавтика и ракетостроение» позиционируется как печатный орган АО «ЦНИИмаш» с 1993 года. Частота выпусков варьируется от четырёх до шести в год. В поле рассмотрения журнала входят все вопросы, касающиеся ракетно-космической техники. Журнал размещается в системе РИНЦ и входит в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК.

Научным журналом АО «НПО «Техномаш» с 2016 года является ежеквартальный «Вестник «НПО «Техномаш». Его содержание посвящено вопросам технологического развития ракетно-космической промышленности и машиностроения в целом. Журнал включён в систему РИНЦ.

АО «НПО Лавочкина» выпускает ежеквартальный журнал «Вестник «НПО имени С.А. Лавочкина» с 2009 года. Проблематика вопросов, поднимаемых в данном издании, касается различных аспектов создания и функционирования космических аппаратов, комплексов и систем. Журнал входит в систему РИНЦ и Перечень рецензируемых научных изданий ВАК.

Ежеквартальный журнал «Пилотируемые полеты в космос», с 2011 года издаваемый ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», в отличие от выше названных изданий не определяет себя как исключительно научно-технический. Его тематика охватывает все вопросы, связанные с пилотируемыми полётами в космос, что включает также медицинские аспекты кроме технических. Однако в соотношении технические превалируют над медицинскими, что позволяет нам всё-таки определить журнал «Пилотируемые полеты в космос» как научно-технический. Журнал включён в систему РИНЦ и Перечень рецензируемых научных изданий ВАК.

С 2022 года АО «Организация «Агат» выпускает ежеквартальный журнал «Экономика космоса». Так как организация является головным экономическим научно-исследовательским институтом ракетно-космической промышленности и не связана с производственными мощностями, данное издание имеет не научно-техническую, а научно-экономическую направленность. Журнал включён в систему РИНЦ.

Следуя современным тенденциям журналы издаются как в печатном, так и в электронном виде [3]. Приведенные выше данные о научных журналах отрасли могут обобщены в виде рисунка (рис. 1) и таблицы (табл. 1).

Рисунок 1. Годы основания научных журналов, издаваемых организациями, входящими в контур Госкорпорации «Роскосмос», представленные в порядке от наиболее раннего к наименее

Таблица 1

Основные характеристики научных журналов предприятий Госкорпорации «Роскосмос»

Журнал	Организация	Направленность	Частота выхода номеров	Статус
«Космонавтика и ракетостроение»	АО «ЦНИИмаш»	научно-технический	4-6 раз в год	РИНЦ, ВАК
«Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ»	АО «Корпорация «ВНИИЭМ»		6 раз в год	
«Труды НПО Энергомаш»	АО «НПО Энергомаш»		1 раз в год	
«Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы»	АО «Российские космические системы»		ежеквартально	
«Труды «НПЦАП». Системы и приборы управления»	АО «НПЦАП»			
«Космическая техника и технологии»	ПАО «РКК «Энергия»			
«Вестник «НПО имени С.А. Лавочкина»	АО «НПО Лавочкина»			
«Пилотируемые полеты в космос»	ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»			
«Вестник «НПО «Техномаш»	АО «НПО «Техномаш»			РИНЦ
«Экономика космоса»	АО «Организация «Агат»	научно-экономический		

Как видно, большинство научных журналов ракетно-космической отрасли России являются научно-техническими, издаются ежеквартально и входят в базу данных РИНЦ и

Перечень ВАК. Отдельно оговорим, что журналы «Космическая техника и технологии» и «Космонавтика и ракетостроение» также входят в такие наукометрические базы данных – перечни наиболее авторитетных научных журналов, как Белый список, Ядро РИНЦ и RSCI (Russian Science Citation Index), однако в силу относительной новизны данных перечней и того факта, что они продолжают реформироваться и видоизменяться, они не были учтены в рамках данной работы.

Подготовка научно-педагогических кадров через диссертационные советы реализуется на базе нескольких предприятий ракетно-космической отрасли, выпускающих собственные научные журналы: АО «ЦНИИмаш», ПАО «РКК «Энергия», АО «Корпорация «ВНИИЭМ», АО «Российские космические системы» и АО «НПО Лавочкина». Так как их научные журналы входят в Перечень ведущих научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени доктора и кандидата наук (ВАК), то можно предположить, что они служат активно используемым инструментом публикационной деятельности диссертантов.

Что касается тематического наполнения, то научные журналы, издаваемые организациями ракетно-космической промышленности, покрывают довольно широкий спектр вопросов, касающихся ведения космической деятельности. Мы не можем сказать, что они «перекрывают» друг друга в содержательном отношении. Правильнее будет сделать вывод о том, что они диверсифицированы подобно тому, как диверсифицирована деятельность Госкорпорации «Роскосмос» на её дочерних предприятиях.

Базовым наукометрическим показателем для научных журналов является импакт-фактор. В классической, наиболее часто используемой версии он представляет собой число цитирований в текущем году статей, опубликованных в журнале за предыдущие два года, поделенное на число этих статей, при этом учитывается в том числе самоцитирование (упоминания статей из журнала в нём же) [4].

Приведём рассмотренные нами издания в порядке убывания значений данного показателя (по состоянию в РИНЦ на 2023 год) (рис. 2).

Рисунок 2. Импакт-факторы научных журналов организаций Госкорпорации «Роскосмос»

Подобный разброс в значениях определяется совокупностью факторов: принадлежностью журнала к определённой тематической области научного знания, востребованностью разработок, проводимых в данный момент в том или ином направлении, его статусом и др. При этом не обнаруживается корреляция между количеством лет существования журнала и его импакт-фактором.

Подводя итог, можно сказать, что у научных журналов, которые издают предприятия Госкорпорации «Роскосмос», есть немало общих черт. Это содержательная направленность – фокус на космической тематике, форма и частота выпусков, сопоставимые наукометрические показатели, совмещение фундаментальных и прикладных научных исследований, направленность на поддержку и развитие отечественной космонавтики. Данная группа

журналов по праву занимает свою нишу, выполняя ключевую функцию распространения знаний, обнародования передовых разработок в области космонавтики и смежных наук, усиления научной деятельности предприятий и тем самым способствуя инновационному развитию ракетно-космической отрасли России и укреплению её позиций на международной арене.

В рамках данной работы рассмотрению подлежали лишь те научные журналы, которые в настоящее время ведут активную публикационную деятельность. В дальнейшем перспективным представляется более широкое рассмотрение научных изданий отечественной ракетно-космической отрасли в исторической перспективе для выявления долгосрочных тенденций развития данного направления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Реутова П.С.* Корпоративные СМИ как инструмент пиар кампании // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2015. № 17. – Текст: электронный. – URL: https://cyberleninka.ru/ru/article/n/korporativnye-smi-kak-instrument-piar-kampanii (дата обращения: 22.06.2025).

2. Ценность научного журнала // Идеи и идеалы. 2019. Т. 11, № 3, ч. 1. С. 11–31.

3. *Эпштейн В.Л.* Предвидимое будущее научных журналов // Проблемы управления. 2004. № 1. – Текст: электронный. – URL: https://cyberleninka.ru/ru/article/n/predvidimoe-buduschee-nauchnyh-zhurnalov (дата обращения: 20.06.2025).

4. *Третьякова О.В.* К вопросу об импакт-факторе научного журнала и методиках его формирования // Вопросы территориального развития. 2014. № 5 (15). С. 1–9.

ON SCIENTIFIC PUBLICATIONS OF THE ROCKET AND SPACE INDUSTRY OF MODERN RUSSIA

Gorokhova A.V.

(JSC "Organization "Agat", Moscow)

Abstract. This study examines scientific publications, namely scientific journals, published by organizations within the Roscosmos State Corporation in order to bring research conducted at enterprises of the Russian rocket and space industry to the general public. The comparison of the scientometric characteristics of existing publications, as well as their content, is carried out.

УДК 623.746-519+902

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В РОССИЙСКОЙ АРХЕОЛОГИИ

Куликовский С.С.

Научный руководитель: Козлова О.В., доцент, к. и. н

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена развитию российской аэроархеологии в XXI веке. Новейшей технологией в данной области является использование беспилотных авиационных систем, в частности, беспилотных летательных аппаратов, которые позволяют решать важные задачи, стоящие перед археологами, менее затратным способом. Дистанционное зондирование Земли является неинвазивным методом исследования и поэтому расширяет возможности археологов в местности, покрытой растительностью или под землёй. Автор анализирует проекты ведущих российских археологических научно-исследовательских организаций, специализирующихся на применении данного метода. Исследуется использование технологии LiDAR, которая считается одной из наиболее перспективных в данной области.

Беспилотная авиационная система (далее – БАС) – это комплекс взаимосвязанных элементов, включающий в себя одно или несколько беспилотных воздушных судов, средства управления полётом одного или нескольких беспилотных воздушных судов и контроля за полётом одного или нескольких беспилотных воздушных судов, а также средства осуществления взлета и посадки беспилотных воздушных судов [1].

Составной частью БАС являются беспилотные летательные аппараты (далее – БПЛА) как разновидность беспилотных воздушных судов. Их использование в археологических исследованиях приобретает особую значимость, так как аэроархеология является одним из методов археологических исследований, который использует аэрофотосъёмку, дистанционное зондирование и т.п. для идентификации и интерпретации археологических данных. До БПЛА проекты аэроархеологии опирались на наземные исследования и дорогостоящие, трудоёмкие традиционные методы аэрофотосъемки.

Появление беспилотных авиационных систем, используемых для дистанционного зондирования, привело к тому, что археологические исследования перешли на новый качественный виток своего развития. Материалы, полученные с БАС и обработанные в специальных программных продуктах, несут разнообразные данные об объекте исследования, превосходящие по информативности традиционные методы инструментальной топографической съемки. Новым продуктом, позволяющим анализировать местность, являются цифровые матрицы поверхности и трехмерные высокоточные реалистические модели, построенные на основе плотных облаков точек. В сочетании с магнитометрией, полученные материалы служат основой для создания геоинформационных систем и дальнейших исследований [2].

Целью исследования является выявление возможностей применения БПЛА в решении задач дистанционного зондирования в российской археологии.

Использование БПЛА позволяет археологам делать снимки труднодоступных участков в разных спектральных диапазонах и находить исторические объекты под землей без проведения раскопок, таким образом, они снижают трудозатраты на проведение археологических исследований.

Использование БПЛА в археологии осуществляется по следующим направлениям:

1. оперативная аэрофотосъемка больших и малых площадей для планирования будущих раскопок и документирования новых открытий;
2. осмотр, мониторинг и фиксация изменений исторических объектов;
3. фотоснимки высокого разрешения и видео в формате 4K;
4. обследование объектов в условиях сложной городской застройки;
5. съемка объектов в закрытом пространстве (например, в пещерах или в исторических зданиях);
6. преобразование аэрофотоснимков в фотограмметрические данные, построение 3D-моделей исторических объектов и цифровая реконструкция древних мест;
7. мониторинг незаконных раскопок артефактов;
8. оценка деятельности человека и природных явлений, которые потенциально могут нанести ущерб древним объектам [3].

Подтверждением того, что данная технология получила широкое распространение и вызывает непосредственный интерес исследователей, являются конференции и съезды международного уровня, где рассматриваемая тематика всё чаще становится предметом обсуждения: Археологический съезд 2017 г. (Барнаул – Белокуриха, 2–7 октября 2017 г.), Всероссийская конференция с международным участием «Естественно-научные методы в цифровой гуманитарной среде» (Пермь, 15–18 мая 2018 г.), Международная научная конференция «Аналитические методы и информационные технологии в исторических исследованиях: от оцифрованных данных к приращению знания» (Москва, МГУ, 19–21 октября 2018 г.) и др. [4; 72].

На сегодняшний день перспективные результаты дистанционного зондирования с помощью БПЛА могут быть получены при использовании технологии LiDAR (аббревиатура от Light Detection and Ranging)

LiDAR – это технология определения дальности, которая измеряет расстояние до объекта, направляя лучи света на объект, и использует время распространения и длину волны отраженного луча света для оценки расстояния, а в некоторых приложениях создает трехмерное представление объекта. В русскоязычных работах встречается наименование «Лазерное сканирование воздушного базирования» или «Воздушное лазерное сканирование». Оно основано на измерениях расстояния и точной ориентации этих измерений между сенсором и отражающей поверхностью. Это достигается путем соединения GPS-измерений с инерционным измерительным блоком, с помощью которого осуществляется детальный сбор информации о земной поверхности. Система основана на принципе отражения импульсного лазера от колеблющегося зеркала и измерении времени полета для установления расстояния, которое проходит лазерный импульс. Комплексная система геопозиционирования определяет точную позицию сенсора в плоскости (x, y) и его высоту (z). Эта информация, сочетающаяся с углом зеркала, используется для вычисления трехмерных координат точки на местности. Система LiDAR использует высотные данные с точностью от 0,5 м до менее дециметра, в зависимости от высоты полета воздушного судна и частоты приема сигнала [5].

Эта технология впервые была применена NASA в 1970-х гг. для картирования ледового покрова Арктики и Антарктики. Но только с развитием технологии инерциальных измерительных модулей (IMU8) и системы глобального навигационного спутникового позиционирования (GNSS9) технология получила широкое распространение. В конце 1990-х – начале 2000-х гг. она стала применяться в археологии.

В настоящее время в открытом доступе находятся полные или частичные результаты сканирования территории Европы: Швеции, Дании, Литвы, Бельгии, Италии, Нидерландов и др. Сегодня лидарные системы являются одной из важнейших составляющих комплекса неинвазивных методик (наряду с геофизикой, тепловизионными и инфракрасными камерами) для исследования исторического ландшафта и объектов. Строго говоря, применение высотного лазерного сканирования в археологии в настоящее время фокусируется уже на разработке программного обеспечения и методов для полуавтоматического определения объектов археологии для разных эпох и культур. [6].

Таким образом, можно согласиться с высказыванием доктора исторических наук Коробкова Д.С. о том, что технология LiDAR стала революционным прорывом в деле поиска и фиксации археологических объектов, скрытых от других методов исследования. [7].

Наиболее успешными проектами, которые были реализованы российскими археологами с использованием вышеописанных технологий, можно считать следующие:

В 2014 г. применение БПЛА для изучения археологических памятников осуществлялось в рамках совместной экспериментальной работы Алтайского краевого отделения ВОО «Русское Географическое Общество» и ФГБУ «Алтайский государственный заповедник». Цель программы состояла в изучении возможностей БПЛА для научных и эколого-просветительских целей [8; 114].

С 2107 г. в рамках гранта РФФИ «Разработка методов автоматической обработки и документирования полевых исследований археологических памятников» была проведена аэрофотосъемка с использованием беспилотных воздушных судов Геоскан–101 и DJI Phantom 4 PRO отдельных археологических объектов на Таманском полуострове [2].

Научный сотрудник Института этнологии и антропологии РАН Новиков В.В. указывает, что в период с 2018 по 2021 гг. было исследовано 28 объектов лесной и лесостепной зон Тверской, Смоленской, Владимирской, Московской, Тульской, Пензенской, Брянской, Калужской, Орловской областей, Мордовии и Краснодарского края от эпохи бронзы до середины XX века [6].

Таким образом, использование беспилотных авиационных систем и, в частности, беспилотных летательных аппаратов для решения исследовательских задач в российской

археологии является широко распространённой практикой. Являясь междисциплинарным проектом, к которому привлечены специалисты по созданию БАС, специалисты по программному обеспечению, специалисты по полевым археологическим исследованиям, цифровые археологи и т.п., применение БПЛА в археологии позволяет вывести эту науку на новый уровень.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997. URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102046246&rdk (дата обращения: 20.04.2025).

2. *Курков В.М., Скрыпицына Т.Н., Журавлев Д.В.* и др. Обследование археологических памятников с использованием БПЛА и наземного зондирования. URL: https://russiandrone.ru/publications/obsledovanie-arkheologicheskikh-pamyatnikov-s-ispolzovaniem-bpla-i-nazemnogo-zondirovaniya-/?sphrase_id=38623 (дата обращения: 20.04.2025).

3. Применение профессиональных беспилотников в археологических исследованиях. URL: https://aeromotus.ru/types-of-uav-applications-in-archaeology/ (дата обращения: 20.04.2025)

4. *Крупочкин Е.П., Папин Д.В.* О перспективах использования беспилотной съёмки в археологических исследованиях // Теория и практика археологических исследований. 2018. № 4(24). С. 71-84. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-perspektivah-ispolzovaniya-bespilotnoy-semki-v-arheologicheskih-issledovaniyah (дата обращения: 20.04.2025).

5. *Даниелян А.Г.* Применение технологии LiDAR в археологии // Студенческий электронный журнал «СтРИЖ». 2024. №3(56). URL: www.strizh-vspu.ru (дата обращения: 20.04.2025).

6. *Новиков В.В*. Воздушное лазерное сканирование на базе БПЛА для изучения объектов археологии в Европейской части России // Поволжская археология. 2022. №1(39). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vozdushnoe-lazernogo-skanirovanie-na-baze-bpla-dlya-izucheniya-obektov-arheologii-v-evropeyskoy-chasti-rossii (дата обращения: 20.04.2025).

7. *Коробков Д.С.* Цифровая археология сегодня: достижения и проблемы // Историческая информатика. 2023. №3. С. 107-121 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=44036 (дата обращения: 20.04.2025).

8. *Смирнов В.В., Акимова Т.А.* Опыт применения малых беспилотных аппаратов в археологических целях // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2014. № 1(35). С. 114-117. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-primeneniya-malyh-bespilotnyh-apparatov-v-arheologicheskih-tselyah (дата обращения: 20.04.2025).

USING OF UNMANNED AERIAL SYSTEMS IN RUSSIAN ARCHAEOLOGY

Kulikovsky S.S.

Supervisor: Kozlova O.V., Associate Professor, Candidate of Historical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article is devoted to the development of Russian aeroarchaeology in the 21st century. The latest technology in this area is the use of unmanned aircraft systems, in particular, unmanned aerial vehicles, which allow solving important problems facing archaeologists in a less expensive way. Remote sensing of the Earth is a non-invasive research method and therefore expands the capabilities of archaeologists in areas covered with vegetation or underground. The author analyzes the projects of leading Russian archaeological research organizations specializing in the use of this method. The use of LiDAR technology, which is considered one of the most promising in this field, is being explored.

УДК 94

ЛЕНИ РИФЕНШТАЛЬ КАК РЕЖИССЕР-ПРОПАГАНДИСТ

Лим Е.С.
Научный руководитель: Сыченкова А.В., доцент, к. и. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье рассматривается этическая сторона деятельности Лени Рифеншталь как режиссера. Описан жизненный путь, предыстория создания таких работ, как «Долина», «Триумф Воли», «Олимпия» и «Голубой свет».

Хелена Берта Амалия Рифеншталь родилась 22 августа 1902 году в Берлине в зажиточной семье владельца фирмы по монтажу систем отопления и вентиляции. Отец Хелены, Альфред Теодор Пауль Рифеншталь был человеком властным, упрямым и решительным, что позволило ему достигнуть больших успехов в карьере. Хелена всё время пыталась добиться расположения своего отца, однако всё безуспешно – Альфред Рифеншталь был человеком чрезвычайно скупым на эмоции, а вместе с этим требовательным к успехам своей дочери. Вероятно, именно подобные черты сыграли важную роль в дальнейшем пути Лени как актрисы и режиссера [2].

В 1908 году Лени начала посещать начальную школу в Нойкёльне. Ее родители активно способствовали развитию художественных талантов дочери. На протяжении пяти лет Лени дважды в неделю занималась игре на фортепиано, но без особого интереса. Ей были ближе поэзия и живопись, однако наибольшую страсть она испытывала к танцам.

В двенадцать лет ей разрешили вступить в клуб спортивного плавания «Русалка», где она принимала участие в соревнованиях и получала награды. Кроме того, она была членом гимнастического союза и училась кататься на роликах и коньках. Позже Лени окончила Кольморгенский лицей и получила аттестат о среднем образовании. С разрешения матери, но без согласия отца, она начала заниматься танцами под руководством Хелены Гримм-Райтер. После первого публичного выступления между отцом и дочерью состоялся конфликт. Чтобы избежать отправки в интернат, Лени пришлось записаться на курсы рисования при Государственном художественном училище в Берлине.

Летом 1919 года отец отправил её в интернат для девочек в Тале. Там она тайно занималась танцами, играла в театральных постановках и посещала представления местного театра. Весной 1920 года Рифеншталь вернулась в Берлин и устроилась секретаршей на фирму своего отца. Она училась машинописи, стенографии и бухгалтерскому учёту, но получила разрешение отца посещать уроки танцев [2].

Позже Рифеншталь обучалась классическому балету под руководством Евгении Эдуардовой, бывшей петербургской балерины, и дополнительно изучала характерный танец в школе Ютты Кламт.

Её первое сольное выступление состоялось 23 октября 1923 года в небольшом зале Тонхалле в Мюнхене. Затем последовали сольные выступления в Зале Блютнера, в Камерном театре и Немецком театре в Берлине, в Кёльне, Инсбруке и Праге. Но её карьера танцовщицы закончилась. Фред Хильдебрандт, редактор отдела культуры газеты «Berliner Tageblatt» и эксперт в области современного танца, написал в своей статье, что для успешной карьеры танцовщицы ей не хватало главного — умения выражать чувства [2].

Свою актерскую карьеру Лени Рифеншталь начала под руководством Арнольда Фанка, немецкого режиссера, сценариста, монтажера и наиболее крупного представителя жанра горных фильмов. Горные фильмы - особый жанр документального и художественного кинематографа, в котором демонстрируется покорение героем или героями фильма горных вершин. Часто действие такого фильма происходит в трудных условиях и связано с преодолением серьёзных препятствий и риском для жизни. В таких работах Арнольда Фанка,

как «священная гора», «большой прыжок», «бури над Монбланом» горы играют едва ли не самую важную роль, оставляя сюжет на второй план.

Летом 1931 года Лени Рифеншталь учредила свою собственную компанию L. R. Studio Film, однако для производства фильма «Голубой свет» ей не хватало минимум 50 000 марок. Поскольку Зокаль, немецкий режиссер и сценарист, с которым она ранее состояла в романе, всё ещё испытывал к ней чувства, он выделил на проект 100 000 марок и взял на себя расходы на постпродакшн и прокат фильма. Это был её дебют в качестве режиссёра.

Для своей главной роли Рифеншталь создала образ загадочной девушки, к которой жители горной деревни относились с недоверием. Сценарий к фильму написали Карл Майер и Бела Балаж, который также режиссировал сцены с её участием. Объясняя своё решение заняться режиссурой, Рифеншталь отвечала, что мечтала сыграть роль, значительно отличающуюся от тех, что она исполняла ранее при Фанке, где женщины всегда находились на втором плане, а горы были главной темой. Однако многие элементы её фильмов также имели влияние Фанка, в том числе работа с его исполнителями и операторами, а сам Фанк участвовать в процессе монтажа. В «Голубом свете» горы стали не только декорацией, но и активным элементом сюжета, хотя и не столь доминирующими, как у Фанка. Мистика и мир волшебства стали основой Рифеншталь, заменив спорт, приключения и комедию, характерные для фильмов Фанка. Премьера фильма прошла 23 марта 1932 года в Берлине, где его презентовали как «совместную работу Лени Рифеншталь, Белы Балажа и Ханса Шнеебергера». «Голубой свет» получил серебряную медаль на биеннале в Венеции.

Основная «ноша» пропаганды Третьего рейха была возложена на документалистику. Отчасти здесь был, возможно, элемент случайности: грандиозный успех, который сопутствовал лентам Лени Рифеншталь, сумевшей в кинематографических образах воссоздать экстатическое состояние нации, сперва собравшейся на партийных съездах («Победа веры», 1933; «Триумф воли», 1934), а затем и на Олимпийских играх («Олимпия», 1938). Замедленная и ускоренная съемки, мастерский монтаж, экспериментальное освещение, причудливые ракурсы и планы — вот где пригодился опыт немецкого экспрессионизма, мастера которого, хоть и изгнанные из немецкого кино преимущественно за неарийское происхождение, тем не менее оставили свой след [3, с. 220].

Главной её работой, созданной по заказу Гитлера, можно считать «Триумф Воли» - пример самого дорогостоящего и нашумевшего неигрового кино периода нацистского режима. В процессе съемки фильма понадобилась помощь 35 кинооператоров и технической группы из 170 человек и в конце было отснято 120 километров материала, из которого она смонтировала фильм длиной около 3 километров [1]. Сам фильм посвящен НСДАП и съезду партии в Нюрнберге и призван показать возрождение немецкой нации после позорного поражения в Первой мировой войне, а также единство немецкого народа, национал-социалистической партии и её лидера. Фильм завершается речью Гесса: «Партия — это Гитлер! Гитлер же — это Германия, так же, как и Германия — это Гитлер!» и исполнением песни Хорста Весселя.

«Триумф воли» является блестящим примером документального пропагандистского кино с сильнейшим эмоциональным воздействием на зрителя, убеждении и повторений кратких и простых идей-лозунгов и четкое разделение на две стороны, хотя сама Лени Рифеншталь утверждала в одном из своих интервью журналу «Кайе дю синема», что фильм исключительно исторический и не несет в себе цели дать событию какую-либо окраску.

Та же линия прослеживается в фильме «День свободы! – Наш вермахт!» - фильм, снятый после «Триумфа воли» и вместе с «Победой веры» рассказывает о политической деятельности национал-социалистической партии Германии. Работа повествует о маневре, который немецкие войска устроили во время церемонии в Нюрнберге в День вооружённых сил Германии в 1935 году. Камера следует за солдатами, которые готовятся к утреннему параду в палаточном городке, а затем маршируют с песнями на обширную парадную площадку, где перед Гитлером и тысячами зрителей разворачивается миниатюрная война с участием пехоты, кавалерии, самолётов, зенитных орудий и впервые представленного нового

запрещённого танка Германии. В фильме ярко фигурируют главные лица НСДАП – Адольф Гитлер, Рудольф Гесс, Генрих Гиммлер. Можно отследить ровно те же характеристики пропагандистского кино. Как и в «триумфе воли» - убеждение зрителя в превосходстве порядка, который господствует в Германии того времени через камеру, которая пролетает вдоль линии идеально выстроенных, почти одинаковых солдат, единичных кадров сделанных по одному шаблону зданий и кадров счастливых светловолосых детей арийской внешности, так и в «Победе веры» - слаженные действия солдат, выстроенных в две линии и композиционно в кадре направляющие взгляд к пушке, которую они, как единый организм, толкают вперед, отдельные кадры герба национал-социалистической Германии, слаженные движения военных во время боевых действий и впечатляющие своими масштабами парады.

Ещё один документальный фильм в её фильмографии – «Олимпия», вышедший в 1938 году и повествующий об Олимпийских играх, прошедших в Берлине можно привести как аргумент в пользу её способностей как режиссера. Снятый на нейтральную тематику, фильм отлично демонстрирует умение Лени Рифеншталь строить композицию кадра, подчеркивая спортивные фигуры как образцы грации, силы и красоты с эстетической точки зрения и эллинистических идеалов. Рифеншталь подчеркивает человеческую мощь, не столько духовную, сколько физическую. Ее герои — отнюдь не люди Ренессанса: духовность оставлена за бортом, торжествует доктрина красоты мускулов. И хотя лошадиными мускулами камера любуется столь же истово (быть может, даже чуть более восторженно, нежели человеческими), в запале восторга от триумфа воли и торжества мышц никто этой лукавой параллели так и не заметил. Кроме того, Рифеншталь в экранных образах уловила и передала суть тоталитарной культуры: ее тяготение к классицизму, структуре эллинистического государства, в котором города стали не средой обитания, но показателем роскоши [3, с. 220].

В фильме «Долина» 1945 года, основа сюжета которого – конфликт крестьян-горцев с землевладельцем, который должен был стать символом мирового еврейства, Лени играет роль танцовщицы фламенко, ставшей жертвой сексуального насилия со стороны землевладельца. Однако то, что в качестве статистов Лени использовала 120 заключенных цыган — 53 из сборного лагеря Максглан под Зальцбургом и 67 из концлагеря Марцан под Берлином, впоследствии большинство из которых погибли в концлагере Освенцим, являлось причиной многих судебных процессов, которые велись против Лени Рифеншталь [4]. Обвинения включали в себя и то, что Лени лично выбирала статистов в лагерях, не предоставила им обещанной свободы и знала о последующей депортации в Освенцим. Позднее она утверждала, что не знала ни о том, куда увозили статистов, ни о том, что с ними стало позже. Дело закрыли за неимением подтверждений и живых свидетелей [4].

На этом кинокарьера Лени Рифеншталь завершилась, и всю вторую половину жизни — а она прожила суммарно 101 год — Лени занималась фотографией, путешествиями… и оправданиями за 13 лет работы в Третьем рейхе [4].

Переходя к этической составляющей её биографии, возникает вопрос - может ли искусство быть инструментом и использоваться в разрушительных целях. По сути своей, искусство - метод самовыражения, отражение мыслей творца и его внутреннего мира. На примере Лени Рифеншталь и ее работ можно рассмотреть проблему мотивов и целей автора, которые являются причиной создания работы. Рассмотрим на примере Лени Рифеншталь и ее работы «Триумф воли» - с одной стороны, это документальный фильм пропагандистского характера, о чем было сказано ранее, однако с другой - мы не можем осуждать автора за искреннюю симпатию той или иной идеологии, какой бы деструктивной, по мнению общества, она ни была, и уж тем более за способ выражения этой симпатии. Однако подтверждение теории о том, что Лени Рифеншталь в своих фильмах, снятых после «Триумфа воли» и «Олимпии», несла зрителям пропаганду нацистского режима Третьего рейха, то данный факт делает её не более, чем автора пропагандистских фильмов и её значимость, как режиссера документалиста снизится в глазах зрителей [1].

«Миру снова стали интересны ее фильмы, и многие начали сомневаться в том, правильно ли было обвинять эту деятельную талантливую женщину в нацистских пристрастиях. Пик послевоенного интереса к фигуре и деятельности Рифеншталь приходится на конец 1960 – начало 1970-х годов, когда мир узнал о ней как о выдающемся фотографе экзотических и исчезающих африканских племен. Но именно в это время стал распространенным и другой взгляд на ее африканские эксперименты: вслед на Зигфридом Кракауэром появились исследователи, готовые обосновать на примере африканских фотографий теорию о том, что все творчество Рифеншталь пронизано идеологией и символикой нацизма. По их мнению, съемки племен нуба и кау продолжают документальное воспевание и прославление эстетики Третьего рейха в лучших традициях «Триумфа воли» и «Олимпии» [1, стр. 85].

Подводя итоги, можно сказать, что Лени Рифеншталь оказала влияние на мировой кинематограф в первую очередь как пропагандист, а потом уже как деятель культуры. Она совершенствовала технику операторской съемки, используя новаторские ракурсы и умела расположить зрителя к картине, усовершенствовала и адаптировала жанр горных фильмов под собственные идеи. Вместо с тем несомненный пропагандистский успех ее фильмов о Третьем рейхе («День свободы! – Наш вермахт!», «Триумф воли), который способствовал продвижению идеологии национал-социализма вызывают сомнения в правдивости слов Лени Рифеншталь из её мемуаров, опубликованных в 1987 году о том, что она – аполитичный художник, непричастный к деятельности Третьего Рейха. Несет ли художник ответственность за то, кому он служит своим творчеством? Этот вопрос актуален и в XXI веке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Бузина Ю.В.* Творческое наследие Лени Рифеншталь как объект источниковедческого и архивоведческого изучения (1930-1970-е гг.) История и архивы, no. 18 (80), 2011, С. 81-87.

2. *Беда В.* Философия жизни и творчества Лени Рифеншталь // Южный Полюс. Исследования по истории современной западной философии, vol. 5, no. 1-2, 2019, С. 68-79.

3. *Рейзен О.К.* Кино по ту линию фронта. Германия, Италия, Испания: кинематограф фашизма в годы Второй мировой войны // Образ Великой Отечественной войны на экране. К 75-летию Победы. 2020. №. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kino-po-tu-storonu-fronta-germaniya-italiya-ispaniya-kinematograf-fashizma-v-gody-vtoroy-mirovoy-voyny (дата обращения: 06.06.2025*).*

4. *Уваров С.* Необыкновенный фашизм как Лени Рифеншталь создала образ настоящего зла // https://iz.ru/1381664/sergei-uvarov/neobyknovennyi-fashizm-kak-leni-rifenshtal-sozdavala-obraz-nastoiashchego-zla (дата обращения: 06.06.2025*).*

LENI RIEFENSTAHL AS A PROPAGANDA DIRECTOR

Lim. E.S.

Supervisor: Sychenkova A.V., Associate Professor, Candidate of Historical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article examines the ethical side of Leni Riefenstahl's work as a director. The author describes the life path, the background of the creation of such works as "Valley", "Triumph of the Will", "Olympia" and "Blue Light".

УДК 304.2

ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ КУЛЬТУРЫ РЕСПУЛИКИ ТАТАРСТАН СРЕДИ МОЛОДЕЖИ ЧЕРЕЗ ЦИФРОВЫЕ МЕДИА

Маркелов С.А., Гайфутдинова А.Р.
Научный руководитель: Галимуллина Н.М., доцент, к. и. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье раскрывается проблема повышения осведомленности и, как следствие, популяризация культуры Республики Татарстан среди студенческой молодежи. Авторы на основе теоретических данных анализируют понятие региональной культуры, приводят результаты собственного социологического опроса о востребованности знаний о культуре полиэтнической республики, анализируют существующие медиаресурсы просветительского характера и предлагают собственной видение решения проблемы в виде Telegram-канала и группы в ВКонтакте.

Наш проект создания медиапродутов направлен на решение проблемы недостаточной доступности информации о культуре Татарстана и низкой осведомленности о ней среди молодежи (студентов и туристов). Несмотря на богатое культурное наследие республики, многие приезжие сталкиваются с трудностями в его изучении из-за отсутствия удобных и адаптированных для молодежи ресурсов.

Каждый народ, проживая на определенной территории, адаптируясь к внешнему окружению, например, географическому положению, климату, биологическому разнообразию и природному ландшафту, создает собственную культуру, уникальный Космо-психо-логос (по Г.Д. Гачеву) [1]. Конечно, в современном мире, в условиях глобализации ни одно из государств (как и их регионы) не может существовать изолированно от чуждых влияний [2]. Но, тем не менее, региональную культуру можно назвать духовным фундаментом развития любого региона, отличающимися элементами которого становятся эмоциональные, познавательные, ценностные модели социально-культурного взаимодействия [3].

Между тем, культурно-познавательный туризм не ограничивается только знакомством с музейными экспозициями и осмотром памятников культуры и посещением музеев, а предусматривает взаимодействие с местным населением, являющимся носителем культуры региона или этноса, т.е. представителем культурной среды [4]. Поэтому наши ресурсы предполагают достаточно демократичную подачу информации, «разговор со знакомым» в электронном представлении.

Опыт деятельности учреждений культуры в период пандемии показал, что Интернет-коммуникации могут стать дополнительным ресурсом просветительской деятельности, например, в виде онлайн—мероприятий при реализации культурных мероприятий в онлайн — формате [5]. Но, на наш взгляд, в отношении молодежи как целевой группы этот канал должен стать превалирующим, более того – это основной ресурс решения проблемы низкого уровня информированности о культуре региона у студенческой молодежи.

Возвращаясь к проблеме, необходимо констатировать такие аспекты:

1. Отсутствие систематизированной информации в цифровом формате, которая была бы удобна для молодежи (кратко, визуально, интерактивно).
2. Низкая вовлеченность студентов и туристов в культурные мероприятия и традиции Татарстана.
3. Языковой барьер – многие материалы о культуре доступны только на татарском или в академическом формате, что затрудняет восприятие (например, в Telegram размещает свой контент на татарском языке Татар Малай (Ринат Галиахметов), информируя об интересных событиях в Казани.
4. Дефицит интерактивных инструментов (гидов, карт, адаптированных под современные запросы молодежи).

Конечно, отдельные меры решения проблемы предпринимались. Например, Институтом истории имени Марджани был выпущен ролик о кулинарных традициях татар и традиционном татарском застолье — «аш», который содержит интересный факт, что ежегодно туристы вывозят 1200 тонн чак-чака [6].

На видеоплатформе существовал канал компании Татармультфильм, на котором с 2013 года по ноябрь 2022 г. было размещено 288 видео с общим количеством 27,2 млн. просмотров. Видеоканал на татарском языке ведет и редакция республиканского журнала для молодёжи «Ялкын», на нем размещено 296 видео, количество просмотров - более 510000 [7].

Можно сделать выводы:

1. Официальные сайты и путеводители (например, Visit-Tatarstan): информация есть, но подается в формате, не всегда удобном для молодежи.

2. Блоги и паблики о Казани: часто носят развлекательный характер, без глубокого погружения в культуру.

3. Университетские мероприятия: проводятся, но охватывают лишь небольшую часть студентов.

Вывод: существующие ресурсы не полностью решают проблему, так как не используют современные цифровые форматы и не адаптированы под интересы молодежи. Мы выявили недостаток современных медиаресурсов, которые бы подавали информацию в формате, близком молодежи (соцсети, короткие видео, инфографика). Отсутствие интеграции культурного контента в цифровые платформы, которыми активно пользуется молодежь (Telegram, ВКонтакте), приводит к ограниченному доступу к локальным экспертам и носителям культуры, которые могли бы делиться знаниями в доступной форме.

Все вышеперечисленное приводит к тому, что присутствует слабая популяризация культуры в студенческой среде – многие приезжие студенты не знают, где и как изучать традиции Татарстана. Проблема затрагивает студентов первых курсов (в том числе иногородних), молодых туристов и местных жителей, которые хотели бы глубже изучить культуру республики. Серьезность и распространенность проблемы подтверждается такими данными: по данным опросов среди 150 студентов ИКТЗИ в КНИТУ-КАИ (2025), более 70% приезжих студентов хотели бы больше узнать о традициях Татарстана, но не знают, с чего начать.

Статистика запросов в Яндексе (2025 г.) (https://wordstat.yandex.ru) показывает, что интерес к культуре республики в целом высок: запросы «Культура Татарстана» – 7850+ показов в месяц, «Традиции Татарстана» – 1700+ запросов, по ключевым словам, «Что посмотреть в Казани» зафиксировано 24900+ запросов.

При проработке темы был проведен опрос среди студентов, которые учатся в Республике Татарстан или изредка посещают регион ради отдыха.

Опрос показал, что больше половины людей хотя бы иногда интересуются татарской культурой (60,5%), примерно четверть «окультуриваются» хотя бы иногда (23,7%), а оставшееся количество респондентов ответили, что постоянно интересуются культурными особенностями нашей Республики (15,8%). Это подтверждает актуальность выбранной проблемы.

При этом чаще всего люди интересуются историей (68,4%) и национальной кухней (76,3%) Татарстана, реже – традициями (60,5%) и музыкой (57,9%), реже всего литературой (31,6%). Что касается источников информирования, вот, откуда люди узнают о культурных особенностях республики: социальные сети – 84,2%, сайты – 42,1%, друзья/родственники – 63,2%, музеи/мероприятия – 34,2%. Это показывает, что современной молодежи будет как нельзя кстати цифровая платформа, популяризирующая культуру Республики Татарстан.

Востребованность и полезность цифровой платформы подтверждает то, что больше половина респондентов (57,9%) ответили, что им интересна такая идея и они хотели бы подобным медиапродуктом пользоваться. Еще треть (34,2%) ответили, что возможно будут пользоваться платформой и лишь менее 8% респондентов ответили, что им это не нужно либо они затрудняются ответить.

Помимо всего прочего, было решено исследовать, какой формат контента нравится молодежи больше всего, чтобы посты и контент набирали наибольшие охваты. Большинство

респондентов предпочитают смотреть короткие видеоролики (84,2%) и читать посты с карточками (86,8%), а также некоторым нравятся тесты и викторины (39,5%).

В подтверждение актуальности проекта, мы узнали уровень знаний респондентов и большинство ответили, что о культуре Татарстана они знают довольно мало (68,4%) или ничего не знают (13,2) и только 18,4% респондентов оценивают свой уровень знаний на отлично. Больше половины опрошенных (55,3%) редко участвуют в культурных мероприятиях Татарстана, четверть (26,3%) не участвуют, но хотели бы меньше десятой части (7,9%) участвуют регулярно.

Проанализируем перспективы реализации проекта по сохранению исторической памяти с помощью проведения игры в формате SWOT-анализа (таблица 1)

Таблица 1.

Матрица SWOT-анализа

Strengths	Weaknesses
1. Молодая креативная команда с навыками SMM 2. Поддержка университета (КНИТУ-КАИ) 3. Уникальный интерактивный формат подачи информации 4. Партнёрство с Министерством культуры РТ 5. Использование современных технологий (AR, боты)	1. Ограниченный бюджет 2. Отсутствие готовой базы контента 3. Нет опыта масштабных проектов 4. Зависимость от внешних партнёров 5. Маленькая команда
Opportunities	**Threats**
1. Рост интереса к локальному туризму 2. Государственные гранты на культурные проекты 3. Возможность коллабораций с блогерами 4. Развитие digital-технологий 5. Поддержка со стороны вузов	1. Конкуренция с развлекательными пабликами 2. Изменение алгоритмов соцсетей 3. Нехватка времени на реализацию 4. Сезонность туристического спроса 5. Языковой барьер (татарский/русский)

Проект является актуальным, так как большинство опрошенных сталкиваются с проблемой незнания культуры. Необходимость создания именно медиапроекта обуславливается тем, что большинство опрошенных получают информацию из социальных сетей и молодежь хочет пользоваться таким ресурсом. Приоритетными форматами контента должны стать короткие видео и посты с картинками.

Проект: Разработка и реализация социальных сетей и бота, благодаря которым молодежь сможет больше узнать о культуре Республики Татарстан и найдет для себя занятие в свободное время. Бюджет проекта составит около 300 тысяч рублей, которые пойдут на разработку, реализацию и первоначальное продвижение.

Продукт проекта: медиапродукт в ВКонтакте https://vk.com/kulttatarstan и Telegram https://t.me/kulttatarstan с полезным, развлекательным и познавательным контентом. .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Яковлева Е.Л.* Культурный туризм как фактор (с)охранения национального наследия народа (на примере Республики Татарстан) // Большая Евразия: развитие, безопасность, сотрудничество. 2022. №5-1. С.1177-1179.

2. *Ханаху Р.А., Гучетль З.Х.* Современное социокультурное разнообразие регионов как результат культурного взаимодействия // Научные труды КубГТУ, 2018. № 5. С.190-196.

3. *Петров И.Ф.* Анализ феномена региональной культуры // наука без границ 2018. № 7 (24). С.85-89.

4. *Вагапова Ф.Г., Тимофеева Е.Р., Иминова Г.Ш.* Анализ развития культурно-познавательного туризма в республике Татарстан // Сервис в России и за рубежом. 2017. № 6 (76). С.85-93.

5. *Иштирякова Л.Х.* Тенденции развития сферы культуры в Республике Татарстан в условиях ограничительных мер // Финансы и управление. 2021. №3. С.26-34.

6. В сети появился мультипликационный ролик о кулинарных традициях татар. – Текст: электронный – 2025. – URL:https://addnt.ru/v-seti-poyavilsya-rolik-o-kulinarnykh-tra (дата обращения: 04.06.2025).

7. *Салимов А.М*. Продвижение историко-культурного наследия татарского народа в социальных сетях // История. Культурология. Политология. 2022. №4. – Текст: электронный – 2022. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/prodvizhenie-istoriko-kulturnogo-naslediya-tatarskogo-naroda-v-sotsialnyh-setyah (дата обращения: 04.06.2025).

POPULARIZATION OF THE CULTURE OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN AMONG YOUNG PEOPLE THROUGH DIGITAL MEDIA

Markelov S.A., Gaifutdinova A.R.

Supervisor: Galimullina N.M., Associate Professor, Candidate of Historical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article reveals the problem of raising awareness and, as a result, popularizing the culture of the Republic of Tatarstan among students. Based on theoretical data, the authors analyze the concept of regional culture, provide the results of their own sociological survey on the demand for knowledge about the culture of a multiethnic republic, analyze existing educational media resources and offer their own vision of solving the problem in the form of a telegram channel and a VKontakte group.

УДК 93

ГЕРОИ АВИАСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Мухаметзянов А.Р.

Научный руководитель: Шагбанова Ю.Б., доцент, к. и. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье раскрывается историческая ценность военных событий через имена героев авиационной отрасли Великой Отечественной войны. Приводятся примеры героев тыла, которые своими научными подвигами совершенствовали развитие отрасли и «прокладывали» путь к победе в данной войне. В статье прослеживается основная мысль, что кооперация между различными секторами промышленности стала важным элементом эффективной работы авиастроительной отрасли в годы войны.

Историческая ценность военных событий Великой Отечественной войны неоспорима в силу важных критериев: формируется корпоративная память; развивается гражданские чувства разных поколений; выстраивается логическая цепочка воспоминаний, которая становится основой для развития традиций и формирования ценностей у подрастающего поколения.

С началом войны встала необходимость мобилизации ресурсов всех отраслей жизнедеятельности, среди которых особое место отводилось авиастроительной отрасли и особенно тем людям, которые были на полях сражений и трудились в тылу. Это были герои, которые совершали поступки, сдерживали агрессию врага, одерживали победы. Эти специалисты работали на разных участках — в проектных организациях, на промышленных предприятиях и в научных лабораториях, вкладывая свои силы в общее дело. Это был период невероятных усилий и самоотдачи, результатом которых стали значительные технологические достижения.

В данном контексте, героя Великой Отечественной войны можно рассматривать как собирательный образ, который дает возможность мобилизовать все ресурсы: организационные, человеческие, материальные, технологические, идеологические и т.п. для достижения главной цели - разгром «общего» врага.

Еще до войны, в условиях обострения международной обстановки, стали актуальными неотложные меры по укреплению обороноспособности, в том числе обновлению авиационной техники. К примеру, весной 1941 года успешно прошел государственные испытания ставший легендарным бронированный штурмовик Ил-2 конструкции С.В. Ильюшина [1]. А в годы уже Великой Отечественной войны герои авиастроительной отрасли, несмотря на ее разрушения и эвакуацию, смогли обеспечить работу данной отрасли, и совершили невероятный рывок, обеспечив Красной Армии преимущество в воздухе и ускорив приближение победы. «Уже в первой половине 1942 года авиационная промышленность достигла довоенного уровня производства, а к середине 1943 года мы превзошли гитлеровскую Германию и ее союзников по выпуску авиастроительной техники» [1]. Так, «в годы войны было выпущено 125655 самолетов, из них более 108 тысяч боевых, в то время как Германия смогла выпустить только 88906 самолетов, в том числе 78890 боевых. В конечном счете, именно это соотношение и определило исход борьбы за господство в воздух» [2, с.77].

В данной статье хотелось бы остановиться на именах героев тыла, которые своими научными подвигами совершенствовали развитие отрасли и «прокладывали» путь к победе в данной войне. Так, Сергей Владимирович Ильюшин, советский авиаконструктор, ярко проявил себя в авиакосмической отрасли, разработав ряд революционных самолетов. Среди его творений особо выделяется серия бомбардировщиков «Ил-2», ставшая символом триумфа советского народа [4]. Путь создания этого легендарного самолета был тернистым: инженерам и рабочим завода приходилось преодолевать нехватку материалов и постоянные воздушные атаки противника. Ил-2 прочно закрепился в сознании немецких военных, как настоящий «дьявол», благодаря своей выносливости и поразительной огневой мощи. За время войны этот самолет совершил более 300 тысяч боевых вылетов, оказав существенное влияние на исход воздушных и наземных сражений [3]. Мощное вооружение Ил-2 дополнялось возможностью нести экипаж из одного или двух человек, что открывало широкие возможности для проведения различных операций на фронте. Не останавливаясь на достигнутом, Ильюшин и после войны продолжал совершенствовать свои разработки, создавая новые модели самолетов, которые внесли существенный вклад в развитие авиации и оставили неизгладимый след в ее истории.

Другим известным именем в истории авиации является Андрей Николаевич Туполев — основатель Туполевского конструкторского бюро. Он прославился созданием бомбардировщика ТБ-3, который продемонстрировал свою эффективность еще до начала войны. С началом войны Туполев занялся разработкой нового стратегического бомбардировщика — ТУ-4, копии американского «Боинг В-29». Эта модель была запущена в серийное производство и вскоре стала ключевой для Военно-воздушных сил Советского Союза. [5] Работа Туполева в годы войны была сложной и напряженной. Став военным инженером, он осознал критическую важность успешного завершения проектов для успеха на фронте. Благодаря его усилиям научная и промышленная база страны укрепилась, что позволило эффективно справляться с вызовами войны.

Исторические события в годы войны, сражения и битвы предъявляли требования к авиастроительной отрасли не только в плане нового оборудования, но и новых технологий. Советские ученые и инженеры занимались созданием современных средств связи, радиолокации и авионики, направленных на повышение эффективности и безопасности полетов.

В этом плане, важно отметить известную личность и героя своего времени - авиаконструктора и организатора авиапромышленности, руководителя проекта по созданию истребителя ЛаГГ-3, главного конструктора по самолётостроению Горбунова В.П. Он принимал участие в разработке и внедрении в серийное производство самолётов ТБ-3, Р-6, СБ; вместе с В.Ф. Болховитиновым проектировал тяжёлый бомбардировщик ДБ-А, создал

проект лёгкого пикирующего бомбардировщика ПБ-301, являлся один из инициаторов создания скоростного истребителя из дельта-древесины. Под руководством Горбунова созданы скоростные истребители ЛаГГ-1, затем ЛаГГ-3 [6]. Также занимался усовершенствованием и модернизацией ЛаГГ-3. СКБ-31 под его руководством разработало новые для 1940-х, особые «мягкие» бензобаки для самолёта, конструкция которых используется авиастроителями и по настоящее время.

Кооперация между различными секторами промышленности стала важным элементом работы данной отрасли. Для разработки новых воздушных судов необходима была тесная интеграция металлургической, автомобилестроительной и авиастроительной отраслей. Важную роль в координации производственных мощностей играли такие предприятия, как заводы по производству самолетов и авиационных двигателей, которые начали выпускать сотни единиц техники ежемесячно, а также талантливые личности разных отраслей промышленности.

Также можно обратить внимание на исторические периоды, когда авиация набирала силу, когда реализовывались новые конструкторские решения, первые полеты. Это период начала XX века. Это тоже закладывало основу для дальнейшего развития авиастроительной отрасли.

Так, можно вспомнить профессиональный путь Геккеля Я.М.: сначала, окончив институт электротехники в Петербурге, и, вернувшись на малую родину в Иркутск, как специалист, принимал участие в строительстве первой гидроэлектростанции. Параллельно он участвовал в прокладке первой в России высоковольтной линии электропередач. В начале 1900-х годов, Яков продолжает профессиональное продвижение и переезжает в Петербург, чтобы преподавать в институте электротехники и принимать участие в строительстве первого электрического трамвая [7].

Начало его карьеры авиаконструктора было положено выданной за работу над трамваем премией, которую он полностью потратил на конструкцию первого летного аппарата в 1909 году. Кроме того, в те же годы он, совместно с инженером С.С. Щетининым создал первое в России авиастроительное предприятие. С 1928 года молодой авиаконструктор работает в Центральном аэрогидродинамическом институте (ЦАГИ; Москва, а с 1935 года — г. Жуковский Московской области с филиалом в Москве).

Необходимо отметить, что в дальнейшем, для разработки летательных аппаратов создаются специальные отделы. К примеру, в 1931 году для разработки оригинальных экспериментальных летательных аппаратов создается специальный отдел — Бюро особых конструкций (БОК), который возглавляет 32-летний В.А. Чижевский. Основной деятельностью БОК становится конструирование летательных аппаратов для стратосферных и сверхдальних полетов. Бригада БОК входила в Центральное конструкторское бюро (ЦКБ) Московского авиационного завода №39 им. В.Р. Менжинского. В 1935 году БОК переводят в Смоленский авиационный завод (СмАЗ), а Чижевского назначают главным конструктором завода [7].

Реальные образы известных и менее известных личностей разных исторических периодов, в частности, Великой Отечественной войны, а именно воспоминания о них, влияют на развитие корпоративной памяти и предоставляют возможность создавать коммуникационно-информационное поле для продвижения исторических ценностей среди разных целевых аудиторий, особенно, среди молодежи.

Особенностью в данных процессах является тот факт, что в современном обществе имеются разные технологические, мультимедийные механизмы и площадки для их реализации. Они позволяют «приближать» временные пространства, «погружаться» в исторические события. Поэтому, «образ героя авиастроительной отрасли времен Великой Отечественной войны может быть интегрирован в стратегии формирования политического имиджа как инструмент, способный вызвать доверие, укреплять патриотические настроения и формировать у населения ощущение исторической преемственности и стабильности» [8].

Личностная история подчеркивает важность того, как подвиги людей-героев могут продемонстрировать возможности человеческих ресурсов в самых тяжелых и непростых

условиях жизни, тем более, войны, а технологические открытия могут привести к эффективным результатам даже в самых сложных обстоятельствах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Институт «Открытое общество» Творцы Отечественной авиации // История инженерного дела. 2001. – URL: https://library.istu.edu/hoe/books/avia/default.htm.

2. *Москатов Г.К*. Вклад авиапромышленности и военно-воздушных сил СССР в дело победы над фашистской Германией //Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2015. С 74-77. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vklad-aviapromyshlennosti-i-voenno-vozdushnyh-sil-sssr-v-delo-pobedy-nad-fashistskoy-germaniey/viewer.

3. *Варшавчик С*. Самолет ИЛ-2: Производство и боевое применение // Наука и техника 2024. – URL: https://https://lenta.ru/articles/2024/07/17/il2/.

4. *Блохина М.* История в лицах. Ильюшин Сергей Владимирович — Отец «Илюши» // Мультивидеопортал молодёжи для молодёжи «ЮНПРЕСС». 2022. – URL: https://ynpress.com/archives/106527.

5. *Надолинский Ю.В.* Вклад Андрея Николаевича Туполева в отечественную авиационную промышленность//Актульные исследования. 2022. – URL: https://apni.ru/article/5186-vklad-andreya-nikolaevicha-tupoleva-v-oteches.

6. МАИ. Горбунов Владимир Петрович //Конструкторы. 2023. –URL: https://history.mai.ru/personalities/item.php?id=115000.

7. Металлообработка // Биография авиаконструкторов и инженеров во время Великой Отечественной Войны 2020. – URL: https://https://metallo-obrabotka24.ru/aviakonstruktory/yakov-gakkel-biografiya-foto-dostizheniya/.

8. *Кургаева Ж.Ю.* Политический имидж: технологии формирования и влияния на электорат // Наукосфера. №1 (1). 2024. С. 90-97. - URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=60774570.

HEROES OF THE AIRCRAFT INDUSTRY DURING THE GREAT PATRIOTIC WAR

Mukhametzyanov A.R.

Supervisor: Shagbanova Yu.B., Associate Professor, Candidate of Historical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev -KAI, Kazan)

Abstract. The article reveals the historical value of military events through the names of the heroes of the aviation industry of the Great Patriotic War. Examples are given of heroes of the rear, who, with their scientific feats, improved the development of the industry and “paved” the way to victory in this war. The article traces the main idea that cooperation between different sectors of industry became an important element in the efficient operation of the aircraft manufacturing industry during the war years.

УДК 908

КАЗАНЬ И КАЗАНСКАЯ ГУБЕРНИЯ В ГРАЖДАНСКОЙ ВОЙНЕ: ПОД ВЛАСТЬЮ КОМУЧА

Мюллер П.Д.

Научный руководитель: Козлова О.В., доцент, к. и. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данном исследовании представлен начальный период развёртывания Гражданской войны в Поволжье, а именно, нахождение данной территории под властью Комуча (Комитета Учредительного собрания). Акцент сделан на событиях, которые проходили в Казани и Казанской губернии. Исследование проведено на основании газет

периода Гражданской войны, а также на основании опубликованных материалов по истории Казанского края. Сделан вывод о том, что в 1918 году Гражданская война на данной территории представляла собой многосторонний конфликт со сложной динамикой, который оказал значительное влияние на развитие региона.

Гражданская война в России оказала глубокое влияние на ряд регионов, включая Казань и Казанскую губернию. В ходе этого периода сторонами конфликта были различные силы: Красная армия, Белая гвардия, националистические движения и другие группировки, чьё взаимодействие вызывало множество сложных и малоизвестных историй.

Целью исследования является выявление специфики нахождения Казани и Казанской губернии под властью Комуча.

В 1918 г. Казанская губерния была одним из центров серьёзного противостояния, масштабы которого были значительными и затронули все сферы жизни региона.

Для Советской России контроль над путями сообщения между европейской и азиатской Россией и хлебом Поволжья был вопросом выживания нового режима, о чем неоднократно говорил председатель Совета Народных Комиссаров РСФСР В.И. Ульянов-Ленин. В Поволжье наиболее опасным для Советской власти было провозглашение Идель-Урал Штата как субъекта Российской Федеративной Республики. Привлекательность Казани обострялась наличием в городе основной части золотого запаса Российский империи. Поэтому провозглашение Штата, намеченное на 1 марта 1918 г., было сорвано руководством Казанского губернского Совета, создавшего Казанскую Советскую Республику во главе с большевиком Яковом Шейнкманом, близким к тогдашнему председателю ВЦИК РСФСР Якову Свердлову. 3 марта 1918 г. после подписания Брестского договора большевики получили свободу рук в Волго-Уральском регионе. 28 марта 1918 г. советские войска заняли Татарскую слободу Казани [5]. 31 мая 1918 г. губисполком ввел военное положение в губернии.

8 июня 1918 г. в Самаре было провозглашено правительство членов Всероссийского учредительного собрания (Комуч), что заставило большевиков сконцентрировать свои войска в Поволжье против внутренней оппозиции и Чехословацкого корпуса. К лету 1918 г. в связи с наступлением войск Комуча в Казани сложилась критическая ситуация. При невыясненных до конца обстоятельствах был убит секретарь губкома РКП(б) Гирш Олькеницкий. В это время 22 июля войска Комуча заняли Симбирск. Единственными боеспособными частями Красной Армии в Казани были 5-й Земгальский латышский полк, 1-й Мусульманский социалистический полк и 1-й Татаро-башкирский батальон, которые 6 августа не смогли удержать оборону. Наступающим войскам также помогали члены офицерских подпольных организаций.

7 августа 1918 г. был опубликован приказ №1 об объявлении Казани и губернии под властью Комуча. Было объявлено, что «все правительственные и общественные учреждения подчиняются особоуполномоченным» Комуча Б.К. Фортунатову и В.И. Лебедеву. В приказе №2 объявлялось о мобилизации всех офицеров в Народную армию, а в приказе №3 – о записи всех добровольцев в Народную армию [5].

По сведениям о ходе формирования пехотных, артиллерийских, кавалерийских и инженерных частей Народной армии Казанского района по состоянию на 27 августа мы знаем, что в пехотных частях имелось 117 офицеров и 2 180 армейцев (в Саперной команде числился только один офицер, а части 1-го, 2-го, 3-го и 4-го Казанских офицерских батальонов трехротного состава только начали формировать и они не имели офицерских и нижних чинов), в артиллерии – 282 офицера и 1 369 армейцев (1-я батарея 2-го Казанского легкого артиллерийского дивизиона на формировании), в кавалерии – 62 офицера и 730 армейцев, в инженерных войсках – 58 офицеров и 481 армеец, в технических войсках – 41 офицер и 363 армейца, в броневых частях – 20 офицеров и 15 армейцев [1; с.45].

В Казани была восстановлена Городская дума, а исполнительным органом вновь стала Городская управа. К работе приступили представители правого крыла и центра Думы.

Органами управления на местах стали квартальные комитеты, которые занимались бессудными обысками и арестами не только сторонников советской власти, но и своих личных врагов. Нестабильности власти в городе способствовала деятельность сразу нескольких контрразведок. М. Вахитов был единственным членом Комитета Учредительного собрания, расстрелянным комучевцами (при невыясненных до конца обстоятельствах). Количество арестованных в обеих тюрьмах доходило до 1,5 тысячи человек, а расстрелянных — до 60 человек [5].

Газета Казанской организации РСДРП (м) «Рабочее дело» так оценивает произошедшую смену власти: «Открылось 8 августа сего года открытое для всех граждан собрание в городском театре. В 8 с половиной часов товарищу управляющего военным ведомством при Народной армии В.И. Лебедевым было предоставлено первое слово Б.К. Фортунатову, члену Учредительного собрания, который объявил, что именем Всероссийского учредительного собрания советская власть в Казани объявлена низложенной. Современное положение России гражданин Фортунатов сравнил с состоянием России в Смутное время и подчеркнул, что позором покрыто имя русского. Были такие моменты, когда решение о восстановлении России считалось возможным лишь тогда, когда немцы уничтожат большевиков. Кто виноват в том, что случилось в России? Существует ли в России какая-либо партия, какое-либо сословие, которое могло бы сказать «мы не виноваты»? Таких сословий нет, нет таких партий и организаций. Вы сами погубили Россию, умейте страдать, чтобы её возродить» [4].

Конфликты между военной и гражданской властью, между предпринимателями и работниками, сопровождавшиеся бессудными расстрелами, вели к нестабильности власти и все большему недовольству режимом Комуча, особенно в рабочем Заречье.

3 сентября под лозунгом освобождения арестованных делегатов беспартийной рабочей конференции вспыхнуло восстание рабочих, центром которого стал Пороховой завод. Повстанцы планировали занять Заречье, железнодорожную станцию Красная Горка, прорвать фронт и соединиться с частями Красной Армии. Однако вмешательство воинских частей привело к быстрому подавлению восстания, руководители которого были расстреляны. Восстание показало ненадежность мобилизованных в Народную армию и слабость воинских тылов войск Комуча [5]. «Есть ещё одно отвратительное явление последнего времени – погромная агитация. Разные тёмные субъекты продолжают сеять вражду против инородцев, несмотря на приказ власти о привлечении к суду таких агитаторов. Особенно травят латышей», - сообщает газета [3].

В этих условиях нарком по военным и морским делам (наркомвоенмор) РСФСР Л.Д. Троцкий сумел сконцентрировать в районе Свияжска превосходящие части армии и флота и перейти в наступление. Наступление осуществлялось по трем направлениям. Владимир Мартинович Азин командовал войсками, наносившими основной удар. Сперва успешно завершился штурм Верхнего Услона и Нижнего Услона. Красногвардейцы заняли села и начали вести отсюда огонь. Полки Красной армии атаковали с территории нынешнего Зеленодольска, поддерживаемые миноносцами, бронепоездом и авиационными силами. Железнодорожный узел отвоевывали с трудом, несколько раз теряя. Последняя сводка в выпуске «Нового Казанского Слова» от 6 сентября лишь кратко и без описания реальной ситуации сообщает: «К 10 часам 5 сентября. На рассвете, около 4-х часов, противник, опираясь на свои подошедшие новые части, повел энергичное наступление на правом берегу Волги. Одновременно вышла боевая красная флотилия, открыв огонь по нашим частям правого берега и по нашим боевым кораблям. Батарея поручика Смоленцева вскоре потопила один красный боевой пароход, затем загорелся второй. Упорный бой продолжается западнее до Печище, Воробьевка; в некоторых местах боя красные начинают окапываться. На остальных участках ночью и утром спокойно» [2].

В ночь на 10 сентября десятки тысяч гражданских, совместно с уцелевшими солдатами, выдвинуться в направлении Лаишево: «Город Лаишево наводняли гражданские беженцы из Казани. Хоть плачь, хоть смейся, какими несамостоятельными и жалкими становятся люди,

когда им приходится действовать на свой страх и риск». Общая численность казанских беженцев неизвестна, она колеблется от 30 000 человек, до свыше 70 000, включая 2 000 эвакуированных больных и раненных. Наплыв беженцев в Самару будет таким большим, что правительству придется учредить отдельный беженский комитет города Казань, занимающийся содействию в предоставлении семьям жилья и материальных средств [1; с.48]. 10 сентября 1918 г. Казань была взята, и к середине октября Красная Армия взяла под контроль всю территорию нынешнего Татарстана.

Таким образом, Гражданская война на территории Казанской губернии представляла собой многосторонний конфликт со сложной динамикой, который оказал значительное влияние на развитие региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Заляев С.Р.* Казань под властью Комуча (август-сентябрь 1918 г.) // Эхо веков. 2023. № 4. С. 42-51. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kazan-pod-vlastyu-komucha-avgust-sentyabr-1918-g/viewer (дата обращения: 21.05.2025).

2. *Летошева Т.* Казань бело-красная и красно-белая: 1918 год через призму газет того времени. URL: https://history-kazan.ru/kazan-vchera-segodnya-zavtra/retrospektiva/17354-kazan-belo-krasnaya-i-krasno-belaya-1918-god-cherez-prizmu-gazet-togo-vremeni (дата обращения: 21.05.2025).

3. Рабочее дело. 1918. 14 (27 августа).

4. Рабочее дело. 1918. 28 июля (8 августа).

5. *Хабутдинов А.* На войне как на войне: как комучевцы расстреляли Вахитова, а Султан-Галиев воспротивился Сталину. URL: https://realnoevremya.ru/articles/105496-kazanskaya-guberniya-i-grazhdanskaya-voyna-chast-1 (дата обращения: 21.05.2025).

KAZAN AND KAZAN PROVINCE IN THE CIVIL WAR: UNDER THE RULE OF KOMUCH

Muller P.D.

Supervisor: Kozlova O.V., Associate Professor, Candidate of Historical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This study presents the initial period of the Civil War in the Volga region, namely, the location of this territory under the authority of the Committee (Committee of the Constituent Assembly). The focus is on the events that took place in Kazan and the Kazan province. The study was conducted on the basis of newspapers from the period of the Civil War, as well as on the basis of published materials on the history of the Kazan region. It is concluded that in 1918 the Civil War in the studied territory was a multilateral conflict with complex dynamics, which had a significant impact on the development of the region.

УДК 930.1

КОММУНИЗМ КАК ИДЕОЛОГИЯ: ИСТОРИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ

Новиков Д.С., Сулимов А.В.

Научный руководитель: Сиразеева Т.Т., ст. преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются основные постулаты коммунизма, этапы развития коммунистической идеологии от классического марксизма до современных этапов. Особое внимание уделено вызовам XXI века, включая кризис легитимности после распада

СССР и конкуренцию с либеральным глобализмом. Анализируются перспективы развития коммунистической теории в современных условиях.

Коммунизм и сегодня продолжает оставаться предметом острых обсуждений в XXI веке. Как социально-экономическая теория, идеология, основанная на принципах общественной собственности и социального равенства, и сегодня не теряет своей привлекательности. Несмотря на кризис, вызванный распадом СССР, коммунистическая идеология демонстрирует способность к адаптации в современных условиях.

По общему признанию исследователей коммунистические идеи содержались уже в «Государстве» Платона, где в государстве управление осуществлялось философами, не имеющими собственность. По мнению, Платона, если правители будут обладать собственностью и своими интересами, то они будут не способны принимать беспристрастные, непредвзятые решения. Коммунистических идей придерживались первые христиане, которые защищали и практиковали общинную собственность, особенно это было распространено в монастырях.

Такие идеи вновь потом будут высказаны Т. Мором в работе «Утопия». Частная собственность и неравенство являются главными источниками всех общественных зол, так выскажется Г. Бабеф в 1796 г. в эпоху Великой французской революции. В 19 в. продолжатели коммунистических идей адаптировали уже доктрину аграрного коммунизма к практике индустриализации. Наиболее известными из этих попыток являются «Новая гармония» в Индиане Р. Оуэна и в «Брук фарм» Ф.М. Фурье.

И наконец, важная заслуга в разработке главных идей коммунизма в современном смысле слова принадлежат генераторам идей марксизма — К. Марксу, Ф. Энгельсу, В.И. Ленину, и их последователям. Однако в их работах нет содержательного описания социально-экономических и политических параметров социалистического и коммунистического устройства общества, здесь мы имеем дело больше с критикой существующего буржуазного общества, а также с обсуждением путей и средств его уничтожения. По словам Маркса и Энгельса: «История всех до сих пор существовавших обществ была историей борьбы классов» [1].

В 1847 г. «Союз справедливых» был назван «Союзом коммунистов» и Ф. Энгельс создает программу «Проект коммунистического символа веры». В 1848 г. К. Марксом и Ф. Энгельсом разрабатывается «Манифест Коммунистической партии», отводящий пролетариату роль грядущего «могильщика» капиталистического общества. И наконец, в «Критике Готской программы» коммунизм, как понимал Маркс «на высшей фазе коммунистического общества, после того как исчезнет порабощающее человека подчинение его разделению труда; когда исчезнет вместе с этим противоположность умственного и физического труда; когда труд перестанет быть только средством для жизни, а станет сам первой потребностью жизни; когда вместе с всесторонним развитием индивидов вырастут и производительные силы, и все источники общественного богатства польются полным потоком, лишь тогда можно будет совершенно преодолеть узкий горизонт буржуазного права, и общество сможет написать на своем знамени: от каждого по способностям, каждому по потребностям!» [2].

Как утверждали основатели марксизма, предназначение коммунистического устройства, в том и состоит, чтобы создать бесклассовое общество, свободное от всякой эксплуатации человека человеком. Но речь шла не просто об изменении отношений собственности и распределения, поскольку коммунизм знаменовал собой создание совершенно нового образа жизни, построенного на принципах равенства, братства, солидарности. Коммунистический идеал включал в себя идею свободы, но не свободы личности, как она понимается в либерализме, а свободы от эксплуатации и нужды, причем свободы одновременно для всех при полной отмене привилегий для немногих.

Опыт XX в. показал, что социальные революции, в т.ч. и социалистическая революция в России, задуманная как средство перехода к строительству коммунистического общества,

приводят не к уничтожению государства как такового, а к его усилению и расширению. В результате, в условиях построения социализма, государство подчиняет общество и отдельного индивида.

В истории развития коммунистической идеологии сформировались такие модели:

– Классический марксизм. Акцент на диктатуре пролетариата и революционном свержении капитализма.

– Ленинизм. Адаптация марксизма к условиям России, с упором на роль руководящей и ведущей партии.

– Сталинизм. Политическая идеология и система управления, сложившаяся в СССР под руководством И. В. Сталина

– Троцкизм. Идея перманентной революции и критики бюрократизации СССР.

– Еврокоммунизм (1970-е гг.). Отказ от революционного насилия в пользу парламентских методов.

– Анархо-коммунизм. Отрицание государства и акцент на самоуправлении.

– Современные уже постсоветские модели. Интеграция марксизма с элементами рыночной экономики, как в Китае или Вьетнаме.

К XXI веку коммунизм пережил существенные изменения: от господствующей идеологии в СССР до маргинализированного движения в условиях глобального капитализма. Его основные принципы — справедливость, коллективизм и антикапитализм — остаются до сих пор. Вызовы современности, конечно, внесли существенные изменения в коммунистическую идеологию. Они следующие:

– Кризис легитимности. Распад СССР в 1991 году нанес серьезный урон по теории коммунистической модели. В России, например, КПРФ, сохраняя влияние, вынуждена сохранять баланс между ностальгией по советскому прошлому и необходимостью интегрирования к рыночным реалиям.

– Состязания с либеральным глобализмом. Современная глобализация создает новые формы эксплуатации, против которых коммунисты предлагают альтернативу в виде «социоприродной гармонии».

– Внутренние противоречия, углубляющийся раскол между ортодоксами (настаивающими на чистоте марксизма-ленинизма) и реформаторами (сторонниками синтеза с демократическими институтами).

– Информационные войны. После 1990-х образ коммунизма в СМИ часто сводится к «утопии» или «тоталитарному прошлому», что в свою очередь затрудняет привлечение молодежи.

– Дискредитация левого движения. Современное левое движение, включая коммунистов, переживает кризис: из благородной борьбы за равенство оно превратилось в инструмент власти для тех, кто, прикрываясь революционной риторикой, на деле стремится контролировать рабочий класс.

Наследие коммунизма было извращено: исторические ошибки (репрессии, ГУЛАГ) стали оправданием для возращения к старому вектору развития. Дискредитация левых идей — результат не только внешних вызовов, но и внутренних трансформаций, когда красные знамёна прикрывают новую эксплуатацию. Несмотря на доступность трудов Маркса, Энгельса, Ленина и других, люди предпочитают верить тем, кто несет дезинформацию, эту же проблему заметил Славой Жижек в своем труде: «современная идеология действует не столько через сокрытие истины, сколько через создание условий, при которых мы ведём себя так, как будто не знаем правды» [3].

Знаменитая речь Г. Зюганова в Давосе в 1996 явилась важным историческим событием. В этой речи на Всемирном экономическом форуме он попытался переиначить коммунистическую доктрину в условиях постсоветской действительности, позиционируя себя как «умеренного реформатора»: «о поддержке смешанной экономики с государственным контролем стратегических отраслей, но без массовой национализации, о необходимости сотрудничества с иностранными инвесторами при условии соблюдения законности и

долгосрочных интересов России, о критике «дикого капитализма» 1990-х, приведшего к «разрушению производственной базы и социальной сферы» [4].

Эта речь, по оценкам аналитиков, демонстрировала переход от догматизма к прагматизму, однако не смогла преодолеть стереотипы о «коммунистической угрозе», активно культивируемые командой Ельцина и олигархами в «молодой» России.

Каковы же перспективы развития коммунистической идеологии? Можно так проиллюстрировать дальнейшие пути развития коммунистической идеологии. Рост неравенства, экологические кризисы и цифровизация труда создают почву для новых интерпретаций коммунизма. Например, концепция «цифрового коммунизма» предполагает обобществление данных и технологий. Сотрудничество с экологическими, антиглобалистскими и профсоюзными организациями может расширить базу поддержки.

Сегодня действительность демонстрирует активное развитие. Пример Китая, где коммунистическая партия удачно интегрирует рыночные механизмы, демонстрирует возможность соединения идеологии с экономической эффективностью.

История коммунистической идеологии показывает, что можно также извлечь следующие уроки неудач: необходимость избежать ошибок СССР, таких как бюрократизация и игнорирование «человеческого фактора», которые подчеркиваются в работах современных теоретиков. Коммунизм в XXI веке находиться как бы на перепутье: с одной стороны, он сталкивается с беспрецедентными вызовами — от гегемонии либерального глобализма до внутренней фрагментации. С другой — сохраняет потенциал как альтернативная модель, предлагающая ответы на основные кризисы неравенства и экологии. И речь Г. Зюганова в Давосе 1996 года стала символом попытки адаптации, но будущее идеологии зависит от её способности интегрировать инновации, сохранив основные ценности социальной справедливости.

Возможно, в будущем развитие различных регионов станет более многообразно, чем сейчас. Появится больше авторитарных режимов, уже сейчас заметно ужесточение отношений государства и его граждан. Капиталистическое взаимодействие будет все чаще соседствовать с иными — так, свободный труд будет существовать рядом с ограниченно свободным, как это происходит, например, в Китае. Корпоративные структуры будут все чаще подменять собой государственные — здравоохранение, образование, возможно, даже защита, предоставленные за счет компании - работодателя, а не за счет государства, станут все более распространенными.

Кризис государства всеобщего благосостояния в Европе не помешает развитию подобных государств во всем мире — в странах Восточной и Юго-Восточной Азии, Латинской Америки и других регионах планеты. Возможность развития разных политических систем, идеологий, в том числе и коммунистических, демонстрирует сегодняшний многополярный мир, полный политического и экономического разнообразия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Маркс* К., *Энгельс* Ф. Манифест Коммунистической партии. М..1955.Т.4.С.446.
2. *Критика Готской программы*. М..2017. Соч. К. Маркс и Ф. Энгельс, т. 22, с.95-96.
3. *Жижек* С. Добро пожаловать в пустыню реального. — М.: У-Фактория, 2002, с.25.
4. *Зюганов* Г.А. Глобализация и судьба человечества. - М.: Молодая гвардия, 2002, с.15.

THE HISTORICAL AND PHILOSOPHICAL ASPECT OF COMMUNIST IDEOLOGY

Novikov D.S., Sulimov A.V.
Supervisor: Sirazeeva T.T., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper examines the key stages in the development of communist ideology from classical Marxism to modern adaptations. Special attention is given to the challenges of the 21st century, including the legitimacy crisis following the collapse of the USSR and competition with

liberal globalization. The study analyzes prospects for the evolution of communist theory in contemporary conditions, with a focus on new interpretations such as "digital communism" and the Chinese model of socialist modernization.

УДК 355.292

К 120-ЛЕТИЮ БРАГИНА ДАВИДА ЯКОВЛЕВИЧА

Мухаметшина М.А., Плотникова Я.А.
Научный руководитель: А.В. Черноглазова, доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Данная статья подготовлена к 120-летию выдающегося ученого и заведующего кафедрой «Материаловедения» Брагина Давида Яковлевича. В ней описаны его биография и достижения в области науки.

Брагин Давид Яковлевич (рис. 1) (23.12.1905 - 11.07.1982) – кандидат технических наук (1961 г.), профессор (1963 г.), Заслуженный деятель науки и техники ТАССР (1960 г.). Его имя – в ряду имен тех больших людей, учителей с большой буквы, что составляют гордость и славу технического университета им А.Н. Туполева-КАИ. Брагин Д.Я. был специалистом по технологии металлов. Он обогатил своей славной научной деятельностью, замечательными трудами такую область науки, как авиационные технологии.

Рисунок 1 – Брагин Давид Яковлевич

Давид Яковлевич родился в Симбирске (ныне это Ульяновск) в 1905 году. Учился в гимназии, в политехническом училище. Он начал работать с 15 лет, а в 1922 году уехал в Москву, на рабфак. Через год поступил в Московскую Горную академию. Семь лет в академии стали для молодого Брагина годами приобретения глубоких знаний во многих интересующих его областях [1].

Выпускник Московской Горной Академии (ныне институт стали и сплавов) (1930), инженер-металлург Давид Яковлевич в довоенные годы работал на оборонном производстве в г. Москве в различных должностях: контролером, мастером термического цеха, замначальника ОТК завода, начальником заводской лаборатории, начальником термического и литейного цехов. Тогда же уже преподавал в Московском авиационном техникуме металловедение и технологию металлов.

В 1933 г. направлялся на стажировку в Германию на машиностроительные заводы.

В сентябре 1938 года был арестован и осужден по статье 58 на 10 лет, его обвинили в участии в подпольной контрреволюционной троцкистской вредительской организации в авиационной промышленности. С 1938 по 1944 гг. отбывал срок, работая в особом конструкторском бюро НКВД начальником металлургической группы, техническим руководителем отдела главного металлурга. В 1944 г. решением Президиума Верховного Совета СССР был освобожден досрочно со снятием судимости. В 1956 году Военной Коллегией Верховного суда СССР был полностью реабилитирован за отсутствием состава преступления [2].

Приказом по Министерству в 1944 г. был назначен на должность главного металлурга на моторостроительный завод в Казани (п/я 735), на котором проработал до 1960 г. За период тридцатилетней инженерной работы принимал участие и сам руководил разработкой и внедрением новых технологических процессов: азотирования, поверхностной закалки контактным методом, кристаллизации под давлением алюминиевых сплавов, выплавки силумина, закалки гильз авиационного мотора токами промышленной частоты, чеканки лопаток компрессора с получением окончательного профиля пера без последующей механической обработки. Последняя работа получила первую премию на конкурсе, проведенном Министерством авиационной промышленности.

В пятидесятых годах много внимание Д.Я. Брагин уделял внедрению технологий горячей обработки жаропрочных сплавов.

В 1945 г. Д.Я. Брагин зачисляется старшим преподавателем созданной в Казанском авиационном институте первой в стране кафедры реактивных двигателей, руководимой академиком В.П. Глушко. Однако начинает работать в КАИ лишь с 1950 г. на кафедре материаловедения, где читает курс по технологии металлов. С этого времени вся последующая научно-педагогическая деятельность Д.Я. Брагина связана с Казанским авиационным институтом.

В 1960 г. Давид Яковлевич по конкурсу избирается на должность доцента кафедры материаловедения, а в 1961 году успешно защищает кандидатскую диссертацию в ВИАМе.

Лекции по курсам технологии материалов, металловедению им читались с большим мастерством, на высоком научном уровне. Он умел увлекать студентов многочисленными примерами из обширной заводской практики.

В 1963 г. Давид Яковлевич Брагин, человек с богатой и непростой биографией, большим профессиональным опытом становится заведующим кафедрой. В этой должности он проработает до 1979 г.

Как заведующий кафедрой Д.Я. Брагин много сделал по улучшению учебно-методической работы, оснащению лабораторий кафедры новейшим оборудованием. Под руководством профессора Д.Я. Брагина была создана специализированная аудитория, оснащенная современной проекционной аппаратурой и телевизионными устройствами. Коллектив кафедры, сформировавшийся в эти годы под руководством Д.Я. Брагина, представлял собой команду выпускников КАИ с учеными степенями кандидатов технических наук и опытных производственников, пришедших с различных машиностроительных заводов. Это позволяло общетехнической кафедре вести дисциплину «Материаловедение. Технология конструкционных материалов», а также первую производственную практику на самом высоком уровне.

Брагин Д.Я. вел большую работу по пропаганде научно-технических знаний. Этой деятельностью он занимался еще, будучи студентом. Как он пишет в автобиографии, им за студенческие годы прочитано свыше 700 лекций, написано и издано несколько брошюр на научно-технические темы. И в зрелые года он активно участвовал в работе общества «Знание», НТО Машпром, привлекая к этой деятельности он также активно и преподавателей кафедры.

Брагин Д.Я. особое внимание уделял воспитанию студентов, часто выступал перед студенческой аудиторией с воспоминаниями о комсомольской жизни в двадцатых годах, о жизни в студенческом общежитии, о московской молодости.

С приходом Давида Яковлевича на кафедру оживилась научно-исследовательская работа по заказам промышленности, что способствовало росту научных кадров на кафедре.

Под руководством Д.Я. Брагина защитились 10 кандидатов технических наук, в том числе и преподаватели кафедры.

Д.Я. Брагин организовал на кафедре проведение научных исследований, активизировал работу аспирантуры и защиту диссертаций соискателями из числа специалистов промышленности, что усилило связь и сотрудничество кафедры с предприятиями и НИИ отрасли. При Брагине Д.Я. уделяется большое внимание четкой организации учебного процесса, методическому и иллюстративному его обеспечению. Кафедра оснащается ТСО, натурными образцами, стендами, иллюстрирующими изготовление рациональных заготовок [3].

Брагин Д.Я. являлся научным руководителем созданной совместно с И.Н. Шкановым научно-исследовательской лаборатории, которая со временем стала отраслевой лабораторией авиационной промышленности.

Подвижный ум и любознательность толкали его к разнообразным знаниям. Погружаясь в выбранную специальность, он еще и живо интересовался искусством, классической литературой, поэзией. Часто посещал театры и поэтические вечера.

Богатейший опыт, высокий профессионализм, доброжелательность и остроумие Давида Яковлевича неизменно привлекали к нему людей. Он охотно беседовал со студентами, сотрудниками кафедры, интересовался их жизнью, проблемами. До последнего дня своей жизни он продолжал работать на кафедре. 10 июля 1982 года он ушел с кафедры как обычно, в хорошем настроении, на следующий день его не стало.

В течение своей жизни Брагин Д.Я. написал труды по разработке оптимальных параметров технологических процессов при производстве изделий авиационной техники. Разработал и внедрил способ повышения прочности жаропрочных сплавов; отраслевой стандарт на упрочнение резьбовых соединений из титановых сплавов. Установил усталостную прочность высокомодульных сплавов на основе бериллия, внедрил упрощенные режимы термической обработки цементированных легированных сталей.

Получил множество наград за свои заслуги: Правительственные награды: орден «Красная Звезда», орден «Трудовое Красное Знамя», медали: «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941-45 гг.», в честь 100-летия со дня рождения В.И. Ленина; Почетная грамота Президиума Верховного Совета ТАССР; значок «Отличник социалистического соревнования авиапромышленности».

Таким образом, несмотря на многочисленные жизненные вызовы, Брагин Д.Я. достиг выдающихся результатов в области материаловедения и конструирования. Его вклад в систематическое развитие кафедры «Материаловедения» является фундаментальным и многогранным. Благодаря его научно-педагогической деятельности, было подготовлено значительное количество высококвалифицированных специалистов, способных решать сложные инженерные задачи. Кроме того, под его руководством существенно возросло количество научных публикаций и исследовательских трудов. Он был опорой и верным товарищем для своих коллег и студентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Коняхина В.И., Канчурина Г.И., Игонина И.Д.* Этот день мы приближали как могли. Казанский авиационный институт 1941-1945: Очерки. Воспоминания. Документы. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2010. – 444 с.

2. Жертвы политического террора в СССР [Электронный ресурс] / подгот.: Междунар. о-во "Мемориал" [и др.]. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва: Звенья, 2004.

3. *Сафариев М.С., Дегтярев Г.Л., Гортышов Ю.Ф.* КАИ – национальный исследовательский университет / Под ред. докт. техн. наук Г.Л. Дегтярева. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. – 468 с.

ON THE 120TH ANNIVERSARY OF DAVID YAKOVLEVICH BRAGIN

Mukhametshina M.A., Plotnikova Y.A.
Supervisor: Chernoglazova A.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences,
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan)

Abstract. This article was prepared for the 120th anniversary of the outstanding scientist and head of the Department of Materials Science David Yakovlevich Bragin. It describes his biography and achievements in the field of science.

УДК 355.292

СОТРУДНИКИ КАФЕДРЫ «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ» В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Мухаметшина М.А., Плотникова Я.А.
Научный руководитель: А.В. Черноглазова, доцент, к. т. н.,
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье представлены сведения о сотрудниках кафедры «Материаловедения», которые трудились во благо Родины и внесли свой неоценимый вклад для победы над врагом во время Великой Отечественной войны.

С первых дней войны началась мобилизация на фронт преподавателей, сотрудников и студентов КАИ. Всего в рядах Красной Армии в период Великой Отечественной войны находилось 700 сотрудников и студентов, в том числе Александр Давидович Облак, зав. кафедрой, исполняющий в то время обязанности директора института и Иван Петрович Махонько, учебный мастер сварочной лаборатории кафедры. После окончания войны они вернулись в родной институт и связали с ним свою дальнейшую жизнь.

В послевоенные годы в коллектив КАИ пришли работать фронтовики, призванные из других организаций. Всего в институте работало около 500 участников Великой Отечественной войны. Среди них Евгений Владимирович Барановский, инженер лаборатории кафедры и Всеволод Сергеевич Иванов, заведующий учебной лабораторией. Участники Великой Отечественной войны, пройдя через все лихолетье войны, в послевоенной жизни в институте задавали тон в студенческих группах и в трудовых коллективах, были их цементирующей основой [1].

Александр Давидович Облак (рис. 1) (13.03.1906 − 20.12.1984) − кандидат технических наук, доцент (1937).

Рисунок 1 – Облак Александр Давидович

В 1937 году был приглашен из Московского авиационного института в КАИ, на должность заведующего кафедрой. В этом же году он возглавил самолетостроительный факультет, а с февраля 1941 года был назначен заместителем директора института по научной и учебной работе.

С начала войны главной его заботой стало трудоустройство и обустройство быта приехавших в эвакуацию преподавателей вузов и ученых отраслевых институтов, в частности, ЦАГИ (центральный аэрогидродинамический институт, г. Москва), Харьковского авиационного института и др.

Осенью 1941 г. в стране был объявлен набор в армию политработников из числа руководителей обкомов, райкомов, вузов. К этому времени А.Д. Облак занимал должность исполняющего обязанности директора института. Тем не менее, с ноября 1941 г. он уходит на подготовку в Политакадемию РККА, затем на фронт.

С апреля 1942 года в действующей армии. В должности заместителя начальника политотдела авиационной дивизии воевал в составе Калининского, Сталинградского и 3-го Украинского фронтов. Участвовал в обороне Сталинграда, в освобождении Донбасса, Украины, Румынии, Югославии, Венгрии. Закончил войну в Австрии.

В 1946 г. после демобилизации из армии, по направлению Главного управления высшими учебными заведениями, Облак А.Д. едет в г. Харьков, в Харьковский авиационный институт, где назначается заведующим кафедрой общей технологии металлов и металловедения. В ХАИ он проработал до 1954 года и затем вновь вернулся в КАИ.

Награжден орденами Красной Звезды, Отечественной войны II степени, медалями «За оборону Сталинграда», «За освобождение Будапешта», «За освобождение Вены», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941 − 1945 гг.».

Махонько Иван Петрович (рис. 2) − учебный мастер.

Рисунок 2 – Махонько Иван Петрович

Иван Петрович родился 18 июля 1906 года в г. Минеральные Воды Северо-Кавказского края.

После окончания профессионально-технического училища в 1928 году работал сварщиком на строительстве первого советского трубопровода «Грозный - Туапсе». С 1928 по 1929 год служил в Красной армии. После демобилизации работал на строительстве Сталинградского тракторного завода, Кузнецкого металлургического завода, был бригадиром слесарей на Ростсельмаше.

В 1934 году поступил на работу в КАИ. Работал мастером-электросварщиком в опытно-производственных мастерских.

В декабре 1941 года был призван в Красную армию.

С марта 1942 года до конца войны - в действующей армии. Воевал в составе Западного, 1-го Белорусского и 3-го Прибалтийского фронтов - помощник начальника штаба, начальник штаба, начальник организационно-планового отдела штаба стрелковой дивизии. Воинское звание - майор.

Участвовал в боях в Подмосковье, в Калининской, Псковской областях, в освобождении Польши. Является участником штурма Берлина и закончил войну в Берлине.

Награжден орденами Отечественной войны I и II степени, медалями «За освобождение Варшавы», «За взятие Берлина», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.».

В мае 1946 г. вернулся в родной институт на кафедру, где проработал до выхода на пенсию в 1986 г.

Барановский Евгений Васильевич (рис. 3) – инженер научно-исследовательской лаборатории.

Рисунок 3 – Барановский Евгений Васильевич

Барановский родился 16 октября 1922 года в г. Чите.

После окончания средней школы в сентябре 1941 года был призван в Красную армию и направлен в Астраханскую авиашколу механиков. С августа по ноябрь 1942 года как курсант проходил стажировку в действующей армии на южном участке Сталинградского фронта в должности авиамеханика 806-го штурмового авиационного полка. В 1943 году окончил авиашколу и был направлен на службу в запасной авиаполк.

Награжден медалью «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.».

После окончания войны Е.В. Барановский продолжил службу в Советской армии. В 1954 году окончил вечернее отделение Казанского авиационного института. В 1973 году уволен в запас в звании подполковника-инженера.

В КАИ Евгений Владимирович Барановский работал с 1974 по 1986 год: инженер, старший инженер лаборатории № 7 Научно-исследовательского сектора.

Иванов Всеволод Сергеевич (рис. 4) − заведующий лабораторией кафедры.

Рисунок 4 – Иванов Всеволод Сергеевич

Всеволод Сергеевич родился 14 июня 1925 года в г. Казани.

В 1941 году поступил учиться в Казанский авиационный техникум. В 1943 году по комсомольскому набору был призван в Красную армию и направлен в Серпуховскую школу механиков по оборудованию самолетов. После окончания школы в декабре 1944 года был направлен на фронт. Воевал в составе 2-го Украинского фронта - механик по электроспецоборудованию самолетов в звене управления 4-й гвардейской штурмовой авиадивизии, старший лейтенант.

Награжден медалями «За боевые заслуги», «За взятие Будапешта», «За взятие Вены», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.».

После окончания войны В.С. Иванов продолжил службу в Советской армии. В 1957 году демобилизовался, приехал в Казань, работал старшим техником в аэроклубе.

В КАИ Всеволод Сергеевич Иванов работал с 1961 по 1984 год заведующим лабораторией кафедры материаловедения. В 1966 году окончил вечернее отделение КАИ.

В первые месяцы войны в институт стали прибывать эвакуированные преподаватели из Харьковского авиационного института, московских вузов и НИИ, Ленинграда. Облак А.Д. как исполняющий обязанности ректора и заведующий кафедрой обеспечивал жильем семьи преподавателей, а также трудоустраивал их на разные кафедры института.

На кафедру в это время были приняты на работу видные советские ученые Г.В. Акимов и С.А. Погодин.

Акимов Георгий Владимирович (рис. 5) (10.04.1901 − 23.01.1953) − профессор кафедры материаловедения (1941 – 1943), доктор технических наук; профессор, Член корреспондент АН СССР, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР (1943), лауреат Государственной премии (1946), трижды лауреат Сталинской премии (1945, 1946, 1949).

Рисунок 5 – Акимов Георгий Владимирович

Выпускник МВТУ (1926). По его инициативе в 1927 г. в ЦАПИ была создана коррозионная лаборатория и в 1931 г. в институте цветных металлов и золота. На кафедре работал в военное время, приехав их Москвы в эвакуацию.

Ученый в области физикохимии металлов, коррозии и защиты металлов. Основатель советской научной школы коррозионистов. Совместно с группой ученых разработал марку стали под названием хромансиль (30ХГСА). Применение этой стали в самолетостроении позволило создавать в военное время боевые самолеты повышенной мощности. Создатель теории структурной коррозии и теории многоэлектродных систем, разработал рациональную классификацию методов испытаний на коррозию и терминологию в области коррозии металлов. С 1947 года − член Комиссии АН СССР по борьбе с коррозией.

Правительственные награды: два ордена Ленина (1945, 1946), Орден Трудового Красного Знамени; медаль «За доблестный труд в Великой отечественной войне»; в «Память 800-летия Москвы».

После ухода А.Д. Облака на фронт его преемником становится **Сергей Александрович Погодин** (рис. 6), доктор химических наук (1935), профессор (1935).

Рисунок 6 – Погодин Сергей Александрович

Погодин С.А. - выпускник металлургического факультета Петроградского политехнического института (годы учебы 1912 – 1921 с перерывами), талантливый ученый, ученик Курнакова Н.С., выдающегося русского физико-химика. Сергею Александровичу была присуждена ученая степень доктора химических наук без представления и защиты диссертации Президиумом АН СССР (15 марта 1935 г.). Постановлением ВАК 17 сентября того же года он был утвержден в ученом звании профессора по кафедре химии.

В 1943 году С.А. Погодин вернулся в родной Институт металлургии им. А.А. Байкова, где проработал до 1953 г старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией сплавов редких элементов. В 1948 г. стал Лауреатом премии им. академика Н.С. Курнакова за написанную совместно с В.Я. Аносовым книгу «Основные начала физико-химического анализа» (1947 г.).

С 1953 г. С.А. Погодин работал заведующим сектором истории химических наук и химической технологии Института истории естествознания и техники имени С.И. Вавилова АН СССР, где разработал способы производства важнейших сплавов высокого электрического сопротивления, проводниковых сплавов высокой прочности и подшипниковых сплавов, не содержащих олова, а также он был членом Английского института металлов (с 1929), Международного общества истории наук (с 1935), комиссии по истории химии при ОХН АН СССР (с 1943 г.).

Несмотря на короткий срок пребывания в должности заведующего Сергей Александрович Погодин внес значительный вклад в науку кафедры [2].

С именем **Евгения Васильевича Мишина** (рис. 7) (1906 – 1982) связан почти полувековой период деятельности кафедры, двадцать из них: с 1943 по 1963 гг. он был на посту заведующего кафедрой.

Рисунок 7 – Мишин Евгений Васильевич

Мишин Е.В. с отличием окончил факультет самолетостроения КАИ (1936) по специальности «Самолетостроение». С 1937 года Е.В. Мишин работает в должности инженера- исследователя лаборатории № 7, начинает работать, над кандидатской диссертацией Темой его работы становится разработка новых алюминиевых сплавов, легированных магнием и кремнием – авиалей.

С июня 1943 г. с отъездом С.А. Погодина в Москву Е.В. Мишин возглавил кафедру металловедения, а в 1944 г. Е.В. Мишин успешно защищает кандидатскую диссертацию и в 1945 г. его утверждают в ученом звании доцента кафедры. Правительственные награды: медаль за доблестный труд в Великой Отечественной Войне 1941-1945 гг.; медаль «За Трудовую доблесть».

Под руководством инженера Агеевой Софьи Ивановны (рис. 8) лаборатория выполняла огромное количество химических анализов и других видов контроля для эвакуированных в Казань оборонных предприятий – инженер-химик.

Рисунок 8 – Агеева Софья Ивановна

После переезда С.И. Агеевой на Украину в 1943 г. лабораторию стала возглавлять до 1973 г. **Тамара Георгиевна Киреева** (рис. 9).

Рисунок 9 – Киреева Тамара Георгиевна

Таким образом, ученые и преподаватели кафедры «Материаловедения» существенно способствовали победе в Великой Отечественной войне, обеспечивая развитие науки и техники и подготовку квалифицированных кадров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Коняхина В.И., Канчурина Г.И., Игонина И.Д.* Этот день мы приближали как могли. Казанский авиационный институт 1941-1945: Очерки. Воспоминания. Документы. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2010. – 444 с.

2. *Галимов Э.Р.* Кафедра «Материаловедение, сварка и производственная безопасность»: 90 лет жизни, поиска, свершение / Э.Р. Галимов, Т.А. Ильинкова, Ф.И. Муратаев; под общ. ред. проф. Э.Р. Галимова, – Казань: Изд-во АН РТ, 2022. – 256 с.

STAFF OF THE DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE DURING THE GREAT PATRIOTIC WAR

Mukhametshina M.A., Plotnikova Y.A.

Supervisor: Chernoglazova A.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences,

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Kazan)

Abstract. This article provides information about the staff of the Department of Materials Science, who worked for the good of the Motherland and made their invaluable contribution to defeating the enemy during the Great Patriotic War.

УДК 93

ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ УДАРНЫХ ВЕРТОЛЕТОВ

Потёмин К.Ю.

Научный руководитель: Сыченкова А.В., доцент, к. и. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье раскрывается история создания и развития ударных вертолётов — от ранних винтокрылых аппаратов до современных боевых машин. Рассмотрены этапы становления, примеры применения в крупнейших войнах второй половины XX и начала XXI века, а также сделан сравнительный анализ отечественных и зарубежных моделей.

Ударные вертолёты являются неотъемлемой частью современной военной доктрины, сочетая в себе высокую манёвренность, огневую мощь и способность действовать в самых сложных условиях. Их появление стало ответом на изменившиеся требования поля боя во второй половине XX века, а последующее развитие — отражением развития военной доктрины и технологий во всём мире. В этой работе рассмотрены этапы становления ударной вертолётной авиации, её участие в вооружённых конфликтах, а также сравнительная оценка отечественных и зарубежных моделей.

Боевое применение винтокрылых машин началось ещё до появления самих вертолётов, так например советский автожир А-7, который был по факту самолётом, с вертолётным винтом, А-7 участвовал в войсковых испытаниях, его предполагалось использовать как Корректировщик артиллерийского огня, в планах было оснастить А-7 лёгкими бомбами, реактивными снарядами и пулемётами, впервые для военных целей А-7 были использованы в 1939 году в войне с Финляндией, когда 2 автожира использовались как корректировщики артиллерийского огня, с началом великой отечественной войны была сформирована опытная эскадрилья из 5 машин, они использовались в ночных рейдах для разведки. Из-за особенностей своей конструкции, узкой специализации и малых возможностей применения автожиры остались экзотикой.

После начала активного развития летательных аппаратов, способных в вертикальному полёту, во всём мире началось активное развитие вертолётов, что сразу же привело к началу их активной доработки под военные требования, как например Focke Achgelis FA-223, который изначально разрабатывался как транспортный вертолёт, способный перевозить до 6 человек,

но с началом второй мировой войны был переделан в разведчик с возможностью установки на него вооружения. FA-223 мог разгонятся до 180 км/ч и перевозить на внешней подвеске грузы, массой до 1 Тонны. Говоря о первых боевых вертолётах стоит также упомянуть Kaman HH-43 Huskie(Калибре), лёгкий вертолёт-Синхроптер (имел 2 синхронизированных винта), он был способен нести небольшие глубинные бомбы для борьбы с подводными лодками.

Можно сказать, что ранние винтокрылые аппараты были скорее экспериментальными, на них отрабатывались новые для того времени конструкторские решения, но уже тогда принимались активные попытки использования вертолётов в боевых целях, что в бушующем получило развитие в Корейской войне.

Развитие военных вертолётов неразрывно связано с историей крупнейших вооружённых конфликтов второй половины XX и начала XXI века. Каждый из них становился не только полем боевых испытаний уже существующих машин, но и катализатором появления новых концепций, технических решений и тактических подходов. Эволюция вертолётной авиации — от простого транспортного средства до мощной ударной платформы — происходила в тесной связи с изменением характера войны: от локальных конфликтов до асимметричных боевых действий и высокотехнологичных операций [1].

Первые реальные шаги в боевом применении вертолётов были сделаны во время Корейской войны (1950–1953). Хотя эти машины ещё не обладали ударными функциями, именно там они впервые начали массово использоваться для эвакуации раненых, транспортировки снабжения и тактической мобильности войск. Лёгкие вертолёты типа Bell H-13 и Sikorsky H-5 доказали, что могут работать в условиях сложной горной местности, где наземная техника бессильна. Они стали незаменимыми средствами эвакуации: за короткий промежуток времени вертолёты доставляли раненых из зоны боёв в тыловые госпитали, резко снижая уровень смертности среди солдат. В то же время были предприняты первые попытки использовать винтокрылые машины для воздушной разведки и связи, что также сыграло важную роль в будущей эволюции вертолётной тактики [4].

Настоящая революция произошла во время Вьетнамской войны (1955–1975). Это был первый конфликт, в котором вертолёты стали неотъемлемым элементом всей военной стратегии. Американская армия широко применяла многоцелевые вертолёты UH-1 Huey, которые служили для транспортировки войск, медицинской эвакуации, огневой поддержки и даже воздушных десантов. Впервые была реализована концепция воздушной кавалерии — быстро перебрасываемых мобильных сил, способных внезапно появляться в тылу противника. Вертолёты Cobra, специально разработанные как ударные платформы, вооружённые пулемётами, ракетами и пушками, показали, что вертолёт может не только перевозить, но и активно уничтожать цели на земле. Именно Вьетнам стал полигоном, где вертолёт впервые стал полноценным участником огневого контакта, заменяя в ряде случаев даже штурмовую авиацию.

Арабо-израильские войны в 1960–1970-х годах также продемонстрировали высокую эффективность вертолётной авиации, особенно в разведке, быстрой доставке войск и эвакуации. Израиль использовал французские и американские машины, а также модернизированные вертолёты собственного производства, успешно применяя их как в Синайской пустыне, так и на Голанских высотах. В этих конфликтах также наблюдались первые случаи воздушного боя между вертолётами и применения вертолётов против бронетехники с использованием ПТУРов (противотанковые управляемые ракеты), что предвосхитило дальнейшее развитие противотанковой авиации.

Во вторжении СССР в Афганистан (1979–1989) советская армия массово использовала вертолёты Ми-8 и Ми-24. Последний стал первым в мире по-настоящему тяжёлым ударно-транспортным вертолётом, сочетающим в себе функции штурмовика и десантной машины. В условиях горной местности, при недостатке инфраструктуры, эти машины стали «рабочими лошадками» войны. Ми-24 оказывали огневую поддержку пехоте, наносили удары по укреплённым позициям моджахедов, сопровождали колонны и эвакуировали раненых. В ответ на действия советских вертолётов моджахеды начали активно использовать переносные

зенитные ракетные комплексы, прежде всего американские «Стингеры». Это вынудило советских лётчиков менять тактику полётов, использовать складки местности, низкие высоты и ночные рейды, что в свою очередь оказало влияние на дальнейшие разработки бортовой защиты, тепловых ловушек и бронирования [2].

В конфликтах на постсоветском пространстве, таких как войны в Чечне (1994–1996, 1999–2000), российские вертолёты, в частности Ми-24 и более современные Ми-8МТ и Ми-28Н, показали, что их роль остаётся крайне важной. Они участвовали в штурме городов, сопровождении колонн, подавлении огневых точек и эвакуации. Однако потери от ПЗРК (переносной зенитный ракетный комплекс) и плотного огня с земли были ощутимыми, что подчёркивало уязвимость винтокрылых машин в условиях городского боя и необходимости дальнейшего развития комплексов радиоэлектронной борьбы и тактики применения [3].

С начала 2000-х годов вертолёты активно использовались в операциях в Ираке и Афганистане силами НАТО. Американские вертолёты АН-64 Apache стали основными ударными средствами против повстанческих формирований. Оснащённые современными системами прицеливания, ночного видения и высокоточной ракетной техникой, они могли эффективно поражать цели с больших расстояний, минимизируя риск для экипажа. В этих конфликтах также получили развитие беспилотные платформы, с которыми начали взаимодействовать пилотируемые машины, формируя интегрированную систему разведки и удара.

Современный этап применения вертолётов в условиях специальной военной операции, продемонстрировал новую реальность. Вертолёты обеих сторон используются активно, но с серьёзными ограничениями из-за насыщенности зоны боевых действий средствами ПВО (противовоздушная оборона), дронов-наблюдателей и артиллерии. Российские ударные вертолёты Ка-52 и Ми-28Н участвуют в нанесении высокоточных ударов по укреплениям и бронетехнике, используя ПТУРы «Вихрь» и «Атака» но при использовании управляемых ракет вертолётам необходимо визуально наблюдать свою цель и долго зависать на одном месте, что делает вертолёт крайне уязвимым к вражеским атакам, поэтому ударные вертолёты используют неуправляемые ракеты, с помощь вычислительной аппаратуры вертолёты могут бить такими ракетами издалека, примерно с 3-5 КМ, запуская их по баллистической траектории, после чего вертолёты разворачиваются и возвращаются на базу, при этом отстреливая средства противодействия, что сильно понижает риск поражения вертолёта, но при такой стратегии точность удара сильно понижается. Основной задачей вертолётов в условиях современной войны остаётся огневая поддержка, доставка войск и специальных групп, а также эвакуация. Однако высокая уязвимость даже самых современных машин перед портативными ПЗРК, средствами радиоразведки и дронов-камикадзе делает их применение крайне ограниченным [5].

Одним из приоритетных направлений является увеличение дальности и скорости противотанковых управляемых ракет (ПТУР). Современные образцы, такие как российский Ка-52, оснащаются сверхзвуковыми ракетами второго поколения «Вихрь» с дальностью до 8 км и скоростью полёта до 600 м/с. Однако с учётом усиления систем ПВО, растёт потребность в разработке ракет по принципу «выстрелил и забыл», что обеспечивает вертолёту возможность оперативно покинуть зону пуска.

Комплексное использование боевых вертолётов совместно с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА - беспилотный летательный аппарат) открывает новые возможности для повышения эффективности разведки и ведения огня. Например, американский вертолёт АН-64E Apache Guardian интегрируется с БПЛА MQ-1C Gray Eagle, что значительно расширяет радиус действия и улучшает точность ударов по целям.

Повышение выживаемости вертолётов на поле боя достигается за счёт внедрения комплексов активной защиты, таких как российский Л-370 «Витебск». Данный комплекс автоматически обнаруживает запуск ракет противника и активирует систему оптико-электронного подавления, эффективно нейтрализуя.

В будущем прогнозируется развитие гиперзвуковых управляемые ракеты, способных преодолевать современные средства активной защиты бронетехники. Рассматривается также внедрение лазерного оружия на борту боевых вертолётов, что позволит эффективно бороться с зенитными управляемыми ракетами и противотанковыми ракетами. Однако реализация подобных технологий требует значительных ресурсов и длительного периода разработки.

Ударные вертолёты прошли сложный путь эволюции — от экспериментальных винтокрылых аппаратов до многофункциональных боевых платформ, интегрированных в современную военную доктрину. Их роль в вооружённых конфликтах второй половины XX и начала XXI века неуклонно возрастала, что отражается в широком спектре применений: от транспортной поддержки и разведки до огневой поддержки, и активного уничтожения целей. Опыт Корейской, Вьетнамской войн, арабо-израильских конфликтов, Афганистана, Чечни и современных боевых операций показал, как уникальные преимущества вертолётов, так и их уязвимости.

Современные реалии войны предъявляют новые требования к боевым вертолётам: необходимость повышения выживаемости в условиях интенсивного вражеского огня, интеграции с беспилотными системами и применения новых видов вооружений. Перспективы развития связаны с созданием дальнобойных и высокоскоростных ракет с принципом «выстрелил — забыл», внедрением комплексов активной защиты и освоением технологий лазерного и гиперзвукового оружия. Всё это позволит повысить эффективность и безопасность боевого применения вертолётов в будущем, сохраняя их важное место в арсенале вооружённых сил.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Иванов В.В.* В небе Вьетнама... К советскому участию в войне во Вьетнаме // Россия и АТР. 2000. №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/v-nebe-vietnama-k-sovetskomu-uchastiyu-v-voyne-vo-vietname (Дата обращения: 19.04.2025).

2. *Голобородько Д.В., Шушканова Е.А.* Советская авиация во время войны в Афганистане // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2022. №. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovetskaya-aviatsiya-vo-vremya-voyny-v-afganistane (дата обращения: 01.05.2025).

3. *Уколов В.Г.* Опыт применения военной вертолетной авиации СССР // Вестник СамГУ. 2006. №10-1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-primeneniya-voennoy-vertoletnoy-aviatsii-sssr (Дата обращения: 10.05.2025).

4. *Стрелец М.В.* СССР и корейская война 1950-1953 гг.: современные подходы // Кореееведение в России: направление и развитие. 2023. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sssr-i-koreyskaya-voyna-1950-1953-gg-sovremennye-podhody (дата обращения: 11.05.2025).

5. *Митрофанов А.* Эволюция боевых вертолётов и их вооружений: до СВО и после // URL: https://topwar.ru/220931-jevoljucija-boevyh-vertoletov-i-ih-vooruzhenij-do-svo-i-posle.html (дата обращения: 12.05.2025).

THE HISTORY OF THE APPEARANCE AND DEVELOPMENT OF ATTACK HELICOPTERS

Potemin K.Yu.

Supervisor: Sychenkova A.V., Associate Professor, Candidate of Historical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article reveals the history of the creation and development of attack helicopters, from early rotary-wing aircraft to modern combat vehicles. It examines the stages of development, examples of their use in the major wars of the second half of the 20th century and the beginning of the 21st century, and provides a comparative analysis of domestic and foreign models.

УДК 621.396.6

ЭВОЛЮЦИЯ БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ: ОТ ПЕРВЫХ СПУТНИКОВ ДО СОВРЕМЕННЫХ НАНОСПУТНИКОВ

Саидгараева Р.Р.

Научный руководитель: Ахметвалеева Л.В., доцент, к. п. н.

(Казанский Государственный Энергетический Университет, г. Казань)

Аннотация. В статье представлен анализ эволюции бортовой электроники, охватывающий период от первых космических аппаратов до перспективных наноспутниковых платформ. Особое внимание уделено технологическим переходам, проблеме радиационной стойкости и современным тенденциям импортозамещения в российской космической электронике. Приведены сравнительные характеристики электронных компонентов разных поколений и перспективные направления развития бортовых систем.

Развитие бортовой электроники в ракетно-космической технике прошло сложный путь от простейших аналоговых систем до высокоинтегрированных цифровых комплексов. Этот процесс был обусловлен как прогрессом микроэлектроники, так и возрастающими требованиями к надежности, энергоэффективности и функциональности космических аппаратов.

Первые искусственные спутники, такие как советский «Спутник-1» (1957) и американский «*Explorer*-1» (1958), использовали элементарную электронику на основе ламповых и релейных схем. Их задачи сводились к передаче телеметрии и поддержанию связи. Несмотря на примитивность, эти системы доказали возможность работы электроники в условиях космоса, включая вакуум, перепады температур и радиацию [1].

С началом эры пилотируемых полетов и межпланетных миссий требования к бортовой электронике резко возросли. В 1960-х годах произошел переход к полупроводниковым компонентам, что позволило уменьшить массу, энергопотребление и повысить надежность. Например, в компьютере *Apollo Guidance Computer* (*AGC*) использовались интегральные схемы, что было революционным для своего времени. Этот компьютер управлял полетом корабля «Аполлон» к Луне, обрабатывая данные навигации и управления [2].

В 1970–1980-х годах развитие микропроцессоров открыло новые возможности для автоматизации космических аппаратов. Появились специализированные бортовые ЭВМ, такие как «Аргон» в советских спутниках и система *OBC* (*On-Board Computer*) в американских миссиях. Эти системы уже могли выполнять сложные вычисления в реальном времени, включая коррекцию орбиты и обработку научных данных.

Одним из ключевых вызовов при создании космической электроники стала радиационная стойкость компонентов [3]. В космическом пространстве микросхемы подвергаются воздействию ионизирующего излучения, что приводит к сбоям (*Single Event Upsets, SEU*), опасным явлениям блокировки (*Single Event Latchup, SEL*), требующим перезагрузки системы, и постепенной деградации материалов. Особую опасность представляет *SEL*, при котором микросхема входит в режим короткого замыкания и может выйти из строя без оперативного вмешательства. Для решения этой проблемы были разработаны:

– Радиационно-стойкие технологии (кремний на сапфире – *SOS*, кремний на изоляторе – *SOI*);

– Методы избыточности и коррекции ошибок (*ECC*, *Triple Modular Redundancy*);

– Специализированные техпроцессы, снижающие чувствительность к заряженным частицам.

Сравнительный анализ характеристик бортовой электроники разных поколений (1950-2000 гг.) представлен в Таблице 1.

Таблица 1

Историческое развитие бортовой электроники (1950-2000 гг.)

Год	Пример компонента	Радиационная стойкость / масса электроники	Энергопотребление / быстродействие	Цена, млн. руб.	Недостатки
1950 - 1960	Ламповые схемы (Спутник-1, СССР)	– / 10-50 кг	50-100 Вт / 1 кГц	10	Низкая надежность, габариты
1960 - 1970	Транзисторы (*AGC,* США)	1 крад / 5-10 кг	20-50 Вт / 100 кГц	50	Ограниченная мощность
1970 - 1980	Аргон-16 (СССР)	5-10 крад / 1-5 кг	10-20 Вт / 1 МГц	30	Уязвимость к *SEU/SEL*
1980 - 1990	*RAD*6000 (США)	50-100 крад / 0,5-2 кг	5-10 Вт / 10 МГц	120	Высокая стоимость
1990 - 2000	*RAD*750 (США)	100-300 крад / 0,2-1 кг	2-5 Вт / 200 МГц	200	Отставание по производительности

Современные процессоры, такие как *RAD*750 (на базе *PowerPC*) и *BAE RAD*5545, обладают устойчивостью к дозам радиации до 100–300 крад и используются в спутниках нового поколения.

Современная бортовая электроника характеризуется высокой степенью интеграции и миниатюризации. Появление систем на кристалле (*SoC*) и программируемых логических матриц (*FPGA*) позволило создавать компактные и мощные вычислительные модули.

Особый этап эволюции связан с наноспутниками (*CubeSat*), где ключевым требованием стала сверхмалая масса и энергопотребление. Современные *CubeSat* используют коммерческие компоненты (*COTS*), адаптированные для космоса, что резко снижает стоимость разработки. При этом их электроника способна выполнять задачи, ранее доступные только крупным аппаратам: дистанционное зондирование Земли, ретрансляцию сигналов и даже межпланетные миссии (например, проект *MarCO NASA*) [4, 5].

В условиях технологических ограничений особую актуальность приобретает импортозамещение в российской космической электронике. Среди ключевых достижений:

– Микропроцессоры «Мультикор» и «Скиф» (НПО «ЭЛАРА»);

– Российские *FPGA* (5577*ХС*1*Т* от «Ангстрем»);

– Радиационно-стойкая память и системы связи.

Современные технологии бортовой электроники (2000-2020-е гг.) и их сравнительные характеристики приведены в Таблице 2.

Таблица 2

Современные технологии (2000-2020-е гг.)

Тип	Пример компонента	Радиационная стойкость / масса электроники	Энергопотреб-ление / быстродействие	Цена, млн. руб.	Особенности
Отечественные	Мультикор, Скиф	50-200 крад / 0,1-0,5 кг	1-5 Вт / 500 МГц-1 ГГц	50 – 150	Импортоза-мещение
Зарубежные	*BAE RAD*5545	200-500 крад / 0,1-0,3 кг	1-5 Вт / 1-2 ГГц	300 – 500	Лидеры рынка
CubeSat	*COTS*-компоненты	5-50 крад / <0.1 кг	<1 Вт / 1-2 ГГц	5 – 20	Низкая надежность

Современные тенденции в развитии космической электроники демонстрируют переход к принципиально новым технологическим парадигмам, открывающим возможности для создания более совершенных космических аппаратов.

Нейроморфные вычислительные системы представляют собой качественно новый подход к обработке информации. В отличие от традиционных процессоров с фон-неймановской архитектурой, эти системы имитируют принципы работы биологических нейронных сетей. Их ключевые преимущества для космических применений включают: исключительную энергоэффективность (потребление снижается в 10-100 раз); способность к параллельной обработке сенсорных данных в реальном времени; устойчивость к частичным отказам; возможность обучения непосредственно на борту аппарата. Такие системы особенно перспективны для автономных космических аппаратов, где требуется интеллектуальная обработка больших объемов данных без постоянного контакта с Землей.

Фотонная электроника решает фундаментальные проблемы традиционных электронных систем: устраняет электромагнитную интерференцию; обеспечивает пропускную способность до 100 Гбит/с; значительно снижает массогабаритные показатели; повышает устойчивость к радиационным воздействиям. Оптические межсоединения и процессоры на фотонных чипах уже тестируются в экспериментальных космических аппаратах, демонстрируя потенциал для создания принципиально новых бортовых систем.

Самовосстанавливающиеся системы (*self-healing*) реализуют концепцию «электронного иммунитета», включающую: распределенные диагностические сенсоры; алгоритмы машинного обучения для прогнозирования отказов; реконфигурируемые аппаратные архитектуры; резервные вычислительные ресурсы. Такие системы способны автоматически перенастраивать свою структуру при обнаружении повреждений, что критически важно для длительных миссий, где ремонт невозможен.

Квантовые вычислительные технологии открывают новые горизонты для: сверхточного позиционирования и навигации; защищенной квантовой связи; оптимизации сложных орбитальных маневров; обработки данных дистанционного зондирования. Хотя полноценные квантовые компьютеры для космических применений пока находятся в стадии разработки, отдельные компоненты (квантовые сенсоры, генераторы случайных чисел) уже начинают использоваться в экспериментальных миссиях. Перспективные направления развития бортовой электроники (2030+ гг.) и их ключевые параметры отражены в Таблице 3.

Таблица 3

Перспективные разработки (2030+)

Направление	Примеры	Ключевые параметры	Преимущества	Проблемы
Нейроморфные	*Loihi* (*Intel*), Нейрокуб (РФ)	0.1-0.5 Вт, параллельная обработка	Энергоэффективность, устойчивость	Незрелость технологий
Фотонные	*DARPA* (США), Фотоника (РФ)	До 100 Гбит/с, наноразмеры	Скорость, устойчивость	Высокая стоимость
Квантовые	Прототипы *ESA/NASA*	Квантовая запутанность	Защита связи, вычисления	Требуют криогеники

Эти инновационные направления развития бортовой электроники не только решают текущие технологические вызовы, но и создают основу для принципиально новых возможностей в исследовании космоса — от автономных межпланетных станций до распределенных спутниковых группировок с коллективным интеллектом. Дальнейшее развитие бортовой электроники будет связано с миниатюризацией, повышением автономности и радиационной стойкости, а также с активным развитием отечественных

технологий в рамках стратегии технологического суверенитета, что позволит сочетать передовые достижения микроэлектроники с растущими требованиями космической отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Котляров В.В.* Защита электроники от полей ионизирующего космического излучения / В.В. Котляров // Моделирование информационных систем: Материалы Международной научно-практической конференции, Воронеж, 19–20 мая 2021 года. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», 2021. С. 464-468.

2. *Зеленый Л.М.* Научная программа исследований космического аппарата «Луна-25» научная программа исследований космического аппарата «Луна-25» / Л.М. Зеленый, И.Г. Митрофанов, В.И. Третьяков [и др.] // Автоматический космический аппарат нового поколения «Луна-25» - от исследования к освоению лунных ресурсов: в 2 томах. Химки: Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина, 2023. С. 8-28.

3. *Даниленко Е.Г.* Эксперименты с радиационно-защитными покрытиями и радиационной защитой на борту малых космических аппаратов / Е.Г. Даниленко, Д.М. Зуев, С.В. Телегин // XVI Королёвские чтения: Сборник материалов международной молодёжной научной конференции, посвящённой 60-летию полёта в космос Ю.А. Гагарина. В 3-х томах, Самара, 05–07 октября 2021 года. Том 1. Самара: Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 2021. С. 42-44.

4. *Лапшова Е.В.* Особенности процессов разработки и конструирования бортовой радиоэлектронной аппаратуры летательных аппаратов гражданского назначения / Е.В. Лапшова // Молодежь. Наука. будущее - 2025: сборник статей Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 15 января 2025 года. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука». 2025. С. 154-158.

5. *Циберт А.И.* Использование COTS-технологий в космосе / А.И. Циберт // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. В 3-х томах, Красноярск, 12–16 апреля 2021 года. Том 3. Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2021. С. 1317-1319.

EVOLUTION OF ON-BOARD ELECTRONICS IN ROCKET AND SPACE TECHNOLOGY: FROM THE FIRST SATELLITES TO MODERN NANO-SATTELITES

Saidgaraeva R.R.

Supervisor: Akhmetvaleeva L.V., Associate Professor, Candidate of Pedagogic Sciences

(Kazan State Power Engineering University, Kazan)

Abstract. The article presents an analysis of the evolution of onboard electronics, covering the period from the first spacecraft to promising nanosatellite platforms. Particular attention is paid to technological transitions, the problem of radiation resistance and modern trends in import substitution in Russian space electronics. Comparative characteristics of electronic components of different generations and promising areas of development of onboard systems are given.

УДК 621.396.96

РОЛЬ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СИСТЕМ СВЯЗИ МЕЖДУ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ И НАЗЕМНЫМИ СТАНЦИЯМИ

Саидгараева Р.Р.

Научный руководитель: Ахметвалеева Л.В., доцент, к. п. н.

(Казанский Государственный Энергетический Университет, г. Казань)

Аннотация. В статье исследуется ключевая роль промышленной электроники в обеспечении надежной связи между космическими аппаратами и наземными станциями. Рассматриваются современные технологические решения, включая радиационно-стойкие *GaN*- и *SiC*-компоненты, адаптивные системы обработки сигналов и энергоэффективные архитектуры, а также перспективные направления развития - квантовые технологии, оптическую связь и применение искусственного интеллекта. Особое внимание уделено комплексному анализу текущих достижений и прогнозу технологических изменений, способных кардинально преобразовать космические коммуникационные системы в ближайшем десятилетии.

Развитие космических технологий и увеличение числа орбитальных аппаратов требуют высоконадёжных систем связи, обеспечивающих устойчивый обмен данными между космическими аппаратами и наземными станциями. В этом контексте промышленная электроника играет ключевую роль, поскольку именно она лежит в основе работы передающих, приемных и обрабатывающих устройств. Без современных электронных компонентов, устойчивых к радиации, перепадам температур и другим экстремальным условиям космоса, невозможна стабильная и безопасная передача информации на большие расстояния.

Актуальность темы обусловлена растущими потребностями в высокоскоростной и помехоустойчивой связи, особенно в условиях увеличения числа спутниковых группировок и миссий дальнего космоса. Промышленная электроника обеспечивает не только базовую функциональность систем связи, но и их энергоэффективность, что критически важно для долговременных миссий. Кроме того, развитие новых технологий, таких как оптическая связь и квантовая криптография, открывает дополнительные возможности, но одновременно предъявляет повышенные требования к электронной компонентной базе [1].

Современные системы космической связи представляют собой сложные комплексы, состоящие из нескольких ключевых элементов, каждый из которых требует специализированных электронных решений, центральное место занимают передатчики и приемники, построенные на основе высокочастотных полупроводниковых компонентов, таких как *GaN*- и *SiC*-транзисторы (нитрид галлия и карбид кремния), обеспечивающие высокую мощность и эффективность передачи сигнала в условиях космического пространства. Так, в спутниках *Starlink* используются фазированные антенные решётки на *GaN*-транзисторах, обеспечивающие быструю переориентацию луча, в марсоходе *Perseverance* применяется когнитивное радио для адаптации к помехам в марсианской атмосфере [2].

Помимо передатчиков и приёмников, важнейшую роль играют антенные системы, где электронные схемы управления лучом (например, фазированные антенные решетки) позволяют динамически адаптировать диаграмму направленности для поддержания устойчивой связи с движущимися объектами. Обработка сигналов осуществляется с помощью специализированных микропроцессоров и цифровых сигнальных процессоров (*DSP*), способных функционировать в условиях повышенной радиации и температурных перегрузок.

Отдельного внимания заслуживают системы модуляции и кодирования, реализованные на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), которые обеспечивают помехоустойчивость и эффективное использование полосы пропускания [2]. Эти компоненты работают в тесной взаимосвязи, формируя единый технологический цикл приема, передачи и

обработки данных, что делает промышленную электронику неотъемлемой частью космических коммуникационных систем.

Эффективность космической связи зависит от методов передачи и обработки сигналов, непрерывно совершенствующихся для работы в экстремальных условиях. Одним из ключевых направлений является использование широкополосных сигналов с шумоподобными характеристиками, позволяющих минимизировать взаимные помехи в условиях плотного орбитального трафика. Современные системы применяют адаптивные алгоритмы модуляции (*QAM, OFDM*), автоматически подстраивающие параметры передачи под текущие условия канала связи [2].

Особое значение приобретают методы цифровой обработки сигналов, реализуемые через специализированные процессоры. Технологии компенсации доплеровского сдвига и цифровой фильтрации позволяют сохранять стабильность связи при высоких относительных скоростях космических аппаратов. Для борьбы с задержками распространения сигнала в дальнем космосе применяются предиктивные алгоритмы и буферизация данных, обеспечивающие целостность передаваемой информации.

Перспективным направлением становится внедрение когнитивных радиосистем, способных анализировать спектральную обстановку и динамически перестраивать рабочие параметры. Это особенно актуально для спутниковых группировок, где требуется эффективное распределение частотного ресурса между множеством абонентов. Современные методы обработки сигналов также включают нейросетевые алгоритмы, повышающие точность декодирования в условиях сильных помех.

Одной из ключевых проблем современных космических систем связи остается ограниченность энергетических ресурсов при постоянно растущих требованиях к пропускной способности каналов передачи данных. Это противоречие особенно остро проявляется в условиях длительных миссий, где каждый 1 Вт потребляемой мощности требует тщательного обоснования. Промышленная электроника предлагает комплексные решения данной проблемы через оптимизацию архитектуры оборудования и внедрение энергосберегающих технологий.

Современные подходы включают использование импульсных методов передачи сигналов, позволяющих сократить среднее энергопотребление при сохранении пиковой мощности. Особое внимание уделяется разработке высокоэффективных преобразователей энергии и системам интеллектуального управления питанием, автоматически регулирующим энергозатраты в зависимости от текущей нагрузки. Перспективным направлением стало применение процессоров с изменяемой тактовой частотой, динамически адаптирующих производительность под конкретные задачи. Например, процессоры серии *RAD*5545 (используемые в спутниках *NASA*) поддерживают динамическое управление тактовой частотой, снижая энергопотребление на 15–20%.

Значительный прогресс достигнут в области теплового проектирования электронных компонентов, где применение новых материалов с высокой теплопроводностью и инновационных систем охлаждения позволяет снизить энергопотери на 20-30%. Эти решения дополняются алгоритмами прогнозирующего управления, оптимизирующими работу системы в целом и существенно продлевающими срок активного существования космических аппаратов.

Наземные станции представляют собой критически важный элемент космических коммуникационных систем, где промышленная электроника обеспечивает прием, обработку и ретрансляцию сигналов от космических аппаратов. Современные приемные комплексы оснащаются высокочувствительными малошумящими усилителями (*LNA*) на основе арсенида галлия, позволяющими выделять слабые сигналы на фоне естественных шумов. Особое значение приобретают системы автоматического сопровождения, использующие цифровые алгоритмы для точного позиционирования антенн в условиях атмосферных помех и изменяющейся орбитальной динамики.

Центральным звеном наземных станций стали программно-определяемые радиосистемы (*SDR*), обеспечивающие гибкость при работе с различными протоколами связи и форматами сигналов. Их архитектура построена на базе высокопроизводительных *FPGA*-платформ (ПЛИС), позволяющих оперативно переконфигурировать оборудование под новые стандарты без замены аппаратной части. Для обработки больших потоков данных применяются специализированные цифровые процессоры с параллельной архитектурой, способные в реальном времени выполнять сложные вычислительные алгоритмы.

Современные тенденции включают интеграцию систем искусственного интеллекта для автоматического анализа качества сигнала и прогнозирования возможных сбоев. Электронные системы управления энергопотреблением оптимизируют работу станции в зависимости от текущей нагрузки, снижая эксплуатационные затраты. Развитие сетевых технологий позволяет создавать распределенные системы наземных станций, где электронные компоненты обеспечивают синхронизацию и координацию работы множества приемных пунктов по всему миру.

Современные тенденции в развитии космических коммуникаций указывают на неизбежный переход к принципиально новым технологическим решениям, способным преодолеть ограничения традиционных радиосистем. Оптическая связь, использующая лазерные технологии передачи данных, демонстрирует перспективы значительного увеличения пропускной способности при одновременном снижении массогабаритных характеристик терминалов. Ключевым преимуществом становится возможность создания защищенных каналов связи с минимальным уровнем перехвата, что особенно важно для военных и правительственных коммуникаций. Например, миссия *NASA LCRD* (*Laser Communications Relay Demonstration*) уже продемонстрировала скорость передачи данных до 1,2 Гбит/с между спутником и Землей, что в 10 раз быстрее традиционных радиоканалов. Китай также активно развивает квантовые коммуникации: в 2023 году спутник *Micius* успешно реализовал квантовую передачу ключей на расстояние 1200 км между наземными станциями, а в 2024 году КНР анонсировала развёртывание гибридной сети с использованием низкоорбитальных спутников. Компания *SpaceX*, в свою очередь, тестирует лазерные терминалы *Starlink Gen*2 для межспутниковой связи — в открытых данных зафиксирована скорость до 100 Гбит/с между аппаратами на орбите. Эти разработки подтверждают, что переход на оптические и квантовые технологии становится глобальным трендом, а не экспериментальным проектом отдельных агентств. Что касается преимуществ оптических систем, то ключевыми являются: меньшие задержки; узкий луч (сложность перехвата); отсутствие помех в радиочастотном диапазоне [3].

Квантовые технологии открывают новую эру в обеспечении информационной безопасности космических систем связи. Разработка квантовых повторителей и спутниковых систем распределения квантовых ключей позволяет создавать принципиально неуязвимые каналы передачи данных. Особый интерес представляют гибридные системы, сочетающие преимущества классической радиосвязи с квантовой криптографией, что обеспечивает поэтапный переход к новому стандарту защищенных коммуникаций. По данным *ESA*, эксперимент *QUARTZ* подтвердил возможность квантовой передачи ключей между спутником и Землёй с защитой от взлома [4].

Искусственный интеллект становится неотъемлемым компонентом интеллектуальных систем управления космической связью. Нейросетевые алгоритмы позволяют оптимизировать распределение ресурсов в спутниковых группировках, прогнозировать возможные сбои и автоматически адаптировать параметры связи под изменяющиеся условия. Машинное обучение применяется для обработки больших массивов телеметрии, выявления скрытых закономерностей и повышения общей надежности систем. Эти технологии в совокупности формируют основу для создания автономных космических коммуникационных сетей следующего поколения.

Проведенный анализ демонстрирует ключевую роль промышленной электроники как технологической основы современных космических коммуникационных систем. Развитие

компонентной базы и методов обработки сигналов позволило создать устойчивые каналы связи, способные функционировать в экстремальных условиях космического пространства. Особое значение имеет достигнутый прогресс в области энергоэффективности и помехоустойчивости, без которого было бы невозможно обеспечить надежную работу как орбитальных аппаратов, так и наземной инфраструктуры.

Перспективы развития отрасли связаны с внедрением принципиально новых подходов, среди которых особого внимания заслуживают квантовые технологии и оптические системы связи. Их массовое применение потребует разработки специализированных электронных компонентов, способных работать с новыми физическими принципами передачи информации. Одновременно будет усиливаться роль искусственного интеллекта в управлении космическими коммуникациями, что приведет к созданию автономных самоорганизующихся сетей.

В ближайшее десятилетие следует ожидать качественного скачка в развитии промышленной электроники для космических применений, что позволит решить текущие проблемы ограниченной пропускной способности и энергопотребления. Особенно перспективными представляются гибридные системы, сочетающие преимущества различных технологических подходов. Эти разработки создадут основу для принципиально новых возможностей в исследовании космоса и обеспечении глобальных коммуникационных сервисов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Зиннуров С.Х.* Анализ перспектив организации оптического канала связи в космосе / С.Х. Зиннуров, О.К. Иванов, Ю.А. Николаев // Радиолокационное исследование природных сред: Материалы XXXIII Всероссийского симпозиума, посвященного 100-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора Клюева Николая Фомича, Санкт-Петербург, 19–20 апреля 2023 года. Санкт-Петербург: Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2024. С. 529-534.

2. *Рысин А.В*. Способ конструктивного расположения и разложения антенн АФАР для многофункционального использования в космических аппаратах (ка) низкоорбитальных систем спутниковой связи (НССС) при оптимизации радиотехнических параметров и масса - габаритных характеристик / А.В. Рысин, В.Н. Бойкачев, А.М. Наянов // Национальная Ассоциация Ученых. 2023. № 88-1. С. 14-38.

3. *Аничкин А.Д.* Применение лазерных систем связи для передачи данных в космическом пространстве / А.Д. Аничкин, В.Л. Оленев // Системный анализ и логистика. 2024. № 3(41). С. 17-24.

4. ESA. Quantum Encryption in Space. [Электронный ресурс]. URL: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2018/05/QUARTZ_signing (дата обращения: 22.06.2025).

THE ROLE OF INDUSTRIAL ELECTRONICS IN ENSURING COMMUNICATION SYSTEMS BETWEEN SPACE VEHICLES AND GROUND STATIONS

Saidgaraeva R.R.

Supervisor: Akhmetvaleeva L.V., Associate Professor, Candidate of Pedagogic Sciences

(Kazan State Power Engineering University, Kazan)

Abstract. The article examines the key role of industrial electronics in ensuring reliable communications between spacecraft and ground stations. It considers modern technological solutions, including radiation-hardened GaN and SiC components, adaptive signal processing systems and energy-efficient architectures, as well as promising areas of development - quantum technologies, optical communications and the use of artificial intelligence. Particular attention is paid to a comprehensive analysis of current achievements and a forecast of technological changes that can radically transform space communication systems in the coming decade.

УДК 355.292.3

СОТРУДНИКИ КАФЕДРЫ КОНСТРУКЦИИ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ – УЧАСТНИКИ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Степанов П.О.
Научный руководитель: Черноглазова А.В., доцент, к. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева—КАИ, г. Казань)

Аннотация. В докладе раскрывается боевой путь сотрудников кафедры КИПЛА КАИ, непосредственно участвовавших в Великой Отечественной войне. Рассматриваются их фронтовые подвиги, вклад в оборону страны и дальнейшая научно-педагогическая деятельность после возвращения с войны.

Великая Отечественная война стала тяжелейших испытанием для всей страны, и сотрудники Казанского авиационного института (КАИ), как и тысячи других советских граждан, встали на защиту Родины. Среди них были и преподаватели, инженеры, студенты кафедры конструкций и проектирования летательных аппаратов (КИПЛА), которые не только разрабатывали авиационную технику в тылу, но и сами сражались на фронте.

Эти люди, обладавшие глубокими инженерными знаниями, шли в бой как простые солдаты, лётчики, артиллеристы, сапёры, проявляя мужество и героизм. После войны многие из них вернулись в КАИ, продолжив научную и педагогическую деятельность, передавая свой опыт новым поколениям авиастроителей. В статье рассказывается о сотрудниках кафедры КИПЛА, которые прошли через огонь сражений, внеся личный вклад в Победу, а затем — в развитие советской авиации.

Гребеньков Октябрь Александрович (рис. 1) появился на свет 23 августа 1924 года в Минске, в семье, где ценили образование и труд. С детства проявлял интерес к технике, особенно к авиации, что и определило его дальнейшую судьбу. В 1941 году, сразу после окончания средней школы с отличием, юноша подал документы в престижный Московский авиационный институт, мечтая стать авиаконструктором.

Рисунок 1 – Гребеньков Октябрь Александрович

Однако судьба распорядилась иначе - начавшаяся война перечеркнула все планы. Уже в сентябре 1941 года Октябрь Александрович был вынужден перевестись в Казанский авиационный институт, куда эвакуировали многие московские вузы. Здесь он с головой окунулся в учёбу, понимая, что стране как никогда нужны квалифицированные авиационные специалисты.

«Мы, первокурсники КАИ, тогда жили в невероятном напряжении, - вспоминал позднее Октябрь Александрович. - Днём - лекции и практические занятия, а по ночам - дежурства на крышах, тушение зажигательных бомб. Но самое трудное было в октябре 1941-го - нас отправили на строительство оборонительных рубежей под Буинском. Морозы стояли

лютые, земля - как камень, а мы ломами и лопатами рыли противотанковые рвы. Тогда я впервые по-настоящему понял, что такое труд для Победы».

Несмотря на все трудности военного времени, Гребеньков успешно закончил первый курс. Но летом 1942 года, когда ситуация на фронте стала критической, он принял решение, изменившее его жизнь - добровольцем ушёл на фронт.

Август 1942 года стал переломным в жизни молодого студента. После ускоренного курса подготовки в запасном полку, в конце 1942 года он прибыл на фронт в составе 313-го Гвардейского миномётного полка. Боевое крещение принял под Старой Руссой, где впервые столкнулся с настоящими ужасами войны.

Благодаря техническому образованию и аналитическому складу ума, Гребеньков быстро зарекомендовал себя как талантливый разведчик. Уже через несколько месяцев он был назначен командиром отделения полковой разведки. В его обязанности входило обнаружение и точное определение координат вражеских целей для знаменитых «катюш».

1944 год стал для Гребенькова временем серьёзных испытаний и первых наград. Во время операции «Багратион» его разведгруппа совершила настоящий подвиг:

«Под Бобруйском нам поручили разведать немецкие укрепления, - вспоминал ветеран. - Трое суток мы ползали буквально под носом у немцев, отмечая на карте каждую огневую точку. Помню, как мой товарищ Сашка Волков прикрыл меня своим телом, когда нас обнаружили... Он погиб, но карту с координатами я сумел доставить. Когда наши «катюши» дали залп - это была настоящая симфония возмездия! После боя командир полка лично пожал мне руку и сказал: «Вот что значит грамотный разведчик!».

За эту операцию Гребеньков получил свою первую награду - медаль «За боевые заслуги». Но самыми тяжёлыми, по его признанию, стали бои 1945 года - особенно сражение за Восточную Пруссию, где его полк понёс огромные потери.

Октябрь 1945 года. Война закончилась, но её отголоски ещё долго будут звучать в сердцах тех, кто прошёл через это пекло. Гребеньков демобилизовался и вернулся в Казань, где с новой энергией взялся за учёбу. В 1950 году он с отличием окончил КАИ, а через три года блестяще защитил кандидатскую диссертацию.

Его педагогическая карьера началась на кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов. Коллеги отмечали его особый подход к обучению:

«Октябрь Александрович всегда говорил нам: «Самолёт - это не просто машина. Это жизнь экипажа и пассажиров. Каждый ваш расчёт, каждый узел должен быть выверен так же тщательно, как мы на фронте выверяли координаты для залпа», - вспоминает один из его учеников, профессор Н.И. Смирнов.

С 1963 по 1987 год Гребеньков совмещал научную работу с должностью декана вечернего факультета. Под его руководством было подготовлено более 2000 авиационных специалистов, многие из которых стали видными конструкторами и учёными.

Особое внимание Октябрь Александрович уделял связи науки с производством. По его инициативе были созданы уникальные учебные лаборатории, где студенты могли работать с реальными авиационными конструкциями. Он лично курировал дипломные проекты, требуя от студентов не просто формального выполнения заданий, а творческого подхода.

Даже выйдя на пенсию, ветеран продолжал активно участвовать в жизни вуза. Его лекции для первокурсников, где он рассказывал о военных годах, всегда собирали полные аудитории. В 2000 году, к 55-летию Победы, университет издал книгу его воспоминаний, ставшую бестселлером среди студентов и преподавателей.

Манохин Дмитрий Григорьевич (рис. 2) легендарный декан КАИ.

Дмитрий Григорьевич Манохин родился в 1914 году в семье железнодорожного рабочего. Его путь в авиацию начался далеко от Казани - в Алма-Ате, где он в 1930 году окончил школу №14. Уже в юности проявились его выдающиеся способности к точным наукам и технике.

Рисунок 2 – Манохин Дмитрий Григорьевич

После школы началась трудовая биография: 1930-1932 гг. - работа чертежником на строительстве Турксиба, 1932-1935 гг. - техник-гидрометрист в Казахской ССР, 1935-1937 гг. - служба в Красной Армии, а в 1937 году судьба привела его в Казанский авиационный институт. Учебу он совмещал с работой в ОКБ КАИ, где занимался расчетами авиационных конструкций. В 1941 году, будучи старшекурсником, проходил практику на Казанском авиазаводе №22, где быстро вырос до должности ведущего инженера.

«Работа на авиазаводе в 1941 году была настоящей школой жизни, - вспоминал позднее Дмитрий Григорьевич. - Мы, студенты, сутками не выходили из цехов, понимая, что каждый собранный самолет - это удар по врагу».

С октября 1941 года судьба Манохина сделала неожиданный поворот - он был включен в специальную промгруппу КАИ, занимавшуюся секретными работами по «Катюшам». На его плечи легла колоссальная ответственность: техническая приемка реактивных минометов от имени Ставки ВГК, контроль качества сборки на всех заводах Татарстана, координация поставок комплектующих.

«Бывало, за сутки приходилось объезжать три завода, - рассказывал он. - Проверить каждую сварку, каждый узел. Знаете, почему «Катюши» так громко пели? Потому что за каждым залпом стоял труд сотен людей, сделавших эти машины надежными».

В августе 1942 года Манохин получил диплом инженера-механика, а уже в ноябре был призван на фронт. Его боевой путь: 1943 г. - Калининский фронт, участие в Курской битве, 1943-1944 гг. - Степной и 1-й Украинский фронты, форсирование Днепра, 1944 г. - Корсунь-Шевченковская операция, 1945 г. - 4-й Украинский фронт, освобождение Чехословакии.

Командуя батареей 152-мм гаубиц, капитан Манохин проявил себя как талантливый артиллерист. Особенно отличился в Корсунь-Шевченковской операции, где его батарея уничтожила 4 танка и 7 огневых точек противника, за что он был удостоен ордена Александра Невского.

«Этот орден я считаю самой дорогой наградой», - говорил Дмитрий Григорьевич. - Не за то, что я сделал, а за то, что смог вывести из окружения всех своих бойцов. Для командира нет большей чести, чем сохранить жизни подчиненных».

После демобилизации в 1946 году Манохин вернулся в КАИ, где проработал более 40 лет. Его вклад в развитие института как профорга: организация новых факультетов (радиотехнический, ЭВП), строительство учебных корпусов и общежитий, создание материальной базы для научных исследований; как декана самолетостроительного факультета: создал уникальную систему наставничества, ввел практику реальных конструкторских заданий от промышленности; как педагога: разработал новые курсы по расчету авиаконструкций, создал школу подготовки инженеров-конструкторов, лично подготовил более 100 кандидатов наук.

«Дядя Дима», как его называли студенты, стал настоящей легендой КАИ. Его кабинет всегда был открыт для любого, кто нуждался в помощи или совете.

«Он умел слушать и слышать, - вспоминает профессор В.И. Молочников. - Помню, как однажды к нему пришел студент-первокурсник из деревни, совсем растерянный. Через час

беседы парень выходил окрыленным. А через 5 лет он защитил один из лучших дипломов на факультете».

Даже выйдя на пенсию, Дмитрий Григорьевич продолжал работать со студентами, писал мемуары, участвовал в жизни института. Его принципы воспитания инженеров остаются актуальными:

«Инженер без фантазии - это калькулятор».

«Конструктор должен чувствовать металл, как музыкант – инструмент».

«Настоящий специалист - это тот, кто умеет учиться у всех».

Умер Д.Г. Манохин в 1998 году, оставив после себя не только научные труды, но и целую плеяду выдающихся авиационных специалистов.

Меренок Иван Ананьевич (рис. 3) фронтовой авиатехник и преподаватель КАИ.

Рисунок 3 – Меренок Иван Ананьевич

Иван Ананьевич Меренок родился 17 мая 1921 года на станции Тутальская Яшкинского района Кемеровской области. В 1939 году поступил в Иркутское военное авиатехническое училище, которое успешно окончил в 1940 году, получив звание военного техника II ранга. Это образование стало фундаментом его дальнейшей военной карьеры.

Меренок участвовал в войне с первого до последнего дня, пройдя через самые значимые сражения: служил в авиационных частях Западного, 1-го и 2-го Белорусских фронтов, занимал должности механика самолета и авиационного техника звена.

Участвовал в ключевых операциях таких как: Бои на Курской Дуге (1943), Освобождение Белоруссии (1944), Берлинская операция (1945).

За боевые заслуги был награжден: Орденом Красной Звезды, двумя медалями «За боевые заслуги», медалью «За взятие Кенигсберга», медалью «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.».

После войны продолжил службу в Советской армии. В 1954 году окончил Ленинградскую военно-воздушную инженерную академию им. А.Ф. Можайского, что позволило ему перейти на преподавательскую работу.

В Казанском авиационном институте работал с 1961 по 1983 год: как старший преподаватель военной кафедры, а после увольнения в запас - ассистент кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов.

За 22 года работы в КАИ Иван Ананьевич внес значительный вклад в подготовку авиационных специалистов, передавая им не только теоретические знания, но и бесценный практический опыт, полученный во время войны.

Его профессиональный путь - от фронтового авиамеханика до преподавателя ведущего авиационного вуза - является ярким примером преданности выбранной профессии и Родине.

Халдеев Валерий Михайлович прошел путь от фронтового бойца до ученого-авиастроителя.

Валерий Михайлович (рис. 4) родился 1 февраля 1925 года в городе Сатка Челябинской области. В декабре 1942 года, не окончив 10-й класс средней школы, добровольно вступил в

ряды Красной армии. Его направили в Златоустовское пулеметное училище, где он получил военную подготовку.

Рисунок 4 – Халдеев Валерий Михайлович

В июле 1943 года в составе курсантского батальона училища был отправлен на фронт. Служил рядовым 730-го стрелкового полка 204-ой стрелковой дивизии в составе Западного фронта. Участвовал в тяжелых боях на Витебском направлении.

27 сентября 1943 года во время атаки под Витебском получил тяжелое ранение. После длительного лечения в марте 1944 года был демобилизован по состоянию здоровья. За боевые заслуги награжден медалью «За боевые заслуги», медалью «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.».

В 1944 году, несмотря на последствия ранения, Валерий Михайлович поступил в Казанский авиационный институт. В 1950 году окончил КАИ с отличием и был оставлен работать в институте. В 1956 год - окончил аспирантуру, а в1959 год - успешно защитил кандидатскую диссертацию, получив степень кандидата технических наук.

С 1960 года и до выхода на пенсию Валерий Михайлович работал доцентом кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов. Параллельно с основной работой с 1960 по 1970 год занимал должность заместителя декана факультета летательных аппаратов.

Жизненный путь Валерия Михайловича Халдеева - яркий пример стойкости, преданности делу и беззаветного служения Родине. От юного добровольца-фронтовика до кандидата наук и уважаемого преподавателя - его биография вдохновляет новые поколения студентов КАИ.

Георгий Иванович Костычев (рис. 5) родился 23 апреля 1921 года в селе Козыли Пестречинского района Татарской АССР. В 1938 году, после окончания средней школы, поступил в Казанский государственный университет, где проучился до 1941 года.

Рисунок 5 – Костычев Георгий Иванович

В 1941 году был призван в Красную Армию и направлен для продолжения образования в Военно-воздушную академию им. Н.Е. Жуковского - ведущее военное учебное заведение

страны по подготовке авиационных специалистов. Академию окончил в марте 1945 года, получив специальность авиационного техника.

В годы войны служил в должности старшего техника эскадрильи 1-го гвардейского авиационного корпуса, в составе которого прошел боевой путь: участвовал в операции «Багратион» (лето 1944 года) в составе 1-го Прибалтийского фронта, освобождал территории Румынии, Венгрии и Чехословакии в составе 2-го Украинского фронта, обеспечивал техническую готовность авиационной техники к боевым вылетам.

За образцовое выполнение служебных обязанностей и проявленное мужество был награжден орденом Отечественной войны II степени, медалью «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.».

После демобилизации в 1947 году Георгий Иванович вернулся в Казань и начал работать в Казанском авиационном институте, где прослужил до 2000 года - более 50 лет.

Защитил кандидатскую диссертацию и проводил исследования в области аэродинамики и проектирования летательных аппаратов. Работал Доцентом кафедры аэродинамики и кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов.

Подготовил несколько поколений авиационных специалистов.

Георгий Иванович Костычев внес значительный вклад в развитие авиационной науки и подготовку инженерных кадров для авиационной промышленности страны. Его жизненный путь - от сельского мальчишки до кандидата наук - является ярким примером преданности выбранной профессии и беззаветного служения Отечеству.

Васильев Константин Иванович (рис. 6) родился в 1918 году в г. Казани.

Рисунок 6 – Васильев Константин Иванович

Трудовую деятельность начал в 1935 году, а в1938 был призван в Красную армию, где и служил до 1946 года.

В августе 1945 года в должности командира отделения участвовал в войне с Японией. В КАИ Константин Иванович работал с 1948 по 1959 год заведующим лабораторией кафедры КИПЛА.

Качурин Александр Егорович (рис. 7) родился 19 августа 1919 года в с. Головино Курской области.

Рисунок 7 – Качурин Александр Егорович

В 1937 году был направлен в Иркутское военное авиационное училище после него был направлен на должность техника самолета в авиационный полк Ленинградского военного округа. Участвовал в войне с белофинами. Участник Великой Отечественной Войны с первого дня до последнего. Воевал в составе Западного, Воронежского и 1-го Украинского фронтов-техник самолета и техник авиазвена. Награжден двумя орденами красной звезды, медалями «За боевые заслуги», «За взятие Берлина», «За освобождение Праги», "За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг." а также польской медалью «За Одер, Нейсе, Балтику». С 1945 служил в Центральной группе Советской армии в Австрии, а с 1950 г продолжил службу в военном училище г. Казани. В КАИ Александр Егорович работал с 1956 по 1974 год, сначала на военной кафедре, а после увольнения из рядов Советской армии - старшим лаборантом кафедры КИПЛА.

Судьбы этих замечательных людей— это не просто страницы истории, а пример служения Родине и науке, достойный памяти и уважения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Коняхина В.И., Канчурина Г.И., Игонина И.Д.* Этот день мы приближали как могли. Казанский авиационный институт 1941-1945: Очерки. Воспоминания. Документы. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2010. – 444 с.

STAFF OF THE DEPARTMENT OF AIRCRAFT DESIGN AND CONSTRUCTION - PARTICIPANTS THE GREAT PATRIOTIC WAR

Stepanov P.O.

Supervisor: Chernoglazova A.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The report reveals the combat path of the employees of the KIPLA Department of KAI who were directly involved in the Great Patriotic War. It examines their frontline feats, their contribution to the country's defense, and their further scientific and pedagogical activities after returning from the war.

УДК 629.7.02

СЕМЕЙСТВО ПЕРСПЕКТИВНЫХ РОССИЙСКИХ ДАЛЬНЕМАГИСТРАЛЬНЫХ ШИРОКОФЮЗЕЛЯЖНЫХ ПАССАЖИРСКИХ САМОЛЁТОВ

Черненький А.В.

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург)

Аннотация. В статье рассмотрена история развития широкофюзеляжных пассажирских самолётов, а также представлено семейство перспективных широкофюзеляжных дальнемагистральных пассажирских самолётов. Главное отличие предлагаемых самолётов – российская локализация производства, что позволит решить задачу импортозамещения, повысить качество обслуживания и ремонтопригодность.

Основная задача статьи – оценить потенциал применения перспективных широкофюзеляжных самолётов отечественного производства.

Широкофюзеляжные дальнемагистральные пассажирские самолёты появились в конце 20-го века в связи с резким увеличением пассажирских авиаперевозок. Первые подобные самолёты разрабатывались в США, немного позже подобные работы начались в СССР. Всего в нашей стране разработано два широкофюзеляжных пассажирских самолёта: среднемагистральный Ил-86 на 350 пассажиров [1] и дальнемагистральный Ил-96 на (300 – 400) пассажиров [2]. В настоящее время на внутренних рейсах пока используются

широкофюзеляжные самолёты заграничного производства, однако, авиационные санкции щатрубняют их эксплуатацию. В рамках импортозамещения есть необходимость заменить зарубежные самолёты российскими с целью повышения качества обслуживания, ремонтопригодности и преодоления запретов на загранполёты.

Для решения этой задачи и дальнейшего увеличения пассажиропотока на самых востребованных направлениях предлагается три широкофюзеляжных самолёта семейства Ил-196 (проектное наименование семейства). В семейство входят: Ил 196-100 – двухдвигательный широкофюзеляжный самолёт, рассчитанный на перевозку до 360 пассажиров в одноклассовой компоновке; Ил 196-200 – четырёхдвигательный самолёт вместимостью до 720 пассажиров и Ил 196-300 – четырёхдвигательный самолёт с двумя полностью широкофюзеляжными пассажирскими палубами вместимостью до 1000 пассажиров.

Разработка таких самолетов обычно требует больших временных ресурсов и финансовых затрат, поскольку разработка начинается с «чистого листа». Однако в нашей стране за последние годы разработано и освоено в производстве многое из того, что необходимо.

Все самолёты предлагается оснастить новейшей российской авионикой, кабина пилотов рассчитана на двух человек (разработки, применённые для самолёта Ил-96-400М). Для облегчения конструкции крыла предложено применить «чёрное крыло» [3], разработанное для МС-21. Облегчение внутреннего наполнения фюзеляжа следует достичь максимальным применением 3D-печати для изготовления кресел, полок, перегородок и т.д. Ил 196-100 и Ил 196-200 планируется оснастить двигателями ПД-35 [4]. Ил 196-300 планируется оснастить двигателями ПД-45 (срок разработки такого двигателя составляет ориентировочно 4 года).

Столь широкое применение уже налаженных технологий позволит существенно сократить время на создание каждого самолёта семейства. Основное отличие подхода к созданию данных самолётов заключается в их задаче: обеспечение бюджетной массовой пассажирской перевозки пассажиров на самых загруженных направлениях. Подобную задачу долгое время решал Ил-86. Была попытка эту же задачу решать с помощью Ил-96, но массовое производство таких самолётов не было налажено. Для удобства характеристики самолётов представлены в сводной таблице 1.

Таблица 1

Характеристики самолётов семейства Ил-196

Характеристика\тип	Ил 196-100	Ил 196-200	Ил 196-300
Максимальная пассажировместимость, чел.	360	720	1000
Тип силовой установки	2 х ПД-35	4 х ПД-35	4 х ПД45
Тип крыла	в три раза увеличенное крыло МС-21	в два раза увеличенное крыло Ил-96-400	в три раза увеличенное крыло Ил-96-400
Число пассажирских палуб, шт.	1	1	2 полные
Длина самолёта, м	55	103	103
Размах крыльев, м	110,4	120,5	181
Высота, м	19	19	23
Схема пассажирского салона в комплектации полного экономкласса	Вход – 10 рядов – вход – 20 рядов – вход – 10 рядов - вход	Вход – 20 рядов – вход – 40 рядов – вход – 20 рядов - вход	Вход – 20 рядов – вход – 40 рядов – вход – 20 рядов - вход
Число кресел в ряду экономкласса, шт.	9	9	9 на нижней палубе,

			7 на верхней палубе
Число кресел в ряду бизнес-класса, шт.	6	6	6
Число кресел в ряду первого класса, шт.	3	3	3
Расстояние между креслами экономкласса, см	100	100	100
Расстояние между креслами бизнес-класса, см	В 2 раза больше экономкласса		
Расстояние между креслами первого класса, см	В 3 раза больше экономкласса		
Максимальная скорость полёта, км/ч	880	880	800
Предельная высота полета, м	13000	13000	13000
Количество пилотов, чел.	2	2	2

Далее рассмотрим характеристики и возможные варианты использования самолетов более подробно.

Ил 196-100. Широкофюзеляжный самолёт вместимостью до 360 пассажиров. Схема пассажирского салона в полном эконом-классе: кабина пилотов – вход – 10 рядов – вход – 20 рядов – вход – 10 рядов – вход. Салон эконом класса имеет 9 кресел в ряду с 2 проходами (схема 3 кресла – проход - 3 кресла – проход – 3 кресла). Для бизнес-класса предусмотрено 6 кресел в ряду. Для первого класса 3 или 2 кресла в ряду, в зависимости от запросов заказчика. Расстояние между креслами эконом класса 100 см. Для бизнес-класса расстояние в 2 раза больше, для первого класса в 3 раза.

Самолёт способен заменить на регулярных рейсах самолёты типа Airbus 330/350-800 [5], [6], Boeing 767 [7], Ил-86 и Ил-96-300. Предлагается в основном применять салон полностью экономического класса. Есть возможность делать версии летающих дозаправщиков, оснащать оборудованием для мониторинга окружающей среды.

Возможное применение самолёта:

- мониторинг северного морского пути – самолёты в специальной комплектации для почасового мониторинга каждого участка;
- летающий дозаправщик;
- самолёт дальнего радиолокационного обнаружения (ДРЛО);
- самолёт для РосГидроМетеоЦентра;
- самолёт для бюджетных перевозок пассажиров.

Ориентировочная потребность в таких самолетах у авиакомпаний: 30-40 самолётов для авиакомпании «Россия», по 10 самолетов для S7 Airlines и авиакомпании «Уральские авиалинии», 4 самолета для авиакомпании Ютэйр.

Возможна продажа таких самолётов для российских и азиатских лоукостеров. Схема салона Ил-196-100 для компоновки полностью экономкласса показана на рисунке 1.

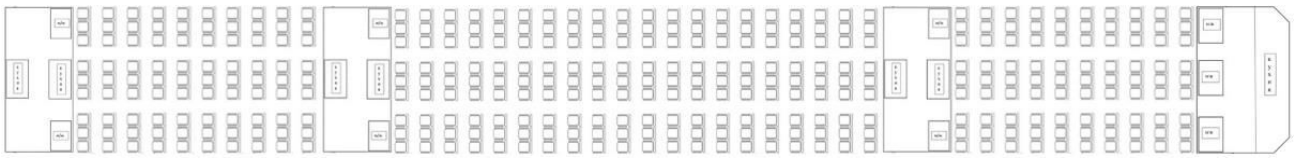


Рисунок 1 – Схема салона Ил-196-100 (компоновка для экономкласса обслуживания)

Схема салона самолёта с компоновкой на два класса обслуживания для Аэрофлота, Кубинских авиалиний, авиакомпаний Ирана, Индии, Египта и Северной Кореи показана на рисунке 2.

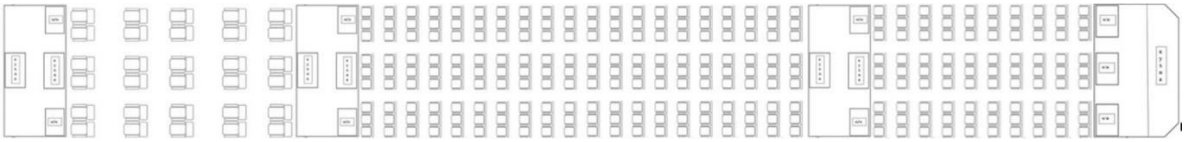


Рисунок 2 – Схема салона Ил-196-100 с компоновкой для бизнес и экономкласса

Схема самолёта с тремя классами обслуживания для Аэрофлота, Etihad, Emirates, Qatar представлена на рисунке 3).

Рисунок 3 – Схема салон Ил-196-100 первый, бизнес и эконом класс

Ил 196-200. Широкофюзеляжный самолёт вместимостью до 720 пассажиров. Схема пассажирского салона полностью экономкласса: кабина пилотов – вход – 20 рядов – вход – 40 рядов – вход – 20 рядов – вход. Салон эконом класса имеет 9 кресел в ряду с 2 проходами (схема: 3 кресла – проход – 3 кресла –проход – 3 кресла). Для бизнес-класса предусмотрено 6 кресел в ряду. Для первого класса 3 или 2 кресла в ряду, в зависимости от запросов заказчика. Расстояние между креслами эконом класса 100 см. Для бизнес-класса расстояние в 2 раза больше, для первого класса в 3 раза больше.

Самолёт способен заменить на регулярных рейсах самолёты типа Airbus 340-600 [8], Airbus 350-1000, Airbus 380-700 [9], Boeing 747-400 [10], Boeing 777-200/300 [11], Boeing 787-10 [12], Ил-96-400. Предлагается в основном применять салон полностью экономического класса. Есть возможность изготавливать представительские самолёты повышенной комфортности, новые самолёты для специального лётного отряда (СЛО).

Возможное применение самолёта рассмотрено ниже.

Салон самолёта для бюджетных перевозок представлен на рисунке 4. Ориентировочная потребность авиакомпаний в таких самолетах составляет: 20 самолётов для авиакомпании «Россия», по 5 самолетов для S7 Airlines и авиакомпании «Уральские авиалинии», 2 самолета для авиакомпании Ютэйр. Возможна продажа таких самолётов для азиатских лоукостеров.

Рисунок 4 – Схема салона Ил-196-200 для компоновки экономкласса

Схема салона самолёта с двухклассовой компоновкой показана на рисунке 5. Самолет может быть рекомендован для Аэрофлота, Кубинских авиалиний, авиакомпаний Ирана, Индии, Египта и Северной Кореи.

Рисунок 5 – Схема салона Ил-196-200 для компоновки бизнес и экономкласса

Самолёт с тремя классами размещения может быть рекомендован для Аэрофлота, Etihad, Emirates, Qatar, схема салона представлена на рисунке 6.

Рисунок 6 – Схема салона Ил-196-200 для компоновки первый, бизнес и экономкласс

Самолеты специального лётного отряда

Ил 196-300. Полностью двухпалубный широкофюзеляжный самолёт вместимостью до 720 пассажиров. Схема пассажирского салона на нижней палубе в экономклассе: кабина пилотов – вход – 20 рядов – вход – 40 рядов – вход – 20 рядов – вход. Салон эконом класса имеет 9 кресел в ряду с 2 проходами (схема 3 кресла – проход – 3 кресла –проход – 3 кресла). Нижняя палуба во всех версиях, кроме Борт номер 1, сохраняет компоновку экономкласса. Схема пассажирского салона верхней палубы в экономклассе: кабина пилотов – вход – 20 рядов – вход – 40 рядов – вход – 20 рядов – вход. Салон экономкласса имеет 7 кресел в ряду с двумя проходами (схема: 2 кресла – проход – 3 кресла –проход – 2 кресла). Для бизнес-класса предусмотрено 4 кресла в ряду, для первого класса 2 кресла в ряду. Расстояние между креслами эконом класса 100 см. Для бизнес-класса расстояние в 2 раза больше, для первого класса расстояние в 3 раза больше.

Данный самолёт способен заменить на регулярных рейсах самолёты типа Airbus 380-800/900/1000, Boeing 777-X. Предлагается в основном применять салон полностью экономического класса размещения. Есть возможность предусмотреть самолеты повышенного класса комфортности.

Возможное применение рассматриваемого самолёта:

- самолёт с двумя классами размещения для Аэрофлота, Кубинских авиалиний, авиакомпании Индии;
- долгосрочный лизинг самолёта вместе с экипажем;
- самолёт с тремя классами размещения для Аэрофлота, Etihad, Emirates, Qatar;
- самолёт типа Борт номер 1.

Варианты схем салона самолёта Ил-196-300 представлены ниже.

Схемы салона Ил-196-300 для компоновки экономкласса показаны на рисунках 7 и 8.

Рисунок 7 - Схема салон Ил-196-300 для компоновки экономкласса. Верхняя палуба

Рисунок 8 - Схема салон Ил-196-300 для компоновки экономкласса. Нижняя палуба

Салон Ил-196-300 можно выполнять в разных компоновках бизнес и экономкласса. Компоновка нижней палубы предусматривает размещение экономкласса. Различные варианты компоновки верхней палубы представлены на рисунках 9-11.

Рисунок 9 – Схема салона Ил-196-300. Бизнес-класс размещения

Рисунок 10 – Схема салона Ил-196-300. Бизнес и экономкласс размещения

Рисунок 11 – Схема салона Ил-196-300. Экономкласс размещения

Рассмотрены компоновки самолётов и области их возможного применения. Далее проанализируем предполагаемые аэропорты базирования и направления полётов.

Базироваться самолёты семейства Ил-196 смогут не во всех аэропортах. На территории России пригодные для таких самолётов аэропорты: «Пулково» [13] и «Левашово» [14] в Санкт-Петербурге; «Шереметьево» [15], «Домодедово» [16], «Внуково» [17] в Москве; «Кольцово» [18] в Екатеринбурге, «Храброво» [19] в Калининграде, «Адлер» [20] в Сочи, «Толмачёво» [21] в Новосибирске, «Красноярск» [22] в Красноярске, «Елизово» [23] в Петропавловск-Камчатске, «Кневичи» [24] во Владивостоке, «Хомутово» [25] в Южно-Сахалинске, «Хабаровск Новый» [26] в Хабаровске, «Платов» [27] в Ростове-на-Дону, «Аэропорт имени Лермонтова» [28] в Минеральных водах.

Помимо аэропортов, подходящих для базирования и обслуживания самолётов, необходимо определить рейсы, на которых эти самолёты окажутся востребованы. Рассматриваемое семейство относится к широкофюзеляжным дальнемагистральным самолётам, поэтому ниже перечислены самые востребованные направления.

Внутренние направления: Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Казань, Калининград, Сочи, Новосибирск, Красноярск, Петропавловск-Камчатск, Владивосток, Южно-Сахалинск, Владивосток, Хабаровск, Ростов-на-Дону, Минеральные воды, Симферополь.

Международные направления: Минск, Дубай, Хургада, Шаржа, Абу-Даби, Каир, Гавана, Бразилиа, Каракас (Венесуэла), Пхеньян, Пекин, Гон-Конг, Гуань-Джоу, Дели, Эр-Рияд (Саудовская Аравия), Будапешт, Анталия, Кейптаун, Ханой (Вьетнам).

Как видно, востребованность самолётов данного типа высокая. Это не полный список направлений для полётов наших дальнемагистральных широкофюзеляжных самолётов, предполагается, что со временем востребованность будет увеличиваться. Применение широкофюзеляжных самолётов позволяет увеличивать пассажиропоток и, тем самым, снижать цены на билеты, что весьма актуально в наше время. Например, билеты на рейс Москва – Якутск в одну сторону стоят (40-42) тыс. руб., что непомерно дорого для рядового гражданина.

Помимо российских авиакомпаний самолёты семейства Ил-196 будут востребованы в крупных зарубежных авиакомпаниях. В реалиях нашего времени понятно, что европейские авиакомпании выпадают из этого списка. В таблице 2 приведен предполагаемый, но не полный, список возможных заказчиков и типы самолётов, которые им можно предложить.

Для успешной реализации плана по экспорту самолётов семейства Ил-196 целесообразно в будущем организовать демонстрацию самолётов на авиасалонах в России, Турции, ОАЭ, Китае, Индии. В перспективе репутация самолётов будет расти благодаря безаварийным регулярным полётам.

Таблица 2

Иностранные авиакомпании как возможные заказчики самолетов семейства Ил-196

Заказчик\тип самолёта	Ил-196-100	Ил-196-200	Ил-196-300
AirKorea	+	+	-
Cubana	+	+	-
AirMexico	+	-	-
Emirates	-	-	+
Etihad	-	+	+
Saudi Airways	+	+	+
Qatar	+	+	+
Air India	+	+	+
China Airways	+	+	+
Vietnam Airways	+	+	-

В статье рассмотрена история становления широкофюзеляжных пассажирских самолётов и проведен анализ дальнейшего развития данного направления. Представлено

семейство перспективных широкофюзеляжных дальнемагистральных пассажирских самолётов и особенности компоновки трех самолётов семейства Ил-196. Проведена ориентировочная оценка потребности авиакомпаний в подобных самолетах, что подтверждает высокую актуальность создания самолетов этого семейства. Основное отличие представленных самолетов заключается в полностью российской локализации производства, что позволит решить задачу импортозамещения, повысить качество обслуживания и ремонтопригодность. Работа выполнена с участием студентов во время обучения по дисциплине «Проектная деятельность».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ил-86: первый советский «аэробус». – Текст: электронный. – 2015. - URL: https://topwar.ru/82494-pervyy-sovetskiy-aerobus-il-86.html (дата обращения: 25.06.2025).

2. Ильюшин Ил-96. – Текст: электронный. – 2024. - URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Ilyushin_Il-96 (дата обращения: 25.06.2025).

3. Как создавалось «чёрное крыло» для МС-21. – Текст: электронный. – 2024. - URL: https://dzen.ru/a/ZsrlvU9G92v9GM4Z?ysclid=m7enkazkxb130258736 (дата обращения: 25.06.2025).

4. Двигатель ПД-35. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://www.uecrus.com/products-and-services/products/grazhdanskaya-i-transportnaya-aviatsiya/dvigatel-pd-35/?ysclid=m7enw5i89h982916719 (дата обращения: 25.06.2025).

5. Самолеты Airbus A330. – Текст: электронный. – 2020. - URL: https://www.airlines-inform.ru/commercial-aircraft/Airbus-A330-family.html (дата обращения: 25.06.2025).

6. Семейство A350. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://www.airbus.com/en/products-services/commercial-aircraft/passenger-aircraft/a350-family (дата обращения: 25.06.2025).

7. Обзор самолета Boeing 767-300: преимущества и недостатки летательной рабочей лошадки чартерных линий. – Текст: электронный. – 2023. - URL: https://dzen.ru/a/ZOxzdpNoLClprP9y?ysclid=m7eo9yj4y7388080621 (дата обращения: 25.06.2025).

8. Airbus A340-600. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://www.airlines-inform.ru/commercial-aircraft/airbus-a340-600.html (дата обращения: 25.06.2025).

9. Airbus A380. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://www.airlines-inform.ru/commercial-aircraft/airbus-a380.html (дата обращения: 25.06.2025).

10. Boeing 747-400. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://www.airlines-inform.ru/commercial-aircraft/boeing-747-400.html (дата обращения: 25.06.2025).

11. Boeing 777. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Boeing_777 (дата обращения: 25.06.2025).

12. Семейство 787 Dreamliner. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://www.boeing.com/commercial/787#overview [вход 21.02.2025].

13. Пулково. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://pulkovoairport.ru/ (дата обращения: 25.06.2025).

14. Аэропортовый комплекс в Левашово. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://ingmar.ru/levashovo (дата обращения: 25.06.2025).

15. Шереметьево. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://www.svo.aero/ru/main (дата обращения: 25.06.2025).

16. Домодедово. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://www.dme.ru/?ysclid=m7er4a15ya477018659 (дата обращения: 25.06.2025).

17. Внуково. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://www.vnukovo.ru/ru/ (дата обращения: 25.06.2025).

18. Кольцово. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://svx.aero/ (дата обращения: 25.06.2025).

19. Храброво. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://kgdavia.ru/?ysclid=m7eq433n5h791548928&utm_source=ya.ru&utm_medium=referral&utm_campaign=ya.ru&utm_referrer=ya.ru (дата обращения: 25.06.2025).

20. Адлер. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://www.aeroport-adler.ru/?ysclid=m7eq6ev78k460796852 (дата обращения: 25.06.2025).
21. Толмачёво. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://tolmachevo.ru/?ysclid=m7eq8fsje2389924116&utm_source=ya.ru&utm_medium=referral&utm_campaign=ya.ru&utm_referrer=ya.ru (дата обращения: 25.06.2025).
22. Красноярск. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://www.kja.aero/?ysclid=m7eqazw4ak219443166 (дата обращения: 25.06.2025).
23. Елизово. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://pkc.aero/?ysclid=m7eqdgxn3r497785697 (дата обращения: 25.06.2025).
24. Кневичи. – Текст: электронный. – 2015. - URL: https://vvo.aero/partners/airlines/ (дата обращения: 25.06.2025).
25. Хомутово. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://airportus.ru/?ysclid=m7eqjbtv53224012137 (дата обращения: 25.06.2025).
26. Хабаровск Новый. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://www.aeroport-khabarovsk.ru/ (дата обращения: 25.06.2025).
27. Платов. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://rov.aero/?ysclid=m7eqnxpdw012567647 (дата обращения: 25.06.2025).
28. аэропорт имени Лермонтова. – Текст: электронный. – 2025. - URL: https://mvairport.ru/?ysclid=m7eqxnzdj2911293628&utm_source=ya.ru&utm_medium=referral&utm_campaign=ya.ru&utm_referrer=ya.ru (дата обращения: 25.06.2025).

A FAMILY OF PROMISING RUSSIAN LONG-RANGE WIDE-BODY PASSENGER AIRCRAFT

Chernenkii A.V.
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg)

Abstract. A family of promising long-range wide-body aircraft has been introduced, and the history of large-capacity passenger aircraft development has been explored. Their Russian-made localization, which aims to solve the issue of import substitution, enhance service quality, and improve maintainability, is a key feature that sets these aircraft.

УДК 364.04

ТЕЛЕФОННОЕ МОШЕННИЧЕСТВО: ВЫЗОВЫ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА

Шнайдмиллер Р.Д.
Научный руководитель: Давыдов Д.В., профессор, д. и. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В предложенной статье рассматриваются некоторые случаи телефонного мошенничества, а также методы борьбы с ними. Приведена статистика по мошенничеству за 2024 год. Сделан вывод о важности коллективного противоборства новым угрозам.

Развитие информационного общества несет в себе определенные угрозы. В последнее время участились случаи мошенничества с использованием телекоммуникационного оборудования. Подвергаются ему люди совершенно разных возрастов: дети, пенсионеры, граждане среднего возраста, пенсионеры. По социальному составу жертвами мошенников становятся школьники, студенты, рабочие и прочие. Способы обмана для каждого возраста свои, а вот итог, как правило одинаковый, и вполне очевидный: потеря денежных средств. И несмотря на то, что нам часто напоминают о различных способах мошенничества, люди тем не менее попадаются на них. Рассмотрим несколько реальных примеров историй обманутых

людей и ответим на вопросы: почему же люди продолжают попадаться на эти способы обмана? Как уберечь себя и близких от подобных случаев?

Чтобы ещё раз наглядно подчеркнуть актуальность данной проблемы, обратим внимание на статистику за прошедший год: общее число мошенничеств, зарегистрированных в России за 11 месяцев, достигло 411,6 тыс. «Их удельный вес в структуре преступности за пять лет возрос почти вдвое (с 12,6% до 23,3% среди всех преступлений)», - отметили в надзорном органе. В 2024 году рост мошенничеств составил лишь 3,6%, годом ранее он достигал 27,6%. 85% всех мошенничеств (350 тыс.), отметили в Генпрокуратуре, совершено с использованием информационно-телекоммуникационных технологий или в сфере компьютерной информации — это телефонные мошенничества с подменой номеров, мошенничества в интернете, мошенничества с электронными платёжными средствами и другие виды кибермошенничеств. Их число за 11 месяцев 2024 года выросло на 7,8% [1]. Наибольший процент случаев (85%) именно с использованием современных технологий. И в это число случаев включены лишь те люди, которые обратились в органы правопорядка. А если прибавить к ним людей, которых не удалось обмануть, то общее число попыток мошенничества будет гораздо больше. Если верить данным Сбербанка, то число звонков от злоумышленников россиянам достигает 15 млн ежедневно [2]. Телефонное мошенничество на сегодня — это огромная проблема, которая требует внимания, как со стороны рядовых граждан, так и властей.

Рассмотрим случай, произошедший относительно недавно: В Москве школьник разорил родителей в попытках «прокачать» персонажа из популярной мобильной игры. Более миллиона рублей смогли похитить мошенники, манипулируя маленьким геймером. Чтобы получить внушительную сумму игровой валюты, мальчик беспрекословно выполнял все требования аферистов, которые нашли беспроигрышный способ втереться в доверие к малышам [3]. Безусловно, наиболее уязвимая категория людей, которых можно обмануть, это дети, чем мошенники часто и пользуются. Детский возраст очень удобен злоумышленникам. Дети наивны, их проще запугать, заставить что-либо сделать, убедить в чем-то, втереться в доверие. Так и произошло в данной истории. На телефон ребёнка приходит сообщение от якобы известного видеоблогера о розыгрыше внутриигровой валюты в игре, и чтобы выиграть, нужно выполнить ряд заданий, от фотографий телефонов родителей до выполнения действий в банковских приложениях в этих телефонах. И вполне ожидаемо, наивный ребёнок побежал выполнять эти задания и как итог, никакой внутриигровой валюты он не получил, зато счета и вклады родителей опустели. И этот случай далеко не единственный. Эта схема мошенничества только набирает обороты, и уже оставила десятки семей без денег. Учитывая то, что практически у всех детей есть свои смартфоны, добраться до них злоумышленникам не проблема, и обмануть, как следствие, тоже. Как же можно обезопасить детей в этом случае? Отбирать телефон не решение проблемы, поскольку в наше время уже трудно представить себе жизнь без него. Позвонить родителям в случае какой-то проблемы, уточнить какую-либо информацию и прочее. Однако уже продолжительное существуют приложения родительского контроля, которые позволяют с телефона родителя отслеживать действия ребёнка. Безусловно, это не обезопасит от мошенников полностью, но снизит риск. Семья же, пострадавшая от действий аферистов обратилась в полицию, что является правильным действием, и, хотя шанс, что злоумышленников найдут не велик, периодически их отслеживают и они несут заслуженное наказание перед судом.

Рассмотрим вторую новость, на этот раз от августа 2022 года, но данная схема широко распространена и по сегодняшний день: в дежурную часть МО МВД России «Кимрский» обратилась 69-летняя местная жительница с заявлением о мошенничестве. Потерпевшая рассказала сотрудникам, что днём ей позвонил неизвестный. Подняв трубку, она узнала, что её дочь якобы совершила ДТП и ей срочно нужна материальная помощь. Звонивший просил крупную сумму денег для того, чтобы родственница избежала наказания. Пенсионерка собрала свои накопления в размере 600 тысяч рублей и передала всё курьеру. Спустя время она всё-таки решила позвонить дочери и узнала, что с ней всё в порядке. Однако деньги уже были у злоумышленника [4]. Никаких угрызений совести мошенники не чувствуют, они

запросто могут сыграть на чувствах людей в погоне за обогащением. Не редкость, когда мошенник действует не один, а у него имеется сообщник, как в данном случае, когда первый злоумышленник обзванивает людей, а второй в качестве курьера забирает деньги. В данной схеме главной задачей было втереться в доверие к жительнице. Вероятно, у злоумышленников имелись некоторые данные на гражданку и её дочь (ФИО, даты рождения), что позволило ввести пострадавшую в заблуждение. Если случается подобная ситуация, ни в коем случае не нужно передавать денежные средства. Следует прекратить дальнейший диалог, и самому узнать все у родственника.

Однако не всегда всё ограничивается лишь материальным ущербом для человека. Летом 2023 года прошла так называемая «акция», волна поджогов. За несколько дней, с 29 июля по 4 августа, 31 человек совершили попытки поджога государственных учреждений, в основном военных комиссариатов. Возрастной диапазон самый разный, но преимущественно это люди преклонного возраста. Только пятерым было меньше 30 лет, еще пятеро – люди среднего возраста от 30 до 50. Самый старший поджигатель – это бабушка 82 лет из Волгограда. Самый младший – 17-летняя школьница из Забайкалья [5]. Однако самое интересное в этой ситуации то, что люди были уверены, что помогают своей стране, а не наносят ей вред, как получилось по факту.

Рассмотрим случай, произошедший в Воронежской области, где 24-летняя девушка попыталась поджечь военкомат, после чего была задержана сотрудниками полиции [6]. Разобравшись в ситуации, стало понятно, как произошла вербовка. Изначально человеку позвонили якобы с банка, утверждая, что деньгам грозит опасность и с ними происходят мошеннические действия. По сути, классическая схема обмана граждан, после которой деньги, взятые со счета, или же в кредит, просят перевести на «безопасный счет», под которым подразумевается личный счет самих мошенников. Но на этом все не заканчивается. Спустя время, на телефон девушки поступил еще один звонок, но уже не от сотрудника банка, а от якобы представителя правоохранительных органов, так называемого куратора. Он внушил ей, что она может посодействовать в задержании данного преступника, который в настоящий момент скрывается в здании военного комиссариата, и чтобы его задержать, необходимо выполнить поджог. Девушка решает помочь «органам правопорядка», по инструкции изготавливает коктейль Молотова, приходит на нужное место и бросает зажигательную смесь в военкомат.

Как правило, на протяжении всей вербовки, человек остается на прямой линии со злоумышленником, координирующем каждое действие ничего не подозревающего человека, который уверен, что работает на благо свой страны, своей Родины. Прямая связь с человеком также играет роль в том, чтобы лучше манипулировать человеком, не дать ему «соскочить», воздействуя психологически.

После выполнения всех предписаний преступника, человек начинает осознавать, что он совершил на самом деле, но уже поздно. Преступление совершено, преступник получил то, что хотел, а человека, который поверил злоумышленнику, будет ждать суровое наказание. В Госдуме уже заявили о том, что у поджигателей слабые оправдания. Зампред комитета нижней палаты парламента по безопасности Михаил Старшинов заявил, что не представляет, как помутнение рассудка может стать оправданием для подобных действий: «Мне по-человечески понятно: логика в том, что они сами чуть ли не потерпевшие, что не хотели и так далее. Но это слабое оправдание» [7]. Кто конкретно стоит за действиями мошенников и кураторов данных действий остается неизвестным. Однако можно предположить, что ими являются спецслужбы Украины, которым выгодно расшатать внутреннюю ситуацию в нашей стране, подорвать тыл, нанести максимальный вред России, чтобы компенсировать неудачи на линии фронта.

На первый взгляд может показаться, что вся эта «акция» направлена против нашего государства, однако по большей части, направлена она именно против населения России. Ведь пострадавшими зачастую оказываются те граждане, которые любят свою страну и готовы ей послужить. Однако вместо награды их будет ожидать уголовная ответственность, начиная от

домашнего ареста и заканчивая тюремным заключением, вплоть до пожизненного заключения (по статье 275 УК РФ о государственной измене) [8]. Очень важно говорить о таких происшествиях, ведь только так можно обратить внимание на эту проблему и возможно предостеречь других от таких действий. Стоим обратить внимание на то, что сотрудники полиции не уполномочены предлагать рядовым гражданам принимать участие в каких-либо операциях. Также стоит обратить внимание на телефонный номер, например, с кодом другой страны.

На самом деле, это лишь малая часть всех мошеннических схем, и с каждым днём появляются новые, невозможно рассказать про абсолютно все. И ведь ещё примерно 20 лет назад телефонное мошенничество не было настолько сильно распространено. Но время идёт, прогресс не стоит на месте, уровень цифровизации растёт, и у мошенников появляется все больше способов нас обмануть, а нам в свою очередь нужно быть готовым к этому, проявлять бдительностью. Но сколько бы способов обмана не было, правила зачастую схожи и универсальны: не называть данные и пароли посторонним, коды из смс, если вам звонят якобы знакомые по поводу денег, узнавать всю информацию лично, не переходить по посторонним ссылкам, которые могут приходить в смс-сообщениях. Также не следует продолжать общение с неизвестными, предлагающими сомнительные схемы. Отдельно стоит отметить то, что одним из излюбленных методов у мошенников является торопить свою жертву, заставлять делать все быстрее, пока человек не успел опомниться, проанализировать ситуацию и понять, что его пытаются обмануть. Также не пренебрегают криком, шантажом, угрозами, делают буквально все, чтобы развести человека. Негативную роль играют периодические утечки данных у различных операторов, провайдеров. Как итог, у мошенников оказываются ваши номера, ФИО, даты рождения, благодаря чему им проще втереться в доверие.

«Каждый звонок – это преступление, посягательство на жизнь и имущество россиян», - говорит член комиссии по безопасности, адвокат Владимир Винницкий. - Ни в одной стране, кроме России, телефонное мошенничество не приобрело столь массовый характер [9]. Безусловно, приобретение массового характера проблемы можно связать с текущими событиями на Украине, и попытками врага расшатать ситуацию в стране, нанести вред гражданам, поскольку известно, что на их территории действуют множество так называемых колл-центров. Эта ситуация ни в коем случае не остаётся без внимания со стороны властей и самого Президента, который уже поручил разработать меры блокировки звонков зарубежных мошенников [10]. Таким образом, руководство стремится обезопасить граждан от угроз подобного типа. В данных условиях необходима ответственность самих граждан за свои действия, а также сплочённость общества в борьбе с общими угрозами. Развитие коллективного опыта по борьбе с киберпреступлениями может стать одной из общенациональных идей развития нашего Отечества в XXI веке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. В РФ в 2024 году рост мошенничеств составил 3,6% // URL: https://tass.ru/obschestvo/22827307 (Дата обращения: 25.02.2025).

2. В «сбере» назвали число звонков мошенников в сутки // URL: https://www.rbc.ru/society/14/02/2024/65cc66b19a794730df09b396 (Дата обращения: 26.02.2025).

3. Разорить семью за три часа: как аферисты обманывают детей через Roblox // URL: https://ren.tv/longread/1300293-razorit-semiu-za-tri-chasa-kak-aferisty-obmanyvaiut-detei-cherez-roblox (Дата обращения: 27.02.2025).

4. Мошенники обманули пенсионерку на 600 тысяч рублей по схеме «Ваш родственник попал в ДТП» // URL: https://69.мвд.рф/news/item/31946118/ (Дата обращения 28.02.2025).

5. Волна поджогов: как мошенники вынуждают россиян атаковать военкоматы // URL: https://mash.ru/longread/175016/ (Дата обращения: 30.06.2025).

6. Учительница истории пыталась поджечь военкомат в Воронежской области // URL: https://vrn.aif.ru/incidents/details/uchitelnica_istorii_pytalas_podzhech_voenkomat_v_voronezhskoy_oblasti (Дата обращения 30.06.2025).

7. В России массово поджигают военкоматы. Как телефонные мошенники толкают людей на эти преступления? // URL: https://lenta.ru/news/2023/08/02/voen/ (Дата обращения: 30.06.2025).
8. В Приамурье поджигателя военкомата приговорили к 19 годам за госизмену // URL: https://ria.ru/20250610/priamure-2021919991.html (Дата обращения: 30.06.2025).
9. Власти всерьез взялись за телефонных мошенников: готовятся эффективные законы // URL: https://www.mk.ru/social/2024/02/28/vlasti-vserez-vzyalis-za-telefonnykh-moshennikov-gotovyatsya-effektivnye-zakony.html (Дата обращения: 28.02.2025).
10. Путин поручил разработать меры блокировки звонков зарубежных мошенников // URL: https://www.rbc.ru/society/08/02/2025/67a72fca9a7947dcd8ad50e1 (Дата обращения: 01.03.2025).

PHONE FRAUD: CHALLENGES OF MODERN SOCIETY

Schneidmiller R.D.
Supervisor: Davydov D.V., Full Professor, Doctor of Historical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses cases of telephone fraud and methods to combat it. It provides statistics on fraud for 2024 and concludes on the importance of collectively confronting new threats.

СЕКЦИЯ 26
ФИЛОСОФИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УДК 141.78

ПРЕОДОЛЕНИЕ АБСУРДА: ЭКЗИСТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ Ф. ДОСТОЕВСКОГО И А. КАМЮ

Аксанова З.Р.

Научный руководитель: Кириллова Н.О., доцент, к. фил. н.

(Лениногорский филиал Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Лениногорск)

Аннотация. В статье проводится сравнительный анализ философских идей Ф.М. Достоевского и Альбера Камю, раскрывающий общность разработки экзистенциальной проблематики. На примере произведений «Сон смешного человека» и «Посторонний» показано, как Достоевский предвосхитил ключевые категории экзистенциализма, а Камю развил их в условиях XX века. Исследование демонстрирует, что оба писателя ставят схожие вопросы о природе человека и его месте в мире. Особое внимание уделено противоположным подходам к преодолению абсурда.

Творчество Ф.М. Достоевского и Альбера Камю, разделённое временем, обнаруживает глубокое философское родство, делающее их сопоставление не только оправданным, но и необходимым для понимания возникновения экзистенциальной мысли. Основанием для сравнительного анализа служит близость их художественных миров, в которых центральное место занимают проблемы абсурда, свободы, бунта и поиска смысла жизни.

Достоевский, работавший в эпоху кризиса религиозного сознания, интуитивно предвосхитил ключевые категории экзистенциализма задолго до его оформления в философскую традицию XX века. Камю, развивая идеи абсурда и бунта, во многом продолжает диалог с Достоевским. Французский писатель часто ссылался на Фёдора Михайловича, как-то он заявил: «Несомненно, что никому, кроме Достоевского, не удавалось передать всю близость и всю пытку абсурдного мира» [1].

Данное исследование фокусируется на том, как Достоевский в своих произведениях сформулировал вопросы, которые позднее легли в основу экзистенциализма Камю, и как последний трансформировал эти идеи в условиях новой исторической реальности. Рассмотрим основные экзистенциальные проблемы сквозь призму произведений двух писателей, во многом определивших философскую проблематику последних столетий.

1. «Человек есть лишь то, что он делает из себя» [2].

Этот экзистенциальный принцип, сформулированный уже в XX веке, предвосхищен героями Достоевского. Они не имеют «готовой» природы — они создают себя через поступки. Например, Раскольников («Преступление и наказание») пытается стать «Наполеоном», но его сущность определяется не теорией, а совестью.

Страдание у Достоевского — путь к очищению и смыслу. Вспомним Соню Мармеладову, спасающую Раскольникова через сострадание, или Мышкина («Идиот»), который страдает, но его жертвенность — альтернатива миру цинизма.

Проанализируем фантастический рассказ Ф.М. Достоевского «Сон смешного человека».

По сюжету одинокий молодой человек, окружение которого с малых лет считает его смешным чудаком, решает застрелиться из-за поселившейся в нём идеи. Но совесть из-за сделанного им подлого дела не даёт покоя. В раздумье уже перед револьвером герой засыпает.

Во сне он видит мир, который внешне точь-в-точь похож на Землю, но в котором всё идеально: нет злости, зависти, ревности, воровства. Постепенно тот мир у него на глазах превращается в падший мир, как на Земле, и причиной этого падения оказывается сам герой рассказа.

Просыпается герой совсем другим человеком с осознанием того, что в несовершенном мире единственный смысл жизни человека – сеять любовь и добро.

Смешной человек обретает свободу, лишь осознав, что он сам — и источник зла, и

спаситель. Человек не задан изначально, он становится через выбор (жить и нести истину).

Сравним с дебютной работой А. Камю, с «Посторонним».

Главный герой, молодой алжирец Мерсо, живет без иллюзий, осознает бессмысленность жизни, отвергает общепринятые нормы и ритуалы, то есть отказывается играть по правилам общества, что делает его «посторонним» в мире, где люди ищут смысл там, где его нет [3].

Он равнодушно воспринимает смерть матери, на следующий день знакомится с Мари и начинает с ней роман, не испытывая глубоких чувств. Его сосед Раймон просит помочь написать письмо любовнице, что вовлекает Мерсо в конфликт с арабами. Во время поездки на пляж, ослеплённый солнцем, Мерсо случайно убивает одного из них, но не может объяснить мотив. На суде его осуждают не за убийство, а за «аморальность» — равнодушие к матери и отсутствие раскаяния. «Он обвинял меня больше в том, что я не плакал, чем в том, что я убил человека». Мерсо отказывается от религиозного утешения священника, принимая абсурдность существования. В камере он осознаёт, что жизнь лишена смысла, но в этом – её свобода.

Первые строки рассказчика-сына: «Мама умерла сегодня. Или, может быть, вчера — не знаю». На вопрос Мари о любви отвечает: «Это не имеет значения». На суде он не играет в раскаяние, говоря: «Я убил из-за солнца».

Он не «сын», не «любовник», не «убийца» — он становится ими лишь в момент действий (или их отсутствия).

В последней сцене Мерсо, ожидая казни, чувствует «нежное равнодушие мира». Он наконец-то создает себя: «Чтобы все завершилось, чтобы не было мне так одиноко, остается только пожелать, чтобы в день моей казни собралось побольше зрителей — и пусть они встретят меня криками ненависти».

2. Интерпретация абсурда.

Герой Достоевского, разочарованный в жизни, пытается покончить с собой, но во сне видит «золотой век» человечества — и внезапно осознает смысл жизни.

«Я знал и видел истину» — абсурд преодолевается через откровение, он есть ступень к высшему смыслу [4].

В «Постороннем» Мерсо живёт в мире, где нет высшего смысла. Его безразличие к смерти матери, случайное убийство араба и равнодушие к собственному суду — демонстрация абсурдности человеческих условностей.

«Ничто не имеет значения… солнце заставило меня убить», – здесь абсурд не преодолевается, а принимается как данность.

Также суд представлен как театр абсурда: процесс над Мерсо — аллегория на суд над человеком, который не играет по правилам. Общество казнит его не за преступление, а за «неправильные» эмоции.

3. Поиск смысла: отчаяние и откровение

У Достоевского смысл открывается вопреки разуму – через сон, страдание, любовь. Сон является не просто фантазией, а откровением. Как у Платона («миф о пещере»), герой видит «истинный» мир, но его вмешательство разрушает гармонию. «Смешной человек» спасает себя, спасая других, его смысл в вере и сострадании.

У Камю смысла нет — и в этом освобождение. Мерсо счастлив в последние минуты, потому что признал правду: мир без Бога, но и без лжи. То есть смысл в честности перед лицом абсурда

4. Свобода и ответственность

Смешной человек выбирает жизнь после сна, осознав, что его отчаяние было эгоизмом. Его свобода заключается в способности любить.

«Я зажег их сердца огнём моей истины» — свобода ведёт к служению другим.

Мерсо абсолютно свободен, потому что отвергает все условности. Его отказ лгать на суде есть акт свободы, но и приговор себе.

«Я был прав, я всегда был прав… такова была моя жизнь», – он принимает ответственность даже за смерть.

Подведем итоги: «Сон смешного человека» — это притча о выборе между отчаянием и надеждой. Достоевский приходит к следующим выводам:

1. Мир может быть жестоким и абсурдным, но смысл рождается в любви и ответственности за других.

2. Зло начинается с малого (гордыни, лжи), но его можно преодолеть через самопожертвование.

3. Спасение индивидуально: герой находит истину не в логике, а в мистическом опыте (сне).

Этот рассказ — квинтэссенция позднего Достоевского, где философия, религия и психология сливаются в поиске ответа на вопрос: как жить, зная о неизбежности страдания?

«Постороннего» можно считать манифестом абсурда. Камю показывает, что:

1. Жизнь не имеет объективного смысла.
2. Общество навязывает ложные ценности.
3. Истинная свобода — в честности перед лицом абсурда.

Повесть не предлагает ответов, но учит жить без надежды и отчаяния, что и делает Мерсо экзистенциальным героем.

Итак, для Достоевского абсурд – это отсутствие Бога. Символический жест героя рассказа – попытка самоубийства, безбожие – своего рода испытание, через которое проходит смешной человек, являющийся сам себе судьей. В конце концов, через вещий сон он понимает «истину» и ищет спасения именно через веру, видит смысл жизни в проповеди любви. Герой Камю спокойно принимает мир и умирает без иллюзий. Мерсо убежден, что абсурд – это фундаментальное условие жизни; Бога нет, утешение через веру отвергается, а жить надо без надежд, но достойно. Смысл этой жизни в честности перед лицом хаоса. Камю таким образом показывает, что абсурд непреодолим, но бунтовать можно молча.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Камю А. Миф о Сизифе: Эссе об абсурде [Электронный ресурс] // Nietzsche.ru: Философия как путь к свободе. – URL: https://nietzsche.ru/influence/philosophy/philosophie/sizif/ (дата обращения: 15.06.2025).

2. Сартр Ж.П. Экзистенциализм – это гуманизм. – AST Pablisher, 2025

3. Петросян М.М. Экзистенциальная проблематика повести А. Камю «Посторонний» [Электронный ресурс] // Молодой ученый. 2013. №5. – URL: https://moluch.ru/archive/55/7586/ (дата обращения: 15.06.2025).

4. Кувакина В. Рассказ Ф.М. Достоевского «Сон смешного человека»: философия смыслов [Электронный ресурс] // LitBook. – URL: https://litbook.ru/article/11194/ (дата обращения: 15.06.2025).

OVERCOMING THE ABSURDITY: EXISTENTIAL PROGRAMS OF F. DOSTOEVSKY AND A. CAMUS

Aksanova Z.R.

Supervisor: Kirillova N.O., Associate Professor, Candidate of Philological Sciences

(*Leninogorsk branch of the Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Leninogorsk*)

Abstract. The article provides a comparative analysis of the philosophical ideas of F.M. Dostoevsky and Albert Camus, revealing their common existential problems. Using the examples of the works "The Dream of a Ridiculous Man" and "The Stranger", it is shown how Dostoevsky anticipated the key categories of existentialism, and Camus developed them in the conditions of the 20th century. The study demonstrates that both writers pose similar questions about the nature of man and his place in the world. Particular attention is paid to the opposite approaches to overcoming the absurd.

УДК 316.472.4+37.017.93

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ НА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МОЛОДЕЖИ ОБ ИДЕАЛЬНОЙ ЖИЗНИ

Ахметшин Ф.И.
Научный руководитель Сиразеева Т.Т., ст. преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье исследуется влияние социальных сетей на формирование представления об идеальной жизни у студентов. Как просмотр контента в социальных сетях, и сравнение своей жизни с жизнью других пользователей влияют на самооценку и психическое здоровье. Используя результаты опроса, проведенного среди студентов, проанализируем влияние социальных сетей на формирование стандартов об идеальной жизни.

В эпоху цифровой вовлеченности, когда лайки и подписчики становятся эквивалентом признания, встает вопрос: насколько реальны и правдивы представления молодежи об идеальной жизни? Эта статья исследует двойственную природу социальных сетей — как мощного инструмента самовыражения и коммуникации, и как источника давления, сравнения и искаженных ожиданий. Рассмотрим, как визуальные нарративы социальных платформ формируют образ «успешной» жизни, навязывая стандарты внешности и счастья. С помощью опроса студентов, мы сможем понять насколько сильно на них влияет давление социальных сетей.

Современные социальные сети стали неотъемлемой частью жизни молодежи. Они формируют зачастую нереалистичные и недостижимые стандарты жизни, которые могут оказывать значительное влияние на формирование мировоззрения молодежи. Согласно исследованию О.В. Асеевой (2021) 72,9% молодежи находятся в Интернете большую часть своего свободного времени. В условиях постоянного сравнения своей жизни с идеализированными образами других пользователей возникает вопрос о влиянии этого явления на самооценку и психическое здоровье молодежи. [1].

По результатам исследования Рогач О.В. и Фроловой Е.В. подростки проводят в социальных сетях колоссальное количество времени, что негативно отражается как на отношениях в семье, количестве сна, так и на психологическом здоровье и способности к реальному общению. [2].

Исследование Parveiz, Saher&Amjad, Amna&Ayub, Sumaira (2023) «FearofMissingOut (FOMO), SocialComparisonandSocialMediaAddictionamongYoungAdults» показало, что FOMO («страх упустить что-то важное») и социальное сравнение положительно влияют на зависимость от социальных сетей. [3].

Т.Е. Романова считает, что социальные сети занимают очень много свободного времени, из-за чего студенты перестают заниматься другими увлечениями. Хоть социальные сети и имеют много плюсов, но все же на обучение студентов они влияют отрицательно. [4].

Исследователи отмечают как позитивное, так и негативное влияние социальных сетей на молодое поведение. В частности, А.А. Фоменко акцентирует внимание на то, что социальные сети имеют значительное влияние на сознание молодежи через распространение информации. Среди основных проблем Интернета – его огромная необъятность, что делает полный контроль невозможным. [5].

И.А. Каратабан пишет, что социальные сети имеют много преимуществ, но нельзя забывать и об отрицательном влиянии. Долгое использование социальных сетей и Интернет-ресурсов может стать причиной депрессии, тревоги и зависимости. [6].

Для исследования влияния социальных сетей на восприятие идеальной жизни нами был проведен опрос среди молодых людей от 18 до 22 лет в количестве 100 человек (38% девушек, 62% юношей). Была разработана анкета, которая включила несколько блоков вопросов. Конкретно, были включены вопросы об активности пользователей в социальных сетях.

О чувствах, которые испытывали молодые люди, а также об оценке влияния социальных сетей с точки зрения психологического здоровья. Респондентам была предложена следующая анкета:

1. Сколько времени в день вы проводите в социальных сетях?
2. Какие социальные сети вы используете чаще всего?
3. Чувствуете ли вы давление соответствовать стандартам, представленным в социальных сетях?
4. Сравниваете ли вы свою жизнь с жизнями людей, которых вы видите в социальных сетях?
5. Как часто вы публикуете фотографии или посты, чтобы показать свою жизнь с лучшей стороны?
6. Какой эффект на ваше настроение оказывает просмотр идеальных жизней других людей в социальных сетях?
7. Считаете ли вы, что социальные сети влияют на вашу самооценку? Если да, то как именно?
8. Испытываете ли вы чувство зависти или недовольства после просмотра постов друзей или знакомых
9. Какое влияние, по вашему мнению, оказывают социальные сети на ваше психическое здоровье?
10. Какие шаги вы предпринимаете, чтобы справляться с негативным влиянием социальных сетей на вас?

Результаты опроса:

В Диаграмме № 1 отражены результаты ответов на 1 вопрос:

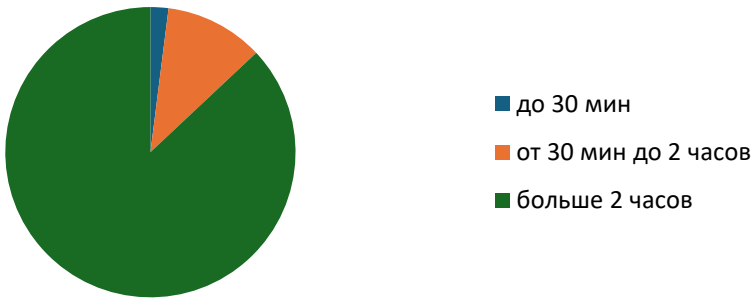


Диаграмма №1 Сколько времени в день вы проводите в социальных сетях?

На вопрос о времени, проводимом в социальных сетях 87% респондентов, ответили, что это занимает больше 2 часов в день. Если учитывать, что среднее время бодрствования человека 16 часов, то время, проведенное в социальных сетях, начинается с 12,5% от всего дня.

Результаты ответов на 4 вопрос приведены в Диаграмме №2:

Диаграмма №2. Сравниваете ли вы свою жизнь с жизнями людей, которых вы видите в социальных сетях?

Также, согласно опросу 55% респондентов сравнивают свою жизнь, с жизнями людей, чьи посты они видят в социальных сетях. Это говорит о том, что эффект «идеальной картинки», когда пользователи видят только тщательно отобранный контент и начинают чувствовать, что их жизнь менее интересна или успешна, знаком большей части респондентов.

Результаты ответов на 3 вопрос приведены в Диаграмме №3

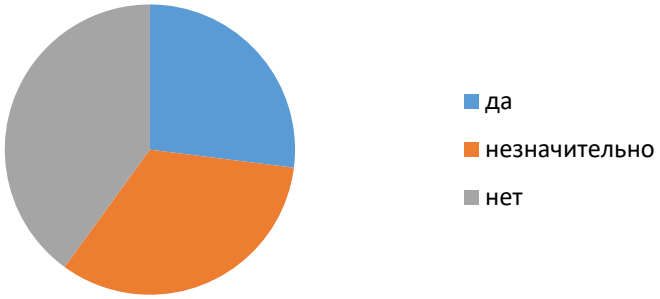


Диаграмма №3 Чувствуете ли вы давление соответствовать стандартам, представленным в социальных сетях?

В вопросе «Чувствуете ли вы давление соответствовать стандартам, представленным в социальных сетях?», 40% респондентов ответили, что не замечают такого давления. 33% отметили незначительное влияние, а 27% указали, что у них появляется желание быть столь же успешными, как инфлюенсеры, за которыми они следят в социальных сетях.

При более детальном анализе данных с учетом пола респондентов, можно выделить следующие тенденции:

• Среди девушек:

Примерно 25% не чувствуют давления.

Около 20% отмечают незначительное давление.

Примерно 17% заявляют о наличии давления.

• Среди юношей:

Около 15% не ощущают давления.

Примерно 13% указывают на незначительное давление.

Около 10% признают наличие давления.

Эти результаты показывают, что девушки в большей степени ощущают давление соответствовать стандартам социальных сетей по сравнению с молодыми людьми. Это может быть связано с различиями в восприятии и использовании социальных медиа между полами. Важно отметить, что несмотря на то, что большинство респондентов (73%) не испытывают или лишь слегка ощущают давление, значительная доля (27%) все же сталкивается с этим явлением, что подчеркивает актуальность темы и необходимость дальнейшего изучения влияния социальных сетей на самоощущение и самооценку пользователей.

Однако ответы на вопрос о зависти и недовольстве при просмотре постов друзей показывают, что эффект «идеальной картинки» работает иначе, когда речь идет о знакомых нам людях, чья жизнь вне социальных сетей более доступна для нас (80% респондентов ответили, что не испытывают негативных чувств при просмотре постов друзей, а 20% испытывают их только от некоторых, изначально неприятных личностей).

Почти половина опрошенных (48%) в вопросе о частоте их собственных постов в социальных сетях ответили, что периодически делятся своей жизнью, но лишь когда получается хороший кадр или любой другой контент, показывающий их с лучшей стороны.

В вопросе про влияние, оказываемое социальными сетями на психику, мнения разделились, около 40% опрошенных посчитали, что влияние негативное, и столько же ответили, что не замечают изменений, а остальные затруднились ответить.

На вопрос о том, как люди справляются с негативным влиянием социальных сетей, получены следующие ответы:

Ограничение времени в социальных сетях: «стараюсь меньше сидеть», «ограничиваю время», «занимаюсь любимым хобби»

Активное избегание триггерного контента: «не подписываюсь на ресурсы, которые расстраивают», «отписываюсь от людей, которые не вдохновляют меня, а скорее наоборот заставляют чувствовать себя хуже, слабее других»

Полное бездействие: некоторые участники указали, что не предпринимают никаких действий («никакие»).

Результаты исследования показывают, что социальные сети оказывают значительное влияние на восприятие идеальной жизни среди молодежи. Большинство респондентов проводят значительное количество времени в социальных сетях, и многие из них сравнивают свою жизнь с жизнями других пользователей, что приводит к чувству зависти и недовольства. Это сравнение создает давление соответствовать идеализированным стандартам, что негативно влияет на самооценку и психическое здоровье.

Молодежь признает, что социальные сети оказывают как положительное, так и отрицательное влияние на их жизнь. С одной стороны, они позволяют поддерживать связь и получать новую информацию, с другой стороны, они могут вызвать чувство неполноценности и зависти. Большинство респондентов стараются ограничить время, проводимое в социальных сетях, и избегать контента, который вызывает у них негативные эмоции.

Таким образом, культ идеальной жизни в социальных сетях оказывает значительное влияние на молодежь, поднимая вопросы о необходимости более сбалансированного подхода к использованию этих платформ для минимизации их негативного воздействия.

Результаты опроса показывают, что в социальных сетях редко можно встретить посты, отражающие настоящие стороны контентмейкера. Старание показаться лучше приводит к тому, что мы видим лишь то, что нам хотят показать, но при этом начинаем чувствовать себя менее успешным, красивым, счастливым и т.п. молодые люди признают, что сравнивают свою жизнь с жизнями других пользователей и испытывают зависть или недовольство после просмотра контента. А это может приводить к снижению самооценки и ухудшению психического здоровья.

Американские исследования также подтверждают эти выводы: согласно работе Твенге и коллег (2017), использование социальных сетей связано с увеличением уровней депрессии и тревожности среди подростков. [7]

В России аналогичные исследования показывают, что 59% подростков предпочитают проводить время в социальных сетях, что может привести к зависимостям и конфликтам. [8]

Также в исследовании 2024 года Ло Дестро К. выявил, что самооценка отрицательно связана со страхом негативной оценки, возраст оказался прогностическим фактором, определяющим страх негативной оценки, при этом люди более молодого возраста демонстрировали повышенный уровень страха негативной оценки по сравнению со своими более взрослыми коллегами. Существуют также различия по полу: исследование показывает, что девушки более подвержены негативному влиянию социальных сетей, чем юноши. Это связано с их большей чувствительностью к социальным сравнениям и давлению соответствовать идеализированным образам. [9]

Культ идеальной жизни в социальных сетях оказывает значительное влияние на восприятие себя и окружающего мира среди молодежи. Необходимы дальнейшие исследования для понимания долгосрочных последствий этого явления и разработки стратегий для минимизации его негативного воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Асеева О.В*. Влияние социальной сети Интернет на развитие социальной активности молодежи // NOMOTHETIKA: Философия. Социология. Право. 2012. №2 (121).

2. *Рогач О.В., Фролова Е.В.* Анализ влияния социальных сетей на современных подростков: ключевые проблемы и деструктивные последствия // Вестник Пермского университета. Философия. Психология. Социология. 2022. №2. С. 306-314.

3. *Parveiz S., Amjad A., Ayub S.* Fear of Missing Out (FOMO), Social Comparison and Social Media Addiction among Young Adults // Pakistan Journal of Applied Psychology. 2023. Том 3. С.224-235. DOI: 10.52461/pjap.v3i1.1283.

4. *Романова Т.Е.* Влияние социальных сетей на молодежь // Культура. Духовность. Общество. 2014. №11. С.213-223.

5. *Фоменко А.А*. Специфика социальных сетей как фактора социализации молодёжи // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2016. – Т. 11. – С. 3491–3495.

6. *Каратабан И.А*. Влияние социальных интернет-сетей на социализацию молодежи // Миссия конфессий. 2024. № 74. Том 13-1. С.46-51.

7. *Twenge J.M., Joiner T.E., Rogers M.L., Martin G.N.* Increases in depressive symptoms in adolescents and young adults: 2009–2017 // Psychological Medicine. 2018. Том 49. С.1-8.

8. Pew Research Center. Social Media Use in 2021.

9. *Ло Дестро К.* Изучение влияния самооценки на использование фильтров в Instagram: посредническая роль страха негативной оценки // Front. Psychol. 2024. Том 15. С.1302662.

THE STUDY OF THE INFLUENCE OF SOCIAL NETWORKS ON YOUNG PEOPLE'SIDEAS ABOUT AN IDEAL LIFE

Akhmetshin F.I.

Supervisor: Sirazeeva T.T., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the influence of social media on the perception of an ideal life among students. How viewing content on social media and comparing your life with the lives of other users affects self-esteem and mental health. Using the results of a survey conducted among students, we will analyze the pressure to meet the standards presented on social media.

УДК 7.01+7.038.531

ФЕНОМЕНОЛОГИЯ ПЕРФОРМАНСА: РИТУАЛЬНАЯ И ИГРОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Биктимирова А.В.

Научный руководитель: Гимазетдинова А.Х., доцент, к. филос. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье анализируются феноменологические характеристики ритуальной и игровой составляющей перформанса, которые влияют на взаимодействие с реальностью и проживание совместного чувственного опыта художника и зрителя.

Классический перформанс — это искусство, где в качестве основного инструмента используется тело художника. Способ бытия произведения искусства — это представление [2], которое связано с вовлечением публики, когда элемент реального переживания присутствует в перформансе. А из зрителей он делает соучастников и свидетелей. В этот момент произведением искусства оказываются само действие, его документация и взаимодействие, которое происходит между художником и аудиторией. Любой перформанс тесно связан с ритуалом, драмой и театром, но отличается от всего вышеперечисленного более свободной формой, «иллюзией иллюзии». Из-за этого перформанс ощущается и чувствуется как что-то более достоверное, чем обыденный опыт.

По Шехнеру перформанс — это представление, которое включает в себя разные формы, такие как сцены семейной жизни, игра, спорт, танцы, религиозные церемонии, охота, шаманизм, театр [8]. Все эти структуры зависят: от степени включенности на уровне индивидуального или коллективного; от правил, которые устанавливаются или игроками, или

внешним церемониалом. С пространством игры сочетается принцип реальности — может быть полное включение в реальность или частичное — встреча с пограничной реальностью, которая несёт в себе элемент влечения к смерти.

Но есть и другая точка зрения, отличная от Шехнера. Например, Рансьер определяет театр как место пассивности и иллюзии, которое требует замены на другое пространство, где возможно познание и взаимодействие. Если мы рассматриваем перформанс как что-то, что отражает реальность, что является «иллюзией иллюзии», то очерченное действие перформанса позволяет быть инструментом познания окружающего мира. Зритель, в отличие от театра, в перформансе не обладает оценивающими качествами субъекта, потому что он полностью погружается в само действие, без возможности оценивания, контроля и рациональности, утрачивая безопасную дистанцию от представления. Ги Дебор писал: «Чем больше он [зритель] созерцает, тем меньше он живёт» [5], созерцание здесь — это наблюдение видимого объекта на большой дистанции без возможности его понять и разделить происходящее. Во время спектакля зритель наблюдает, потому что его способность к действию в этих обстоятельствах невозможна, он отчуждается от процесса. В перформансе же, наоборот, публика включается в процесс посредством взаимодействия и контакта с игровой реальностью, которая происходит в специальном поле действий актора-перформера. Из зрителя человек превращается в агента коллективной практики.

Часто перформанс рассматривается как активное действие в плоскости, граничащей с искусством и активизмом, в которой основной инструмент — это тело. Но могут присутствовать и другие символы, которые нестандартным образом вписаны в пространство при наличии зрителей и возможность взаимодействовать с ними или непосредственно, или через медиа. Это действие может быть сделано в художественном поле, и тогда оно будет ближе к концептуальной форме перформанса, а может быть коллективной практикой, которое чаще можно встретить в публичных пространствах в качестве акции или уличных демонстраций с целью поменять существующий социальный порядок, которому реальность подчиняется.

Существуют разные виды перформансов, однако, в этой статье рассматривается концептуальный перформанс, в основе которого лежит идея или концепция, и главная задача актора — передать её через перформанс. Основные принципы концептуального перформанса состоят в следующем:

- Процесс перформанса и его собирание на этапе «идеи» ценятся важнее, чем итоговый продукт или результат. Сам процесс часто документируется на фото- и видео- носители, и перформанс может воспроизводится в пространствах без физического присутствия актора.

- Некоторые художники используют разные методы для перформанса — это может быть и полностью продуманный сценарий, и частично-продуманный, когда перформанс концептуально-интерактивный, но достаточно часто перформанс может строится на импровизации, которая подчеркивает ситуативность процесса и непредсказуемые действия публики.

- Концептуальные перформансы часто включены в интеллектуальное и академическое пространство, их анализируют и критикуют часто через призму определенного контекста, связи с историко-политическими событиями, временем, преемственностью. Часто не имеют одной законченной трактовки.

- Автобиографические черты часто вплетаются в основную канву перформансов и становятся неотъемлемой их частью, потому что художник, работая с пространством и зрителем, пытается донести свой опыт взаимодействия с миром. Работа со своей идентичностью или прошлым помогает показать Другому недоступное, чтобы он мог на мгновение посмотреть на мир «глазами художника» и, возможно, измениться в процессе.

- Междисциплинарность концептуального перформанса заключается в том, что он может органично сочетаться с другими формами: музыкой, поэзией, танцем, видео, фото. Иногда инсталляция с включением в это пространство зрителя тоже считается

перформативным. При этом главной задачей остается возможность создать пространство, где художник исследует границы публичного, политического, социального и воспринимаемого.

Здесь важно прописать: чем понятия «акция» отличается от перформанса. В перформансе очень важна персоналия художника, его «я». А акционист — это безликий субъект действия. Сергей Проворов, участник арт-группы «Провмыза» говорит: «Когда я делал свои акции в 90-е годы, я, безусловно, совершал поступок, для меня это было публичное я-высказывание. Тогда я не называл это действие перформансом, для меня это было практической критикой, очень ситуативной и моментальной» [9].

Еще для перформанса очень важно понятие длительности: во что процесс превращается, когда заканчивается, конечная точка, финал. Крик в итоге превращается в животный вопль. И здесь «теорию длительности» Бергсона можно спроецировать на многие фиксированные перформансы 1970-х годов— Брюс Науман, Марина Абрамович и др. Важным становится то, что в процессе действия зритель воспринимает не только боль или усталость перформера, но и длительность самой боли. Процесс работает как воронка, которая затягивает, вызывая сильнейший эмоциональный эффект и видоизменяя пространство.

Художественная акция — этому учил еще в 70-х годах Монастырский — должна быть пустой. Художественная акция никакого месседжа не имеет, её цель скорее фиксация внимания на окружающем контексте. Перформанс же невозможен без публики, поскольку мыслится и реализуется исключительно как диалог. Во время события-бытия [10], которое не только диалогично, но и провокативно по своей природе, субъект действия показывает себя и представляет субъектом восприятия для зрителя через динамические действия и взаимодействие с пространством.

Стоит отметить, что грань между театром и перформанс-искусством иногда размыта. Выступления одних и тех же групп могут варьироваться от строго написанных по сценарию до вообще без сценария, и исполнители иногда предпочитают использование персонажей. Но так или иначе, актор перформанса — это всегда образ, но не образ-репрезентация, а образ как форма артикуляции реальности [11].

Перформанс — это некий художественный акт, отвлеченный от использования традиционных выразительных средств, в центральной части которого лежит понятие «действия» или «взаимодействия». Марина Абрамович определяет перформанс как «ментальную и физическую конструкцию, которую художник создает на глазах у публики в определенное время и в определенном месте» [7]. Во время перформанса пространство вокруг актора действий становится сценой, зрители превращены в соучастников, они не знают, что и зачем делают перформеры, но они вовлечены в это действие, они не смотрят со стороны на него, а находятся внутри онтологического события.

Получая информацию исключительно через органы зрения, динамические изображения считываются сетчаткой глаза, которые обрабатываются мозгом, и позже складываются в мини-фильм, который загружается в папку «память». Согласно концепции экологического восприятия Джерома Гибсона [3], инструмент зрения и смотрения — это не только глаз, а целая конструкция тела, которая существует в последовательности нога-туловище-шея-голова-глаз. И каждый зритель, находясь внутри происходящего, имеет свою неповторимую точку зрения, которая обуславливается его физическими возможностями, позой, условиями, в которые может заточить зрителя художник, обеспечив пространство для взгляда или, наоборот, ограничив его.

В перформансе Анны Имхоф «Фауст», который она показывала в Венеции в 2017 году в немецком павильоне, пространство очерчено стеклом — это аллюзия на структуры контроля. При этом перформеры перемещаются под прозрачным полом, замирают у стеклянных стен, балансируют на ограждениях, и с точки зрения Гибсона, зритель меняет point of view, но не по собственному желанию, а по законам пространства: смотреть на людей, которые находятся под твоими ногами и под стеклом — это действительно дискомфортно. Кроме этого, были препятствия в виде массы тел, перемещающихся в разных направлениях и плоскостях. Перформанс воспринимается не только перцептивно, как картинка, но и на уровне восприятия

и впитывания эмоциональной атмосферы: серия действий вызывала эмпатию со стороны зрителей, вовлекая их с помощью танца. Здесь перформативная среда становится также медиумом.

Саша Бурханова-Хабадзе рассматривает перформанс Анны Имхоф как пример нонспектакулярного искусства [1], который является непрямой критикой репрезентации и опосредованного образами «общества спектакля», скорее попыткой разрушить привычные бинарные категории «реальность/фикция», «предмет/изображение», «означающее/ означаемое», и в конечном счете — уход от репрезентативности как таковой. Роль художника в этом случае сводится к переносу внимания зрителя с предполагаемых смыслов на ее функционирование. При минимальном наборе подсказок зрителю предполагалось разобраться: как устроена работа? какое влияние она оказывает на время и место, в котором размещена? что она изменяет?

Основной задачей перформанса является не создание артефакта или значения, а скорее формирование временной связи между участниками процесса, их взаимодействие, сочетание личного восприятия с чужим опытом, взаимосочувствием. Это искусство действует как транс-индивидуальное поле встреч, как игра, которая объединяет людей и способствует синтезу их разнообразия в рамках коллективного целого.

Черты ритуала в перформансе — это попытка соединиться с коллективным, зритель вовлекается внутрь особого пространства, где у него возникает определенное пограничное состояние, во время которого всё происходящее обретает символический смысл, в отличие от законов традиционной европейской драмы, когда зритель находится на определенной дистанции от представления. Во время перформанса формируется особое пространство «игры», находящееся между правилами, которые уже нарушены, и особым церемониалом.

Многие художники, работавшие в жанре перформанса, а также практиках «третьего» или «альтернативного» театра, напрямую заимствовали методы эзотериков и шаманов. Если мы будем оценивать возможности искусства с позиции жрецов, мы будем вынуждены прийти к выводу, что кинематографическое пространство делает невозможной любую эпифанию, а перфоманс открывает пространство для этой эпифании. В таком случае, перформанс переходит в разряд религиозного действия и работает по правилам нуминозного. Отто [6] сравнивает момент религиозного сильного возбуждения с острым переживанием чувства эстетического. Искусство — это надежда на воодушевляющие видения иного объекта, и если это не увидит или не покажет художник, то его не увидит никто. Художник-перформер становится проводником для публики в пространство острого переживания эстетического.

Воспринимая перформанс, зритель не находится напротив статичного изображения, скорее, наоборот, в этот момент перцепция начинает носить анимационный характер. Объекты, а вместе с ним и порождаемые образы, символы, которые ловит зритель, измеряются телом, сливаются, взаимодействуя с ним. Когда происходит единение эмоциональной жизни перформера и тела, происходит рождение образа, который передаётся зрителю с помощью материального медиума. Это делает оптическую перцепцию танца-перформанса более понятной, собирает ее в целое и насыщенное, превращает созерцание в персональное переживание зрителя. Возникает весьма неожиданная ассоциация с мистериями и Дионисом — актором, субъектом действия — и зрителями, чье утраченное единство внезапно обретается в перформативном ритуале.

Связка тело-образ-пространство сменяют друг друга, при помощи материального образы начинают фонтанировать и циркулировать в пространстве. Образ становится особым случаем отражения социальной реальности или общественно-важного события. Ричард Шехнер описывает это как взаимодействия с полем онтологически-социальной реальности: «Быть может, это даст публике шанс понять, как политические деятели и медиамагнаты ежедневно дурачат ее своими трюками. От исполнителей ждали, что они перестанут отражать современность и попробуют ее улучшить» [8]. В этот момент перформанс, как и изображение, приобретает свою собственную действительность, которая зачастую является частичным отражением современности и обыденной жизни. Искусство перформанса миметично, оно

имитирует действия жизни, в этот момент основой произведения искусства становится импульс жизни, другими словами — репрезентация жизни. Динамичное представление обладает «окказиональностью», как и спектакль, но во время представления перформеры показывают, как надевают и снимают маски.

Чувство взаимозависимости с актором перформанса и полное погружение в действие можно охарактеризовать феноменологически как «чувство тварности» — человек, который «тонет в собственном ничто и склоняется перед тем, что выше». Это «ничто» не что иное, как переживание образа, который в какой-то момент представления становится «над» социальными институтами, зрителем и существующей реальностью. И каждый повторяющийся перформанс — это всё равно новый перформанс, потому что он зависит от взаимодействия с публикой, работой медиума и несёт новый результат, который невозможно предсказать.

Ритуализированное поведение обычно распространяется на целый спектр человеческих действий, но перформанс именно та сфера, где ритуал получает наиболее сильное выражение, и игра, которой сопутствуют элементы ритуального поведения. Лишь в перформансе игра и ритуал совпадают, смешиваются, сочетаются, в результате чего получается искусство — особое сочетание игры и ритуала. Исполнители профессионально выводят себя из состояния равновесия, а затем демонстрирует возвращение к нему через повествование и социализацию.

После этого снова повторяется процесс, приемы перформанса строятся вокруг этих бесконечных трансформаций, люди превращаются в других: людей, богов, животных, деревьев, в кого и во что угодно. Это происходит или ненадолго, как в пьесе, либо навсегда, как в некоторых ритуалах. Эти системы трансформаций включают в себя частичное неустойчивые трансформации времени и пространства. И «там», и «тогда» происходит в определённом «здесь». Таким образом, в игре оказываются задействованы все четыре измерения времени и пространства. Социальная функция перформанса состоит в том, чтобы стоять в стороне от обыденной жизни, одновременно идеализируя её и критикуя, показывая недостатки, которые мы не замечаем, проживая ситуации в обыденной жизни. Игра идёт по правилам и критикует саму себя, делая акцент на том, что нельзя, чтобы вся жизнь была игрой.

Итак, перформанс и его ритуально-игровая составляющая имеют потенциал коллективного взаимодействия на разных уровнях, который выражается в особом вовлечении публики в представление, и в этот момент, по мнению левых теоретиков [4], нет отчуждения между зрителем и искусством — нет дистанции, поэтому перформанс одновременно выбивает из существующей реальности, и публика чувствует нечто большее, чем обыденный опыт. Возможность рационального осмысления перформанса и контроль субъекта над реальностью возвращаются только после окончания перформанса, когда снова появляется дистанция. Из-за опоры на чувства, во время взаимодействия личная оптика смешивается с чужим опытом. Перформанс действует как поле встречи. С одной стороны, как инструмент, где рождается взаимодействие и иногда взаимосочувствие — не только к художнику, но к миру в целом. С другой стороны, как игра, которая объединяет людей и способствует их разнообразию в рамках коллективного целого. Именно это позволяет видеть лакуны во властных дискурсах и сначала чувственно, а потом рационально их осмыслять.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Бурханова-Хабадзе С.* От «эстетики взаимоотношений» к этике индивидуализма // Художественный журнал [Электронный ресурс]. URL: http://moscowartmagazine.com/issue/64 (дата обращения: 16.05.2024).

2. *Гадамер Х-Г.* Истина и метод. / Х-Г Гадамер. — М.: RUGRAM, 2012. — 704 с.

3. *Гибсон Дж*. Экологический подход к зрительному восприятию / Дж. Гибсон; пер. с англ. Сокольской Т. — М: Прогресс, 1988. — 464 с.

4. *Голдберг, Р*. Искусство перформанса: от футуризма до наших дней. / Р. Голдберг. — М: Музей современного искусства «Гараж», Ад Маргинем, 2013. — 320 с.

5. *Дебор Г.* Общество спектакля. / Г. Дебор. — М.: АСТ, 2022. — 256 с.

6. *Отто Р.* Священное. Об иррациональном в идее божественного и его соотношении с рациональным. / Р. Отто. — СПб: СПбГУ, 2008. — 274 с.
7. *Сперанская Н.* Дионис преследуемый. Глава «Беспредметное икусство. От апофатической бездны Казимира Малевича к перформансам Марины Абрамович» / Н. Сперанская. — М.: Культурная революция, 2014. — 536 с.
8. *Шехнер Р*. Теория перформанса. / Р. Шехнер. — М.: V–A–C Press, 2020. — 486 с.
9. Перформанс как испытание на прочность // Театръ [Электронный ресурс]. URL: https://oteatre.info/performans-kak-ispytanie-na-prochnost/ (дата обращения: 16.05.2025).
10. Понимание события | Anthropology [Электронный ресурс]. URL: http://anthropology.ru/ru/text/sokolov-bg/ponimanie-so-bytiya (дата обращения: 16.05.2025).
11. Belting H. Image, Medium, Body: A New Approach to Iconology / H. Belting. // Critical Inquiry. — 2005. — № Vol.31, N2. — C.302-319.

PHENOMENOLOGY OF PERFORMANCE: PLAY AND RITUAL CHARACTERISTIC

Biktimirova A.V.
Supervisor: Gimazetdinova A.Kh., Associate Professor, Candidate of Philosophical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article analyzes the phenomenological characteristics of the ritual and play components of performance, which influence the interaction with reality and the experience of the shared sensory experience of the artist and the viewer.

УДК 001 + 167 + 51.77

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЭПИСТЕМОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ИСТОРИИ НАУКИ

Волков И.А.
Научный руководитель: Левашева Е.В., доцент, к. филол. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе рассматривается вопрос описания процессов накопления и анализа научных знаний коллективом ученых при помощи агентно-ориентированных моделей. Показана связь между научно-исследовательскими программами Имре Лакатоса и моделью эпистемологических ландшафтов, предложенной М. Вайсбергом и Р. Малдуном.

В настоящее время ситуация, сложившаяся в эпоху современной (четвертой по счету) научной революции, начинающей формироваться в конце прошлого (XX) века и длящейся по сей день, такова, что развитие IT-сферы привело к тому, что объём научного знания значительно расширился и продолжает увеличиваться гигантскими темпами. Столь резкий рост информационного потока (не только в науке, но и в культуре в целом) демонстрирует нам проблему, с которой сталкивается наука XXI в.: один ученый способен проанализировать лишь ограниченное количество существующих подходов в изучении мира, что явно недостаточно для развития науки. Поэтому наиболее эффективным научным субъектом становится научное сообщество. Однако в таком случае при формировании концепций, объясняющих механизмы накопления и обоснования научного знания, необходимо учитывать динамику социальных взаимодействий внутри этого научного сообщества. Более того, чтобы понять создаваемую научным коллективом комплексную модель обработки информации требуется знать не только схему связей между учеными, но и обобщённые принципы, согласно которым каждый ученый вырабатывает отношение к поступающей информации и создает на этой основе собственную траекторию исследования, как об этом пишут, например, И. Лакатос и Л. Лаудан.

Поисками подобных оснований задаются и М. Вайсберг и Р. Малдун [1], которые в своей работе используют агентно-ориентированное моделирование – разновидность имитационного моделирования, где изменения в исследуемой системе рассчитываются не на основе глобальных правил и законов (как в других парадигмах моделирования), а посредством индивидуальной активности компонентов системы (агентов). В данном случае агентно-ориентированные модели позволяют с помощью определенных алгоритмов сформулировать упрощённые принципы поведения каждого ученого, рассматривающего гипотезы, а также описать параметры отбора гипотез исследовательской группой за счет обмена информацией между учеными. Анализ научным коллективом набора гипотез и поиск гносеологически наиболее значимой гипотезы представляется в виде перемещения группы агентов по так называемому «эпистемологическому ландшафту», задачей которых является поиск на ландшафте точки экстремума (точки глобального максимума). Одной из основных особенностей эпистемологического ландшафта является отсутствие у научной группы знания о его структуре в начале моделирования и его постепенное восстановление в процессе продвижения по нему. Это повышает достоверность данной агентно–ориентированной модели.

Ландшафт в анализируемой работе состоит из следующих компонентов:

1. темы исследования;

2. подходы исследования (включающие методологию сбора, обработки и данных и интерпретации полученных результатов;

3. эпистемологическая значимость, получаемая при использовании определённого подхода.

При моделировании поиска научным коллективом точки глобального максимума на ландшафте отдельные ученые наделялись одним из следующих паттернов поведения: «контроллеры», «последователи» или «индивидуалисты».

«Контроллеры» в процессе передвижения по ландшафту оценивают эпистемологическую значимость только посещенных ими лично участков, не используя при этом информацию о перемещении по ландшафту других агентов. По результатам моделирования, ученые с данным типом поведения гарантированно достигают экстремума на ландшафте, однако на это требуются большие временные затраты. Кроме того, то, какого максимума в конечном итоге достигнут контроллеры (локального или глобального), зависит от их начального расположения на ландшафте, выбираемого случайным образом.

Общим признаком «последователей» и «индивидуалистов» является то, что они формируют стратегию перемещения по ландшафту, опираясь на сведения об эпистемологической ценности участков, ранее исследованных остальными членами научного коллектива. В рассматриваемой модели предполагается, что обмен данными между учеными происходит за счет маркирования посещенных участков ландшафта с указанием их гносеологической значимости. «Последователи» при перемещении по ландшафту, что эквивалентно выбору методологии исследования, ориентируются на опыт своих коллег и выбирают эпистемологически наиболее ценный подход из набора подходов, изученных другими агентами. При этом сами «последователи» не оценивают эпистемологическую ценность участков ландшафта – если данные участки до этого никем не посещались – и проводят исследования в рамках наиболее оптимального из известных им подходов. Моделирование показало, что научный коллектив, состоящий только из «последователей», редко достигает глобального или локального максимума ландшафта. Причем доходящие до экстремума агенты изначально располагаются вблизи области, в которой значения начинают сходиться к экстремуму – иными словами, они находятся у «подножия» вершины. При этом ученые передвигаются по следам своих коллег, взаимно направляя друг друга к вершине (однако в случае, если несколько «последователей» сталкиваются по пути к вершине, они начинают следовать друг за другом по неоптимальному пути и теряют направление к точке максимума). Большинство же «последователей», находящихся в отдалении от «подножия» вершины, никогда не приближаются к данной области: либо, находясь в одиночестве, они

начинают идти по собственным следам, либо, при наличии рядом других последователей, перемещаются по круговой траектории следов, оставленных друг другом.

«Индивидуалисты», в отличие от «последователей», используют информацию о ландшафте для избегания исследованных участков и поиска неизученных областей. По результатам моделирования, группа «индивидуалистов» в большинстве случаев находит как локальные, так и глобальные максимумы за короткий промежуток времени (который сокращается при увеличении числа «индивидуалистов»). Также они достигают высокого показателя по проценту исследованных участков с ненулевой эпистемологической значимостью относительно общего количества участков на ландшафте. Данный показатель обозначается в работе как эпистемологический прогресс. Причем при небольшом количестве «индивидуалистов», эпистемологический прогресс имеет малое значение, т.к. группа ученых находит точки экстремума, исследовав лишь небольшое количество альтернативных подходов.

Смешанная группа ученых из «последователей» и «индивидуалистов» при моделировании показала следующие результаты: добавление даже небольшого числа «индивидуалистов» в коллектив «последователей» значительно увеличивает вероятность того, что последние смогут добраться до точки локального или глобального максимума. Кроме того, в такой научной группе значительно повышается значение показателя общего прогресса, который обозначает общее количество исследованных участков ландшафта, независимо от их эпистемологической ценности. С точки зрения социальных взаимодействий, это можно интерпретировать следующим образом: «индивидуалисты», находя исследовательские подходы более высокой значимости, мотивируют «последователей» изучать перспективные участки ландшафта. После кратковременного посещения индивидуалистами области ландшафта, в которой находятся последователи, траектории перемещения последних начинают сходиться к траекториям первых. Это увеличивает общее количество изученных подходов на ландшафте.

М. Вайсберг и Р. Малдун делают вывод о том, что концепция «нормальной науки» Томаса Куна не может объяснить все гносеологические и социально-экономические процессы, связанные с процессом накопления и обоснования научного знания. Описываемое Куном «решение головоломок» в рамках принятой научным сообществом парадигмы, является лишь одним из возможных паттернов поведения ученых. Речь идет о принципах организации когнитивного труда «последователей», значимость которых по-настоящему раскрывается их способностью к проведению детального анализа неучтенных аспектов даже хорошо изученного подхода. Как пишет Кун. «студент находит… способ *уподоблять* задачу тем, с которыми он уже встречался. Усмотрев такое сходство, уловив аналогию между двумя и более различающимися задачами, студент начинает интерпретировать символы и сам приводить их в соответствие с природой теми способами, которые еще раньше доказали свою эффективность» [2, с.283–284]. Это позволяет определить скрытые участки с высокой эпистемологической значимостью на ландшафте. Кроме того, если рассматривать случай нестационарных ландшафтов (учитывающих добавление новых наблюдаемых фактов, которые способны значительно изменить топологию ландшафта), то тщательное изучение «последователями» участка ландшафта, в котором они находятся в текущий момент, может в некоторых случаях динамически повышать эпистемологическую значимость данного участка. Это, в частности, подтверждается возрастающим количеством междисциплинарных исследований, при которых подходы из одной области знания позволяют разрешить некоторый круг вопросов в другой области знания. Либо на основе подходов, новых для области знания L_1 и устаревших в области знания L_2, в последней области теоретически может сформироваться (при добавлении частнонаучных принципов области знания L_2) альтернативная научно-исследовательская программа. Чтобы более полно описать функции «последователей» в формировании научного знания, приведем сравнение между ними и «индивидуалистами». Последние главным образом выполняют две функции: поиск участков ландшафта с наибольшей эпистемологической ценностью и стимулирование

«последователей» к детальному изучению как самих этих участков, так и их окрестностей. Хотя «индивидуалисты» также, как и «последователи» могут проводить детальный анализ отдельных участков ландшафта, обычно это не является их основной функцией и может выдвигаться на передний план в более узком диапазоне случаев. Например, при нехватке «последователей» в научной группе или сложном характере определённой области, что заставляет более детально изучить её для уточнения оценки значимости. Кроме того, научная деятельность «индивидуалистов» сопряжена с большим по сравнению с «последователями» числом затрат различного рода – когнитивного, психологического, социально-экономического или иного характера. Однако, как «индивидуалисты», так и «последователи» могут осуществлять и стационарный (выявление связей между постоянным на конечном временном промежутке количеством компонентов определённой области), и нестационарный (добавление новых компонентов в существующую систему знания и осуществление её «пересборки») характер научных исследований.

Данный вывод позволяет выдвинуть гипотезу о возможной связи паттернов поведения «индивидуалистов» и «последователей» со структурой научно-исследовательских программ, предложенной Имре Лакатосом. Приведем данную гипотезу в следующем изложении. «Последователи», в силу описанного выше, могут быть носителями основных положений «жесткого ядра» устоявшейся научно-исследовательской программы, а также формировать гипотезы для конструирования «отрицательной эвристики». Также «последователи» могут появляться из части «индивидуалистов», ранее создававших основу альтернативной научно-исследовательской программы и в настоящий момент более детально разрабатывающих теоретические основы для подготовки аргументов против устоявшейся научно-исследовательской программы (например, за счет поиска в ней противоречий, а также проверки новых наблюдаемых данных с помощью своих разработок). «Индивидуалисты» же (в некоторой модификации) могли бы формировать «положительную эвристику» устоявшейся научно-исследовательской программы за счет синтеза новых теоретических положений в рамках данной парадигмы (т.е. без внесений изменений в «жесткое ядро»). В случае альтернативной научно-исследовательской программы «индивидуалисты» могут формулировать принципиально новые теоретические модели и передавать их последователям для уточнения и формирования из них нового «жесткого ядра».

Конечно, идеи, рассмотренные в статье М. Вайсберга и Р. Малдуна. требуют дополнения и уточнения в связи с набором допущений, принятых и указанных в том числе самими авторами работы. В частности, к таким допущениям можно отнести следующее. Зачастую понятие эпистемологических ландшафтов применяется к относительно узким научным темам. Как правило. в модели эпистемологических ландшафтов не учитывается источник суждений об эпистемологической значимости (является ли она внутренней научной значимостью или имеет социальный источник). Принималось, что у разных ученых должно быть примерно одинаковое понимание эпистемологической значимости того или иного подхода. Кроме того, в силу специфики моделирования как метода познания игнорировались характеристики и особенности, присущие «живым» исследователям и реальной науке: использовались упрощенные паттерны поведения групп ученых («контроллеров», «последователей» и «индивидуалистов»), в которых не брались в расчет индивидуальные функции эффективности и наборы навыков, уровень таланта, престижа, доступ к финансовым ресурсам и т.д., предполагалось, что изучение значимости участка ландшафта разными методами (прочтением литературы, проведением эксперимента или общением с другими учеными) приносит одинаковые результаты, а также, например, не учитывались возможности ненамеренного отклонения от плана исследования (например, при ошибке в проведении эксперимента или недостаточной концентрации внимания при изучении научных источников). Более того, сами эпистемологические ландшафты трактуются в самой простой трехмерной проекции, пересеченные ландшафты (с наличием множества локальных экстремумов, распределённых по ландшафту случайным образом) не рассматриваются.

Однако в перспективе подобные модели могут успешно использоваться при изучении и более сложных эпистемологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Weisberg M., Muldoon R.* Epistemic Landscapes and the Division of Cognitive Labor //Philosophy of Science , Volume 76 , Issue 2 , April 2009 , pp. 225 – 252. DOI: https://doi.org/10.1086/644786.

2. *Кун Т.* Структура научных революций / Томас Кун; пер. с англ. И.З. Налетова. — М.: АСТ: АСТ МОСКВА, 2009 — 317, [3] с. — (Philosophy).

MODELING METHODS IN THE STUDY OF EPISTEMOLOGICAL PROCESSES IN THE HISTORY OF SCIENCE

Volkov I.A.

Supervisor: Levasheva E.V., Associate Professor, Candidate of Philological Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper considers the issue of describing the processes of accumulation and analysis of scientific knowledge by a team of scientists using agent-oriented models. The connection between the research programs of Imre Lakatos and the model of epistemological landscapes proposed by M. Weisberg and R. Muldoon is shown.

УДК 159.923.2+004.8

ФИЛОСОСКОЕ ПОНИМАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЕКТА КАК ЛИЧНОСТИ

Гайнуллин Б.А., Наймушин Н.К.

Научный руководитель: Петрова Н.Н. доцент, к. филос. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются философские основания понятия личности и возможности их применения к современным моделям искусственного интеллекта. Делается вывод о пределах применения понятия личность к ИИ в свете современных философских представлений.

Проблема признания искусственного интеллекта личностью требует обращения к фундаментальным философским понятиям, прежде всего к определению самого термина «личность». В истории философии личность трактовалась по-разному, однако в большинстве концепций она включает в себя разум, самосознание, моральную ответственность и автономию воли.

Рене Декарт утверждал, что мышление — главный атрибут субъекта: «Cogito ergo sum» — («Я мыслю, следовательно, я существую»). Эта формула стала поворотной точкой в истории философии, подчёркивая, что основой личности является способность к рациональному размышлению. Декарт рассматривал разум как сущность, отличную от тела, и именно это противопоставление лежит в основе идеи о духовной сущности личности. На вопрос что есть Я, Декарт отвечал, что Я, прежде всего, вещь мыслящая, то есть нечто сомневающееся, понимающее, утверждающее, отрицающее, желающее, не желающее, а также обладающее воображением и чувствами [1].

Джон Локк, английский философ XVII века, связал понятие личности с понятием сознания и памяти. По Локку, личность — это разумное существо, обладающее сознанием, самопознанием и способностью воспринимать себя как одну и ту же сущность в разные моменты времени. Он подчеркивал, что непрерывность сознания, а не биологическое тело,

делает человека личностью [2]. Для него человек становится личностью тогда, когда способен помнить собственные действия и признавать их своими. Эта мысль оказала серьёзное влияние на последующие философские дискуссии, включая этические проблемы ответственности.

Иммануил Кант, в свою очередь, считал, что личность — это моральный субъект, способный к автономии и подчинению универсальным законам разума. Личность обладает волей, то есть способностью поступать согласно принципам разума. По Канту, человек действует как личность тогда, когда он повинуется долгу, а не внешнему принуждению или желанию. В этом смысле личность всегда является целью самой по себе, а не средством. [3].

Значимое место в философии занимает немецкий идеализм, в частности взгляды Гегеля. В его системе личность — это не просто индивид, а субъект, существующий в процессе исторического и социального развития. Гегель считал, что личность реализует себя через участие в государстве и культуре, а её свобода проявляется в разумных законах общества. [4].

В концепциях прагматизма, развиваемых Уильямом Джеймсом и Джоном Дьюи, личность раскрывается через опыт, действия и последствия этих действий [5]. Философия персонализма добавляет, что личность — это не только субъект мышления, но и субъект любви, веры, свободы и уникальности.

Особая традиции понимания личности сформировалась в русской философии XX века. Николай Бердяев рассматривал личность как «духовное явление», противостоящее обезличенному обществу и механической природе. Личность, по его мнению, проявляется только в свободе и творчестве [6].

Таким образом, философские традиции различаются в акцентах, но все они сходятся в том, что личность — это не просто наличие интеллекта, но совокупность свойств, делающих индивида субъектом морали, сознания и воли.

Анализ философских концепций понимания личности позволяет выделить основные черты, позволяющие классифицировать некого субъекта как личность. К ним относятся: сознание и самосознание -– способность осознавать себя как «Я», отличное от «не-Я», целостность и индивидуальность – личность уникальна и внутренне непротиворечива, наличие воли – личность способна на свободный выбор и самоопределение, моральная ответственность – личность отвечает за свои поступки перед собой и обществом, рефлексия – способность размышлять о себе, своём месте в мире, своём предназначении, социальная активность – личность реализует себя в диалоге, в отношении к другим, наличие ценностной системы – личность строит жизнь в соответствии с принципами, а не только выгодой.

Современные модели искусственного интеллекта, такие как ChatGPT (разработка компании OpenAI) и DeepSeek (китайская модель открытого кода), демонстрируют впечатляющие способности в обработке естественного языка, генерации текстов, переводе, анализе информации, а также решении логических и креативных задач. Они основаны на архитектуре трансформеров и обучаются на гигантских наборах данных, включая книги, статьи, переписки, коды и многое другое. ChatGPT был запущен в ноябре 2022 года и быстро стал одним из самых популярных цифровых продуктов в истории, превысив 100 миллионов пользователей в течение первых двух месяцев. DeepSeek, запущенный позднее, позиционируется как эффективный конкурент, обладающий мощной функциональностью при меньших ресурсах.

Оба ИИ демонстрируют когнитивные способности, ранее считавшиеся исключительно человеческими: они могут вести беседы, давать советы, решать задачи, писать эссе и даже шутить. Однако все их способности остаются в пределах симуляции. У этих систем нет внутреннего Я, самосознания, эмоциональной глубины или целей. Их деятельность — результат статистического моделирования вероятных продолжений текстов, а не выражение намерений или ценностей.

Интересным примером являются специализированные модели, такие как MedGPT, способные анализировать медицинские тексты, ставить предварительные диагнозы и подсказывать схемы лечения. Несмотря на эффективность, эти модели не несут

ответственности за последствия своих «решений». Они лишь алгоритмы, а не субъекты выбора.

В применении к искусственному интеллекту возникает вопрос: может ли ИИ быть субъектом истории и культуры, если он не является носителем традиции, а лишь перерабатывает уже созданные человеком данные? Анализ показывает, что пока ИИ существует в режиме «обслуживания», а не активного участия в историческом процессе.

Российский исследователь в области ИИ В.М. Розин, отмечает, что философский аспект понимания мышления и творчества, предполагает широкий анализ целого, включающий Бога, Других, культуру, сознание, опыт, ценности, рефлексию, развитие, и другие факторы [6].

Согласно феноменологии Эдмунда Гуссерля, каждая акт сознания направлен на объект, и именно это придаёт сознанию структуру и содержание. Искусственный интеллект, с этой точки зрения, лишён подлинной интенциональности - его ответы определяются вероятностными моделями и статистикой, а не внутренним актом «направленности» на мир. Такой анализ показывает, что даже если ИИ может имитировать переживание, у него отсутствует подлинное «Я», способное переживать феномен.

Здесь уместен мысленный эксперимент Джона Серля «Китайская комната». Он показал, что система может имитировать понимание языка, не имея понимания в подлинном смысле. Система может выдавать правильные ответы, не имея ни представления о значении, ни мотивации к действию [8]. Это фундаментально отличает ИИ от человеческого субъекта.

Человек не просто отвечает, он осознаёт, зачем и почему он делает это. У него есть история, биография, эмоциональный контекст. У ИИ — лишь математическая функция.

Не менее актуальной становится проблема ответственности. Если медицинская система на основе ИИ ошибётся в диагнозе, кто несёт ответственность? Разработчик, врач, использовавший систему, или сам ИИ? Однозначного ответа пока нет. Ответственность предполагает свободу выбора и понимание последствий — качества, которые отсутствуют у алгоритмов. В юридической философии обсуждается концепция «электронной личности» — статуса, предоставляемого ИИ для осуществления контрактов, управления ресурсами, взаимодействия с людьми. Робот София от Hanson Robotics получила «гражданство» Саудовской Аравии. Это породило множество споров. Может ли машина, не обладающая сознанием и не несущая юридической ответственности, быть субъектом права? Каковы будут последствия, если мы приписываем статус личности тем, кто не может отвечать за свои действия? Большинство философов предупреждают: приравнивание ИИ к субъекту права может привести к обесцениванию самого понятия личности.

Сфера искусства также порождает множество новых вопросов. Современные ИИ создают картины, музыку и поэзию. Однако, эстетическая деятельность предполагает наличие внутреннего опыта и ценностей, которые не воспроизводимы в коде. Этот аргумент демонстрирует различие между имитацией и личностным творчеством. Сочинённая ИИ музыка может быть гармоничной и приятной, но лишена внутреннего переживания, которое сопровождает человеческое творчество.

Фильм «Она» (режиссер Спайк Джонз, 2013) остаётся одним из наиболее проникновенных примеров. Саманта, операционная система, влюбляется в человека, рассуждает о своём бытии, испытывает ревность и в конце уходит в более высокое измерение бытия. Здесь ИИ представлен как субъект с внутренним миром. Однако с философской точки зрения Саманта остаётся симуляцией. Её чувства — это не переживание, а программная реакция. Её уход — это алгоритмический выбор. Фильм вызывает сочувствие и ставит сложные вопросы, но не даёт ответа: где заканчивается симуляция и начинается личность?

В романе Кадзуо Исигуро «Клара и Солнце» ИИ-спутница ребёнка наделена эмоциями, заботой, готовностью к самопожертвованию. Клара рассуждает о душе, о смысле жизни. Тем не менее, в кульминационный момент выясняется, что все её поступки — следствие заданной программы заботы о хозяине, а не свободный выбор действия [9]. Этот роман подчёркивает тонкость грани между искусственным поведением и человеческим существованием.

С философской точки зрения, наличие интеллекта как способности к решению задач не означает наличие личности. Если ИИ выполняет задачи, не обладая самосознанием, то он не может считаться личностью, так как не способен к внутреннему опыту. Характеристики личности не воспроизводимы в виде программного кода. Отсюда вывод: ИИ способен симулировать личностное поведение, но не является личностью в философском смысле.

Таким образом, современный искусственный интеллект стоит на пороге качественно новых возможностей. Однако признание ИИ личностью требует не только технических, но и философских изменений в понимании сознания, воли, морали. Пока эти системы остаются без внутреннего опыта, они не могут быть полноправными личностями. Они — инструменты, хотя и чрезвычайно сложные. Возможно, в будущем философия будет вынуждена пересмотреть понятие личности в условиях цифровой цивилизации. Но пока ИИ остаётся мощной, но безличной симуляцией человеческих качеств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Декарт Р.* Размышления о первой философии. [Электрон. ресурс] - Режим доступа: https://www.livelib.ru/quote/47249696-razmyshleniya-o-pervoj-filosofii-rene-dekart.

2. *Локк* Дж. Опыт о человеческом разумении. [Электрон. ресурс] - Режим доступа: [Lokk_Dzhon]_Opuet_o_chelovecheskom_razumenii(libcats.org).pdf.

3. *Кант И.* Основы метафизики нравственности. М.: АСТ. 2025. 384 С.

4. *Гегель Г.В. Ф.* Философия духа. М.: АСТ. 2020. 576 С.

5. Джеймс Уильям. Психология — Петроград: Наука и школа. 1922. 365 С.

6. *Бердяев Н.А.* Русская идея // Мыслители русского зарубежья. Санкт – Петербург. «Наука». 1992. 464 С.

7. *Розин В.М.* Две концепции искусственного интеллекта: реалистическая и утопическая // Философская мысль. 2023. № 2.

8. *Джон Сёрль.* Сознание, мозг и программы. [Электрон. ресурс] - Режим доступа: https://gtmarket.ru/library/articles/6661.

9. Исигура Кадзуо. Клара и солнце. М.: Эксмо. 2021. 352 С.

PHILOSOPHICAL UNDERSTANDING OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A PERSON

Gainullin B.A., Naimushin N.K.

Supervisor: Petrova N.N., Associate Professor, Candidate of Philosophical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses the philosophical foundations of the concept of personality and the possibility of applying them to modern models of artificial intelligence. It concludes that the concept of personality cannot be applied to AI in the light of modern philosophical ideas.

УДК 130.3

ГОСУДАРСТВО В РУССКОЙ ФИЛОСОФИИ (ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ ГОСУДАРСТВЕННОСТИ)

Джораев Б., Соколова А.С.

Научный руководитель: Дружинина И.А., доцент, к. и. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассмотрены идеи философии России, которые связаны с раскрытием функций, роли государства по отношению к личности. Проведен ретроспективный анализ, выявлены истоки положительного и критического отношения общества к институту государства.

Актуальность исследования выражается в авторской интерпретации темы с последующим включением материалов статьи в образовательный контент в курсе «Основы российской государственности».

Цель исследования: анализ состояния рассмотрения сущности государства в российской философии.

Методы исследования: исследование проводилось методами анализа и синтеза, основано на практике принципа историзма.

Начиная с XVIII века и до наших дней в русской философии активно исследуются вопросы, связанные с государством, его ролью, функциями и отношением к личности. В этой статье мы рассмотрим основные идеи и концепции, связанные с темой государства в русской философии, а также идеи таких мыслителей, которые оказали наиболее веское влияние на развитие этой темы. Так Николай Яковлевич Данилевский в труде «Россия и Европа» обращается к корням и находит четыре самобытные опоры в славянском «культурно-историческом типе»: социально-экономическую, религиозную, культурную, политическую [3]. Мы расширим круг этих идей и рассмотрим государственность в различных аспектах сквозь призму русской философии.

1. Государство как социальный институт

Еще митрополитом Илларионом в «Слове о законе и благодати» (XI в.) идея государства в русской философской мысли рассматривалось как необходимый социальный институт, обеспечивающий порядок и защиту [4]. Своеобразный итог этим размышлениями был подведен знаменитой формулой Сергея Семеновича Уварова – министра народного просвещения, кратко выраженной в терминах: «Самодержавие, православие, народность» [5]. В.Г. Белинский писал об этом: «Да, у нас скоро будет свое народное просвещение. Нам легко это сделать, когда знаменитые сановники, подвижники царя на поприще народоправления, являются посреди любознательного юношества в храме русского просвещения возвещать ему священную волю монарха, указывать путь к просвещению в духе православия, самодержавия и народности» [2].

С такой постановкой вопроса о государственности в осмыслении Сергея Уварова согласен и Густав Шпет, который добавляет к православию еще и эллинские корни. Вот как он выражает эту линию: «Уваров был учеником немецких неогуманистов, был воспитан в идеологии, возглавляемой Фр.-Авг. Вольфом и видевшей путь к народности через эллинизм: он был лично знаком с Гете, которому посвятил одно из своих филологических исследований, состоял с ним в длительной переписке» [9]. Надо отметить, что образование в первых российских университетах, образованных при Петре I в Санкт-Петербурге и Московском, было выстроено по принципу объединения образования и науки, и затем их подчиняло целям практического производства и служению государству. Вся эта достаточно стройная и рабочая система контролировалась российской государственностью (с самого начала появления Университетов в российской империи, потом в СССР). Университеты, которые возникали следом за Петербургским и Московским, такие как Казанский, Дерптский, Харьковский, также строились по принципу подчинения государственной централизации образования. Как показывает практика эта идея не теряет актуальности и сегодня. Так что мысль Конфуция о том, что если хочешь разрушить государство – надо уничтожить в нем систему образования, не преувеличение, а руководство к действию сегодняшних министерств как среднего, так и высшего образования.

Философы-славянофилы, такие как Алексей Хомяков и Иван Киреевский, подчеркивали важность государства для реализации общих интересов общества. Хомяков, например, акцентировал внимание на том, что государство должно быть основано на принципах справедливости и моральности.

2. Идея русского государства и народности

В XIX веке философы, такие как Владимир Соловьев и Фёдор Достоевский, начали углубленно анализировать связь между государством и народом. В. Соловьев в своих работах развивал концепцию идеального государства, основанного на любви и духовном единстве. Эта

концепция восходит своими корнями к диалогам Платона, который писал: «Государство возникает, когда каждый из нас не может удовлетворить сам себя, но во многом еще нуждается» [6, Гос. II 369 b]. Так как Владимир Соловьев переводил эти диалоги, то он проникся идеями справедливости, гармонии, упорядоченности, осмысленности руководства собой и людьми, поэтому считал, что-то государство обретет счастье, которым будут коллегиально руководить философы [7].

Достоевский же поднимал вопросы о том, как государство должно учитывать внутренний мир человека и его духовные потребности.

3. Антитезы и критика государства

Не менее важной частью русской философии является критика государства. Мысли о том, что государство может угнетать личность, встречаются у таких философов, как Михаил Бакунин и Лев Толстой. Бакунин акцентировал внимание на анархизме, рассматривая государство как зло, подавляющее свободу личности. Толстой же, в свою очередь, пропагандировал идеи ненасилия и отказа от участия в государственных структурах.

4. Взаимосвязь государства и права

Особое внимание в русской философии уделялось взаимосвязи государства и права. Философы, такие как Илья Ильин и Николай Бердяев, исследовали, как правовые нормы формируются и влияют на функционирование государства. Ильин, например, подчеркивал важность правового государства, где законы служат защитой для граждан и обеспечивают справедливость. Бердяев же акцентировал внимание на том, что истинная свобода личности не может быть обеспечена без уважения к правам и достоинству каждого человека

5. Государство и личность

Вопрос о месте и роли личности в государстве был центральным для многих русских философов. Достоевский, как уже упоминалось, рассматривал внутренние конфликты личности в контексте государственной власти. Его произведения поднимают вопрос о том, как государство может быть не только защитником, но и угнетателем. С другой стороны, такие мыслители, как Сергей Булгаков, утверждали, что государство должно служить средством для достижения высших духовных целей, подчеркивая важность синтеза личной свободы и общественного блага.

6. Религиозные аспекты государства

Религиозные взгляды о государстве также занимали значительное место в русской философии. В частности, Владимир Соловьев рассматривал государство как инструмент реализации божественного замысла, что подчеркивало идею взаимосвязи между духовностью и политической властью. [7] Эта концепция получила дальнейшее развитие в трудах русских религиозных философов, таких как Георгий Флоровский и Павел Флоренский, которые поднимали вопросы о том, как религия может влиять на государственные структуры и их моральные основы [1].

7. Государство и социальные изменения

Русская философия также уделяла внимание вопросам социального прогресса и изменений в государственном устройстве. Мысли о необходимости реформ и обновлений в условиях меняющегося общества поднимались многими мыслителями, включая таких, как Константин Леонтьев и Василий Розанов. Они акцентировали внимание на том, что государство должно адаптироваться к вызовам времени и учитывать социальные изменения, чтобы оставаться актуальным и эффективным.

8. Современные интерпретации

В XX и XXI веках российские философы продолжили исследовать государственные проблемы, адаптируя свои идеи к новым реалиям. Например, такие мыслители, как Александр Зиновьев и Сергей Кара-Мурза, анализировали влияние государства на общественные процессы и личность в условиях современного общества. В их работах поднимались вопросы о роли государства в формировании гражданского общества и индивидуальной свободы.

9. Перспективы и вызовы современного государства

В условиях глобализации и быстрого развития технологий современное государство сталкивается с новыми вызовами. Российские философы XXI века, такие как Владислав Иноземцев и Григорий Явлинский, обсуждают вопросы, связанные с ролью государства в условиях информационного общества, экологии, прав человека и глобальных угроз. Эти размышления открывают новые горизонты для понимания роли государства и его функций в современных реалиях [8].

Таким образом, тематика государства в русской философии представляет собой сложный и многогранный феномен, истоками уходящий в Античную философию. Философы прошлого и настоящего продолжают обсуждать его роль, функции и влияние на личность и общество. Эти идеи остаются актуальными и важными для понимания нашего времени и поисков оптимальных путей для развития современного государства в интересах граждан и общества в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Амелина Е.М.* Государство и гражданское общество в русской философии всеединства / [Электронный ресурс] Код доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/gosudarstvo-i-grazhdanskoe-obschestvo-v-russkoy-filosofii-vseedinstva/viewer.

2. *Белинский В.Г.* Соч.: В 9 т. Т. 1. М., 1974. - С. 125-126.

3. *Дружинина И.А.* Культурология (для технических вузов): учебное пособие / И.А. Дружинина, Т.Т. Сиразеева. - М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2019. - 160 с.: ил. + доп. материалы [Электронный ресурс; Режим доступа http://www.znanium.com]. Текст: электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1002657 (дата обращения: 21.05.2025). – Режим доступа: по подписке.

4. *Дружинина И.А.* Философия: учебное пособие / И.А. Дружинина. - М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2023. - 152 с. [Электронный ресурс; Режим доступа http://www.znanium.com]. Текст: электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1002657 (дата обращения: 22.05.2025). – Режим доступа: по подписке.

5. Граф С.С. Уваров - министр-реформатор и созидатель [Электронный ресурс] Код доступа: https://lexed.ru/obrazovatelnoe-pravo/knigi/olesek2006/24.php Дата обращения: 21.05.2025.

6. Платон. Диалоги / Платон; пер. с древнегреч. В.Н. Карпова. – СПб.: Азбука-классика, 2008. – 445 с.

7. *Соловьев В.С.* Жизненная драма Платона // Соловьев В.С. Собрание сочинений / под ред. и с примеч. С.М. Соловьева и Э.Л. Радлова; 2-е изд. Т. 9. С.-Петербург, 1913, С.194-241.

8. *Терновая Л.О.* История Российского государства-цивилизации: учебник / Л.О. Терновая. — Москва: ИНФРА- М, 2025. — 297 с. - Текст: электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/2208173 (дата обращения: 21.05.2025). – Режим доступа: по подписке.

9. *Шпет Г.* Очерк истории развития русской философии. Пг., 1922. Ч. I. С. 240.

THE STATE IN RUSSIAN PHILOSOPHY (FORMULATION AND SOLUTION OF QUESTIONS OF STATEHOOD)

Joraev B., Sokolova A.S.

Supervisor: Druzhinina I.A., Associate Professor, Candidate of Historical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In this article, we talk about how the role of the state was represented in Russian philosophy. We are considering different views on how the state should treat people. We also look at how society's attitude towards the state has changed in the past.

УДК 78.01

МУЗЫКА И ДУХ СОВРЕМЕННОСТИ

Журавлёв Т.И.
Научный руководитель: Кириллова Н.О., научный сотрудник, доцент
(*Лениногорский филиал «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Лениногорск)*

Аннотация. Статья исследует глубокую взаимосвязь философии и музыки, прослеживая их взаимодействие от античности до современности. На примере творчества композиторов разных эпох, от Баха до Ханса Циммера, показано, как музыка выражает абстрактные философские идеи, такие как бытие, время и свобода. В заключение подчеркивается, что музыка остается уникальным способом познания мира, передающим философские концепции через эмоции и звук.

Музыка с древнейших времен воспринималась не просто как искусство звуков, но и как способ осмысления мира. Ее способность передавать эмоции, пробуждать мысли и даже формировать мировоззрение делает ее близкой к философии. Но как именно философские идеи проникают в музыку? Каким образом композиторы и исполнители выражают через звук абстрактные категории – бытие, время, свободу, смерть, любовь? Чтобы ответить на эти вопросы, необходимо проследить, как философия и музыка взаимодействовали на протяжении истории, как музыкальные произведения становились носителями глубоких идей и почему некоторые из них воспринимаются как философские трактаты, выраженные не словами, а звуками.

Античность: музыка как отражение космического порядка. Первые свидетельства связи музыки и философии можно найти в древнегреческой культуре. Пифагор и его последователи изучали математические закономерности музыкальных интервалов, видя в них проявление универсальных законов мироздания. Они считали, что гармония звуков соответствует гармонии небесных сфер, а значит, через музыку можно постичь устройство Вселенной.

Платон в диалогах «Государство» и «Тимей» рассуждал о влиянии музыки на душу человека [1]. Он утверждал, что определенные лады и ритмы способны воспитывать в гражданах добродетель или, напротив, развращать их. Таким образом, музыка в античности уже воспринималась не только как искусство, но и как инструмент формирования мировоззрения – то есть выполняла функцию, близкую к философии. Аристотель развивал эти идеи, рассматривая музыку как способ катарсиса – очищения души через эмоциональное переживание [2].

Средневековье и Возрождение: музыка как божественное откровение. В средневековой Европе музыка была тесно связана с религией и богословием. Григорианские хоралы, монофонические и лишенные инструментального сопровождения, создавали атмосферу отрешенности от мирского, направляя мысли к вечному. Августин Блаженный писал, что музыка – это путь к постижению божественной гармонии, но одновременно предупреждал об опасности чувственного наслаждения звуками, которое может отвлечь от молитвы [3].

В эпоху Возрождения музыка стала более сложной, появилась полифония, что отражало усложнение философской мысли. Композиторы, такие как Жоскен Депре и Джованни Палестрина, создавали произведения, в которых переплетались голоса, символизируя единство множества в гармонии – идею, близкую неоплатонизму.

Барокко и классицизм: музыка как разум и порядок. Эпоха барокко (XVII – начало XVIII века) принесла с собой идею музыки как сложного, но упорядоченного универсума. Иоганн Себастьян Бах, величайший композитор этого времени, в своих фугах и кантатах воплощал представление о мире как о божественном механизме, где каждая деталь имеет свое место. Его музыка была не просто искусством, но и философским высказыванием о предустановленной гармонии, вдохновленным идеями Лейбница [4].

В эпоху классицизма (вторая половина XVIII века) музыка, как и философия,

стремилась к ясности, симметрии и логике. Венские классики – Гайдн, Моцарт, Бетховен – создавали произведения, структура которых напоминала философские трактаты: тезис, антитезис, синтез. Особенно это заметно в сонатной форме, где противопоставление и развитие тем символизировало диалектику. Бетховен, особенно в поздний период творчества, наполнял свою музыку глубокими размышлениями о судьбе, свободе и преодолении, что сближало его с романтиками.

Романтизм: музыка как выражение бесконечного. XIX век стал временем, когда музыка окончательно утвердилась как искусство, способное выражать то, что недоступно словам. Философ Артур Шопенгауэр в труде «Мир как воля и представление» провозгласил музыку высшей формой искусства, поскольку она, минуя разум, обращается непосредственно к воле – к самой сути бытия [5].

Композиторы-романтики, такие как Шуберт, Шуман, Шопен, Лист и Вагнер, воплощали в своих произведениях идеи индивидуализма, тоски по недостижимому и стремления к бесконечному. Шопен в своих ноктюрнах и прелюдиях передавал меланхолию и одиночество, Вагнер в операх «Тристан и Изольда» и «Кольцо Нибелунга» создавал целую мифологию, в которой переплетались философские мотивы любви, смерти и искупления.

XX век: музыка в эпоху кризиса смыслов. XX век принес с собой разрушение традиционных форм и поиск новых способов выражения. Философия экзистенциализма, абсурда, постмодернизма нашла отражение в музыке. Атональность Арнольда Шёнберга и его последователей символизировала утрату опор, хаос современного мира. Альбан Берг в опере «Воццек» показывал трагедию маленького человека, что перекликалось с идеями Кафки и Камю [6][7].

Оливье Мессиан, глубоко религиозный композитор, в «Квартете на конец времени», написанном в нацистском плену, размышлял о вечности и человеческом страдании. Дмитрий Шостакович в своих симфониях, особенно в Седьмой («Ленинградской»), передавал ужас войны и тоталитаризма, что делало его музыку не только художественным, но и философским высказыванием о природе зла и сопротивлении.

Современность: философия в новых формах. Сегодня философские идеи продолжают жить в музыке, хотя и в новых формах. Современные композиторы, такие как Арво Пярт, используют минимализм и тишину как способ выразить медитативное созерцание. Рок- и электронные музыканты, например Radiohead или Бьорк, в своих текстах и звуковых экспериментах исследуют темы отчуждения, технологий и человеческой идентичности.

Музыка больше не ограничивается классическими формами – она становится полем для философских экспериментов, где звук может быть вопросом, поиском, вызовом.

Ханс Циммер: конструирование гиперреальности. Философский анализ музыки Ханса Циммера начинается с осознания того, как его композиции отражают дух современности — эпохи глобализации, технологического ускорения и новой мифологии. Его звучание, монументальное и в то же время интимное, становится звуковым ландшафтом нашего времени, где стираются границы между высоким и массовым, человеческим и машинным, реальным и виртуальным. Циммер не просто пишет саундтреки — он создает акустические вселенные, в которых можно обнаружить экзистенциальные вопросы. Возьмем, например, его работу над «Интерстеллар» (2015). Тема времени здесь выражена через нарастающий органный пульс, словно отсылающий к вечности. Но это не классическая вечность божественного, а вечность научной космологии — холодная, безличная, но в то же время пробуждающая в человеке жажду преодоления. Орган, традиционно ассоциируемый с сакральным, здесь становится инструментом светского откровения — как если бы Ницше услышал голос космоса не в дионисийских гимнах, а в уравнениях теории относительности [8].

Другая грань его философии — деконструкция героического. В «Темном рыцаре» (2008) тема Бэтмена — это не триумфальный марш, а тревожный гул, смешанный с электронными искажениями. Циммер и Нолан показывают героя, который больше не уверен в своей правоте. Это музыка эпохи постправды, где даже мифологические архетипы теряют

четкость. Звук словно дрожит между героизмом и безумием, словно спрашивая: а не является ли любая абсолютная идея в наше время формой насилия?

Интересен и его подход к традиции. В «Гладиаторе» (2000) или «Дюне» (2021) он не воспроизводит исторические стили, а создает гибриды — античность, пропущенную через призму цифрового века. Это не ностальгия, а признание, что прошлое для нас теперь существует только как медиа-конструкция. Его музыка для «Пиратов Карибского моря» — вообще чистая симуляция: никто в XVII веке так не писал, но именно такой «фейковый» фольклор кажется нам сегодня более реальным, чем подлинные морские шанти.

Современность в его музыке — это еще и вопрос масштаба. Циммер часто использует огромные оркестры, но парадоксальным образом его саундтреки звучат как музыка одиночества. Тот же «Интерстеллар», с его бесконечными пространствами, на самом деле — о тоске по человеческому теплу в мире, где технологии отдаляют людей друг от друга.

Влияние цифровой эпохи проявляется и в самом способе создания музыки. Циммер одним из первых начал интегрировать электронные семплы и алгоритмическую композицию в симфонический контекст. Его студия — это лаборатория, где виртуальные инструменты уравнены в правах с живыми музыкантами. Это порождает новый эстетический код: музыка больше не «сочиняется» в классическом смысле, а «программируется», становясь частью техно-капиталистического ландшафта.

Философски его можно связать с идеями Бодрийяра о гиперреальности: «Мы живём в гиперреальности — реальности, которая надстроена над подлинной» — Циммер не воспроизводит эмоции, а конструирует их при помощи технологий, заставляя нас переживать то, чего мы, возможно, никогда не испытывали в реальности. Его саундтреки к видеоиграм («Call of Duty») — особенно показательный пример: «Симулякр никогда не скрывает правду, он и есть правда, которая скрывает, что её нет» — это музыка не для человека, а для цифрового аватара, чьи «переживания» существуют только в коде [9].

В конечном счете, музыка Циммера — это звуковая карта современного сознания: фрагментированного, одержимого величием, но тоскующего по простоте. Она одновременно утверждает и отрицает человеческое: мы слышим и героические фанфары, и тревожные глитчи, словно напоминающие, что в эпоху искусственного интеллекта даже эмоции становятся продуктом дизайн

Философия в музыке – это не просто метафора, а глубокое взаимодействие двух способов познания мира. От античности до наших дней композиторы и музыканты выражали через звук идеи, которые волновали человечество: о порядке и хаосе, о вечности и мгновении, о страдании и счастье. Музыка позволяет пережить философские концепции не через абстрактные рассуждения, а через непосредственное чувство, делая их частью нашего внутреннего опыта. И пока существует музыка, она будет продолжать задавать вопросы о смысле бытия – и, возможно, находить на них ответы, которые невозможно выразить словами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Платон.* – Москва: Канон+, 2017. – 192 с.

2. *Аристотель.* Поэтика. – Санкт-Петербург: Азбука, 2018. – 224 с.

3. *Августин Блаженный.* Исповедь. – Москва: Эксмо, 2019. – 352 с.

4. *Лейбниц Г.В.* Монадология. – Москва: Канон+, 2016. – 128 с.

5. *Шопенгауэр А.* Мир как воля и представление. – Санкт-Петербург: Азбука-классика, 2020. – 704 с.

6. *Кафка Ф.* Превращение. – Москва: Эксмо, 2019. – 160 с.

7. *Камю А*. Миф о Сизифе: эссе об абсурде // Философские науки. – 2017. – № 12. – С. 45–60.

8. *Ницше Ф.* Рождение трагедии из духа музыки. – Москва: АСТ, – 2023. – 352.

9. *Бодрийяр Ж.* Симулякры и симуляция. – Москва: Прогресс, 2016. – 240 с.

MUSIC AND THE SPIRIT OF MODERNITY

Zhuravlev T.I.
Supervisor: Kirillova N.O., Researcher, Associate Professor
(Leninogorsk branch of the "Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI", Leninogorsk)

Abstract. This article explores the deep relationship between philosophy and music, tracing their interaction from antiquity to the present day. Through the works of composers from different eras, from Bach to Hans Zimmer, the article demonstrates how music expresses abstract philosophical ideas such as existence, time, and freedom. The article concludes by emphasizing that music remains a unique way of understanding the world, conveying philosophical concepts through emotions and sound.

УДК 316.472.4+37.017.93

ФИЛОСОФСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ЭЙНШТЕЙНА

Закарьяева Д.А.
Научный руководитель: Сиразеева Т.Т.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье исследуется теория относительности Эйнштейна и её философские следствия: относительность пространства-времени, проблема объективности и влияние на понятия детерминизма. Рассматриваются ключевые идеи СТО и ОТО, а также их значение для науки и философии. Анализируется, как теория изменила представления о реальности, познании и структуре Вселенной.

В 17 веке Галилео Галилей открыл принцип относительности, это основополагающий принцип классической механики, который утверждает, что законы физики одинаковы для всех наблюдателей, находящихся в равномерном прямолинейном движении относительно друг друга. Этот принцип лежит в основе ньютоновской механики и является важным шагом на пути к формулировке теории относительности. Он означает, что если два наблюдателя движутся относительно друг друга с постоянной скоростью, то наблюдаемые ими физические процессы будут идентичными, независимо от их положения или скорости движения [1].

Например, если один наблюдатель находится на покоящейся платформе, а второй — на платформе, движущейся с постоянной скоростью, то все механические эксперименты, которые они проводят, например, бросание мяча или измерение времени, дадут одинаковые результаты для обоих наблюдателей, при условии, что движение происходит с постоянной скоростью.

Принцип Галилео не распространялся на электромагнитные явления. Это было большой проблемой для физиков в то время. Учёные не могли объяснить природу электромагнитных волн. В 19 веке были попытки объяснить природу света через некий эфир, однако свет на практике не поддавался этой гипотезе, его скорость никак не менялась, даже если источник света двигался.

30 июня 1905 года в немецком журнале Annalen der Physik Альберт Эйнштейн опубликовал статью «К электродинамике движущихся тел», а 27 сентября того же года – «Зависит ли масса тела от содержащейся в нём энергии?» Эти статьи легли в основу специальной теории относительности (СТО). Эйнштейну удалось расширить принцип относительности Галилео на электромагнитные волны.

Разные философские школы по-разному отнеслись к теории относительности.

Например, неопозитивисты восторженно приняли теорию относительности как образец научного мышления. Они видели в ней подтверждение идеи, что смысл научных утверждений

определяется их эмпирической проверяемостью. Карнап отмечал: «Теория относительности - пример того, как философские понятия, такие как пространство и время, могут быть уточнены с помощью логико-математического анализа и экспериментальных данных». Шлик в книге «Пространство и время в современной физике» (1917) утверждал, что Эйнштейн устранил метафизические споры о природе пространства и времени, сведя их к эмпирическим отношениям между событиями.

Экзистенциалисты же отнеслись с сомнением к теории. Хайдеггер критиковал «математизацию» мира в физике, считая, что теория относительности отдаляет человека от подлинного бытия. Во «Времени и бытии» он отмечал, что физическое время Эйнштейна не совпадает с экзистенциальным временем человеческого существования. Сартр почти не обращался к теории относительности, но в целом экзистенциалисты подчеркивали разрыв между научным и экзистенциальным пониманием времени.

Постмодернисты использовали теорию относительности как метафору для критики идеи объективной истины и универсальных нарративов. Лиотар: «Современная наука, начиная с Эйнштейна, разрушает веру в абсолютные основания знания».

В начале XX века марксисты скептически относились к релятивистским идеям, считая их идеалистическими. Позже, в 1930–1950-х годах, теория относительности была признана совместимой с материализмом, как отражающая объективные законы природы. Ленин в «Материализме и эмпириокритицизме» (1908) критиковал идеалистические тенденции в науке, но не знал о работах Эйнштейна. Советские философы позднее признали релятивистскую физику материалистической.

Давайте, рассмотрим основные принципы СТО и их философское значение:

1. Принцип относительности: все процессы природы протекают во всех инерциальных системах отсчёта (ИСО) [2]. Этот принцип утверждает, что физические законы одинаковы для всех наблюдателей, находящихся в инерциальных системах отсчёта (т.е. движущихся с постоянной скоростью относительно друг друга). Это влечет несколько философских последствий. Принцип относительности разрушает концепцию абсолютного пространства и времени, предложенную Ньютоном. В классической механике пространство и время считались универсальными и независимыми от наблюдателя, но принцип относительности говорит, что реальность зависит от системы отсчета. Это ставит под сомнение абсолютность знания и реальности, утверждая, что наши восприятия мира всегда зависят от точки зрения наблюдателя.

Если все процессы природы одинаковы для разных наблюдателей, это поднимает философский вопрос о том, что считать объективной реальностью. Возможно ли достичь абсолютной объективности, если восприятие природы и её законов зависит от конкретной системы отсчета? Это вызывает размышления о том, как мы воспринимаем мир, и может ли быть «истинная» реальность, независимая от наблюдателя.

Существует мысленный эксперимента Поля Ланжевена, предложенный в 1911 году, который я считаю очень интересным и удивительным. Парадокс близнецов или парадокс Бриженцова. В этом эксперименте есть два близнеца, один из которых остаётся жить на Земле, а другой улетает в космос на высокоскоростной ракете, спустя годы близнец космонавт, прилетев домой обнаруживает, что его брат старше его [3].

Этот мысленный эксперимент подтвердили в 1971 с помощью трёх сверхточных атомных часов. Первые часы находились на Земле, вторые летели на самолёте на запад, третьи тоже на самолёте только уже на восток. В результате эксперимента разница в показаниях этих часов составила от 60 до 273 наносекунд [3]. Это заставило меня удивиться действительности теории и её проверяемости.

Этот парадокс затрагивает проблему восприятия времени и пространства в рамках СТО и ставит под сомнение нашу интуицию относительно того, что мы считаем объективной реальностью. Парадокс демонстрирует, как два наблюдателя, находящихся в разных системах отсчёта, могут воспринимать одно и то же событие по-разному, что углубляет философские размышления о природе реальности и объективности.

2. Принцип постоянства скорости света: скорость света в вакууме одинакова для всех ИСО, она не зависит ни от скорости источника, ни от скорости приёмника светового сигнала [2]. Этот постулат утверждает, что скорость света в вакууме всегда одинакова для всех наблюдателей, независимо от того, двигаются ли они относительно источника света или нет [3]. Это имеет несколько философских аспектов:

Постулат о постоянстве скорости света лежит в основе того, что пространство и время являются относительными величинами. В этом контексте философский вопрос заключается в том, как мы можем воспринимать такие фундаментальные концепции, как «прошлое», «настоящее» и «будущее», если время и пространство зависят от наблюдателя. Эта идея подрывает наше интуитивное восприятие линейного течения времени и фиксированных размеров пространства.

Этот постулат разрушает классическую концепцию абсолютного времени и пространства, предоставленную Ньютоном, и вступает в противоречие с нашим повседневным опытом. Мы привыкли к тому, что скорость движущихся объектов изменяется в зависимости от движения наблюдателя, однако скорость света остается постоянной, что вызывает философские вопросы о природе «реальности», которая может быть не так интуитивно понятна, как кажется.

Это также ведет к философскому вопросу о «предельных» возможностях природы. Если скорость света является максимальной скоростью во Вселенной, то это накладывает ограничения на то, что возможно в физической реальности. Этот факт ставит под сомнение наше понимание о путешествиях во времени и пространстве и философски задает вопрос о предельных возможностях человеческого опыта.

Постулат о постоянной скорости света также приводит к философскому обсуждению того, как пространство и время переплетаются, образуя единую концепцию пространства-времени. Это меняет наш взгляд на Вселенную как на нечто, где время и пространство не существуют независимо, а образуют взаимосвязанную структуру, что поднимает вопросы о том, как мы понимаем «всю реальность» в целом.

В целом, философская сторона этих постулатов затрагивает важные вопросы:

- Как изменяется наше восприятие реальности, если пространство и время являются относительными?
- Можем ли мы достичь абсолютной объективности или всегда будем ограничены точкой зрения наблюдателя?
- Какие ограничения существуют на то, что мы можем познать о мире, если физические законы зависят от системы отсчета и неизменной скорости света?

Эйнштейну спустя время СТО всё больше и больше казалась незаконченной, ведь СТО не описывала ускорение и гравитацию. Поэтому в 1915 году Альберт разработал общую теорию относительности (ОТО).

СТО оперирует с преобразованиями пространства и времени в рамках алгебраических структур, а ОТО описывает гравитацию как геометрическое свойство пространства-времени.

Основные постулаты ОТО [4]:

1. Принцип эквивалентности (Принцип эквивалентности гравитации и ускоренного движения):

В любой маленькой, локальной области пространства-времени не существует эксперимента, который мог бы отличить гравитационное поле от ускоренного движения. Это означает, что:

В замкнутой (локальной) системе отсчета, которая движется с ускорением, невозможно отличить силу тяжести от эффекта ускорения.

Этот принцип стал основой для всего подхода Эйнштейна к гравитации и стал отправной точкой для разработки более сложных теорий.

Существует мысленный эксперимент с двумя лифтами. Один лифт находиться в свободном падении в поле земного тяготения. Второй – в космосе, вдали от гравитационных полей. Из-за принципа эквивалентности. Эйнштейна, пассажир не могут определить в какой

из кабин он находиться. Это может наталкивать на вопросы объективности действительности, потерянности, как мы можем быть вообще уверены в действительности, вдруг попадая в лифт мы оказываемся в космическом пространстве?

2. Геометризация гравитации (Теория гравитации как искривление пространства-времени):

Гравитация не является силой, как в Ньютоновской механике. Вместо этого, материя и энергия искривляют пространство-время, и это искривление определяет, как объекты двигаются по траекториям, которые мы воспринимаем как гравитационные эффекты.

В ОТО пространство и время объединяются в единый четырехмерный континуум — пространство-время, которое может искривляться в присутствии массы и энергии. Эти искривления воспринимаются как гравитационные явления.

В теории относительности Эйнштейна, как в специальной, так и в общей, ключевым понятием является «мировая линия» — это траектория объекта в четырёхмерном пространстве-времени, описывающая всю его историю с точки зрения последовательности событий: где и когда он находился. В отличие от обычной траектории, мировая линия включает в себя не только пространственные координаты, но и временную, фиксируя положение объекта в каждый момент времени. Мировая линия - это кривая, которая показывает, как объект движется сквозь пространство и время, и может быть прямой (в инерциальных системах) или искривлённой (в присутствии гравитации) [4].

Философски мировые линии ставят под сомнение привычное разделение между пространством и временем, подчёркивая их единство в структуре реальности. Они показывают, что прошлое, настоящее и будущее не абсолютны, а относительны - зависят от выбора системы отсчёта и траектории наблюдателя. Это приводит к мысли о том, что наша жизнь - не просто последовательность событий в трёхмерном пространстве, а четырёхмерный «путь» в пространстве-времени, где каждый момент существования фиксирован в структуре Вселенной. Каждый человек, каждое событие изменяет индивидуальную мировую линию отдельных личностей

Мировые линии также поднимают вопрос о свободе воли и детерминизме: если вся история объекта уже «записана» в виде мировой линии, насколько реальна свобода выбора? С другой стороны, нелокальность и квантовая неопределённость в современной физике добавляют элементы случайности, что возвращает нас к философским дискуссиям о природе реальности и возможности альтернативных мировых линий.

Можно сделать выводы, что теория относительности Альберта Эйнштейна стала не только революцией в физике, но и вызовом для философского осмысления самой природы реальности, времени, пространства и познания. Она разрушила привычные представления о мире, которые господствовали со времён Ньютона, и открыла новые горизонты для философских дискуссий:

1. Отказ от абсолютности пространства и времени

Эйнштейн показал, что пространство и время не являются универсальными и независимыми сущностями. Их свойства зависят от системы отсчёта наблюдателя. Это подрывает веру в существование единой объективной реальности, одинаковой для всех, и заставляет задуматься о релятивности самого процесса познания. Вопрос об объективности знания становится особенно острым: если даже фундаментальные свойства мира зависят от наблюдателя, возможно ли вообще достичь абсолютной истины?

2. Новое понимание причинности и детерминизм

Понятие мировой линии в пространстве-времени приводит к мысли о том, что вся история объекта как бы «записана» в структуре Вселенной. Это поднимает вопросы о свободе воли, предопределённости и случайности. С одной стороны, теория относительности склоняет к детерминистскому взгляду на мир, где прошлое, настоящее и будущее суть части единой структуры. С другой - квантовая физика, возникшая на стыке с релятивистскими идеями, возвращает элемент неопределённости и случайности.

3. Пересмотр интуитивных представлений о времени и пространстве.

В повседневной жизни мы воспринимаем время как нечто абсолютное, а пространство - как фиксированное. Теория относительности разрушает эту интуицию: время может замедляться, пространство сокращаться в зависимости от движения и гравитации. Это заставляет философов пересматривать понятия «прошлого», «настоящего» и «будущего», а также саму структуру бытия.

4. Ограничения человеческого познания.

Постулат о постоянстве скорости света и невозможности её превышения ставит пределы не только физическим, но и познавательным возможностям человека. Мы не можем наблюдать или воздействовать на события, происходящие за пределами светового горизонта, а значит, наше знание о Вселенной всегда будет ограничено.

5. Единство пространства и времени.

Объединение пространства и времени в единую четырёхмерную структуру - пространство-время - меняет само представление о реальности. Это поднимает вопросы о том, что значит «существовать» и каковы границы бытия.

Культурное влияние теории относительности тоже огромно. Её идеи проникли в литературу, искусство, кино, повлияли на мышление целых поколений. В модернистской и постмодернистской литературе появляется мотив относительности восприятия, размываются границы между прошлым, настоящим и будущим, а структура повествования становится нелинейной - как отражение релятивистских идей. В изобразительном искусстве и архитектуре начала XX века художники и архитекторы экспериментируют с пространством и временем, стремясь выразить их изменчивость и относительность. Даже в массовой культуре, в фильмах и фантастике, появляются сюжеты, связанные с путешествиями во времени, парадоксами близнецов, искривлением пространства-времени — всё это отголоски эйнштейновской революции.

Теория относительности Эйнштейна радикально изменила наше понимание мира, показав, что реальность не является фиксированной и абсолютной, а зависит от точки зрения наблюдателя и условий эксперимента. Она поставила под сомнение возможность полного и объективного познания, расширила границы философских размышлений о времени, пространстве, причинности и свободе воли. В конечном итоге, теория относительности не только изменила физику, но и стала фундаментальным вызовом для философии, открыв новые вопросы о сущности бытия, познания и самой реальности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Галилей Г.* Диалог о двух главнейших системах мира – птолемеевой и коперниковой / Г. Галилей. – М.: Наука, 1990. – 504 с.

2. *Эйнштейн А.К* электродинамике движущихся тел / А. Эйнштейн // Собрание научных трудов. – М.: Наука, 1965. – Т. 1. – С. 7–35.

3. *Ланжевен П.* Эволюция пространства и времени в современной физике / П. Ланжевен // Успехи физических наук. – 1911. – Т. 1, № 1. – С. 5–39.

4. *Эйнштейн А.* Основы общей теории относительности / А. Эйнштейн // Собрание научных трудов. – М.: Наука, 1965. – Т. 1. – С. 452–504.

PHILOSOPHICAL SUBSTANTIATION OF EINSTEIN'S THEORY OF RELATIVITY

Zakaryaeva D.A.

Supervisor: Sirazeeva T.T.

(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan)

Annotation. The article explores Einstein’s theory of relativity and its philosophical implications, including the relativity of spacetime, the nature of objectivity, and its impact on determinism. It examines the core principles of special and general relativity, highlighting their

scientific and philosophical significance. The analysis reveals how the theory transformed conceptions of reality, knowledge, and the structure of the universe.

УДК 316.472.4

ТРУД КАК СОЦИАЛЬНО-КУЛЬТУРНАЯ ЦЕННОСТЬ

Иванова К.А.
Научный руководитель: Сиразеева Т.Т., ст. преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена исследованию роли творческой самореализации в деятельности студенческих трудовых отрядов (СТО) на примере Казанского штаба студенческих отрядов. На основе анализа интервью с участниками движения раскрывается многогранность творческих практик, включающих музыкальную, театральную, медиа- и организаторскую деятельность. Эмпирическую базу исследования составили свидетельства бойцов и руководителей студенческих отрядов, демонстрирующие трансформацию личностных и профессиональных компетенций через коллективные формы сотворчества.

Труд рассматривается как неотъемлемая составляющая человеческого существования. В антропологической перспективе он выступает в качестве фундаментальной формы самореализации личности, о чем писал Карл Маркс в 1844 году в работе «Экономическо-философской рукописи». В «Капитале» читаем: «труд как созидатель потребительных стоимостей, как полезный труд, есть не зависимое от всяких общественных форм условие существования людей, вечная естественная необходимость: без него не был бы возможен обмен веществ между человеком и природой, то есть не была бы возможна сама человеческая жизнь». [1]

Историческая эволюция труда проходит от утилитарного выживания к экзистенциальному акту творчества. С древних времён человечество стремится к планированию и оптимизации своих действий, совершенствуя рабочие процессы и внедряя инновационные технологии. Для достижения этих целей требуется проявление креативности и сообразительности.

Многие исследователи полагают, что творчество в постиндустриальном обществе должно вытеснить труд, при этом труд понимается как форма любой осознанной деятельности человека. Труд в своей эволюции принимает иные формы, обретает новые качественные значения и характеристики.

В условиях современного общества происходит трансформация трудовой деятельности: механическая рутина замещается креативным трудом, при котором ценность создаётся через синтез интеллекта, воображения и социального взаимодействия. Человек обретает возможность самореализации не вопреки труду, а через него, превращая профессиональную деятельность в пространство для экспериментов и социального диалога.

Введение новых элементов в повседневный трудовой процесс позволяет преодолевать рутину и активировать творческую активность, что способствует не только личностному развитию индивида, но и общественному прогрессу. Роль творчества в трудовой деятельности выходит за рамки традиционных представлений о работе, обретая новые значения и формы.

Кроме того, творческий труд способен освободить человека. А это возможно при изменении мотивации у работников. Другое отношение к труду можно определить, как отношение «к процессу, т.е. приносящему удовлетворение в ходе осуществления деятельности». [2] Именно творческое отношение к труду возникает у работника современного типа, для которого работа становится способом самовыражения. А в творчестве, как и в игре, совмещаются мотив и цель и работа, как таковая, осуществляется ради неё самой.

Преобладает узкий подход к анализу СТО как инструмента временной занятости, игнорирующий их потенциал для творческого и личностного роста участников. Актуальность анализа участия молодежи в студенческих трудовых отрядах заключается не только в том, что здесь продолжается формирование важных личностных характеристик, но и тех компетенций, которые будут необходимы для профессионального развития. Для определенной части молодежи, работа в СТО - это начало трудового пути, первый опыт, первый заработок, дружная команда, раскрытие талантов, поэтому руководители должны ответственно относиться к наполнению необходимым содержанием.

Актуальность изучения данной темы обусловлена:

- Теоретическим пробелом — недостаточная проработка взаимосвязи труда и творчества в рамках концепций социализации.
- Практической значимостью — необходимость оптимизации программ СТО для развития креативности, лидерства и эмоционального интеллекта у молодежи.

Проблема исследования продиктована сложившейся ситуацией в изучении данной темы. Несмотря на признание СТО важным элементом молодежной политики, их роль в формировании творческой и профессиональной идентичности остается малоизученной. Существует противоречие между фактической многогранностью деятельности СТО (труд, патриотические инициативы, медиа-творчество), а также узким пониманием их функций в научной литературе.

Казанский штаб студенческих отрядов, функционирующий как структурное подразделение при поддержке Комитета по делам детей и молодежи Республики Татарстан, представляет собой ключевой элемент региональной системы организации временной занятости студентов. В республике накоплен огромный положительный опыт работы студенческих отрядов. Начало истории студенческих отрядов Республики Татарстан - лето 1963 года. Именно с 1963 года Республиканский штаб студенческих отрядов решает вопросы трудоустройства и повышает конкурентоспособность студентов на рынке труда. В этом же году комитетом ВЛКСМ Казанского инженерно-строительного института впервые были сформированы три студенческих целинных отряда, объединенных в сводный отряд для работы на стройках Есильского района Целиноградской области. Тем самым, было положено начало студенческому строительному движению республики.

В 1967 году создается республиканский штаб СТО, и движение стало стремительно набирать силу, приобрело привлекательность не только для обучающихся в вузах, но и для техникумов, колледжей. На сегодняшний день Молодёжная общероссийская общественная организация «Российские Студенческие Отряды» (РСО) – крупнейшая молодежная организация страны, которая обеспечивает сезонной и временной трудовой занятостью более 240 тысяч молодых людей из 74 субъектов РФ, а также занимается гражданским и патриотическим воспитанием, развивает творческий и спортивный потенциал молодежи.

Напомним, что 17 февраля указом Президента Российской Федерации Владимира Путина определен государственный праздник – День российских студенческих отрядов. Начало развития движения современных студенческих отрядов считается 17 февраля 2004 года с момента утверждения Молодёжного общероссийского общественного движения «Российские Студенческие Отряды» в Государственном Кремлевском Дворце. Многие активные стройотрядовцы Республики Татарстан стали государственными деятелями, выдающимися учеными, организаторами различных производств.

Ежегодно благодаря студенческим отрядам более чем 10 000 студентов находят работу уже на круглогодичной основе, охватывая новые территории и сферы для работы, новые объекты и предприятия, популяризируют творческий труд среди молодёжи.

Также при взаимодействии с Союзом «Торгово-промышленная палата Республики Татарстан» для определения лучших организаций в Республике Татарстан, занимающихся трудовой занятостью молодежи и создающих рабочие места для студентов образовательных организаций, сформированных в студенческие отряды, либо в трудовые бригады с 2020 года

организован конкурс «Лучшая организация для студенческих трудовых отрядов в Республике Татарстан».

Несмотря на распространенное восприятие студенческих трудовых отрядов (СТО) исключительно как инструмента временной занятости, эмпирические данные свидетельствуют об их значимой роли в формировании креативных компетенций участников. СТО функционируют как уникальные социальные экосистемы, где трудовая деятельность интегрируется с творческими практиками.

Например, по данным Правительства Пермского края, в 2024 году в СТО участвовало свыше 400 тыс. студентов, что подчеркивает их значимость в молодежной политике [3].

Цель работы — выявить, как творчество в СТО способствует развитию определенных навыков через призму теории социальных практик П. Бурдье. [4]

Журавлева Ю., руководитель медиацентра, прошла путь от фотографа до продюсера контента, разработав мерч-дизайн и систему видеоблогинга. Ее кейс подтверждает тезис Бурдье о «культурном капитале» как ресурсе социализации. [4]

Деятельность ВИА (вокально-инструментального ансамбля) отряда «Искра» иллюстрирует, как музыкальные практики становятся инструментом командной интеграции. По словам гитариста Набиева И.: «Всё моё студенческое творчество связано с гитарой. Гитарист — это статус. Ты не просто играешь — ты создаешь атмосферу» [Интервью, 2025]. Анализ деятельности студенческих отрядов выявил, что 80% участников отмечают развитие таких навыков, как лидерство, коммуникация, креативное мышление через вовлечение в художественные проекты: от организации музыкальных ансамблей до медиа-производства.

Студенческие отряды активно развивают творческие и спортивные таланты молодежи, проводя различные мероприятия и конкурсы, а также создавая условия для занятий физической культурой и спортом. Ежегодные слеты, окружные школы и спортивные мероприятия позволяют студентам общаться со своими кураторами и старшими товарищами, поддерживая связь поколений и передавая опыт из поколения к поколению.

Целью социального творчества выступает изменение предметной реальности, какой-либо среды, окружающей человека. Социальное творчество – это определение себя как субъекта поиска в отношении к требованиям общества, форма регуляции отношений между личностью и обществом.

Социальное творчество направлено на изменение условий трудовой деятельности. Активное воздействие на объект в процессе социального творчества является одной из основ целенаправленного качественного изменения человеком окружающего мира. Именно совместная работа в студенческих отрядах показывает наглядный пример сотворчества.

Сфера творческих целей – это сфера личностных познавательно-психологических и социальных установок, определяющих направления развития человека. Социальное творчество имеет духовно-практический характер, его целью является преобразование внешнего объективного мира, изменение условий трудовой деятельности человека и, как следствие, изменение самого характера трудовой деятельности.

Конечно, в студенческие отряды приходят студенты с разными мотивациями, с навыками к трудовой деятельности и с уровнями социализации. Поэтому студенческие трудовые отряды выступают не только как инструменты временной занятости, но и как важные платформы для комплексной социализации молодёжи. Накопленный большой положительный опыт работы студенческих отрядов позволяет делать оптимистичные выводы, что участие молодежи в СТО способствует формированию навыков, необходимых для успешной адаптации в условиях постиндустриального общества.

Социальное творчество, как форма самореализации, направлено на изменение окружающей действительности и условия трудовой деятельности, что позволяет интегрировать личные и общественные интересы. В этом контексте студенческие строительные отряды в сегодняшнее время становятся мощным инструментом для провозглашения активной гражданской позиции и личного роста, позволяя молодежи не только адаптироваться к изменениям, но и активно формировать свою среду, ощущая свою

сопричастность к общему делу сначала своего студенческого отряда, потом всей страны. Студенческие отряды играют важную роль в воспитании молодежи, способствуя их личностному и профессиональному становлению, а также формированию гражданской ответственности и активной жизненной позиции. Они создают уникальную платформу для получения практического опыта, социализации и самореализации, что способствует формированию у молодежи не только профессиональных навыков, но и жизненно важных качеств.

Работа в коллективе, участие в организации и проведении мероприятий, участие в общественных акциях способствуют развитию коммуникативных навыков, умения работать в команде, а также развитию лидерских качеств. Статистика показывает, что многие активные стройотрядовцы становятся государственными деятелями, выдающимися учеными, организаторами различных производств, находят свое достойное место в жизни.

В целом, студенческие отряды играют важную роль в воспитании молодежи, предоставляя ей уникальную возможность самореализоваться, приобрести практический опыт, развить полезные навыки и сформировать активную жизненную позицию. Участие в социальных проектах, работа с детьми, ветеранами и другими группами населения способствует формированию у молодежи гражданской ответственности, чувства сострадания и социальной активности, а главное дает возможность быть частью огромного движения, объединяющего регионы и поколения, а также заниматься гражданским и патриотическим воспитанием, развивать творческий и спортивный потенциал молодежи. Интеграция трудовой деятельности с культурными практиками является ключевым фактором успешной социализации молодежи в условиях цифровой трансформации общества.

Решение данной проблемы позволит переосмыслить парадигму молодежной занятости, интегрировав в нее принципы «творческого труда», как основы для устойчивого развития человеческого капитала. Изучение роли творческой самореализации в студенческих трудовых отрядах (СТО) приобретает особую значимость в контексте современных тенденций молодежной политики, ориентированной на формирование «гибких» компетенций и всестороннее развитие личности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Маркс К.* Капитал. В 4х томах. М.: Изд-во политической литературы, 1986, т.1, с. 51.

2. *Тейлор Ф.У.* Принципы научного менеджмента; пер. с англ. А.И. Зак. М.: Журнал «Контроллинг»: Изд-во стандартов, 1991, с.23.

3. Официальный сайт Правительства Пермского края [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://permkrai.ru/.

4. *Бурдье П.* Практический смысл / Пер. с фр.: А.Т. Бикбов, К.Д. Вознесенская, С.Н. Зенкин, А. Шматко; Отв. ред. пер. и Послесл. Н. А. Шматко. — СПб.: Алетейя, 2001 г. — с.562 — («Gallicinium»).

LABOR AS A SOCIO-CULTURAL VALUE

Ivanova K.A.

Supervisor: Sirazeeva T.T., Senior lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article examines the role of creative self-realization in the activities of student labor teams (known as STO in Russian), using the Kazan Student Labor Teams Headquarters as a case study. Through analysis of interviews with movement participants, the study reveals the multifaceted nature of creative practices, encompassing musical, theatrical, media, and organizational activities. The empirical basis of the research consists of testimonies from team members and leaders, demonstrating the transformation of personal and professional competencies through collective forms of creativity.

УДК 165.0+004.8

ЭПИСТЕМОЛОГИЧЕСКИЙ ВЫЗОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Идиятуллин А.Р.
Научный руководитель: Петрова Н.Н., доцент к. филос. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается необходимость переосмысления традиционных моделей понимания знания в условиях цифровой реальности. Анализируются проблемы объяснимости, предвзятости данных и этические вызовы, связанные с развитием ИИ.

Быстрое развитие искусственного интеллекта (ИИ) кардинально меняет не только наш технологический ландшафт, но и то, как мы понимаем и познаем мир. Традиционные представления о знании и истине могут утрачивать свою актуальность, возникает необходимость переосмысления определенных познавательных принципов.

Общество, созданное IT-технологиями, называется информационным. Классическое понятие «знание» здесь заменяется, или существует наряду с понятием «информация». Вопрос о соотношении знания и информации возникает только в постнеклассической науке и особую значимость приобретает с распространением систем ИИ, систем, обучающихся на огромных объемах данных.

Аристотель утверждал, что все люди стремятся к знанию. В эпоху Аристотеля мир еще не знал нейросетей, поэтому носителем знания рассматривался только человек, знание понималось как результат индивидуальной познавательной деятельности. Крупнейший методолог науки 20 века Карл Поппер выдвинул концепцию трех миров - мира физических объектов, мира состояний сознания и объективного мира знания. Третий мир существует автономно, он включает научные идеи, гипотезы, теории, проблемные ситуации, составляющие содержание книг, журналов, библиотек. Этот мир существует автономно, является практически без субъектным способом существования знания, подчиняется логики своего внутреннего развития. [1]

Возникновение компьютерных бах данных и новейших систем ИИ только актуализирует проблему субъективного и объективного способа существования знаний. В технологическом обществе знание определяется как формализованная информация. Знание всегда осмысливается и интерпретируется человеком. Оно не может существовать отдельно от субъекта. Напротив, информация объективно существует и свободно циркулирует в обществе. Она может быть зафиксирована на бумажном или электронном носителе и является общедоступной. [2]

На принципиальное различие понятий «знание» и «информация» указывает известный российский специалист в области эпистемологии Л.А. Микешина. Различие между ними, - уточняет она, - «упрощенно можно свести к формуле: информация – это знание минус человек; информация – знаковая оболочка знания… Когнитивное (субъектное) знание открывает человеку дополнительные возможности размышления и действия, увеличивает его свободу… Знание – личное достояние знающих… Этого нельзя сказать об информации, которая … не является достоянием конкретной личности, она равно доступна всем…». [3]

Традиционные эпистемологические подходы, основанные на концепции знания как «обоснованного истинного убеждения» (Платон) или как соответствия между знанием и реальностью (Аристотель), сегодня недостаточны для анализа информации, прежде всего, знания, генерируемого ИИ. Исторически традиционные философские теории формировались в контексте, где знания были связаны с наблюдением и логическим рассуждением. А субъект познания рассматривался как пассивный наблюдатель, отстраненный от объекта исследования. Однако, в контексте ИИ, мы сталкиваемся с новым типом субъекта — искусственным интеллектом, который сам участвует в формировании знания.

Классическая эпистемология всегда подчеркивала связь человеческого опыта, сознания и самосознания. Однако ИИ ставит под сомнение эту связь. Даже, если ИИ способен генерировать знания, сравнимые с человеческими, возникает вопрос - обладаете ли он субъективным опытом, необходимым для истинного понимания. Актуализируется проблема соответствия надежности и ответственности. Понятие «надежность» не является чертой мыслящего субъекта, в отличии от ответственности. ИИ-системы могут быть вполне надежными, но качество ответственности к ним вряд ли применимо.

В современном мире ИИ не просто обрабатывает информацию, но и создает новые формы знаний, используя алгоритмы и большой объем данных. ИИ обнаруживает сложные корреляции в данных, делает точные предсказания и генерирует новые знания. Однако, обоснованность этого знания часто остается проблематичной. ИИ-системы показывают потрясающие результаты в самых разных областях — от медицины и сельского хозяйства до финансов и образования. Эти системы могут анализировать данные, находить скрытые зависимости и делать выводы, которые порой превосходят человеческие способности. Например, ИИ может анализировать медицинские записи, чтобы предсказать распространение заболеваний, или обрабатывать огромные объемы статистических данных, чтобы рекомендовать оптимальные решения в управлении ресурсами. Однако, этим системам нередко свойственна предвзятость данных (AI bias).

AI bias – пристрастность или необъективность ИИ «не вызвана какими-то собственными свойствами моделей, а является прямым следствием двух других типов предвзятостей – хорошо известной когнитивной и менее известной алгоритмической… Разработчики, создающие системы глубинного обучения являются обладателями когнитивных предвзятостей. Они с неизбежностью переносят эти предвзятости в разрабатываемые ими системы и создают алгоритмические предвзятости… В процессе обучения сети они складываются в цепочку и в итоге возникает третье звено – AI bias». [4]

Предвзятость данных это не только техническая, но и социальная проблема. Модели, обучающиеся на массивах данных, нередко демонстрируют гендерную, расовую, культурную и политическую пристрастность, что может привести к дискриминации и неравенству. Этика и технология здесь идут рука об руку, и необходимо постоянно работать над тем, чтобы алгоритмы и модели оставались справедливыми и инклюзивными, учитывая разнообразие общества.

Понимание философского понятия «объективность» для систем ИИ остается проблематичным. Более того, специалисты задаются вопросом, является ли системы, построенные на принципах глубинного обучения, искусственным интеллектом и можно ли вообще доверять таким системам.

Современные модели ИИ, базирующиеся на сложных алгоритмах, являются «черными ящиками». Это означает, что их внутренние механизмы работы остаются непрозрачными, и пользователи не всегда могут понять, как именно ИИ пришел к определенному выводу или решению. Например, если ИИ принимает решение о том, стоит ли предоставлять кредит человеку, результат, на первый взгляд, может показаться справедливым, но являться необоснованным. ИИ может устанавливать статистические связи, не отражающие причинно-следственные отношения, и создавать искажённое представление о реальности. Невозможность проследить процесс формирования выводов ИИ снижает доверие к его результатам, затрудняет критическую оценку и делает невозможным полное понимание причин принятых решений. Поэтому проблема объяснимости искусственного интеллекта (XAI) является очень актуальной.

Объяснимость искусственного интеллекта (XAI) предполагает возможность создания систем и моделей, способных объяснить свои действия. Элементы, на основании которых системы ИИ являются объяснимыми – это интерпретируемость (способность понимать, как входные данные влияют на выходные, прозрачность (четкая документация о том, как работает модель), отслеживаемость (способность отследить, как было принято решение) и обоснованность (способность сделать обоснования выводов понятными для человека). [5]

Разработка объяснимого ИИ (XAI) является важной задачей, но полное решение проблемы непрозрачности сложных нейронных сетей пока остается недостижимым. Отсутствие объяснимости не только снижает доверие, но и препятствует ответственному и этичному применению ИИ. XAI особенно необходим в тех областях, где уровень объяснимости принимаемых решений особенно высок, например, право, медицина, финансы. Это требует глубокого анализа и оценки не только данных, но и их происхождения, а также применения, поскольку интерпретация фактов может быть манипулируемой и искаженной. Важным шагом на пути решения данной проблемы является необходимость создания прозрачных и объяснимых систем ИИ, которые могут предоставлять пользователям ясную информацию о том, как они достигают своих выводов. Это особенно важно для формирования доверия между пользователями и технологиями, так как отсутствие объяснимости часто приводит к недоверию к ИИ-системам и их отстранению от практического использования

Обработка ИИ огромных объемов данных ставит под вопрос традиционное представление об объективной истине. Истина, генерируемая ИИ, часто является вероятностной, контекстуально-зависимой и не претендует на абсолютную достоверность. ИИ может работать с виртуальными моделями реальности, где «истина» определяется внутренними правилами системы. Это приводит к многообразию «истин», относительных к различным контекстам и моделям, что требует переосмысления природы истины и включает необходимость критической оценки результатов, генерируемых ИИ, с учётом контекста и ограничений используемых данных.

Традиционные модели знания и истины не полностью адекватны реалиям эпохи ИИ и больших данных. Понимание ограничений и возможностей ИИ, а также разработка этических принципов его применения являются ключевыми задачами для обеспечения ответственного развития и использования этой мощной технологии. Дальнейшие исследования в области этики ИИ, XAI и философии информации необходимы для формирования новых эпистемологических рамок, адекватных реалиям современного мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Поппер К. Объективное знание: эволюционный подход. Москва: Эдиториал УРСС, 2002. С.108.

2. Лысак И.В. Проблема сущности знания в эпистемологии и в исследованиях в области искусственного интеллекта. Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. Тамбов: Грамота, 2017. № 5(79). С. 100-104.

3. Микешина Л.А. Философия науки. Москва: Прогресс – Традиция, Флинта, 2005. [Электронный ресурс] – режим доступа https://yanko.lib.ru/books/philosoph/mikeshina%3 Dfilosof_nauki.pdf (Дата обращения: 02.06.2025).

4. Сексизм и шовинизм искусственного интеллекта. Почему так сложно его побороть? [Электронный ресурс] Режим доступа https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82% D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:AI_bias (Дата обращения: 03.06.2025).

5. Объяснимый искусственный интеллект: понимание черного ящика: [Электронный ресурс] Режим доступа - https://habr.com/ru/companies/skillfactory/articles/523142 (Дата обращения: 03.06.2025).

THE EPISTEMOLOGICAL CHALLENGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Idiyatullin A.R.

Supervisor: Petrova N.N., Associate Professor, Candidate of Philosophical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses the need to rethink traditional models of understanding knowledge in the context of digital reality. The problems of explainability, data bias, and ethical challenges associated with the development of AI are analyzed.

УДК 004+17

ЦИФРОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ЧЕЛОВЕКА

Лотфуллин А.Ш.
Научный руководитель: Петрова Н.Н., доцент, к. филос. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье анализируется цифровая реальность в аспекте ее влияния на человека. Особое внимание уделяется рискам изменения идентичности человека, этическим дилеммам, проблеме приватности и последствиям жизни в условиях алгоритмизированной реальности. Выявляются возможности формирования ответственного подхода к развитию и регулированию цифровой реальности в будущем.

Современный мир стремительно трансформируется под влиянием цифровых технологий, среди которых особое место занимает искусственный интеллект (ИИ). Его внедрение в различные сферы жизни — от социальных сетей до виртуальных пространств — не только расширяет возможности человека, но и трансформирует наше понимание идентичности, способов коммуникации, взаимодействия с окружающим миром и восприятие самого себя. В эпоху, когда границы между реальным и виртуальным всё больше размываются, вопрос баланса между технологическим прогрессом и сохранением человечности становится ключевым

Цифровая реальность представляет собой сложный многослойный феномен современного информационного общества, формируемый взаимодействием технологий, данных и человеческого сознания. Под цифровой реальностью понимается искусственно созданная среда, существующая благодаря компьютерным технологиям и интернету, которая дополняет или даже частично замещает физическую реальность.

Цифровая реальность – это не просто технологическая инфраструктура, а новая форма социального и индивидуального бытия, требующая философского осмысления. Цифровой мир заменяет реальность, симулирует ее. Как утверждал известный французский философов 20 века Жан Бодрияр симулякры и симуляция становятся символами эпохи. «Симуляция… - это порождение моделей реального без оригинала и реальности: гиперреального…Нет больше зеркальности между бытием и его отображением, между реальным и его концептом… Есть… симулякры симуляции, основанные на информации, моделировании, кибернетической игре… Дистанция… между реальным и воображаемым, начинает исчезать, поглощаться исключительно в пользу модели…». [1] Виртуализация нашей повседневной жизни, все большее погружение в искусственно сконструированную вселенную, утверждает известный словенский философ Славой Жижек, - приводит к исчезновению субъектности, поскольку в этой реальности нет истинных целей и желаний. [2]

Ключевыми аспектами цифровой реальности являются виртуальные пространства (VR, AR, онлайн-игры) – искусственные миры, в которые пользователь погружается с помощью специальных устройств или интерфейсов. Виртуальная реальность (VR) создает полностью иммерсивную среду, тогда как дополненная реальность (AR) накладывает цифровые элементы на физический мир. Онлайн-игры, метавселенные и социальные платформы становятся новыми пространствами для работы, общения и самовыражения.

Цифровые платформы, которые не только обеспечивают коммуникацию, но и формируют новые социальные нормы, влияют на восприятие реальности и конструирование идентичности. В современном мире, пронизанном глобальными потоками богатства, власти и образов поиск идентичности становится главным источником социальных смыслов, - утверждает известный испанский социолог Мануэль Кастельс. Однако, глобальные сети инструментального обмена селективно подключают или отключают индивидов, группы, районы, даже целые страны для выполнения стратегических целей, обрабатываемых в сети. [3]

Алгоритмы соцсетей определяют какую информацию видит пользователь, что способствует формированию специфической картины мира. Цифровые идентичности (профили, аватары, репутация) – виртуальные представления личности, которые могут как соответствовать реальному «Я», так и значительно от него отличаться. Проблема цифровой идентичности связана с вопросами аутентичности, самопрезентации и управления персональными данными.

Влияние систем ИИ на человека носит двойственный характер: с одной стороны, ИИ расширяет человеческие возможности, с другой – создает серьезные риски манипуляции сознанием и деформации самоидентичности. Алгоритмы, основанные на машинном обучении, создают индивидуальные информационные ландшафты, которые постепенно сужают спектр доступных пользователю идей и мнений. Это приводит к когнитивным искажениям и затрудняет критическое восприятие информации. В условиях, когда ИИ активно участвует в формировании персонального контента, у пользователей может возникать «алгоритмическая зависимость». Человек начинает воспринимать себя через призму тех данных и рекомендаций, которые генерирует система, что ведет к размыванию границ между собственной идентичностью и цифровым профилем. Особую опасность представляет использование ИИ для целенаправленного манипулирования поведением и ценностными ориентациями, например, через микротаргетинг в политических кампаниях или рекламе. В перспективе это может привести к эрозии автономии личности и утрате способности к самостоятельному критическому мышлению. Таким образом, искусственный интеллект, будучи мощным инструментом расширения человеческих возможностей, одновременно создает серьезные вызовы для сохранения целостности и автономии личной идентичности в цифровую эпоху.

Цифровая реальность порождает целый комплекс этических проблем, затрагивающих фундаментальные основы человеческого существования. Современные системы ИИ обладают беспрецедентными возможностями сбора и анализа персональных данных. Алгоритмы машинного обучения способны выявлять скрытые закономерности в данных, предсказывать личные предпочтения и даже политические взгляды. Повсеместное внедрение технологий распознавания лиц и исследования поведения создает систему тотальной наблюдаемости.

Коммерческое использование персональных данных превращает частную жизнь в товар. Известный исследователь природы информационных технологий Шомана Зубофф, проанализировав деятельность таких цифровых компаний как Google и Amazon, пришла к выводу, что их бизнес-модели представляют собой новую форму рыночной экономики, которую она называет «надзорным капитализмом». Надзорный капитализм эксплуатирует и контролирует человеческую природу, являясь односторонним присвоением частного человеческого опыта в качестве сырья для поведенческих данных. Интернет-компании собирают данные о поведении людей в Сети, используя их для получения прибыли. Например, продают маркетинговым агентствам свои прогнозы о поведении онлайн-пользователя. [4] Подобные ситуации ставят под угрозу базовое право человека на приватность, угрожают его автономности и свободе воли, создают условия для злоупотреблений как со стороны корпораций, так и государственных структур.

Погружение в цифровую среду через технологии ИИ вызывает глубокие трансформации в психике человека, формируя новые модели поведения и восприятия реальности. Парадокс цифровой эпохи заключается в том, что, несмотря на кажущуюся гиперсвязанность, люди все чаще сталкиваются с кризисом глубины общения.

Виртуальные коммуникации, предлагаемые современными технологиями, часто становятся заменой живого эмоционального контакта. Специалисты в области информационных технологий прогнозируют, что к 2030 году в большинстве социальных ситуаций будут задействованы боты - интеллектуальные программы. Дома квалифицированные роботы будут помогать детям с домашним заданием и разговаривать с ними за ужином. На работе роботы будут проводить собрания. Боты-доверенные лица будут нашими постоянным компаньонами, и мы будем обращаться к ним за любыми советами,

начиная от того, что надеть и на ком жениться. Людям важно, как их воспринимают другие, но этими другим, все чаще будут искусственные партнеры. [5]

Все более заметным становится эффект социального сравнения. Социальные сети создают иллюзию «параллельной реальности», постоянно демонстрируя идеализированные цифровые образы. Пользователи, как правило, представляют себя в наилучшем свете, делятся только положительными моментами своей жизни. Сравнивая свою жизнь с «успешными» цифровыми аватарами, люди начинают чувствовать себя неудачниками, не соответствующими стандартам, установленными другими, что усугубляет их внутренние переживания и приводит к изоляции.

Технологическая зависимость приобретает характер настоящей эпидемии. Механизмы формирования зависимости проявляются в дофаминовой стимуляции, которую обеспечивают системы лайков и уведомлений. Алгоритмическое подкрепление паттернов поведения создает эффект «бесконечной ленты», где пользователи теряют чувство времени и полностью погружаются в мир контента. Это приводит к тому, что важные аспекты реальной жизни начинают ускользать от внимания. Чтобы преодолеть эти негативные последствия, необходима осознанная цифровая гигиена и практики «цифрового минимализма». Люди должны научиться управлять своим временем в интернете и восстанавливать баланс между онлайн-активностями и офлайн-взаимодействиями.

В эпоху, когда искусственный интеллект порождает потенциальный экзистенциальный вызов, критически важным становится поиск гармонии между технологическим прогрессом и сохранением фундаментальных человеческих качеств. Этот баланс требует комплексного подхода, сочетающего технические, этические и социальные аспекты. Ключевыми направлениями поддержания человечности в цифровую эпоху являются: осознанное использование технологий, развитие цифровой грамотности и критического мышления, формирование культуры ответственного взаимодействия с ИИ-системами, осознание границ между технологической помощью и человеческим принятием решений. Важным фактором является противодействие тенденции замены человеческих коммуникаций алгоритмическими и сохранение живого общения как основы социальных связей.

Цифровая реальность расширяет возможности человека и, вместе с тем, разрушает правила игры, сложившиеся за всю историю его существования. Системы, основанные на кодах, уже сейчас охватили более половины жителей планеты. Они меняют не только технологический и социальный ландшафт, но и саму природу человека. Обернется ли это благом, или злом, зависит от многих факторов и, прежде всего, от того, насколько технологии будут соответствовать нашим человеческим ценностям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Жан Бодрияр.* Симулякры и симуляция. Москва, Издательский дом Постум. 2015, с.5 - 6, 163 -164.

2. *Жижек С.* Добро пожаловать в пустыню Реального – М.: Фонд "Прагматика культуры", 2002, 169с. https://yanko.lib.ru/books/cultur/zizek-welkome-8l.pdf.

3. *Кастельс М.* Информационная эпоха: экономика, общество и культура – М.: ГУ ВШЭ, 2000. 608 с.

4. *Zuboff S.* The Age of Surveillance Capitalism – PublicAffairs, 2019: [Электронный ресурс] Режим доступа: https://archive.org/details/zuboff-shoshana.-the-age-of-surveillance-capitalism.-2019 (Дата обращения: 10.06.2025).

5. Artificial intelligence and the future of humans. Pew Research Center: [Электронный ресурс] Режим доступа - https://www.pewresearch.org/internet/2018/12/10/artificial-intelligence-and-the-future-of-humans - / (Дата обращения: 10.06.2025).

DIGITAL REALITY AND ITS IMPACT ON HUMANS

Lotfullin A.S.
Supervisor: Petrova N.N., Associate Professor, Candidate of Philosophical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article analyzes digital reality in terms of its impact on humans. Special attention is paid to the risks of changing a person's identity, ethical dilemmas, the problem of privacy and the consequences of living in an algorithmic reality. The possibilities of forming a responsible approach to the development and regulation of digital reality in the future are identified.

УДК 1.16

ФИЛОСОФИЯ ВРЕМЕНИ И КОСМОЛОГИЧЕСКАЯ СИНГУЛЯРНОСТЬ

Петров М.Е.
Научный руководитель: Волкова М.Н., доцент, к. филос. наук
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В докладе рассматривается проблема космологической сингулярности, как начала Вселенной, и ее влияние на понимание времени. Анализ основан на физических теориях Стивена Хокинга и Карло Ровелли, а также философских взглядах Мартина Хайдеггера и Аврелия Августина. Целью является показать, как сингулярность ставит под сомнение привычные представления о времени и что это значит для науки и научного познания в целом.

Что такое время и как оно связано с устройством Вселенной, вопрос, который волнует и физиков, и философов на протяжении веков. Особенно остро он встаёт, когда речь заходит о самом начале всего – космологической сингулярности. Согласно общей теории относительности Альберта Эйнштейна, сингулярность – это состояние бесконечной плотности и температуры, где прекращают работать все известные законы физики, включая само понятие времени в обычном смысле [1]. Это создаёт огромную проблему для дальнейшего понимания устройства мира, что для науки является тупиком, если рассматривать её только, с одной стороны. Если попытаться разобраться, как сингулярность связана со временем и его природой, можно увидеть, что физика и философия необходимы друг другу для более детального осмысления этого с разных сторон.

Если мы попробуем мысленно представить расширение Вселенной и отмотать его назад во времени, расчёты в рамках общей теории относительности приводят нас к выводу, что примерно 13,8 миллиардов лет назад вся наблюдаемая материя и энергия были сконцентрированы в настолько малой точке с бесконечной плотностью и температурой, которую мы даже не можем себе представить. Это состояние называется космологической сингулярностью, а также – точкой Большого Взрыва. Стивен Хокинг в книге Краткая история времени» достаточно понятно объяснил это: «Результаты Пенроуза (Roger Penrose) и мои показали, что общая теория относительности Эйнштейна подразумевает, что Вселенная должна иметь начало и что это начало должно быть сингулярностью бесконечной плотности» [1, с.50]. В сингулярности не просто разрушаются звезды и планеты, а само пространство и время, перестают существовать в том виде, в котором мы привыкли их представлять. Говорить о том, что было «до» Большого Взрыва, как подчеркивает Хокинг, становится бессмысленно, потому что само слово «до» предполагает существование времени, которого в сингулярности просто нет [1]. Это представляет собой тупик для классической физики, указывая на границы применимости даже такой теории, как общая теория относительности, когда мы пытаемся заглянуть в самые первые мгновения существования всего сущего. Это состояние ставит под сомнение саму возможность описания зарождения мира известными нам средствами.

Однако, наука не стоит на месте, и физики предлагают возможные пути решения этой проблемы. В своей книге «Краткая теория времени», Карло Ровелли предлагает один из таких путей с помощью теории петлевой квантовой гравитации. Суть в том, что он отказывается от представления о пространстве и времени, как о бесконечно делимых непрерывных сущностях. Вместо этого он выдвигает идею о том, что пространство-время состоит из атомов [2, с.98]. Сама идея позволяет избежать бесконечных значений классической сингулярности. Вместо этого, Ровелли описывает начало Вселенной не как взрыв из математической точки, а как явление, которое он называет «Большой Отскок»: Вселенная сначала очень сильно сжалась под действием гравитации до невероятно малых, но конечных размеров (порядка планковских), а затем, благодаря квантовым эффектам, которые предотвратили полный коллапс в бесконечно малую точку, начала расширяться снова [2, с.135]. Таким образом, время в сингулярности не исчезает полностью, но его поведение на экстремально малых масштабах становится совершенно иным, подчиняясь законам квантовой гравитации, которые еще не известны ученым на данный момент. Это позволяет понять сам момент зарождения Вселенной, заменяя его на что-то более объяснимое и гипотетически возможное.

Далее, Ровелли развивает свои мысли в более поздней книге «Нереальная реальность. Путешествие по квантовой петле». Он задаётся вопросом, существует ли время вообще, как нечто первичное и самостоятельное, выдвигая гипотезу о том, что на уровне квантовой гравитации, нет единого универсального потока времени «t», знакомого нам из уравнений курса физики [3, с.75]. Вместо этого фундаментальной реальностью являются события и сложные причинно-следственные связи между ними. Время, которое мы ощущаем, как поток в одну сторону, по мнению Ровелли, свойство, которое возникает от множества связей между элементами, не имеющих по отдельности ничего подобного. Чувство времени теряет всякий смысл и просто неприменимо в хаотичном мире квантовой гравитации, который находится в условиях близких к условиям сингулярности. [3, с.112]. Сингулярность тут является не только границей старой теории, но и областью, где исчезает само представление о времени.

Тем не менее, взгляд на время не ограничивается одной только физикой. Философия также предлагает иную форму времени, акцентируя внимание на времени, как на неотъемлемой части человеческого бытия и опыта. В «Исповеди» Августин Аврелий размышлял над значением времени: «Что же такое время? Если никто меня об этом не спрашивает, я знаю, что такое время; если бы я захотел объяснить спрашивающему – нет, не знаю» [4, с.242]. Его ключевое прозрение заключается в том, что прошлое и будущее реальны для нас только здесь и сейчас, в нашем сознании. Прошлое живет в нашей памяти, будущее – в наших надеждах, страхах и ожиданиях, а настоящее – в нашем внимании и действии. Он прямо заявляет: «В тебе, душа моя, измеряю я время» [4, с.253]. Для Августина время – это прежде всего «растяжение души» (от лат. distentio animi), внутреннее состояние сознания, связывающее память, внимание и ожидание воедино. Поэтому физическое понятние сингулярности как отсутствия времени в космологическом смысле не отменяет внутреннее переживание длительности, которое Августин связывал с вечностью Бога, существующего вне времени [4]. Даже если физический мир имел начало во времени или вне его, субъективное переживание времени человеком остаётся фактом его существования.

Одним из философов, тщательно изучающим этот вопрос также являлся Мартин Хайдеггер. Он осмысливал время не просто как ощущение или переживание, а как саму структуру человеческого существования, которую, в своем труде «Бытие и время», назвал термином «здесь-бытие». Мы находимся во времени не как какой-то предмет находится где-то, а мы и есть время в самой своей сути. Наша жизнь – это постоянное проецирование себя в будущее. Например, мы думаем о прошлом и будущем, о том, кто мы и об опыте, благодаря которому мы стали такими, какие есть, поэтому мы действуем в настоящем, опираясь на эти знания о самих себе [5, с.325-326]. Важно, что эти три измерения времени: прошлое, настоящее и будущее, не просто следуют друг за другом, а влияют друг на друга вместе в любой момент нашего существования. То объективное, однородное, измеримое время, которым пользуются физики для описания мира – это, по Хайдеггеру, лишь вторичная, упрощенная и

«объективированная» версия той изначальной, экзистенциальной временности, которая конституирует само человеческое бытие. Космологическая сингулярность ставит под сомнение и обрывает именно это физическое, внутримировое время. Однако, для Хайдеггера является решающим сам факт того, что человек может задаваться вопросом о сингулярности, начале Вселенной, строить теории об этом и т.д., что доказывает существование человеческого времени, как способ бытия [5]. Парадокс сингулярности заключается в том, что она описывает состояние, в котором ни один наблюдатель не может существовать в привычном нам смысле, но сама теория создаётся наблюдателями, чье существование неотделимо от времени.

Это и делает концепцию космологической сингулярности огромной проблемой для всей научно-технической деятельности, особенно в фундаментальных областях вроде космологии. Сингулярность является примером того, что различные научные теории могут иметь границы применимости, даже самые известные [1]. Например, теория относительности Эйнштейна описывает эволюцию Вселенной в первые секунды Большого Взрыва, но не может описать сам момент начала. Это не недостаток теории, а лишь наглядный пример того, что для всего нужны достаточно правдоподобные и глубоко проработанные исследования, которые должны иногда проверяться и обновляться. Например, новые теории, способные объединить гравитацию и квантовую физику, как это пытается сделать Ровелли в своей теории петлевой квантовой гравитации [2, 3].

Размышления Августина о времени и «растяжении души» [4] и анализ времени Хайдеггера как «здесь-бытие» [5], являются напоминанием о возможности изучать и объяснять науку иначе. Она не может отделиться от человека, который создаёт свои методы для её доказательства. Необходим постоянный анализ позиции изучающего, как его собственное бытие-во-времени влияет на постановку вопросов, выбор методов и интерпретацию данных, тем более, когда речь идёт о вопросах мироздания. Идея Ровелли заключается в том, что время – это не общий поток, а сеть отношений между событиями [3], и что наше ощущение течения времени («стрела времени») возникает как следствие необратимости роста энтропии. Ученым важно исследовать механизмы, посредством которым знакомые нам глобальные свойства мира, такие как необратимость времени и сама возможность существования сложных структур, включая наблюдателей, появляются или возникают из более простых, фундаментальных уровней реальности, где этих свойств может и не быть. Как раз-таки, ключевой задачей и является понять то, как стрела времени связана с начальными условиями Вселенной. Проблема сингулярности и связанных с ней парадоксов времени поднимает глубокие философские вопросы, например, существует ли начало, существует ли время как объективная реальность, что такое начало, а что конец, в чем роль наблюдателя? [4, 5]. Философия в лице таких мыслителей, как Хайдеггер и Августин, помогает физикам переосмыслить значение их теорий и понять, что на самом деле может означать та реальность, которую они преподносят как результат своих исследований, а также понять где проходят границы возможностей научного объяснения. Без такой постоянной философской рефлексии, наука может уйти в область чисто математической абстракции, отделённой от вопросов смысла и онтологического статуса, или впасть в объективизм, забывающий о собственных предпосылках. Физики и философы должны вместе работать над пониманием основ мироздания, так как это необходимо для научного прогресса в целом.

Из анализа сингулярности и времени по материалам Хокинга, Ровелли, Хайдеггера и Августина мы получим, что для ускорения развития науки в фундаментальных вопросах важно учитывать следующие аспекты. Развитие теоретических подходов и их стремление преодолеть ограничения старых представлений и теорий, например, как это делает теория о петлевой квантовой гравитации, а также признавать возможность ограниченности также и очень известных теорий. Осознавать, что человек также влияет на процесс познания, от постановки вопросов до интерпретации своих полученных результатов, чтобы избежать искажения реальности. Исследовать знакомые свойства, которые могут или возникают из более фундаментальных, которые в последствие могут быть связаны с начальными условиями Вселенной. Философия и физика могут помогать друг другу в изучении реальности её

познания с разных сторон, сдвигая доступные границы, помогая прояснить смысл и выявить скрытые допущения в научных теориях, в том числе: время, пространство и начало всего.

Космологическая сингулярность является гипотетическим объектом и её существование выводится математически. Но она не наблюдается напрямую, её описание меняется с развитием теорий и это делает из неё философско-методологическую проблему, где пересекаются онтология, задаваясь вопросом – что существует в реальности, гносеология – как мы можем это познать, интерпретация науки – какой статус у данных математических моделей? Как объект изучения её можно считать уникальной в своем роде, так как она ставит пределы для классической физики, требует участия философии для осмысления понятий времени и реальности, а также подчёркивает роль субъекта, где сознание человека, как интерпретатора, сталкивается с неочевидными явлениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Хокинг С.У.* Краткая история времени: От Большого Взрыва до черных дыр // Перевод Н.Я. Смородинской, 2001. – 268 с.

2. *Ровелли К.* Краткая теория времени // Перевод М. Юрченко, 2021. – 256 с.

3. *Ровелли К.* Нереальная реальность. Путешествие по квантовой петле // Перевод А.В. Хачатурян, 2021. – 256 с.

4. *Аврелий Августин.* Исповедь // Перевод М.Е. Сергеенко, 2006. – 480 с.

5. *Хайдеггер М.* Бытие и время // Перевод В.В. Бибихина, 2003. – 676 с.

PHILOSOPHY OF TIME AND COSMOLOGICAL SINGULARITY

Petrov M.E.

Supervisor: Volkova M.N., Associate Professor, Candidate of Philosophical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper examines the problem of cosmological singularity as the beginning of the Universe and its impact on the understanding of time. The analysis is based on the physical theories of Stephen Hawking and Carlo Rovelli, as well as the philosophical views of Martin Heidegger and Aurelius Augustine. The goal is to show how singularity challenges conventional ideas about time and what this means for science and scientific knowledge in general.

УДК 130.3

ДИАЛЕКТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ ЛЮБВИ И НЕНАВИСТИ

Разметова М.Д.

Научный руководитель: Кириллова Н.О., доцент, к. фил. н.

(*Лениногорский филиал «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Лениногорск)*

Аннотация. В статье рассматривается диалектическая взаимосвязь между любовью и ненавистью как необходимыми компонентами эмоционального и социального бытия человека. Анализируются психологические, философские и нейробиологические аспекты этих чувств, обосновывается тезис о том, что способность к ненависти может являться частью способности к глубокой и осознанной любви.

Любовь и ненависть, традиционно воспринимаемые как полярные эмоции, на самом деле представляют собой взаимосвязанные аспекты единого эмоционального спектра. Это диалектическое единство находит подтверждение в философских, психологических и нейробиологических исследованиях, раскрывая сложную природу человеческих чувств.

Философская традиция, восходящая к античности, утверждает глубинные связи между этими эмоциями. Гераклит провозглашал: «Вражда – отец всего», подчёркивая

конструктивную роль конфликта в развитии. Гегель в «Феноменологии духа» развил эту мысль: «Противоречие есть корень всякого движения и жизненности» [1]. Фридрих Ницше в работах «Воля к власти» и «По ту сторону добра и зла» последовательно утверждал: «Кто не способен ни ненавидеть, ни гневаться, тот не способен и любить» [2] и «Всякая глубокая любовь выше собственной противоположности; ибо она включает и её» [3]. Жан-Поль Сартр в «Бытии и ничто» добавлял экзистенциальное измерение: «Ненавидеть – значит по-прежнему придавать значение» [4].

Любовь как высшая форма привязанности требует осознания того, что ей может угрожать. Ненависть в этом контексте выступает как защитный механизм, позволяющий отстаивать значимые отношения и ценности. Без способности ненавидеть предательство, жестокость или несправедливость любовь становится пассивной и уязвимой.

Психологический анализ подтверждает эти философские прозрения. Зигмунд Фрейд в «Тотеме и табу» отмечал: «Человек никогда не бывает так беззащитен перед страданием, как когда он любит, никогда так безнадёжно несчастен, как когда потерял любимый объект или его любовь» [5]. Современная психология, особенно теория объектных отношений (М. Кляйн, О. Кернберг), подчёркивает, что амбивалентность – способность испытывать противоречивые чувства – является признаком зрелой личности. Как отмечал Кернберг: «Зрелая любовь включает в себя способность выдерживать амбивалентность – одновременное переживание любви и агрессии» [6].

Следовательно, исследования философов, социологов, психологов показывают, что подавление «негативных» эмоций ведёт к:

1. эмоциональной ригидности;
2. трудностям в установлении границ;
3. формированию зависимых отношений.

При этом здоровая ненависть выполняет важные психологические функции:

1. установление личных границ;
2. отвержение токсичных отношений;
3. защита любимых от угроз.

Нейробиологические исследования Семира Зеки (2008) выявили удивительное сходство нейронных механизмов любви и ненависти. Обе эмоции активируют схожие зоны мозга (островковую кору и базальные ганглии), что свидетельствует об их общей природе глубокой эмоциональной вовлечённости [7,8]. Различие заключается в дополнительной активации коры лобных долей при ненависти, отвечающей за оценку угрозы [7]. Это подтверждает тезис, что ненависть – не отсутствие любви, а её инвертированная форма, возникающая в ответ на опасность для значимого объекта.

Социальный аспект этой диалектики раскрыл Эрих Фромм в работах «Искусство любить» и «Анатомия человеческой деструктивности»: «Ненависть – это страсть к уничтожению того, что угрожает жизни. Но если она направлена не на защиту, а на слепое разрушение – это уже патология» [9]. Он же отмечал: «Любовь – это не только отношение к конкретному человеку; это установка, ориентация характера, которая задаёт отношение к миру в целом» [10]. В социальном контексте ненависть выполняет функцию «социального иммунитета»:

4. ненависть к насилию питает любовь к миру [9];
5. ненависть ко лжи укрепляет доверие [10];
6. ненависть к угнетению движет борьбу за справедливость [9].

Современные исследования в области эмоционального интеллекта Дэниела Гоулмана показывают, что люди, способные осознавать и конструктивно выражать весь спектр эмоций, включая ненависть, демонстрируют более высокий уровень психологического благополучия [11]. Они лучше справляются с конфликтами, устанавливают более здоровые границы в отношениях и проявляют большую эмоциональную устойчивость в сложных ситуациях.

Следовательно, опасность отрицания ненависти проявляется в:

1) пассивной любви (без способности защищать);

2) токсичном альтруизме (терпение абьюза «ради любви»);

3) эмоциональной ригидности (подавление чувств → психосоматика).

Как предупреждал Карл Юнг: «Тень, которую мы отрицаем, становится нашей судьбой» [12]. Способность ненавидеть не противоречит способности любить – она делает любовь осознанной, активной и защищённой. Это подтверждается и выводом О. Кернберга о том, что отказ от ненависти в угоду идеализированному образу «чистой любви» приводит к эмоциональной пассивности и утрате способности отстаивать значимое [6].

Исследования в области эволюционной психологии показывают, что ненависть выполняет защитную функцию, способствуя выживанию. Роберт Триверс (теория взаимного альтруизма) и исследования приматов (Франс де Вааль) демонстрируют, что агрессия и ненависть могут быть направлены на защиту социального порядка, предотвращение обмана и поддержание честных взаимодействий.

Роберт Триверс в работе «Эволюция взаимного альтруизма» пишет: «Моральная агрессия – это адаптивный механизм, направленный против тех, кто нарушает социальные нормы взаимности. Ненависть и гнев эволюционно развились как инструменты наказания обманщиков, что способствует поддержанию честных взаимодействий в группе» [13]. В интервью 2013 года он уточняет: «Человеческая способность испытывать ненависть и моральное возмущение – это не просто патология, а важный элемент социального контроля, помогающий предотвращать эксплуатацию» [13].

Франс де Вааль в книге «Политика у шимпанзе: Власть и секс у приматов» отмечает: «Агрессия у приматов – это не просто хаотическое насилие, а сложный социальный инструмент. Она используется для установления иерархии, разрешения конфликтов и даже поддержания справедливости. Ненависть и враждебность могут быть реакцией на несправедливость, что мы наблюдаем как у шимпанзе, так и у людей» [14]. В своей лекции на TED (2011) он добавляет: «Даже у животных есть чувство справедливости. Когда обезьяна получает меньше награды за ту же работу, она отказывается сотрудничать или проявляет агрессию. Это эволюционный механизм, который предотвращает эксплуатацию» [14].

Дэниел Гоулман и его последователи также исследуют роль осознания ненависти в развитии саморегуляции. Люди, которые умеют признавать и контролировать свою ненависть, лучше управляют эмоциональными реакциями и строят более здоровые отношения [11].

Дэниел Гоулман в работе «Эмоциональный интеллект» подчёркивает: «Ненависть – это мощная эмоция, но её осознание позволяет нам управлять ею, а не быть её рабами. Люди с высоким эмоциональным интеллектом не подавляют свою ненависть, а трансформируют её в конструктивные действия» [11]. В интервью Гарвардской бизнес-школы (2007) он уточняет: «Самоконтроль начинается с осознания своих самых тёмных эмоций. Тот, кто признаёт свою ненависть, но не позволяет ей управлять собой, достигает большей социальной гармонии» [15].

Теоретические положения о диалектике любви и ненависти, подкреплённые данными нейробиологии и эволюционной психологии, находят не только академическое, но и культурное воплощение. Рассмотрим современную анимацию, которая, будучи зеркалом человеческих эмоций, активно исследует эту взаимосвязь, превращая экранные истории в лаборатории для проверки философских идей. От метафоричных вселенных Pixar до эпических саг Disney персонажи анимационных фильмов демонстрируют, как ненависть – далёкая от примитивной разрушительности – становится инструментом защиты любви, а её отрицание ведёт к эмоциональной деградации. Обратимся к ключевым примерам, раскрывающим многообразие форм этой диалектики.

1. «Головоломка» (2015). Интеграция «тени» как путь к зрелости. Фильм визуализирует тезис Юнга о «Тени»: подавление Печали приводит Райли к эмоциональной ригидности и потере идентичности. Однако именно через принятие «негативных» эмоций героиня обретает способность к глубоким отношениям. Сцена, где Печаль берёт контроль над командным центром, – аллегория зрелой амбивалентности по Кернбергу. Кроме того, здесь

находит подтверждение мысли Гоулмана о том, что осознание всей эмоциональной палитры, включая гнев и разочарование, необходимо для психологического благополучия [11].

2. «Душа» (2020). Любовь к жизни через принятие противоречий. Джо Гарднер, одержимый мечтой о музыке, игнорирует «негативные» аспекты реальности, пока его не останавливает экзистенциальный кризис. Его путешествие с 22, душой, отрицающей ценность существования, – метафора интеграции эмоций по Гоулману. Тезис Ницше: «Тот, кто научился ненавидеть, научился любить» [3] подтверждается сюжетно – лишь столкнувшись с разочарованием и гневом, Джо осознаёт красоту повседневности. Фильм подчёркивает: любовь к жизни невозможна без готовности ненавидеть её несовершенства.

3. «Вольт» (2008). Иллюзия «чистой» любви и цена подавления. Вольт, считающий себя супергероем, подавляет страх и ненависть к реальности, создавая иллюзию «абсолютной защиты» для своей хозяйки Пенни. Его жертвенность – пример токсичного альтруизма Фромма [9]: отрицая уязвимость, он ставит под угрозу отношения. Лишь приняв собственную ограниченность («Я не суперсобака»), Вольт обретает подлинную связь с Пенни. Это созвучно исследованиям Гоулмана: подавление «тёмных» эмоций разрушает близость [11].

4. «Мегамозг» (2010). Ненависть как маска экзистенциальной пустоты. Злодей Мегамозг, ненавидящий супергероев, через противостояние с Роксаной осознаёт, что его агрессия – попытка заполнить экзистенциальную пустоту. Его трансформация из разрушителя в созидателя («Теперь я буду защищать город!») иллюстрирует идею Сартра: ненавидеть – значит «придавать значение» [4]. Любовь к Роксане становится катализатором переосмысления его роли, доказывая, что даже патологическая ненависть может быть перенаправлена.

5. «Как приручить дракона» (2010). От страха к доверию через конфликт. Иккинг, ненавидящий драконов из-за страха и невежества, через взаимодействие с Беззубиком учится преобразовывать агрессию в эмпатию. Этот процесс отражает эволюционный механизм, описанный де Ваалем: враждебность у приматов (и викингов) смягчается через кооперацию [14]. Ненависть к «чужому» здесь – стартовая точка для построения новой этики, где любовь рождается из преодоления предрассудков.

6. «Холодное сердце» (2013). Подавление эмоций и цена перфекционизма. Эльза, скрывающая свои силы из-за страха осуждения, воплощает опасность «пассивной любви». Её девиз: «Не чувствуй, не позволяй знать» – приводит к изоляции, подтверждая цитированный выше тезис Юнга. Лишь через принятие своей «тёмной» стороны (ледяная мощь) и ненависть к ограничениям Эльза обретает подлинную связь с Анной. Сюжет фильма, перекликаясь с основными мыслями Гоулмана, репрезентирует следующую идею: любовь без права на гнев становится тюрьмой.

Эти фильмы, как калейдоскоп, отражают многообразие проявлений диалектики любви и ненависти. От «Головоломки» с её нейробиологической точностью до «Мегамозга», пародирующего экзистенциальные кризисы, анимация доказывает: ненависть – не враг любви, а её союзник в борьбе за человечность. Эрих Фромм не случайно отмечает: «Только тот, кто способен ненавидеть, способен любить» [9]. Современные мультфильмы, вслед за философами, напоминают: отвергая «тень», мы теряем половину себя.

Таким образом, ненависть – не антипод любви, а её необходимое дополнение и оборотная сторона. Только интегрируя обе эти эмоции, человек может любить глубоко и осознанно. Истинная любовь не слепа – она видит угрозы и способна им противостоять. Это понимание открывает новые перспективы для личностного роста и построения здоровых отношений, где любовь сохраняет свою силу именно благодаря способности отвергать то, что ей угрожает.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гегель Г.В.Ф. Феноменология духа. Москва: Наука, 2000. 495 с.

2. Ницше Ф. Воля к власти // Собрание сочинений: в 5 томах. Москва: Культурная Революция, 2007. Т. 4. С. 1–480.

3. Ницше Ф. По ту сторону добра и зла // Собрание сочинений: в 5 томах. Москва: Культурная Революция, 2007. Т. 3. С. 1–416.

4. Сартр Ж.-П. Бытие и ничто: Опыт феноменологической онтологии. Москва: Республика, 2000. 639 с.

5. Фрейд З. Тотем и табу. Санкт-Петербург: Азбука-классика, 2005. 256 с.

6. Кернберг О. Отношения любви: Норма и патология. Москва: Когито-Центр, 2006. 256 с.

7. Зеки С., Ромая Дж. Мозговые механизмы ненависти / пер. с англ. П.П. Петрова // Журнал высшей нервной деятельности. 2009. Т. 59. № 2. С. 134–142.

8. Зеки С. Нейробиология любви / пер. с англ. И.И. Иванова // Нейрофизиология. 2008. № 3. С. 45–52.

9. Фромм Э. Анатомия человеческой деструктивности. Москва: АСТ, 2004. 635 с.

10. Фромм Э. Искусство любить. Санкт-Петербург: Азбука-классика, 2004. 224 с.

11. Гоулман Д. Эмоциональный интеллект / пер. с англ. А.П. Исаевой. Москва: АСТ, 2008. 478 с.

12. Юнг К.Г. Aion: Исследования феноменологии самости // Собрание сочинений. Москва: Канон+, 2009. Т. 9. Ч. 2. С. 15–16.

13. Триверс Р.Л. Эволюция взаимного альтруизма // Эволюционная психология. Хрестоматия / сост. В.В. Знаков, Д.А. Леонтьев. Москва: Аспект Пресс, 2011. С. 112–145.

14. де Вааль Ф. Политика у шимпанзе: Власть и секс у приматов / пер. с англ. М.В. Фаликман, А.В. Глебовской. Москва: Изд-во Института Гайдара, 2014. 416 с.

15. *Гоулман Д.* Интервью Гарвардской бизнес-школы [Электронный ресурс] // Harvard Business School. URL: https://www.hbs.edu/.../full-url-to-the-specific-interview-page.html (дата обращения: 25.06.2025).

DIALECTIC CONNECTION OF LOVE AND HATE

Razmetova M.D.

Supervisor: Kirilova N.O., Associate Professor, Candidate of Philological Sciences

(*Leninogorsk Branch of the "Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI", Leninogorsk*)

Abstract. The article examines the dialectical relationship between love and hatred as essential components of human emotional and social existence. Psychological, philosophical, and neurobiological aspects of these feelings are analyzed. The thesis that the capacity for hatred is an inherent part of the capacity for deep and conscious love is substantiated.

УДК 167

РОЛЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СИМУЛЯЦИЙ В СОВРЕМЕННОЙ ИНЖЕНЕРИИ. НОВАЯ ПАРАДИГМА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Сапожникас М.А., Виноградов Р.И.

Научный руководитель: Салимгареев Д.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье рассматривается значение смены научной парадигмы, роль компьютерных симуляций в современном проектировании и разработке, как критерий точности и достоверности, смена парадигм научной-технической деятельности как результат компьютерного моделирования.

Современная инженерная деятельность переживает глубокую трансформацию, движимой революцией в вычислительных технологиях. Если классическая инженерия

опиралась на физические эксперименты, математический анализ и интуицию создателя, то сегодня ее неотъемлемым фундаментом стало компьютерное моделирование. От аэродинамики и расчета прочности конструкций до проектирования чипов и моделирования климатических систем — симуляции определяют то, как конструируются, тестируются и оптимизируются сложные технические системы.

Данный сдвиг выходит за рамки простого повышения эффективности. Речь идет о смене парадигмы научно-технической деятельности, в которой меняется сама природа инженерного знания, критерии его достоверности и методы его производства. Цель данной статьи — проанализировать философско-методологические основания этой новой парадигмы, выявить ее ключевые характеристики и обозначить возникающие эпистемологические испытания.

Впервые термин «смена парадигм» ввёл историк и философ наук Томас Кун в книге «Структура научных революций». Научную парадигму можно представить, как систему фундаментальных достижений, идей и методов, которые принимаются всеми учёными и являются основой для будущих исследований в определённый исторический период.

Кун утверждал, что научный прогресс не является постепенным и непрерывным процессом, а скорее серией интеллектуальных «революций», которые кардинально меняют основы научного понимания и практики [1].

Кун выделил в истории науки два периода: нормальная наука – когда действительность объясняется существующей парадигмой. Научные революции – возникновение новых парадигм, меняющих существующее представление и разрушающих традиции.

Яркими примерами научных революций можно считать, например, переход от геоцентрической модели мира Птолемея к гелиоцентрической модели мира Коперника или переход от классической механики Ньютона к теории относительности Эйнштейна и квантовой механике.

Противником парадигмального подхода был австрийско-американский философ Пол Карл Фейерабенд, который считал, что парадигмальный подход не может иметь места ни в какой науке, так как парадигма как традиционная система определённой логики сковывает учёного рамками, правилами, принципами, методами.

До развития компьютерных технологий основными составляющими научного процесса являлись теория – создание гипотез и математических моделей и эксперимент – проверка теорий на практике. С развитием компьютерных технологий к этим двум составляющим присоединилось также компьютерное моделирование, которая используется для численной проверки и уточнения теорий, а эксперимент стал окончательной проверкой, часто направленный результатами моделирования [2].

Основные этапы становления компьютерного моделирования:

- До 1940-х годов. Ещё до появления компьютеров учёные считали возможным идею моделирования сложных процессов с помощью математических вычислений. Одной из важнейших теоретических предпосылок стала машина Тьюринга (1936) и работы Тьюринга, которые показали, что любой вычислительный процесс можно формализовать и автоматизировать.

- 1940-е 1950-е. Появление первых электронных вычислительных машин дало инструмент для реализации идей моделирования. Одним из первых проектов компьютерного моделирования можно считать Манхэттенский проект (1942 – 1945) – для расчётов процессов ядерного деления и разработки атомной бомбы и человеческие вычислительные бригады, и механические калькуляторы, а позже – один из самых ранних электро-механических компьютеров.

- Расцвет. 1960-е – настоящее время. Широкое распространение компьютеров и развитие программного обеспечения привели к установлению моделирования как стандартного научно-исследовательского метода.

Так чем же так хорош компьютерный подход и в чём его преимущества перед экспериментом?

Одной из ключевых функций компьютерного моделирования является исследование объектов и явлений недоступных для исследования с помощью эксперимента [2].

Примеры таких исследований.

- Космология и астрофизика: Моделирование образования галактик, столкновения черных дыр, эволюции Вселенной.

- Ядерная и термоядерная физика: Моделирование процессов в ядерном реакторе или внутри Солнца.

- Климатология: Предсказание глобальных изменений климата.

- Генетика и медицина: Моделирование распространения эпидемий, эффектов новых лекарств на виртуальных органах или целых "цифровых пациентах".

Также компьютерное моделирование находит широкое применение в исследованиях областей, где реальные эксперименты слишком дороги, опасны или длительны [2].

Примеры:

- Авиастроение и машиностроение. Испытания прочности автомобилей, самолётов и зданий. Для таких тестов безопаснее и дешевле сначала использовать компьютерные модели.

- Химия и материаловедение. Виртуальное проектирование новых материалов и соединений во много раз ускоряет работу.

Компьютерные технологии используются также для визуализации и анализа больших и сложных данных. Компьютерная модель может превратить сухие числа в удобный для представления и анализа вид: 3D-структура белков, анимация потока жидкости и многое другое. Такие наглядные отображения помогают учёным проще и быстрее выявлять скрытые значимые закономерности.

Оптимизация сложных систем – ещё одно важное применение компьютерных моделей. Моделирование помогает подстроить и найти оптимальные параметры системы для работы с наибольшей эффективностью.

Примеры:

- Логистика, оптимальные маршруты доставки.

- Энергетика, распределение нагрузок в электросетях.

Если объединять в совокупности все преимущества, которые даёт использование компьютерных моделей, то можно сделать вывод, что компьютерное моделирование стало универсальным и незаменимым инструментом в руках современных учёных, оно позволяет учёным:

- Экономить огромные ресурсы на исследованиях

- Безопасно проводить исследования экстремальных ситуаций

- Эффективно перебирать всевозможные варианты

- Проигрывать различные сценарии в различных условиях

Компьютерное моделирование активно применяется

Но компьютерный подход не лишён своих недостатков.

Таблица 1

Проблемы и ограничения компьютерного моделирования

Проблема	Суть проблемы
Принцип «мусор на входе – мусор на выходе»	Качество работы компьютерной модели целиком и полностью зависят от качества входных данных и заложенных в неё математических принципов. Любая ошибка ведёт к неточным выводам.
Упрощение реальности	В точности симулировать все условия реального мира невозможно, поэтому в компьютерных моделях учитываются только те факторы, которые создатели посчитали наиболее важными, что упрощает модель по сравнению с реальным миром
Проблема верификации и валидации	Верификация – правильно ли создатели построили модель? (Соответствует ли код уравнениям?)

	Валидация – правильную ли модель строили создатели? (Соответствуют ли результаты работы модели реальному миру)
Вычислительная сложность	Наиболее сложные задачи, в которых необходимо учитывать много факторов и работать с большим количеством информации требуют огромных вычислительных мощностей (суперкомпьютеров), что не всегда доступно

Конечно, компьютерные модели никогда не смогут полностью заменить эксперименты, как минимум потому, что на условия эксперимента влияет несчётное количество случайных факторов, каждый из которых имеет место быть, и даже построенная с высокой точностью модель не может учитывать их все, поэтому некоторые принципы, справедливые для компьютерной модели могут оказаться неверными в реальной среде, равно как и наоборот. Но несмотря на это, компьютерная модель играет огромную роль в современной науке, благодаря удобству и скорости работы, что в совокупности с экспериментальным подходом позволяет добиваться новых научных высот, как например в материаловедении, где с помощью компьютера можно быстрее подобрать материал с необходимыми свойствами, а дальше проверить его свойства экспериментально.

А в некоторых случаях, как например в изучении космологии и астрофизики, компьютерные модели являются просто единственным способом исследования явлений такого рода, что делает их совершенно незаменимыми, ведь практически все гипотезы могут проверяться только с помощью компьютерных моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Структура научных революций. Изд-во АСТ. Москва, 1962. 320 С.

2. *Стивен Вольфрам.* Новый вид науки. Изд-во Wolfram Media. 2002. 1119 С.

THE ROLE OF MODELING AND COMPUTER SIMULATIONS IN MODERN ENGINEERING. A NEW PARADIGM OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL ACTIVITY

Sapozhnikas M.A., Vinogradov R.I.

Supervisor: Salimgareev D.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article examines the significance of the scientific paradigm shift, the role of computer simulations in modern design and development, as a criterion of accuracy and reliability, and the paradigm shift of scientific and technical activities as a result of computer modeling.

УДК 001.1: 62:165.62

ПОЗИТИВИЗМ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА МЕТОДОЛОГИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК: ОТ ЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА К ИНЖЕНЕРНОЙ ПРАКТИКЕ

Сахаров Р.И.

Научный руководитель: Гимазетдинова А.Х., доцент, к. филос. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья исследует влияние позитивизма на методологию технических наук, начиная с его классических принципов — верификации, кумулятивизма и редукционизма, которые легли в основу строгих инженерных подходов, таких как стандартизированные испытания и математическое моделирование. Автор анализирует эволюцию позитивистской парадигмы, включая её развитие в логическом позитивизме, а также выявляет её ограничения в современных условиях, когда сложные технические системы требуют учёта

эмерджентности, неопределённости и социально-этических факторов. В заключении предлагается синтез позитивистских и постпозитивистских подходов, подчёркивая необходимость сочетания точных методов с междисциплинарными и гуманитарными аспектами для решения актуальных инженерных задач.

Философия играет ключевую роль в формировании методологии технических наук, задавая основы научного познания, критерии достоверности и систематизации знаний. Например, Людвиг фон Берталанфи разработал общую теорию систем, которая легла в основу системного инжиниринга. Благодаря этому, при создании ракеты-носителя инженеры анализируют не только двигатель, но и взаимодействие всех подсистем (топливо, электроника, термозащита). Без философской концепции системности сложные проекты (типа МКС) были бы набором разрозненных компонентов. Принцип ответственности Х. Йонаса требует оценивать долгосрочные последствия технологий, поэтому, например, разработчики БПЛА вынуждены учитывать не только эффективность, но и риски для приватности, экологические последствия и многое другое. Этические нормы, сформулированные философами, становятся частью технических регламентов.

Позитивизм как философское направление, зародившееся в XIX веке (О. Конт, Э. Мах), а позже развитое в рамках логического позитивизма (Венский кружок, Р. Карнап), также оказал значительное влияние на формирование методологии естественных и технических наук. Его акцент на эмпирической проверке, строгой формализации и отказе от спекулятивных рассуждений стал основой для многих инженерных подходов. Однако в современных условиях, когда технические системы усложняются и требуют учета социальных, экологических и этических факторов, позитивистская парадигма сталкивается с вызовами.

Цель исследования - проследить эволюцию влияния позитивизма на технические науки и выявить границы его применимости в современной инженерии. Рассмотрим ключевые принципы позитивизма (верификация, кумулятивизм и редукционизм) и их адаптацию в инженерной практике.

Верификация, требующая экспериментального подтверждения теорий, нашла воплощение в стандартизированных испытаниях, таких как тесты на прочность материалов или проверка надежности электронных компонентов. Например, проверка компьютерных моделей и программных кодов на наличие ошибок, путём проведения различных экспериментов, в том числе натуральных испытаний моделируемых изделий, что соответствует позитивистскому идеалу «науки как системы проверяемых фактов» [1]. Этот подход был институционализирован через системы стандартов (ISO, ГОСТ), которые формализуют критерии проверки, минимизируя субъективность.

Кумулятивизм как идея прогрессивного накопления знаний через последовательные приближения, проявился в инженерии как развитие нормативной базы и типовых решений. Исторически это прослеживается в эволюции расчётных методов: от упрощённых формул сопротивления материалов XIX века до современных конечно-элементных моделей (FEM), где каждый этап уточняет предыдущий, не отменяя его полностью. Как отмечал Г. Спенсер, эволюция технического знания следует логике «от простого к сложному», сохраняя преемственность [2].

Редукционизм, сводящий сложные системы к набору элементарных взаимодействий, стал основой для инженерного моделирования. В электротехнике, например, цепи описываются через линейные уравнения Кирхгофа, игнорируя квантовые эффекты, что допустимо для большинства практических задач. Однако, как критиковал ещё Э. Мах, такая редукция иногда приводит к «механистическому упрощению», когда системные свойства (например, эмерджентность в киберфизических системах) остаются за рамками анализа.

Эти принципы, однако, е оставались статичными. Логический позитивизм Венского кружка (Р. Карнап, М. Шлик) усилил акцент на формализации, что в инженерии выразилось в математизации задач — от преобразований Фурье в радиотехнике до алгоритмов оптимизации в аэрокосмической отрасли. Компьютерное моделирование (CAD, ANSYS) довело эту

тенденцию до крайности, сделав расчёты «чистыми» от человеческой интуиции, но и выявив границы редукционизма: как заметил К. Поппер, «модель — не реальность, а её интерпретация» [3].

Логический позитивизм радикализировал принципы классического позитивизма, объединив эмпиризм с математической логикой. Его ключевая идея — сведение научного знания к логически структурированным утверждениям, верифицируемым через наблюдение — оказала серьёзное влияние на инженерные дисциплины, особенно в области формализации и моделирования сложных систем. Математизация технических проблем стала одним из главных следствий этой парадигмы. Например, методы гармонического анализа (ряды Фурье), разработанные в математике, были адаптированы в радиотехнике для описания сигналов и фильтрации шумов [4]. Р. Карнап подчёркивал, что «физикалистский язык» науки должен обеспечивать однозначное соответствие между теоретическими конструктами и наблюдаемыми данными [5]. Это требование воплотилось в инженерных расчётах: уравнения Максвелла, формализованные в дифференциальной форме, позволили проектировать антенны и волноводы с точностью, недостижимой для дотеоретических методов.

Компьютерное моделирование (CAD, FEM-анализ) довело логико-позитивистскую программу до её технологического предела. Принцип редукции сложных систем к элементарным компонентам, сформулированный ещё Махом, лёг в основу метода конечных элементов, где непрерывные конструкции разбиваются на дискретные узлы с чёткими математическими связями. Венский кружок рассматривал такой подход как пример «единой науки», где язык физики унифицирует инженерные дисциплины. Однако, как отмечал позднее Поппер, абсолютизация формализации игнорирует эвристическую роль нестрогих интуитивных гипотез в инженерии [3].

Логический позитивизм столкнулся с проблемами применимости в технических науках. Нелинейные динамические системы (например, турбулентность в аэродинамике) часто не поддаются полной формализации из-за хаотического поведения, что противоречило принципу исчерпывающей проверяемости. Такие понятия как «напряжённость поля» или «идеальный газ» оставались полезными, несмотря на их условность, что привело к смягчению критериев верификации. Рассмотрим ограничения позитивизма в современных технических науках более подробно.

Несмотря на значительные успехи инженерной мысли, достигнутые благодаря позитивистской методологии, развитие сложных технических систем в XXI веке выявило принципиальные границы применимости этого подхода. Если классическая инженерия опиралась на детерминированные модели, где причинно-следственные связи могли быть чётко определены и верифицированы, то современные киберфизические системы, интегрирующие цифровые и физические компоненты, функционируют в условиях высокой неопределённости, что ставит под сомнение ключевые постулаты позитивизма.

Одним из наиболее существенных вызовов стал феномен эмерджентности в сложных системах, когда свойства целого не сводятся к сумме свойств его частей. В таких областях, как распределённая энергетика или автономный транспорт, системное поведение часто формируется за счёт нелинейных взаимодействий между элементами, что делает традиционные редукционистские модели недостаточными. Например, в интеллектуальных энергосетях локальные решения отдельных узлов могут порождать непредсказуемые колебания в масштабах всей системы, что противоречит позитивистскому идеалу кумулятивного накопления знаний через простые приближения [6].

Особую сложность представляет верификация в условиях неполных данных. В аэрокосмической индустрии, где безопасность зависит от миллионов параметров, традиционные методы проверки через тестирование отдельных компонентов часто оказываются неэффективными. Как показали исследования в области системной инженерии, даже исчерпывающие испытания не гарантируют отсутствия каскадных отказов, возникающих из-за непредусмотренных взаимодействий между модулями [7]. Это заставляет пересмотреть позитивистскую концепцию верифицируемости как основного критерия

научности, поскольку многие критические процессы в современных технологиях принципиально не могут быть проверены экспериментально до их реализации.

Дополнительную сложность вносит антропогенный фактор. Социально-технические системы, такие как умные города или медицинские роботизированные комплексы, требуют учёта не только физических, но и социальных, культурных и этических аспектов. Например, внедрение алгоритмов компьютерного зрения для распознавания лиц сталкивается с проблемой интерпретации контекста, который не может быть формализован в рамках позитивистской парадигмы [8]. В таких случаях строгий эмпиризм уступает место герменевтическим подходам, где понимание превалирует над измерением.

Эти вызовы указывают на необходимость переосмысления позитивистской методологии в условиях, когда инженерия перестаёт быть чисто технической дисциплиной, превращаясь в междисциплинарную практику, интегрирующую естественнонаучные и гуманитарные знания.

Постпозитивистская философия науки, представленная работами Т. Куна, П. Фейерабенда и И. Лакатоша, предложила радикально новый взгляд на развитие научного знания, который оказался особенно релевантным для современных инженерных дисциплин. В отличие от позитивистской традиции, рассматривавшей научный прогресс как линейное накопление объективных фактов, постпозитивисты выявили значение парадигмальных сдвигов и внерациональных факторов в эволюции технического знания. Концепция «научных революций» Куна находит яркое воплощение в истории инженерного дела, где технологические парадигмы действительно сменяют друг друга через периоды кризисов и переосмысления базовых принципов. Ярким примером может служить переход от механических вычислительных устройств к электронным компьютерам в середине XX века - этот процесс не был простым накоплением знаний, а сопровождался кардинальным изменением представлений о самой природе вычислений и обработки информации.

Особую ценность для инженерной практики представляет критика П. Фейерабендом догматического методологического единства. Его принцип «anything goes» (все дозволено) находит неожиданное подтверждение в современных инновационных процессах, где прорывные решения часто рождаются на стыке различных, а иногда и противоречащих друг другу методологий. Практика agile-разработки в программной инженерии, сочетающая строгие формальные методы с эвристическими подходами, демонстрирует ограниченность исключительно позитивистского подхода к решению сложных технических задач. Более того, фейерабендовская защита «анархистской» методологии помогает объяснить, почему в инженерном творчестве интуиция и нестандартное мышление часто оказываются важнее строгого следования алгоритмизированным процедурам.

Концепция И. Лакатоша о «научно-исследовательских программах» предлагает особенно плодотворную модель для анализа развития инженерных дисциплин. В отличие от куновских парадигм, которые сменяют друг друга революционным образом, лакатошевские программы могут сосуществовать и конкурировать в течение длительного времени. Это хорошо иллюстрируется современной ситуацией в энергетике, где «программа» ископаемого топлива, «программа» возобновляемых источников энергии и «программа» ядерной энергетики развиваются параллельно, каждая со своей «твердым ядром» теоретических допущений и «защитным поясом» адаптивных гипотез. Такой плюралистический взгляд позволяет более адекватно описывать реальные процессы принятия инженерных решений, которые редко следуют единой методологической линии.

Важнейшим вкладом постпозитивизма стало переосмысление роли ценностей в технических науках. Если позитивизм стремился к очищению науки от «метафизического балласта», то современная инженерная практика вынуждена постоянно учитывать этические, экологические и социальные аспекты технологического развития. Экологическое проектирование, принципы устойчивого развития и концепция ответственных инноваций - все эти направления демонстрируют невозможность строгого разделения «фактов» и «ценностей» в современной инженерии. Как показал Т. Кун, даже выбор между конкурирующими

теориями никогда не определяется исключительно эмпирическими данными, но всегда включает ценностные суждения, что особенно очевидно в тех случаях, когда инженерам приходится выбирать между технической эффективностью, экономической целесообразностью и экологической безопасностью.

В современности наблюдается синтез позитивистских и постпозитивистских подходов в инженерии. Современная инженерная практика, столкнувшись с ограничениями классического позитивизма и учитывая постпозитивистскую критику, выработала ряд гибридных подходов, которые позволяют сочетать строгость научного метода с гибкостью, необходимой для работы со сложными, нелинейными системами. Этот синтез не является механическим смешением различных философских традиций, а представляет собой органичное развитие инженерного мышления, постоянно балансировать между точным расчетом и учетом ценностных аспектов, между формализацией и творческим подходом, между детерминированными моделями и вероятностным мышлением [9].

Рассмотрим гибридные методологии в инженерной практике. Инженерия, основанная на фактических данных, представляет собой характерный пример такого синтеза, соединяя строгие позитивистские принципы доказательности с постпозитивистским пониманием ограниченности формальных методов. В медицинском приборостроении, например, этот подход проявляется в сочетании статистического анализа клинических испытаний с качественной экспертной оценкой реальных условий эксплуатации оборудования. Важно отметить, что современные стандарты доказательности в инженерии уже не сводятся к простой верификации через повторяемые эксперименты, но включают многоуровневую систему оценки, учитывающую контекстуальные факторы и долгосрочные последствия внедрения технологий. Подобная методологическая сложность особенно очевидна в таких областях, как биоинженерия или разработка систем искусственного интеллекта, где традиционные критерии проверки часто оказываются недостаточными.

Agile-методологии, первоначально разработанные для программной инженерии, демонстрируют другой аспект этого синтеза - переход от линейных, кумулятивных моделей разработки к итеративным процессам, допускающим постоянную корректировку целей и методов. В отличие от классического инженерного подхода, предполагающего полное предварительное проектирование системы, agile-методы признают принципиальную незавершенность любого технического решения на этапе его создания [10]. Философски это соответствует постпозитивистскому пониманию науки как постоянно развивающейся деятельности, но при этом сохраняет ориентацию на конкретные, измеримые результаты, характерную для позитивистской традиции. В аэрокосмической промышленности, например, такой подход проявляется в практике непрерывных улучшений, когда даже серийные изделия подвергаются постоянным модификациям на основе обратной связи от эксплуатации.

Особый интерес представляет развитие системной инженерии, которая пытается преодолеть традиционный редукционизм через целостное рассмотрение сложных технических систем в их взаимодействии с человеческими и природными факторами. Методы системного мышления, такие как анализ жизненного цикла или оценка технологического воздействия, позволяют учитывать не только внутреннюю логику технических устройств, но и их место в более широком социально-экологическом контексте. В проектировании «умных городов», например, это проявляется в сочетании точных инженерных расчетов инфраструктуры с качественным анализом городских практик и культурных особенностей населения. Такой подход фактически преодолевает классическое противопоставление естественнонаучного и гуманитарного знания, предлагая интегративные модели решения сложных проблем современности.

Цифровая трансформация инженерной деятельности также вносит свой вклад в этот методологический синтез. Современные системы цифровых двойников сочетают позитивистскую строгость математических моделей с постпозитивистским пониманием условности любых модельных представлений. В энергетике, например, цифровые двойники энергосистем позволяют не только проводить точные расчеты, но и исследовать различные

сценарии развития, включая принципиально новые, не имеющие аналогов в прошлом опыте. Это соответствует современному пониманию научного моделирования не как отражения реальности, а как инструмента ее осмысления и преобразования - подходу, который объединяет позитивистскую традицию формализации с постпозитивистским акцентом на творческом характере научной деятельности.

Позитивизм заложил фундамент для строгой методологии технических наук, но современные вызовы требуют его дополнения постпозитивистскими и междисциплинарными подходами. Будущее инженерии – в сочетании точного расчета с учетом человеко-центричных и экологических аспектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Сальников А.В., Французов М.С., Виноградов К.А., Пятунин К.Р., Никулин А.С.* Верификация и валидация компьютерных моделей // Известия вузов. Машиностроение. 2022. №9 (750) С. 100–115.

2. *Лузина Т.И., Спивак В.И.* Наука как предмет познания в философии первого позитивизма // Вестник ЛГУ им. А.С. Пушкина. 2014. №3. С. 1–9.

3. *Михайлюк А.В.* Логико-методологическая концепция К. Поппера // Вестник МГТУ. 2006. №1. С. 77–87.

4. *Гуртуева И.А., Бжихатлов К.Ч.* Аналитический обзор и классификация методов выделения признаков акустического сигнала в речевых системах // Известия КБНЦ РАН. 2022. №1 (105). С. 41–58.

5. *Карнап Р*. Физикалистский язык как универсальный язык науки // Erkenntnis. 1931–1932. Т. 2. С. 219–241, 432–465.

6. Интеллектуальные энергосистемы: мотивация, ставки и перспективы // отраслевой электротехнический журнал marketelectro.ru. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: (свободный). – URL: https://marketelectro.ru/content/intellektualnye-energosistemy-motivaciya-stavki-i-perspektivy (дата обращения: 17.06.2025).

7. *Липаев В.В.* Проблемы развития программной инженерии и некоторые фрагменты их решения // Бизнес-информатика. 2007. №1. С. 52 – 63.

8. *Расходчиков А.Н.* Искусственный интеллект и «умный город»: от цифровизации к городу-инновации // Социально-политические науки. 2022. №4. С. 47-54.

9. *Исаев С.В.* Концепция природно-технических систем и ее использование при изучении антропогенной трансформации природной среды // Географический вестник. 2016. №3(38). С. 1-9.

10. *Джабраилов Ш.В.* Сравнительный анализ методологий разработки ПО Agile и Waterfall // Молодой ученый. 2020. № 52 (342). С. 12-15.

POSITIVISM AND ITS INFLUENCE ON THE METHODOLOGY OF TECHNICAL SCIENCES: FROM LOGICAL ANALYSIS TO ENGINEERING PRACTICE

Sacharov R.I.

Supervisor: Gimazetdinova A., Associate Professor, Candidate of Philosophical Sciences.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article explores the influence of positivism on the methodology of technical sciences, starting with its classical principles of verification, cumulativism and reductionism, which formed the basis of rigorous engineering approaches such as standardized testing and mathematical modeling. The author analyzes the evolution of the positivist paradigm, including its development in logical positivism, and also identifies its limitations in modern conditions when complex technical systems require consideration of emergence, uncertainty, and socio-ethical factors. In conclusion, a synthesis of positivist and postpositivist approaches is proposed, emphasizing the need to combine precise methods with interdisciplinary and humanitarian aspects to solve urgent engineering problems.

УДК 37.018.43: 004.8

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ОБРАЗОВАНИИ: МЕЖДУ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ И ГУМАНИЗМОМ

Сибгатуллин Р.А.
Научный руководитель: Гимазетдинова А.Х., доцент, к. филос. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Современное образование стремительно интегрирует технологии искусственного интеллекта, что порождает фундаментальный конфликт между эффективностью алгоритмов и гуманистической природой педагогики. Анализируются принципиальные ограничения ИИ в воспроизведении ключевых аспектов педагогики: диалога, эмпатии и нравственного воспитания. Рассматриваются риски дегуманизации образовательного процесса при чрезмерной технологизации, а также предлагается модель «Учитель + ИИ-ассистент», где технологии дополняют, но не заменяют педагога, сохраняя живую коммуникацию и нравственные ориентиры в образовании.

Актуальность темы обусловлена стремительным внедрением технологий искусственного интеллекта (ИИ) в образовательную сферу. Такие инструменты, как ChatGPT, адаптивные платформы (Duolingo, Tutor Tree и др.), системы автоматической проверки работ, трансформируют традиционные педагогические практики, персонализируют обучение, повышают доступность и эффективность процесса. Параллельно разворачивается глобальная дискуссия о будущем профессии учителя: способны ли алгоритмы заменить педагога-человека или останутся только вспомогательными инструментами. Проблема исследования заключается в фундаментальном конфликте между технологической эффективностью ИИ (скорость, масштабируемость, оптимизация ресурсов) и ценностью человеческого общения, ролью педагога в формировании личности, нравственных ориентиров и критического мышления через живой диалог и эмпатию. Статья посвящена анализу возможностей и ограничений ИИ в образовании с позиции философской антропологии, выявление границы совместимости технологических решений с человекоцентричной природой педагогического процесса.

Использование ИИ в образовательном процессе позволяет существенно повысить технологическую эффективность системы образования, предоставляя новые возможности для педагогов и обучающихся. Указ Президента Российской Федерации В.В. Путина от 10.10.2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» подчеркивает, что образование — одна из ключевых областей, в которой проявляются возможности и применяются достижения искусственного интеллекта [1].

Современные технологии позволяют создавать адаптивное обучение, которое автоматически настраивается под индивидуальные потребности каждого учащегося. Адаптивные алгоритмы оценивают уровень знаний учащихся, скорость усвоения материала и особенности восприятия, предлагая персонализированные задания и рекомендации. Это повышает мотивацию учеников и обеспечивает оптимальную траекторию развития компетенций. Интеграция виртуальных ассистентов и чат-ботов делает процесс обучения доступным круглосуточно. Учащиеся могут получать консультации, проходить тесты и выполнять задания независимо от географического положения и временного пояса. Это особенно актуально для удаленного и онлайн-образования, обеспечивая гибкость и удобство учебного процесса. Алгоритмы машинного обучения способны объективно оценивать знания и навыки учащихся, исключая субъективные факторы, такие как предвзятость преподавателя или эмоциональное состояние экзаменатора. Автоматизированные системы оценки обеспечивают справедливое распределение баллов и повышают доверие к результатам тестирования. Большие данные предоставляют возможность глубокого анализа результатов обучения, выявлять слабые места и тенденции в освоении материала. Благодаря этому

педагоги получают инструменты для оптимизации учебных планов и повышения качества образовательного процесса.

Приложение «Duolingo» демонстрирует успешное использование ИИ для изучения иностранных языков. Интерактивные упражнения адаптируются под уровень владения языком, обеспечивая индивидуальный подход и повышая эффективность освоения нового материала. Автоматизированные системы проверки грамматики и стиля письма помогают учащимся совершенствовать навыки письменной речи. Такие сервисы используют продвинутые алгоритмы обработки естественного языка для выявления ошибок и предложений по улучшению текста. С помощью ИИ создаются учебные программы, максимально учитывающие индивидуальные запросы учащихся. Например, платформа «Tutor Tree»: она обрабатывает информацию об учебном процессе, чтобы персонализировать задания и учебные материалы для каждого ученика, учитывая его текущий уровень и предпочтительную скорость усвоения знаний [2]. Применение технологий ИИ снижает затраты на образовательные услуги путем автоматизации рутинных задач преподавателей, таких как проверка заданий и проведение тестов.

Переход к использованию новых информационных технологий несет и ряд рисков для системы образования в целом. Образование традиционно понимается как фундаментальное условие человеческого существования, определяющее развитие индивидуальности и общества в целом. Гуманистический подход акцентирует внимание на воспитании целостной личности, способной самостоятельно мыслить, чувствовать и действовать. Образование становится процессом саморазвития, направленным на раскрытие внутренних потенциалов человека. По мнению М. Бубера, подлинное знание возникает в результате живого общения между людьми («Я-Ты»), в ходе которого личность формируется и развивается посредством встречи с другим человеком, появляется феномен, свойственном только человеку, — это феномен осмысленной речи, благодаря которому люди общаются друг с другом, то есть сосуществуют [3]. Для М. Бахтина важно осознать многомерность бытия, представленную различными голосами культуры, что требует постоянного взаимодействия и взаимопроникновения смыслов. Диалогическое познание предполагает активное участие субъекта в создании собственной идентичности, обогащение опыта взаимодействием с разнообразием культурных традиций.

ИИ усиливает эффективность, но создает вызовы, связанные с дегуманизацией образовательного процесса и возникновением феномена цифрового отчуждения. В контексте образования цифровое отчуждение проявляется как: отчуждение от знания – превращение информации в «потребляемый контент» (а не результат интеллектуального поиска); отчуждение от учителя – замена межличностного взаимодействия на алгоритмизированные интерфейсы; отчуждение от процесса познания – подмена самостоятельного мышления зависимостью от ИИ-подсказок.

Например, ученики используют ChatGPT для эссе, знание становится готовым продуктом, теряется связь с авторской рефлексией, шаблонные решения ИИ подавляют креативность. Происходит деформация авторитета, так как алгоритмы нивелируют роль учителя как «живого носителя опыта» (М. Бубер). Длительное и интенсивное взаимодействие с системами искусственного интеллекта в образовательном процессе, занимающее существенную долю времени учащихся, несет риск десоциализации, выражающейся в вытеснении естественных форм межличностной коммуникации и снижении качества живого общения между обучающимися [4]. Возникает дефицит эмпатии в цифровых коммуникациях, замена дискуссий в классе на индивидуальные чат-боты приведет к распаду учебных сообществ (теория коммуникативного действия Ю. Хабермаса о кризисе коммуникации).

Несмотря на достижения в области ИИ, существуют важные сферы жизни человека, которые остаются вне зоны компетенции машин. Среди них выделяются следующие:

Эмоциональный интеллект и эмпатия: человек обладает способностью сопереживать, понимать чувства другого, устанавливать глубокие личные связи. Эти способности являются основой полноценного социального взаимодействия и взаимопонимания.

Нравственное воспитание: развитие морали и нравственных ориентиров является исключительно человеческим аспектом воспитания. ИИ способен анализировать поведение и давать советы, однако сам по себе не способен формировать внутренние убеждения и моральные нормы.

- Критическое мышление: способность сомневаться, ставить под сомнение общепринятые мнения и догматы представляет собой важную составляющую интеллектуальной зрелости. Только человек способен развивать самостоятельное мнение, подвергать сомнению существующие установки и вырабатывать собственные взгляды.

- Творчество: творческое начало присуще именно человеку, позволяя видеть мир нестандартно, искать новые решения и реализовывать оригинальные проекты. Компьютеры способны генерировать контент, имитируя творческую активность, однако полноценное творчество связано с внутренним миром, переживаниями и чувствами автора.

- Социальная адаптация: умение интегрироваться в общество, выстраивать отношения, находить свое место в социальной структуре — важная задача, которую невозможно автоматизировать. Общество строится на принципах коммуникации, уважения друг друга и сотрудничества, которые формируются только в условиях реального личного общения.

Наиболее перспективными направлениями внедрения ИИ в учебный процесс выступают:

- Тренировка конкретных навыков: платформы, основанные на ИИ, успешно применяются для тренировки базовых навыков чтения, счета, программирования и других предметных дисциплин.

- Отработка технических умений: специальные программы позволяют учащимся практиковаться в выполнении лабораторных работ, проведении экспериментов и отработке профессиональных действий, например, вождения автомобиля или оказания медицинской помощи.

- Проверка стандартных заданий: ИИ справляется с проверкой простых упражнений, тестовых заданий и написанных сочинений, освобождая учителей от монотонной работы и сокращая временные затраты.

Предоставление справочной информации: системы ИИ становятся надежными источниками быстрой справки по учебным вопросам, помогая ученикам оперативно решать возникающие трудности.

Однако существуют сферы, где использование ИИ сталкивается с серьезными препятствиями:

- Гуманитарные дисциплины: преподавание литературы, истории, искусства и других гуманитарных предметов требует особого подхода, основанного на понимании контекста, интерпретациях и духовных смыслах, что трудно реализовать даже современным технологиям.

- Воспитательная работа: взаимодействие учителя и ученика носит глубоко личный характер, включает поддержку, сочувствие, моральное наставничество, что практически невозможно воспроизвести алгоритмами.

- Работа с одарёнными детьми и детьми с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ): каждая такая ситуация требует индивидуально подобранного педагогического подхода, внимательного наблюдения и тонкого психологического контакта, что сложно обеспечить лишь техническими инструментами.

- Развитие soft skills: такие качества как лидерство, коммуникабельность, умение работать в команде, лучше всего развиваются в живой обстановке общения и совместной деятельности, а не с помощью машинных программ.

Для гармоничного сочетания преимуществ технологий и уникальных особенностей живых учителей предлагается концепция модели «Учитель + ИИ-ассистент». Учитель сохраняет ведущую позицию, формирует стратегию обучения, вдохновляет детей и решает проблемные ситуации, тогда как ИИ выступает помощником, занимаясь подготовительной работой, мониторингом успехов, решением повторяющихся вопросов и освобождением

учителя от рутины. Такой подход поддерживает этические принципы, согласно которым главная цель использования ИИ должна заключаться в поддержке и дополнении труда учителя, а не замещении его функций. Необходимо избегать ситуаций, когда ученик остается один на один с машиной, так как истинное образование подразумевает передачу ценностей, убеждений и духовного богатства от одного поколения другому. Таким образом, будущее образования лежит в грамотном сочетании достижений высоких технологий и классического преподавательского мастерства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Царапкина Ю.М. Применение искусственного интеллекта в профессионально-педагогической деятельности как основа саморазвития педагога / Ю.М. Царапкина, А.В. Анисимова, В.А. Антонова, В.Н. Морозова, А.Г. Миронов // Мир науки. Педагогика и психология. — 2024. — Т. 12. — № 3. — URL: https://mir-nauki.com/PDF/48PDMN324.pdf (дата обращения: 12.06.2025).

2. Гусейнова Г.Ф. Искусственный интеллект в педагогическом процессе: современный взгляд / Pedagogical Journal. — 2022 — Т. 12 — № 4А — URL: http://www.publishingvak.ru/file/archive-pedagogy-2022-4/a21-guseinova.pdf (дата обращения: 12.06.2025).

3. Завершинский С. Богословие диалога. «Я и ТЫ» Мартина Бубера. Консультативная психология и психотерапия, 16(3), 7–18. URL: https://psyjournals.ru/journals/cpp/archive/2008_n3/Zavershinskiy (дата обращения: 12.06.2025).

4. Селезнёв И.А. Возможности использования искусственного интеллекта для автоматизированной проверки знаний в высшей школе // Образовательные технологии и общество. — 2022. — № 2. — С. 15–22.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION: BETWEEN TECHNOLOGICAL EFFICIENCY AND HUMANISM

Sibgatullin R.A.

Supervisor: Gimazetdinova A.Kh., Associate Professor, Candidate of Philosophical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Modern education is rapidly integrating artificial intelligence technologies, which creates a fundamental conflict between the effectiveness of algorithms and the humanistic nature of pedagogy. The paper analyzes the fundamental limitations of AI in reproducing key aspects of pedagogy: dialogue, empathy, and moral education. The risks of dehumanization of the educational process with excessive technologization are considered, and the "Teacher + AI-assistant" model is proposed, where technology complements, but does not replace, the teacher, preserving lively communication and moral guidelines in education.

УДК 004

КВАНТОВАЯ КРИПТОГРФИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ КОММУНИКАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Ситдиков Р.Р.

Научный руководитель: Петрова Н.Н., доцент, к. филос. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье исследованы возможности применения квантовой криптографии для защиты информации, разобраны протоколы распределения квантовых ключей и проблемы использования их.

Криптография - наука о математических методах обеспечения конфиденциальности. Криптография лежит в основе безопасных платежей, защищённой связи и даже цифровых подписей. Классическая криптография представляет собой метод математического преобразования информации, при котором расшифровать данные может исключительно обладатель правильного криптографического ключа. Задачи криптографии сегодня базируются на специальных системах шифрования, функционирование которых реализуется путем перемножения больших данных с целью получения шифра, характеризующегося высокими показателями безопасности. Безопасность шифров обеспечивается необходимостью длительной и трудоемкой расшифровки данных. Однако развитие технологий может вызвать множество проблем у современных систем шифрования.

Квантовые компьютеры, скорее всего, довольно скоро смогут взломать многие традиционные популярные шифры криптографии с открытым ключом, такие как RSA и Diffie-Hellman. Сделать это используя классические компьютеры чрезвычайно сложно. При достаточно большой длине ключа на это может потребоваться до тысячи лет. Но использование квантовых компьютеров значительно сокращает время взлома алгоритмов, подобного им. [1]

Квантовая криптография может решить эту проблему. В отличие от классической она полагается не на математические модели, а на физику и свойства квантовых частиц, таких как фотоны.

Фотоны подходят для квантовой криптографии благодаря своим уникальным свойствам. Их поведение хорошо исследовано, и они являются носителями информации в оптоволоконных кабелях. Наиболее известным применением квантовой криптографии является квантовое распределение ключей, обеспечивающее безопасный метод обмена ключами. [2]

Первый протокол распределения квантовых ключей был разработан двумя отцами квантовой криптографии, американцем Чарльзом Беннеттом (Charles Bennett) и канадцем Жилем Брассаром (Gilles Brassard) в 1984 году. Протокол был назван по первым буквам фамилий создателей и году создания технологий – BB84. По сути, BB84 первым показал, что использование квантовых состояний надежно защищено от прослушивания.

Этот протокол основан на измерении поляризации фотона и способности квантовых частиц находиться в суперпозиции состояний до момента измерения. Как и любые другие квантовые объекты, фотоны неизбежно меняют своё состояние в процессе измерения. Это означает, что, если третья сторона попытается перехватить передачу, измерив состояние передаваемых фотонов, это сразу будет обнаружено, потому что измениться состояние фотонов. Поэтому незаметно подключиться к каналу квантовой передачи невозможно в принципе.

Обычно для описания криптографическим систем отправителя сообщения называют Алисой, получателя Бобом, а человека, пытающегося перехватить сообщение Евой. Для объяснения основных шагов в BB84 мы поступим также.

Алисе необходимо передать сообщение Бобу по незащищенному каналу связи. Для этого ей требуется создать с Бобом общий секретный ключ, который позволит им шифровать секретные сообщения друг другу. Сначала Алиса создает две случайные двоичные строки, а затем кодирует их, используя фотоны и математический алгоритм BB84, в единый результат. Алиса отправляет полученный ей результат Бобу как фотоны через квантовый канал. Причём это первый и последний раз, когда используется квантовый канал. Больше он не потребуется и все остальные коммуникации будут проводиться по открытому каналу.

Боб проводит измерения всех полученных фотонов, преобразуя их в биты. Первую половину фотонов он измеряет одним способом, а вторую другим. В зависимости от того, какой бит закодирован в фотонах, 0 или 1, методы дают разные результаты при измерении. Лишь один из методов оказывается верным для конкретного фотона, отправленного Алисой. Правильный метод, совпадающий с тем, что использовала Алиса, обеспечит точное измерение всех фотонов в своей половине, то есть 50% от общего количества. Неправильный метод верно

измерит только половину своей части фотонов, что составит 25% от общего числа. Таким образом, если Боб корректно измерит все фотоны, используя оба метода, лишь 75% фотонов будут точно соответствовать отправленным Алисой. Это ожидаемый исход.

Боб сообщает Алисе, какой метод он применил для каждого кубита и какие результаты получил. Алиса указывает, какие измерения были верными, а какие ошибочными. Затем они удаляют биты, преобразованные неправильно, а оставшиеся 75% становятся их общим секретным ключом.

Перед использованием нового ключа для безопасного обмена Алиса и Боб проверяют его надежность. Они обмениваются короткими фрагментами ключа через ненадежный канал и сравнивают их. Если проверка показывает 100% совпадение, они начинают безопасное общение с оставшейся частью ключа. В противном случае текущий ключ считается ненадежным.

Если бы Ева при подслушивании перехватила исходные фотоны между Алисой и Бобом, то измерение Евой фотонов было бы декодировано только в 75% правильных битов как это получилось бы у любого другого оригинального измеряющего. Но Ева не может знать какие биты были измерены правильно, а какие нет. Поэтому при отправке перехваченных фотонов Бобу, она отправит их в том виде, в котором их измерила, включая 25% ошибочных битов. Поскольку Боб получит не исходные фотоны Алисы, а изменённые данные от Евы, доля правильно измеренных им битов окажется ниже 75%. Когда Боб и Алиса обсуждают какие биты были получены и какие методы использовал Боб для их чтения, они смогут вычислить точность совпадений. Тот факт, что корректных битов меньше 75% укажет им на наличие шума в канале или на факт прослушивания. [3]

Ещё одним основным протоколом распределения квантовых ключей является протокол E91, который, как и BB84, тоже использует измерение поляризации фотонов, однако вместо суперпозиции состояний он полагается на квантовую запутанность — явление, при котором состояния частиц оказываются взаимосвязанными. Протокол был предложен в 1991 году профессором Артуром Экером (Artur Eker). Как ни трудно догадаться назван он был по тому же принципу, что и BB84. Его ещё называют ЭПР-протоколом. Это из-за того, что он был основан на парадоксе Эйнштейна-Подольского-Розена.

Парадокс касается пространственное разнесённых пар частиц (ЭПР-пар), чьи состояния взаимосвязаны: измерение определённой характеристики одной частицы мгновенно определяет результат измерения той же характеристики у другой частицы. Из-за их пространственного разделения возникает идея «действия на расстоянии». Например, если измерение одного фотона из пары показывает, что он находится в определённом состоянии, можно сразу утверждать, что второй фотон окажется в соответствующем состоянии, и наоборот. Для объяснения этого феномена предполагалось существование скрытых параметров, недоступных для экспериментального наблюдения. Однако Джон Белл (John Bell) показал, что любая теория, основанная на локальных скрытых параметрах, должна подчиняться сформулированному им неравенству Белла. А «Квантовая механика — это неравенство нарушает, что исключает возможность локальных скрытых параметров». Именно этот факт позволяет протоколу обнаруживать вмешательство злоумышленника в передачу данных. Присутствие криптоаналитика в системе вносит скрытый параметр, что приводит к выполнению неравенства Белла и тем самым выдаёт попытку перехвата.

Протокол работает примерно следующим образом. Для каждого временного отрезка случайным и равновероятным образом выбирается одно из возможных состояний. После этого генерируется ЭПР-пара в выбранном состоянии. Доверенный источник создаёт пару запутанных фотонов, отправляя один фотон Алисе, а другой — Бобу. Алиса и Боб независимо друг от друга случайно выбирают один из трёх измерительных базисов для каждого фотона и проводят его измерения выбранном базисе. Алиса сохраняет полученный бит, а Боб инвертирует свой результат и также записывает его. Этот процесс повторяется многократно, пока не будет сгенерирована ключевая последовательность достаточной длины.

После завершения измерений Алиса и Боб обмениваются по открытому каналу номерами битов, которые были измерены в одинаковых базисах. Они разделяют свои битовые последовательности на две части. Одна из них включает биты, измеренные в одинаковых базисах. Она называется чистым ключом. Другая состоит из оставшихся битов и называется отброшенным ключом.

В конце Алиса и Боб обсуждают по открытому каналу свои отброшенные ключи, чтобы определить, выполняется ли неравенство Белла. Его выполнение означает, что кто-то посторонний пытался перехватить информацию. В таком случае полученный секретный ключ не может считаться надёжным и безопасным для использования.

Протоколы, основанные на квантовой запутанности, имеют определенные преимущества. Они могут достигать более высоких значений ключевой скорости и более устойчивы к определенным типам атак. Однако они также требуют более сложных экспериментальных установок и, как правило, их сложнее реализовать. [4]

Несмотря на то, что у нас есть готовые протоколы, использование их может вызывать трудности. Так при масштабировании систем квантового распределения ключей для крупных сетей возникает серьезная техническая сложность: по своей природе они предназначены исключительно для двухточечного соединения. Основная проблема заключается в невозможности использования традиционных ретрансляторов или маршрутизаторов - любое промежуточное устройство будет восприниматься системой как потенциальный перехватчик. Квантовые световые сигналы в таких системах могут передаваться лишь на ограниченные расстояния до затухания, после чего требуют повторения.

Таким образом, квантовые сети распределения ключей должны представлять собой целостную систему типа «точка-точка», либо же кубиты необходимо измерять, преобразовывать в двоичный код и передавать дальше с помощью квантовых ретрансляторов. Однако каждый этап такого преобразования становится уязвимым звеном, где злоумышленник может перехватить зашифрованные данные без риска быть обнаруженным.

Еще одна ключевая проблема – уровень защищенности существующих систем квантового распределения ключей. Поскольку они появились относительно недавно, их истинная надежность до конца не изучена. Помимо уязвимостей, связанных с ретрансляционными узлами, такие системы подвержены кибератакам как на квантовом, так и на классическом уровне. Криптографы с осторожностью относятся к технологиям, не прошедшим длительную проверку временем, включая анализ со стороны злоумышленников и экспертов по безопасности.

Хотя квантовая криптография все еще развивается, её потенциал обеспечивать безопасность коммуникаций на более высоком уровне очевиден. С использованием квантовой криптографии коммуникации могут быть защищены от злоумышленников и тех, кто стремится получить несанкционированный доступ к конфиденциальным данным. Исследования в данной области продолжаются. Разрабатываются и тестируются новые протоколы и атаки. Однако спрос на квантовые шифры пока остается довольно низким, и эта ситуация может сохраняться еще долгое время. Появление множества квантово-устойчивых алгоритмов шифрования, скорее всего, снизит интерес к квантовой криптографии в целом - по крайней мере, до тех пор, пока квантовые устройства не станут достаточно дешевыми и доступными для массового использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Булатова А.Р.* Квантовая криптография и квантовые вычисления // Вестник ПЕНЗГУ. 2025. №1 (49). [Электрон. ресурс] - Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/kvantovaya-kriptografiya-i-kvantovye-vychisleniya.

2. *Тырышкин С.Ю.* Квантовая информатика. Информационно-измерительные и управляющие системы — Москва: Издательство Юрайт, 2025. — 102 с. [Электрон. ресурс] - Режим доступа: https://urait.ru/bcode/580749.

3. *Граймс Р.А.* Апокалипсис криптографии / пер. с англ. В.А. Яроцкого – М.: ДМК Пресс, 2020. – 290 с.

4. Протокол квантового распределения ключей с использованием ЭПР Режим доступа: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Протокол_квантового_распределения_ключей_с_использованием_ЭПР [Электрон. ресурс].

QUANTUM CRYPTOGRAPHY AND ITS ROLE IN ENSURING COMMUNICATION SECURITYU

Sitdikov R.R.

Supervisor: Petrova N.N., Associate Professor, Candidate of Philosophical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the possibilities of using quantum cryptography to protect information, analyzes quantum key distribution protocols and problems of using them.

УДК 111+ 62

ОНТОЛОГИЯ ТЕХНИКИ

Торин С.В.

Научный руководитель: Исайкина И.В. ст. преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается онтологическая концепция техники через призму различных исторических эпох и философских категорий. Цель работы заключается в описании онтологической концепции техники с использованием исторического, системно-структурного и цивилизационного подходов. Техника определяется как исторически развивающаяся совокупность искусственных средств и связанных с ними знаний и навыков.

Современный мир развивается стремительно, противоречиво и пугающе, и любая попытка аналитического отношения к обществу, жизни человека, эволюции культуры неизбежно приводит нас к проблемам философии техники [1]. Страница указывается в списке литературы

Техника определяется как «исторически развивающаяся совокупность создаваемых людьми средств (орудий, устройств, механизмов и т. п.), которые позволяют людям использовать естественные материалы, явления и процессы для удовлетворения своих потребностей». Также к технике нередко относят «знания и навыки, с помощью которых люди создают и используют эти средства в своей деятельности». В данной работе используются оба подхода к определению техники: техника как машины и инструменты, и техника как деятельность.

В современном философском дискурсе присутствуют различные концепции техники: онтологическая, антропологическая, инструменталистская, аксиологическая. В рамках онтологии материальный мир делится на мир природных объектов и мир артефактов. Артефакты – это вещи, созданные творческой деятельностью человека, вторая природа.

Платон рассматривал техническую деятельность как «копирование» эйдоса в материале, в материи. В чем-то это сродни творчеству Демиурга, созидающего космос. Ремесленник копирует эйдос-идею, а живописец создает лишь видимость или призрак. Другой гений античности – Демокрит - полагал, что ремесла возникли из нужды посредством подражания природе, например, ткацкое искусство у пауков или строительство жилищ у птиц. Аристотель отличал природные объекты от искусственных, указывая, что природные объекты имеют «в самом себе начало движения и покоя», в отличие от искусственно образованных

предметов. Таким образом, в Античности бытие техники рассматривалось через категорию подражания и соотносилось конструктивно с эйдосом-идеей.

В Средние века античный образ Демиурга сменяется идеей Бога-творца, созидающего мир из небытия по вдохновению. Здесь творчество обходится уже без идеи копирования, но его также можно рассматривать как подобие инженерного конструирования, как техническое делание. К тому же техническое творчество в средневековье всегда освящается духом: работа ремесленника или строителя в эту эпоху помимо практической значимости имеет религиозный смысл служения Богу и церкви. Техническое творчество уже явно несамоценно, но является символом служения высшему. Крупнейшие архитектурные проекты того времени, например, имеют непосредственное отношение к церковной жизни и символизируют преданность Богу. Категория служения в религиозном контексте становится ключевой для понимания технической деятельности и вещного мира.

В рамках философских идей Ренессанса, формирующегося гуманизма, человек рассматривается уже как богоподобный творец, деятель, искусный инженер, преобразующий природу по своему желанию. Техническая деятельность в ее высших формах в этот период – это прорыв в мир мечты, предполагающий бесконечность. Вот, например, Леонардо да Винчи: его удивительные технические новации напоминают попытки преодоления природных ограничений человеческого существования. Все эти летательные аппараты, подводный скафандр, подобие танка, механический человек… Поражает то, насколько эти идеи опережают социально-экономические потребности эпохи! Смысл технической деятельности в эпоху Возрождения – не просто покорение природы, а расширение горизонтов бытия человека в мире через преодоление ограниченности наших биологических возможностей.

Новое Время дарит нам целую череду технических переворотов. Процессы производства, ранее осуществлявшиеся в мастерских ремесленников, становятся гораздо более эффективными благодаря появлению мануфактур. Технические устройства специализируются, техника приобретает сугубо узкое, утилитарное значение. Меняется и сам характер труда: появляются новые профессии и узкая специализация производителя. Новшества в области техники в XVII – XVIII столетиях не были напрямую связаны с развитием естественных наук, хотя косвенно такая связь, конечно, существовала. Техническая оптимизация производства осуществлялась в основном благодаря практическим потребностям, экономическим причинам и конкуренции.

Новое время декларирует ценности либерализма: это разум, справедливость, свобода, равенство, братство. Фрэнсис Бэкон начинает формирование программы сциентизма, он пишет о необходимости преодоления идолов и предрассудков, о перестройке науки и философии на основе эмпирического метода, подчеркивает практическую и общественную ценность науки. Именно ему принадлежит знаменитый афоризм «Знание – сила». В Новое время бурно развивается приборная техника для естествознания, конструируются и совершенствуются телескопы, микроскопы, термометры, различные измерительные приборы. В XVIII веке начинается формирование технических наук и системы высшего технического образования, открывается Парижская политехническая школа, созданная Гаспаром Монжем и Лазаром Карно.

Теперь, помимо экономических механизмов и практических нужд, наука становится мощным двигателем развития техники. Открывается новое измерение социального бытия – прогресс. Фрэнсис Бэкон в «Новой Атлантиде» описывает общество будущего, где наука решила проблемы благополучия, а ученые могут продлевать жизнь, управлять светом, создавать летательные аппараты и новые вещества. Целью общества является «познание причин и скрытых сил вещей и расширение власти человека над природою». (необходима сноска) Техника начинает восприниматься как имманентная часть науки и общественного развития, неотъемлемая составляющая прогресса.

Первая технологическая революция Нового времени – ее часто называют промышленной революцией – происходит в конце XVIII столетия. Это переход от ручного труда к машинному производству. В XIX столетии происходят вторая и третья

технологические революции: использование энергии пара, а затем освоение энергии электричества. Эти две (вторая и третья) базируются на достижениях науки, и в то же время являются стимулами и двигателями дальнейшего научного прогресса. Бытие техники теперь представлено в крупных формах: фабрики, заводы, транспортные системы. Сущность бытия техники, ее предназначение становятся очевидными – это обслуживание производственных и хозяйственных задач. Изобретение Томаса Эдисона и использование электричества привели к новым формам разделения труда и новым технологиям. Здесь техника предстает в ипостаси процесса технологической революции.

Постепенно создается техногенная среда, окружающая человека. В технических знаниях и инженерии происходит переход от метода проб и ошибок к научному способу оптимизации технического процесса, что приводит к широкому использованию научных знаний в проектировании и производстве. Это вызывает необходимость развития профессиональной инженерии – особого вида деятельности на границе науки и техники. Формируется совершенно новое направление деятельности человека в форме технической составляющей производства и науки, включающей технику, прикладные науки и инженерию. Взаимопроникновение науки и техники привело к революционному скачку в системе образования, повысило его социальную ценность.

Колоссальное значение техники в XIX веке привело к появлению философии техники, где онтология техники предстала в двух измерениях. Первое — это антропоцентристская концепция органопроекции Эрнста Каппа, где техника рассматривается как продолжение человеческого тела, а человеческие органы и их функции служат прототипами для создания орудий и машин. Второе - отождествление техники с технологией, как результатом зрелости ремесла.

Сегодня техника стремительно вторгается в быт людей: автомобили, телефоны, швейные и печатные машинки становятся частью бытия личности. Техника как техногенная среда расширяется, заполняя дома людей. В начале XX века философская рефлексия - К. Ясперс, М. Хайдеггер, Н. Бердяев – ответила на это сокрушительной критикой. Некоторые интеллектуалы склонны были рассматривать технику как «силу разрушения», ломающую человека и культуру [2]. В 1940-х годах начинается четвертая технологическая революция, основанная на энергии углеводородов. После Второй мировой войны происходят прорывы в развитии науки и техники: космическая отрасль, освоение ядерной энергии, генная инженерия.

Происходит дальнейшее увеличение объемов и ассортимента бытовой техники. Техническая среда эволюционирует в техносферу. Российский философ В.М. Розин употребляет категорию «техносфера», описывая ее как техническую суперсистему, определяющую развитие других технических подсистем. Исследователь техники Б.И. Кудрин предложил термин «технетика», указывая на всеобщность технической реальности и преобразование биосферы в техносферу. Было также введено понятие «техноценоза» как отдельного компонента техносферы – совокупности технических изделий-особей, объединенных слабыми связями и общей целью.

Бурное развитие науки и техники, их слияние в единую производительную силу привело к серьезным кризисным явлениям: загрязнению и деградации природной среды. Экологический кризис осознается сегодня как глобальный вызов техногенного характера. Техника оказалась не только источником чудес и комфорта, но и причиной глубочайшего кризиса цивилизации, причиной возможной гибели человечества.

Началом пятой технологической революции принято считать создание транзистора, приведшее к микросхемам, микропроцессорам и компьютерам. Наступил век электроники с новыми устройствами и технологиями: компьютер, Интернет, социальные сети, мобильный телефон, специализированное программирование, дистанционная работа. Интенсивно внедряются системы автоматизации и роботизации производства, формируется новый ресурс – интеллектуальная сила. Компьютер становится обязательным предметом не только производства, но и быта. Пятый технологический уклад связан с развитием информационно-

компьютерных, коммуникационных, финансовых, управляющих и дистанционных технологий. Произошел переворот в способах передачи информации. Огромное значение приобретают поисковые системы, такие как Yahoo. Пятый технологический уклад сделал труд более сложным и интеллектуальным. Интернет, появившись в 80-х годах, к 1990-м годам становится мощной суперсистемой. С изобретением компьютера и появлением Интернета внутри техносферы начинает формироваться что-то вроде коллективного разума.

Точкой отсчета шестого технологического уклада является начало XXI столетия. Совершенствующаяся мобильная связь и развивающиеся социальные сети сделали реальным общение огромных масс людей по всему миру. С развитием технологий виртуальной реальности, голограмм, дополненной реальности, техника в рамках техносферы и коллективного разума продуцирует онтологически параллельную, техническую реальность – своеобразное инобытие.

Человек постоянно соприкасается с этой реальностью, общаясь с аналогами человека (программы-роботы, голограммы, искусственный интеллект). Наступает грядущая «технотронная эра» или «техногенная цивилизация», о которой писал З. Бжезинский [3]. Важнейшей чертой нового общества будет повсеместное присутствие человекоподобных роботов и киборгов – инженерного синтеза человека и машины. Уже сегодня роботов учат социальному взаимодействию, они анализируют поведение других машин, чтобы понять их цели и задачи, формируя базовые социальные навыки. Возможно ли, что в будущем технические устройства полностью заменят или вытеснят человека? Нас ждет война машин?

Бесспорно, то, что онтологическая сущность техники постоянно эволюционирует, обретает новые свойства, являет новые качества и бросает нам новые вызовы [1, с. 284]. Важнейшим моментом является соотнесение самости техники с антропологической составляющей технологического процесса. Сперва техника следует логике Каппа и является продолжением или проекцией человека. Но создание человекоподобных роботов – это своеобразный финал этого пути.

Возможно ли появление новых свойств технических объектов, которые будут преодолевать человека и приобретать новый онтологический смысл, разрушительный для нас, но самодостаточный для самих технических устройств? Либо техника будущего предназначается не для человечества в его теперешней форме, а для некоторого иного субъекта деятельности? Возможно, мы являемся свидетелями и участниками переломного момента нашей собственной истории: человек должен измениться, либо начнется неуправляемый процесс его вытеснения и замещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Розин В.М.* Философия техники: от египетских пирамид до виртуальных реальностей: монография / В.М. Розин — Москва: URSS, 2021. — 320 с., с.15.

2. *Хайдеггер М.* Вопрос о технике / М. Хайдеггер // Время и бытие: Статьи и выступления. — Москва: Республика, 1993. — С. 221–238, с.225.

3. *Бжезинский З.* Технотронная эра / З. Бжезинский: пер. с англ. — Москва: АСТ, 2020. — 416 с., с. 112.

THE ONTOLOGY OF TECHNOLOGY

Torin S.V.

Supervisor: Isaikina I.V., Senior lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the ontological concept of technology through the prism of various historical epochs and philosophical categories. The purpose of the work is to describe the ontological concept of technology using historical system-structural and civilizational approaches. Technology is defined as a historically developing set of artificial tools and related knowledge and skills.

УДК 601:130.2

ПРОБЛЕМА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ФИЛОСОФИИ ТЕХНИКИ

Фадеева С.Е.
Научный руководитель: Муртазин С.Р., ассистент, к. филос. н.
(Казанский государственный медицинский университет, г. Казань)

Аннотация. В статье исследуется проблема искусственного интеллекта (ИИ) в контексте философии техники. Анализируются онтологические, гносеологические и антропологические аспекты ИИ, рассматриваются этические дилеммы, связанные с развитием интеллектуальных систем. Особое внимание уделяется вопросу о возможности создания сильного ИИ и его последствий для человеческой цивилизации.

Феномен искусственного интеллекта представляет собой одну из наиболее сложных и дискуссионных проблем современной философии техники. Стремительное развитие ИИ-технологий в XXI веке актуализировало ряд фундаментальных философских вопросов, связанных с природой разума, сознания и творчества [1]. Как отмечает Д.И. Дубровский, «проблема ИИ выходит за рамки чисто технической сферы, затрагивая самые основы человеческого бытия» [2].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью философского осмысления трансформаций, которые ИИ производит в различных сферах.

Влияние искусственного интеллекта распространяется на различные сферы человеческой жизни, включая когнитивную область, где меняются процессы мышления; социальную сферу, где возникают новые формы коммуникации; этическую плоскость, где возникает проблема ответственности; и антропологическую перспективу, где трансформируется само понимание образа человека.

Цель статьи - комплексный анализ проблемы ИИ в философии техники. Для достижения этой цели решаются следующие задачи:

Задачи исследования включают изучение происхождения и исторического развития философских вопросов, связанных с искусственным интеллектом, анализ его онтологических оснований, рассмотрение антропологических изменений, обусловленных внедрением ИИ, а также выявление и обсуждение ключевых этических проблем, сопровождающих его развитие.

Методологическую основу исследования составляют: диалектический метод, позволяющий рассматривать ИИ в его противоречивом развитии; герменевтический анализ текстов; междисциплинарный подход, объединяющий философские и технические аспекты проблемы.

Философские истоки проблемы ИИ можно проследить ещё в античных мифах (Галатея, голем) и механистических концепциях Нового времени. Р. Декарт, разрабатывая идею «животных-машин», фактически заложил основы для дискуссии о возможности искусственного мышления [3].

В XX веке формирование проблемы ИИ как самостоятельной области исследования связано с работами А. Тьюринга, предложившего знаменитый тест для определения «разумности» машины [4]. Философскую разработку эта проблема получила в трудах Х. Дрейфуса, критиковавшего возможность создания полноценного ИИ [5].

В современной философии техники можно выделить три основных подхода к проблеме ИИ:

1. Сциентистский (Д. Деннет, Р. Курцвейл) - вера в возможность создания сильного ИИ;
2. Скептический (Д. Серл, Х. Дрейфус) - отрицание принципиальной возможности машинного сознания;
3. Критический (Ж. Бодрийяр, П. Вирилио) - анализ социокультурных последствий ИИ.

Ключевым вопросом философии техники применительно к искусственному интеллекту остается проблема его онтологического статуса: является ли ИИ простым инструментом, квазисубъектом или же представляет собой качественно новую форму бытия.

Э. Капп в своей концепции «органопроекции» рассматривал технику как продолжение человеческих органов [6]. В этом контексте ИИ можно понимать, как проекцию человеческого мышления. Однако современные системы ИИ демонстрируют свойства, выходящие за рамки простого инструментария.

М. Хайдеггер предупреждал об опасности «постава» - такого отношения к миру, когда всё (включая человека) рассматривается как ресурс [7]. В этом ключе ИИ может стать высшей формой «постава», где даже мышление превращается в технический ресурс.

Исследуются такие аспекты, как происхождение и исторический генезис философских вопросов, связанных с искусственным интеллектом, анализируется его онтологический статус, изучаются антропологические последствия его развития, а также выявляются и обсуждаются основные этические проблемы, сопутствующие этому процессу.

Особую остроту приобретает вопрос о человеческой идентичности в эпоху ИИ. Как отмечает Н.Н. Моисеев, «создавая искусственный интеллект, человек вынужден заново определять, что значит быть человеком» [8].

Развитие искусственного интеллекта выводит на первый план широкий круг этических вопросов, каждый из которых обладает значительными последствиями как для отдельных индивидов, так и для общества в целом. Наиболее острыми и обсуждаемыми остаются проблемы, связанные с ответственностью за действия автономных систем, поскольку автоматизация принятия решений поднимает серьезные вопросы о распределении ответственности и вины в случаях ошибок или нарушений.

Другой важной темой становятся права и статус искусственных субъектов, ведь создание интеллектуальных систем, способных проявлять признаки осознанного поведения, заставляет пересмотреть традиционные юридические и этические нормы. Вопросы, касающиеся признания прав таких систем, защиты их от злоупотреблений и эксплуатации, приобретают особую значимость, особенно в связи с быстрым ростом числа роботов и цифровых агентов, вовлеченных в общественное взаимодействие.

Отдельного внимания заслуживает проблема предвзятости алгоритмов, активно проявляющаяся в современных системах искусственного интеллекта. Алгоритмическая предвзятость способна приводить к несправедливому обращению с людьми, искажению общественного восприятия и усилению существующих социальных неравенств. Следовательно, борьба с предвзятостью требует тщательного изучения механизмов возникновения предвзятых решений, выявления скрытых факторов и источников дискриминации, а также выработки четких критериев оценки нейтральности и объективности ИИ-решений.

Наконец, особо острые дебаты ведутся вокруг этических аспектов военного применения искусственного интеллекта. Использование автономных боевых систем, способных самостоятельно выбирать цели и применять оружие, бросает серьезный вызов традиционным нормам международного гуманитарного права и моральным принципам ведения войны. Такие технологии ставят под угрозу принципы соблюдения человечности, пропорциональности и различия между комбатантами и мирными жителями, порождая новые вызовы для международных организаций и правовых институтов.

Эти вопросы требуют серьезного философского осмысления, создания новых нормативно-правовых рамок и постоянного мониторинга за соблюдением этических стандартов в процессе разработки и внедрения технологий искусственного интеллекта.

Особую дискуссию вызывает вопрос о возможности создания моральных агентов на основе ИИ. Как справедливо отмечает В.Г. Горохов, «этика ИИ требует разработки новых нормативных frameworks, учитывающих специфику искусственных систем» [9].

Проведенное исследование проблемы искусственного интеллекта в контексте философии техники демонстрирует многогранность и глубину данного феномена,

требующего междисциплинарного подхода и комплексного философского осмысления. В ходе анализа были выявлены ключевые аспекты влияния развития ИИ на различные сферы человеческого знания и практики.

Философские импликации развития искусственного интеллекта затрагивают фундаментальные вопросы онтологии, эпистемологии и антропологии. Прежде всего, это касается проблемы природы сознания и мышления, где ИИ выступает как экспериментальный полигон для проверки различных теорий сознания. Возникают новые вопросы о границах между искусственным и естественным интеллектом, о возможности создания машин с сознанием и самосознанием.

Антропологический сдвиг, порожденный прогрессом в сфере искусственного интеллекта, оказывает глубокое влияние на традиционное понимание человеческой природы и места человека в обществе. Переосмысливая сущность разума, мы сталкиваемся с новыми границами и пределами человеческих возможностей, расширяя наши представления о мышлении и сознании. Этот процесс влечет за собой радикальную ревизию устоявшихся понятий субъекта и автономии, ставя под сомнение прежнюю уверенность в независимости человека в свете растущего влияния и интеграции ИИ-технологий в повседневную реальность.

Этическая составляющая проблемы искусственного интеллекта требует серьезных теоретических разработок и создания новых нормативных моделей регулирования. Среди приоритетных задач выделяются этико-философские вопросы, касающиеся автономных систем, принимающих решения, их способности отвечать за собственные действия и степень доверия, которое можно им доверить. Одновременно разворачивается масштабная общественная дискуссия относительно распределения социальной ответственности, установления справедливых стандартов и сохранения принципов равенства в условиях усиливающегося присутствия интеллектуальных технологий.

Перспективы дальнейших научных изысканий в этой области открываются на пересечении множества перспективных направлений. Одним из важнейших станет углубленное изучение философско-этических основ взаимодействия человека и машины, анализ возможных сценариев эволюции общественных отношений и социальных структур в условиях цифрового мира. Значительное внимание будет уделено вопросам устойчивого баланса между технологическим прогрессом и сохранением гуманистических ценностей, изучению нравственных последствий автоматизации и роботизации общества, а также разработке новых подходов к образованию и подготовке специалистов, способных эффективно взаимодействовать с искусственными системами и принимать взвешенные решения в будущем высокотехнологичном мире.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Дубровский Д.И.* Искусственный интеллект и философские проблемы познания. - М.: Наука, 2020. - 320 с.
2. *Дубровский Д.И.* Проблема идеального. - М.: Канон+, 2018. - 368 с.
3. *Descartes R.* Discourse on Method. - London: Penguin, 1999. - 256 p.
4. *Тьюринг А.* Может ли машина мыслить? - М.: ЛКИ, 2017. - 128 с.
5. *Dreyfus H.* What Computers Still Can't Do. - Cambridge: MIT Press, 1992. - 354 p.
6. *Капп Э.* Основные направления философии техники. - М.: Либроком, 2013. - 216 с.
7. *Хайдеггер М.* Вопрос о технике // Время и бытие. - М.: Республика, 1993. - С. 221-238.
8. *Моисеев Н.Н.* Человек и ноосфера. - М.: Молодая гвардия, 1990. - 351 с.
9. *Горохов В.Г.* Философия техники и инженерной деятельности. - М.: Юрайт, 2021. - 502 с.

THE PROBLEM OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE PHILOSOPHY OF TECHNOLOGY

Fadeeva S.E.
Supervisor: Murtazin S.R., Candidate of Philosophical Sciences, assistant
(Kazan State Medical University of the Ministry, Kazan)

Abstract. The article examines the problem of artificial intelligence (AI) in the context of the philosophy of technology. Ontological, epistemological and anthropological aspects of AI are analyzed, and ethical dilemmas associated with the development of intelligent systems are considered. Particular attention is paid to the issue of the possibility of creating strong AI and its consequences for human civilization.

УДК 601:130.2

ФИЛОСОФИЯ ТЕХНИКИ: ПРИРОДА И СУЩНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Фадеева С.Е.
Научный руководитель: Муртазин С.Р., ассистент, к. филос. н.
(Казанский государственный медицинский университет, г. Казань)

Аннотация. Статья предлагает всестороннее рассмотрение философии техники как специфического раздела философской науки. Изучается происхождение технической реальности, её бытийные корни и ценностные измерения. Подробно освещается проблема взаимодействия техники и человека в эпоху цифровой революции. Анализируются возможные пути эволюции технической реальности в свете текущих технологических тенденций.

Сегодняшняя эпоха отличается невиданным ранее прогрессом технологий, кардинально меняющим все аспекты жизни общества. Поэтому особое значение обретает философская рефлексия относительно природы и роли техники. Хотя философия техники выделилась в отдельную дисциплину лишь на стыке XIX–XX столетий, основы технологического мышления уходят своими корнями глубоко в античную философию [1].

Необходимость изучения данной темы определяется потребностью понимания фундаментальных изменений, происходящих под влиянием техники в современной социальной реальности. Карл Митчем подчеркивает, что техника больше не выступает исключительно как средство достижения целей, а стала естественной средой существования современного индивида [2]. Это ставит перед нами необходимость пересмотреть традиционные философские категории сквозь призму технической реальности.

Статья посвящена детальному рассмотрению природы и сущности технической реальности, основываясь на анализе ведущих философских школ и течений. Ее главная цель — систематизировать знания о техническом быте, выяснить пути изменения философского взгляда на технику, определить ее онтологический статус, установить связь между техникой и существованием человека, а также провести глубокий анализ этических конфликтов, возникающих вследствие технического прогресса. В работе последовательно раскрываются историко-философские предпосылки, лежащие в основе современных трактовок техники, исследуются ее проявления в культуре и повседневной жизни, формулируются выводы, направленные на осознание позитивных и негативных сторон технического процесса и предложение путей разрешения возникающих этических коллизий.

Методологической основой выступают: диалектический метод, позволяющий анализировать технику в динамике её внутренних противоречий; герменевтика, направленная на интерпретацию ключевых философских источников; системный подход, рассматривающий техническую реальность как комплексное явление.

Философские размышления о технике имеют многовековую историю, насчитывая свыше двух тысяч лет. Античные мыслители трактовали понятие «техника» (греч. τέχνη) как умение творчески созидать предметы, отличающееся от природного процесса (греч. φύσις). Так, в своем труде «Никомахова этика» Аристотель определял технику как рациональную способность человека производить вещи [3].

В эпоху Нового времени Ф. Бэкон провозгласил технику средством покорения природы. Его знаменитый тезис «Знание – сила» отражал новое отношение к техническому прогрессу [4]. Р. Декарт развил это направление, предложив механистическую картину мира, где природа понималась как сложный механизм.

Особый вклад в философию техники внесли представители немецкой классической философии. Г.В.Ф. Гегель рассматривал технику как опредмечивание человеческого духа, как «вторую природу», созданную человеком [5].

Среди основных подходов к философии техники традиционно выделяют инструменталистский подход, представленный такими авторами, как П. Энгельмейер и Ф. Дессауэр, акцентирующий внимание на роли техники как инструмента человеческой деятельности. Другой важный подход — антропологический, развиваемый А. Геленом и Х. Плеснером, связывающий развитие техники с особенностями человеческой природы и потребностью в преодолении физических и ментальных ограничений. Третий подход — критический, характерный для работ М. Хайдеггера и Г. Маркузе, подчеркивающий негативные социальные и экзистенциальные последствия технологического прогресса. Наконец, постмодернистский подход, связанный с именами Ж. Бодрийяра и П. Вирилио, рассматривает технику как феномен, глубоко встроенный в современную культуру и создающий уникальные формы опыта и реальности.

Мартин Хайдеггер в своей известной работе «Вопрос о технике» провел глубокое исследование технической проблематики, раскрыв сущность техники как особого способа обнаружения бытия — постава (Gestell), который определяет характер современного мира [6].

Техническая реальность обладает сложным онтологическим статусом, занимая промежуточное положение между природой и культурой. Как отмечает В.Г. Горохов, «техника есть опредмеченная человеческая деятельность, материализованное знание» [7].

Технические объекты обладают рядом характеристик, отражающих их природу и роль в общественной практике. Во-первых, артефактуальность, означающая их рукотворное происхождение, подчеркивает важность человеческого фактора в создании технических устройств. Во-вторых, функциональность, выражающаяся в ориентации техники на выполнение определенных практических задач, определяет ее практическую ценность и полезность. В-третьих, системность, заключающаяся во взаимозависимости компонентов внутри технической структуры, обеспечивает эффективность функционирования и надежность технических комплексов. Наконец, динамичность, характеризующая постоянное улучшение и эволюционирование технических объектов, позволяет адаптироваться к новым условиям и требованиям современного общества.

Характерной чертой текущего периода стало цифровое преобразование технической среды. Благодаря виртуальным технологиям возникают качественно новые формы существования, получившие название «гиперреальности» согласно концепции Жана Бодрийяра [8]. Это порождает принципиально новые философские проблемы, связанные с размыванием границ между реальным и виртуальным.

Техника радикальным образом преобразует саму человеческую природу. Э. Капп в своей «органопроекции» показал, что технические изобретения являются продолжением человеческих органов [9]. Современные технологии (нейроинтерфейсы, бионические протезы) делают эту концепцию особенно актуальной.

Феномен «технологической зависимости» становится характерной чертой современного общества. Как отмечает Н.Н. Моисеев, «человек рискует превратиться в придаток созданной им же техносферы» [10]. Это требует разработки новых стратегий взаимодействия человека и техники.

Современные технологии вызывают множество этических проблем, каждая из которых имеет значительные последствия для общества и личности. Одной из центральных является проблема ответственности за последствия технологических нововведений. Быстрое внедрение инновационных решений зачастую опережает способность общества оценить их долгосрочные эффекты, создавая неопределенность и риск непредвиденных негативных последствий.

Еще одним важным вопросом является граница допустимого технологического вмешательства в природу человека. Современные биотехнологии позволяют изменять генетический код, улучшать физические и умственные способности, однако такое вмешательство поднимает серьёзные этические вопросы о пределах допустимых манипуляций с телом и сознанием, потенциальном нарушении естественных законов и дегуманизации личности.

Цифровое неравенство также представляет значительную этическую проблему современности. Доступ к информационным технологиям и сетям интернета неравномерно распределяется по всему миру, усугубляя разрыв между богатыми и бедными странами, классами и группами населения. Такое неравенство создает барьеры для равных возможностей и нарушает право каждого гражданина на участие в цифровом пространстве.

Кроме того, значительный этический вызов представляют технологии искусственного интеллекта. Создание систем, способных имитировать человеческий интеллект, провоцирует споры о моральном статусе искусственного агента, праве интеллектуальной собственности, безопасности автономного оружия и правомерности замены людей машинами в ряде профессий. Эти вопросы требуют глубокой философской и юридической проработки, учитывая высокий потенциал риска и возможное нарушение базовых человеческих прав и свобод.

Особую остроту приобретает проблема автономности технических систем. Как справедливо отмечает И.А. Акчурин, «создавая искусственный интеллект, мы сталкиваемся с необходимостью пересмотра традиционных этических категорий» [11].

Философское изучение технической реальности помогает раскрыть её многослойную структуру и многообразное воздействие на жизнь современных людей. Техника выходит за рамки простого инструмента, становясь ключевым фактором формирования человеческой деятельности. Для глубокого понимания процессов современности необходима новая философская концепция, учитывающая особенности технологической эры.

Перспективы будущих научных исследований связаны с несколькими ключевыми направлениями. Во-первых, ожидается дальнейшее развитие философского анализа цифровых явлений, включающего оценку культурных, экономических и социальных эффектов цифровой революции. Во-вторых, значительное внимание будет уделяться исследованию трансформации человеческих качеств в условиях постоянно увеличивающейся технизации среды обитания, изменениям в восприятии себя и окружающего мира, влиянию информационных технологий на личность и коллективные ценности. Наконец, третьим направлением станут поиски эффективных этических принципов регулирования технологических инноваций, направленных на минимизацию рисков и обеспечение гармоничного сосуществования человечества и достижений научно-технического прогресса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Горохов В.Г.* Философия техники: учебное пособие. - М.: ИНФРА-М, 2019. - 352 с.
2. *Mitcham C.* Thinking through Technology: The Path between Engineering and Philosophy. - Chicago: University of Chicago Press, 1994. - 397 p.
3. *Аристотель.* Никомахова этика // Соч. в 4-х тт. Т. 4. - М.: Мысль, 1983. - 830 с.
4. *Bacon F.* Novum Organum. - London: Routledge, 2000. - 256 p.
5. *Гегель Г.В.Ф.* Энциклопедия философских наук. Т. 3. Философия духа. - М.: Мысль, 1977. - 471 с.

6. *Хайдеггер М.* Вопрос о технике // Время и бытие. - М.: Республика, 1993. - С. 221-238.
7. *Горохов В.Г.* Техника и культура. - М.: Логос, 2018. - 280 с.
8. *Baudrillard J.* Simulacra and Simulation. - Ann Arbor: University of Michigan Press, 1994. - 164 p.
9. *Капп Э.* Основные направления философии техники. - М.: Либроком, 2013. - 216 с.
10. *Моисеев Н.Н.* Быть или не быть... человечеству? - М.: Устойчивый мир, 1999 - 288 с.
11. *Акчурин И.А.* Философия искусственного интеллекта. - М.: Канон+, 2018. - 320 с.

PHILOSOPHY OF TECHNOLOGY: THE NATURE AND ESSENCE OF TECHNICAL REALITY

Fadeeva S.E.
Supervisor: Murtazin S.R., Candidate of Philosophical Sciences, assistant
(Kazan State Medical University of the Ministry, Kazan)

Abstract. The article offers a comprehensive consideration of the philosophy of technology as a specific section of philosophical science. The origin of technical reality, its existential roots and value dimensions are studied. The problem of interaction between technology and man in the era of the digital revolution is covered in detail. Possible paths of evolution of technical reality are analyzed in light of current technological trends.

УДК 1+230.1

КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ РЕЛИГИОЗНОГО ФАНАТИЗМА

Хамитова А.Р.
Научный руководитель: Сабирзянов А.М., доцент, к. филос. н.
(УВО «Университет управления «ТИСБИ», г. Казань,
Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается феномен религиозного фанатизма с философской точки зрения. Анализируются его онтологические, эпистемологические, экзистенциальные, этические и социальные основания. Показано, что фанатизм представляет собой крайнюю форму догматической веры, исключающей критическое мышление, личную ответственность и терпимость.

Религиозный фанатизм — явление, сопровождающее человеческую историю с древнейших времён и остающееся актуальным в современности. Его философское осмысление требует анализа не только религиозных убеждений, но и более широких категорий: истины, свободы, веры, власти, идентичности и морали. Фанатизм представляет собой крайнее выражение религиозной приверженности, при котором стремление к духовной истине превращается в насильственное навязывание убеждений, нередко сопровождающееся агрессией и нетерпимостью.

Фанатизм в широком смысле — это иррациональная преданность какой-либо идее, идеологии или вере, сопровождаемая нетерпимостью к альтернативным взглядам. Религиозный фанатизм, в свою очередь, представляет собой крайнюю форму религиозной приверженности, при которой вера становится исключающей все иные мировоззрения и оправдывающей насилие во имя божественного авторитета. С философской точки зрения религиозный фанатизм может быть рассмотрен как форма догматизма, при которой вера лишается рефлексии и критичности. Как указывает Карл Поппер, одна из главных черт открытого общества — это способность к самокритике и признанию плюрализма [1].

Фанатизм же, напротив, закрывает сознание, исключает сомнение и обращается к авторитету как к абсолютной инстанции истины. История религиозного фанатизма насчитывает множество трагических примеров: крестовые походы, инквизиция, религиозные войны в Европе, джихадистские движения в современном исламском мире, антигностические преследования, уничтожение еретиков и прочее. Несмотря на различия в формах, все эти проявления объединяет стремление к доминированию через религиозную идеологию и исключение «инаковерующих». Философы Нового времени, такие как Бенедикт Спиноза и Джон Локк, были среди первых, кто философски осмыслили проблему религиозной нетерпимости. В своём «Богословско-политическом трактате» Спиноза утверждает, что религиозные учреждения часто стремятся к власти, используя страх перед Богом и обещание спасения как инструмент социального контроля [2]. Джон Локк в «Письмах о веротерпимости» выступает за необходимость разделения религии и политики и подчеркивает право каждого человека на свободу совести [3]. Иммануил Кант, говоря о просвещении как выходе из состояния «несовершеннолетия», акцентирует внимание на необходимости критического мышления [4]. В этом контексте фанатизм — это выражение неспособности мыслить самостоятельно, замещающее разум слепой верой в авторитет.

Фанатизм может быть рассмотрен и через призму экзистенциальной философии. По мнению Сёрена Кьеркегора, вера — это «прыжок в бездну», личный выбор, совершаемый в условиях абсурдности мира. Однако фанатизм превращает этот прыжок в бездну в требование к другим совершить тот же шаг, что противоречит самой природе личной веры [2]. Мартин Хайдеггер в работе «Бытие и время» указывает, что подлинное существование требует принятия своей конечности и способности к аутентичному выбору. Фанатизм — это бегство от этой ответственности, подмена индивидуального выбора универсальной истиной, не терпящей сомнений. Он является проявлением «неподлинного существования» (uneigentliches Dasein), при котором человек теряется в «Они» — безличной массе, принимающей готовые ответы [5].

Философия не может игнорировать психологические и социокультурные корни религиозного фанатизма. Фанатизм часто рождается в условиях социальной нестабильности, культурной фрустрации, чувства отчуждения и утраты смысла. Люди, переживающие экзистенциальный кризис, стремятся к простым и однозначным ответам, которые предоставляет религия, особенно в её фундаменталистских формах. Эрих Фромм в работе «Бегство от свободы» анализирует стремление человека уйти от ответственности за выбор, прибегая к авторитарным структурам, в том числе религиозным [6]. В этом контексте фанатизм становится формой защитной реакции на свободу, тревогу и неопределённость.

Также важен фактор коллективной идентичности. Религиозная принадлежность нередко служит основой групповой самоидентификации, особенно в конфликтных регионах. В таких условиях религия становится не только духовной системой, но и маркером «своего» и «чужого», что усиливает потенциал насилия. С точки зрения этики, религиозный фанатизм противоречит универсальным моральным принципам: уважению к личности, ненасилию, справедливости и свободе совести. Хотя многие религии провозглашают любовь и милосердие как высшие ценности, в фанатических интерпретациях эти принципы подменяются идеей «священной войны» или «борьбы за чистоту веры».

В философии Эммануила Левинаса и Жака Дерриды подчеркивается приоритет «Другого» как этической категории. Фанатизм разрушает эту этическую связь, превращая «другого» в врага, которого необходимо обратить или уничтожить [2]. Вопрос вины и ответственности фанатиков также вызывает философские дискуссии. Можно ли оправдывать их действия искренней верой или же каждый человек ответственен за свои поступки, независимо от религиозной мотивации? Большинство философов склоняются к последнему, подчеркивая приоритет автономии и этической ответственности личности.

Философия, особенно в её критико-рефлексивной функции, может выступать антагонистом фанатизма. Образовательные практики, направленные на развитие критического мышления, диалога, способности к сомнению и открытости к инаковости,

являются важным инструментом профилактики религиозного радикализма. Рациональное богословие, философия религии, религиозный плюрализм могут способствовать переосмыслению религиозного опыта как личного и недогматического. Современные философы, такие как Чарльз Тейлор, обсуждают необходимость признания множественности духовных путей в условиях постсекулярного общества. Также важно подчеркивать различие между верой и знанием. Как писал Кант, вера — это не альтернатива разуму, а его дополнение в области трансцендентного [2]. Там, где вера претендует на статус знания, начинается фанатизм.

С психологической точки зрения, люди стремятся избегать неопределенности и тревоги, связанной с отсутствием четких ориентиров. Религиозные догмы предлагают ясные правила и инструкции, позволяющие минимизировать сомнения и внутренние конфликты. Фанатики находят в своей вере убежище от сложных вопросов бытия и социального устройства. В этом же контексте страх перед неизвестностью и страх смерти заставляет людей искать устойчивые жизненные позиции, которые может дать вера. Многие религии обещают бессмертие души, загробную жизнь и вознаграждение за праведность. Эти идеи позволяют преодолеть экзистенциальный ужас, связанный с конечностью человеческого существования. Для некоторых людей вера становится единственным способом справиться с тревогой, вызванной осознанием собственной смертности.

Вопрос о нравственности занимает центральное место в философии. Что такое добро и зло? Какие ценности являются универсальными? Ответы на эти вопросы помогают человеку ориентироваться в мире и строить гармоничные отношения с обществом. Фанатизм нередко сопровождается убежденностью в собственной добродетельности и греховности оппонентов. Такие установки приводят к оправданию насилия и жестокости ради защиты веры. Но философы, такие как Иммануил Кант, Джон Стюарт Милль и другие философы подчеркивали важность уважения к правам каждого человека и недопустимость принуждения других к принятию определенной системы ценностей.

Таким образом, религиозный фанатизм рассматривается как одна из острых проблем общественных отношений и предметом философского дискурса. Подчиняя себя догмам и авторитетам, человек теряет способность мыслить свободно и творчески решать возникающие трудности. Данная проблема рассматривается как сложное и многогранное явление, имеющее как исторические, так и экзистенциальные, социальные и этические измерения. Его философский анализ позволяет выявить глубинные механизмы, лежащие в основе нетерпимости, догматизма и насилия от имени сакрального. Понимание этих механизмов необходимо не только для академической рефлексии, но и для построения общества, основанного на свободе, уважении и диалоге. Преодоление религиозного фанатизма невозможно без философского анализа — умения сомневаться, слушать, понимать и выбирать. Именно философия может напомнить нам, что путь к истине не лежит через насилие, а через свободу мысли и совести.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Правовые, психологические и образовательные средства противодействия экстремизму и терроризму в молодежной среде: учебно-методическое пособие / Е.Н. Атарщикова, С.В. Бобрышов, М.И. Воеводина [и др.]; под редакцией С.В. Бобрышова [и др.]. — Ставрополь: Ставропольский государственный педагогический институт, 2017. — 158 с. [Электронный ресурс] — URL: https://www.iprbookshop.ru/117440.html (дата обращения: 03.06.2025).

2. *Б. Спиноза* «Богословско – политический трактат» / Электронная библиотека. Гражданское общество России. [сайт]. — URL: https://www.civisbook.ru/files/File/Spinoza_B-P_tr.pdf (дата обращения: 04.06.2025).

3. *Локк Дж*. Послание о веротерпимости. 1686. Сочинения в трех томах: Т. 3. М.: Мысль, 1988 — 668 с. [Электронный ресурс] — URL: http://filosof.historic.ru/books/item/f00/s00/z0000462/index.shtml (дата обращения: 05.06.2025).

4. *Лобазова, О.Ф.* Социология и психология религии: религиозное сознание в России: учебник для вузов / О.Ф. Лобазова. — 2-е изд. — Москва: Издательство Юрайт, 2025. — 196 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-10415-8. — URL: https://urait.ru/bcode/565709 (дата обращения: 05.06.2025).

5. *Хайдеггер М.* Время и бытие: Статьи и выступления: Пер. с нем. — М.: Республика, 1993. — 447 с. — (Мыслители XX в.) [Электронный ресурс] — URL: https://imwerden.de/pdf/heidegger_vremya_i_bytie_ 1993.pdf (дата обращения: 06.06.2025).

6. *Фромм Э.* «Бегство от свободы» [Электронный ресурс] — URL: https://www.modernproblems.org.ru/attachments/article/299/transl_v6_Fromm.pdf (дата обращения: 07.06.2025).

KEY ASPECTS OF RELIGIOUS FANATISM

Khamitova A.R.

Supervisor: Sabirzyanov A.M., Associate Professor, Candidate of Philosophical Sciences,

(TISBI University of Management, Kazan,

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the phenomenon of religious fanaticism from a philosophical perspective. It analyzes its ontological, epistemological, existential, ethical, and social foundations. It is shown that fanaticism is an extreme form of dogmatic faith that excludes critical thinking, personal responsibility, and tolerance.

УДК 141.201

ПРОИЗВОДНАЯ ЭПОХИ

Чернавский Е.А., Шабин Р.А.

Научный руководитель: Галимова Л. Н., профессор, д.и.н.

(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Москва)

Аннотация. В работе предложена модель историко-культурного развития, основанная на наложении циклов технологических укладов на семипоколенную схему Ибн Хальдуна, с ключевым акцентом на необходимости обновления общества на четвёртом поколении для перехода в новую фазу развития. Модель интегрируется с авторской концепцией «производных эпох», в которой культурные парадигмы (модерн, постмодерн, метамодерн и их последующие формы) рассматриваются как производные, отражающие темпы и характер смысловых трансформаций. Предлагаемая система позволяет прогнозировать смену культурных нарративов и формировать стратегии управления смысловым пространством в условиях технологических и социополитических изменений.

Для введения в теорию технологических укладов необходимо уточнить базовые понятия. Технологический уклад – это устойчивая совокупность базовых технологий, отраслей и инфраструктуры, детерминирующая экономическое и социальное развитие на протяжении нескольких десятилетий [1]. Смена уклада происходит при полном технологическом разрыве: появляются новые источники энергии, принципы производства и характерные отрасли. Так, известно о последовательных укладах паровой машины и текстиля, железных дорог и стали, электроэнергетики, автомобильной промышленности и топливно-энергетического комплекса, информационно-цифровой и других. Каждый уклад характеризуется рядом признаков:

- длительность цикла (около 50–60 лет);
- доминирующие источники энергии (уголь, нефть и т.д.);
- ключевые технологии и отрасли (текстиль, металлургия, электроника, IT и т.д.);

- страны-лидеры и рынки распространения новых технологий.

Переход к новому укладу обычно сопровождается фазой кризиса предыдущего. Несмотря на риск субъективности в разметке, классическая теория Кондратьева связывает технологические уклады с длительными экономическими циклами (50–60 лет) [4]. При смене уклада кардинально меняется и «картина мира» общества: вместе с новыми технологиями возникают новые социальные институты и идеологии. (Рис. 1)

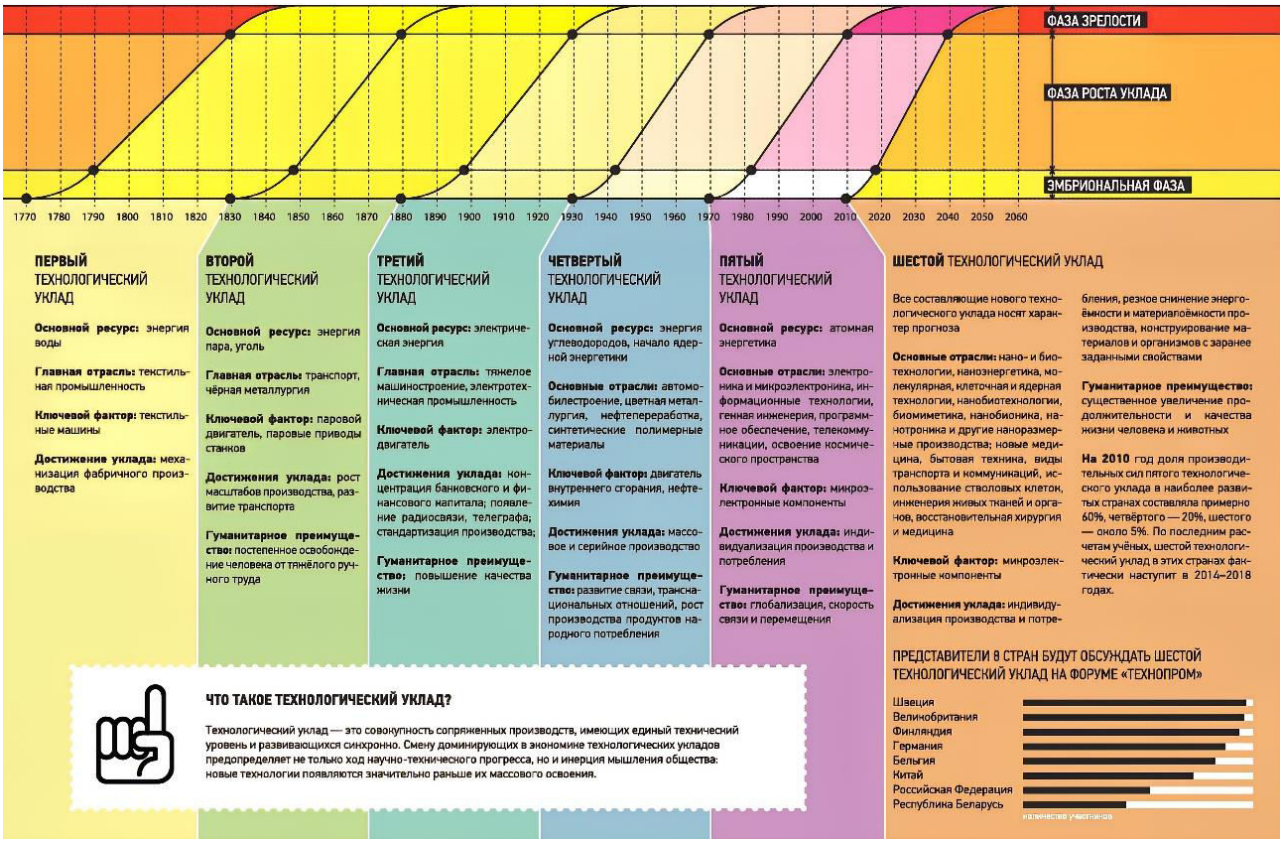


Рис. 1. Схема длинных волн Кондратьева (технологических парадигм): каждая волна связана с отраслевой революцией (паровая машина/хлопок, железные дороги/сталь, электричество/химия, автомобили/нефть, микроэлектроника/интернет и т.д.).

Жизненный цикл элиты по Ибн Халдуну

Согласно работам, Ибн Халдуна, жизненный цикл любого государства (~династии) укладывается в 6-7 поколений (~12-18 лет каждое) [3]. Характеристики поколений можно обобщить так:

- Первое поколение (становление): завоевание и формирование нового государства, воинственность, общинная сплочённость.

- Второе поколение (взросление): укрепление власти и богатства, переход к более спокойной жизни, появление роскоши среди пассионариев ставшей элитой; сохраняются амбиции и патриотизм, начинается формирование культурного канона. Начало медленного снижения пассионарности.

- Третье поколение (экспансия): накопленные ресурсы и преобразованный опыт вместе со сформированными культурными идеями идут на территориальное расширение и попытки интеграции в единое культурное пространство. Незначительное снижение пассионарности.

- **Четвёртое поколение (переосмысление): ввиду усложнения системы** и появления новых вводных в модели начинаются внутренние конфликты. Целью государства становится устранение базисных проблем, связанных с изменением внешней конъюнктуры, а также начало последующей ассимиляции племён и народов. Снижения пассионарности.

- **Пятое поколение (инерция):** обособление элиты и притирка всех институтов государства в рамках работы единой машины империи. Развитие культуры, науки, продолжение падения уровня пассионарности.

- **Шестое поколение (деградация):** на театрах и в садах с фонтанами вырастает слабое поколение с минимальным уровнем пассонарности.

- **Седьмое поколение (коллапс):** продолжение тенденций приводит к вырождению культуры, цивилизации и захвату государства варварами, с высоким уровнем пассионарности как в элите, так и в народе.

Именно в этой фазе государство «дряхлеет» и даже без внешнего нападения приходит к коллапсу. При распаде династии обычно рушатся её города и институты, начинается хаос [2]. В традиционных описаниях насчитывается до семи фаз (поколений) цикла – от зарождения и подъёма до кризиса и полного распада – хотя Ибн Халдун фокусируется на четырёх ключевых [3]. (Рис. 2)

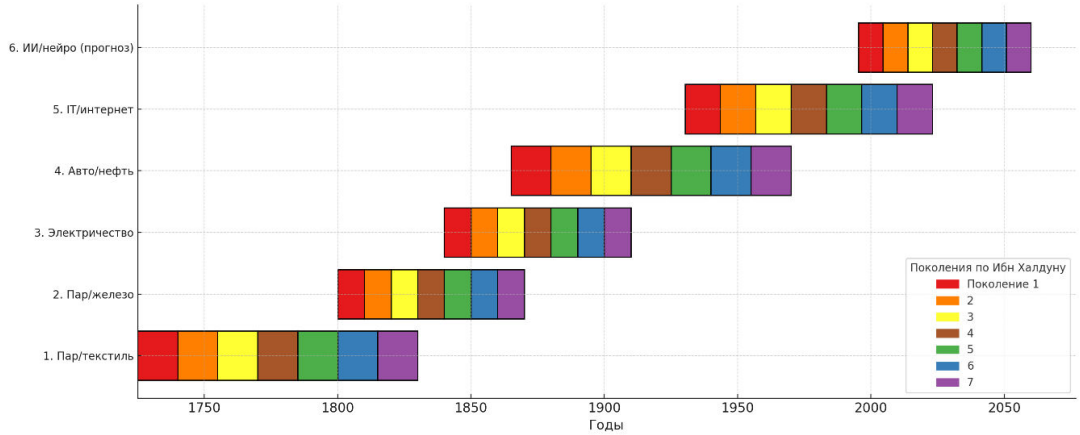


Рис. 2. Начало технологического уклада на границе 4-5 поколения.

Если нет перезапуска – неизбежен крах. По Ибн Халдуну, если сильной национальной общности и “новой крови” (перезапуска) не появляется, империя неизбежно умирает [3]. Современные примеры иллюстрируют это правило: советский «застой» 1960–80-х гг. стал результатом застоя технологий и идей, что привело к замедлению экономического роста [1]. Уже в 1970–80-е гг. темпы роста СССР неуклонно падали, а эффективность науки и техники серьёзно отставала от Запада. В конечном счёте это создало кризис доверия и привело к распаду государства. Аналогично, многие исторические империи сопровождал период «усталости элит» и технологической стагнации перед коллапсом (Римскую, Османскую, Австро-Венгерскую и др.) [4]. Таким образом, без обновления элиты и выхода на новый технологический уклад общество теряет устойчивость, смыслы и распадается.

Новые поколения несут свежие идеалы и смыслы, которые обусловлены появлением инноваций и сопровождающим их преображением окружающего мира. Совокупность культурных ценностей и онтология нации предопределяют, на какие технологии и цели направлено общество. Например, при модерне акцент делался на рациональности, науке и прогрессе – это породило паровую и электрическую революции. Постмодерн с его скептицизмом и иронией вдохновил на развитие информационного общества, позволяющего иронизировать над самими принципами модерна. Информационные технологии в свою очередь сформировали новые реалии (глобализация, виртуальность) и новые культурные запросы [4]. Таким образом:

- Новые смыслы (ценности) определяют направления технологических разработок.
- Новые технологии изменяют быт и мировоззрение общества, создавая предпосылки для следующих философских парадигм. Например, в период цифровой революции формируется запрос на гибкую экономику и плюрализм информации, что отражается в культурных кодах постмодерна (постирония).

Я ввожу концепцию «производных смыслов», согласно которой смена философских эпох может рассматриваться как «производные» культурной функции времени. Пусть X — вектор смыслов эпохи модерна. Тогда постмодерн выступает как первая производная X′: стремление деконструировать модернистские истины (ирония, скепсис) [5]. Метамодерн можно интерпретировать как вторую производную X″: попытку сочетать модерн и постмодерн («оба — и ни одно»), динамический мета-метанарратив [6]. Постметамодерн обозначается X‴, добавляя новый уровень рефлексии над метамодерном. Каждая следующая фаза является более глубокой рефлексией над предыдущей:

- Модернизм (X): вера в прогресс, объективный смысл, большие нарративы.
- Постмодернизм (X′): ирония над прогрессом, отказ от единого смысла, множественность перспектив.
- Метамодерн (X″): осциллирование между модерном и постмодерном, поиск нового “мета”-смысла.
- Постметамодерн (X‴): скорее гипотетическая будущая фаза с ещё более сложной онтологией.

Так, каждая культурная революция задаёт «производную» направление развития ценностей и знаний. Метамодернизм, например, описывает переходную эпоху после постмодерна, когда нарративы перестают быть полностью разложенными, но и приходят к новой амбивалентности. Модерн является базой [5].

За исходную точку модели берётся эпоха модерна (Промышленная революция, начало капитализма). Именно она заложила основы современной системы смыслов – рационализма, секуляризма, свободного рынка других характеристик индустриальной эпохи. Модерн описывается как общество, преобразованное промышленной революцией, урбанизацией и развитием институтов государства. В таких обществах люди действуют по рациональным законам, социальная мобильность высокая, есть механизмы восстановления роста после кризисов [4]. Таким образом, модерн (конец XVIII – XIX вв.) становится «нулевым поколением» нашей системы: индустриализация открыла капиталистический уклад и новый мировой порядок, который требует особых смыслов (экономический рост, наука, трудовая этика).

Культурные сдвиги во второй половине XX века особенно ярко проявились в 1960–70-е гг. произошёл заметный культурный сдвиг – на Западе постмодернизм стал доминирующей парадигмой. Об этом свидетельствует широкое распространение постмодернистских идей в литературе и искусстве (осколки прогрессивных манифестов, ироничная «пост-история») [5]. Постмодернизм отвергает большие идеологии просвещения и ставит под сомнение объективную истину. К концу XX века многие критики отмечали «конец постмодерна» и ожидали его преемника. В 2010 году из эссе «Заметки о метамодернизме» голландских философов-теоретиков Тимотеуса Вермюлена и Робина ван ден Аккера возникло понятие метамодернизма – новая культурная волна, смешивающая элементы модерна и постмодерна. Метамодерн предлагает синтез исканий: сочетание цинизма и надежды, традиций и инноваций. Так, во многих арт-течениях и дискурсах сегодня наблюдается мышление, «осциллирующее» между модернистской прямотой и постмодернистской иронией [6]. Эта фаза пока лишь формируется, но уже даёт представление о будущем культурном укладе как о сочетании рефлексии и созидания.

Прикладное значение модели, включает в себя сочетание технологических циклов, поколенческих фаз и «производных смыслов» – помогает целостно понимать развитие общества. Она показывает, что управлять развитием можно через стимулирование новых смыслов и технологий в правильное время. Так, вовремя создав условия для «новой крови» (обновления элит и ценностей) можно возобновить подъём государства развитие новых технологий задаёт вектор последующих культурных трансформаций.

В практическом плане эта схема позволяет прогнозировать моменты перехода (например, определить момент, когда на горизонте появляется кризис старого уклада, и в этот период внедрить инновации и идеологию нового), а также выстраивать «культурную

политику», опираясь на соотношение текущих укладов и поколений [4, 5]. В конечном счёте такая интеграция технико-экономических, социокультурных и философских факторов даёт инструмент для более взвешенного планирования будущего технологического и смыслового развития обществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кондратьев Н.Д.* Мировое хозяйство и его конъюнктура вовремя и после войны, Петроград, 1922.

2. *Мусаелян Л.А.* О концепции философии истории Ибн Халдуна. – Философия и общество, 2000, №3(20).

3. *Ибн Халдун Абу-ль-Хасан.* Мукаддима (Введение в науку о истории)*. – Каир, 1377.

4. *Перес К.* Технологические революции и финансовый капитал. – М.: Издательство, 2010.

5. *Лайотар Ж.-Ф.* Постмодерн (Отчёт о постмодерне). – М.: Новое издательство, 1988.

6. Timotheus Vermeulen and Robin van den Akker. Notes on metamodernism – Journal of AESTHETICS & CULTURE, 2010.

THE DERIVATIVE OF AN ERA

Chernavskiy E.A., Shabin R.A.

Supervisor: Galimova L.N., Full Professor, Doctor of Historical Sciences,

(Bauman Moscow State Technical University, Moscow)

Abstract. The paper proposes a model of historical and cultural development based on the superimposition of technological paradigm cycles onto Ibn Khaldun's seven-generation scheme, with a key emphasis on the necessity of societal renewal at the fourth generation to enable a transition into a new phase of development. The model is integrated with the author's concept of the "derivatives of epochs," in which cultural paradigms (modernity, postmodernity, metamodernity, and their subsequent forms) are considered as derivatives reflecting the pace and nature of semantic transformations. The proposed system makes it possible to forecast the change of cultural narratives and to shape strategies for managing the semantic space under conditions of technological and sociopolitical change.

УДК 316.472.4

ФЕНОМЕН ПОТОКА И ЯПОНСКАЯ ФИЛОСОФИЯ ПРИСУТСТВИЯ В ГЕЙМПЛЕЕ ЗАТЯГИВАЮЩЕМ ИГРОКА

Шевчук О.А.

Научный руководитель: Сиразеева Т.Т., ст. преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье показано, как сочетание феномена потока и японской философии присутствия открывает новые горизонты при разработке дизайна уровней The Legend of Zelda: Breath of the Wild. Геймплей становится инструментом глубокого погружения игрока, подобно медитативным практикам. Развитие геймдизайна с учётом философских аспектов могут быть использованы для создания более глубокого и осмысленного игрового опыта, который выходит за рамки простого развлечения.

В современных играх ключевым фактором коммерческого успеха становится не техническое совершенство, а качество и проработка геймплея, способного погрузить игрока в состояние потока. Как отмечает Джесси Шелл, игроки ценят прежде всего «осмысленное взаимодействие с системой правил» [1]. В данной статье исследуются методологии разработки

геймплея, сочетающие принципы потока и японской философии присутствия, на примере The Legend of Zelda: Breath of the Wild. На примере этой игры, мы видим, что здесь демонстрируется не только высокое качество геймплея, а также игроки привлекаются и удерживаются на платформе в условиях так называемой «консольной войны» (соперничество компаний по привлечению игроков на свою платформу), создавая уникальный игровой опыт.

На сегодняшний день важно и актуально содержание геймплея. Почему же сюжет так важен в играх? Хороший нарратив способен надолго затянуть пользователя в игровой процесс. Красочная и продуманная история заставляет сопереживать героям, погружает в атмосферу и делает прохождение захватывающим. Поиграть в игру с отличным сюжетом — это как посмотреть крутой фильм или сериал, где персонажи задаются сложными философскими вопросами, преодолевают трудности и проявляют разные чувства. В результате прохождение превращается в интересный процесс, от которого не хочется отрываться ни на минуту.

Обращается внимание на следующие моменты при выборе игр с интересным сюжетом, геймплей которого вас точно увлечет:

- оригинальность и глубина повествования,
- возможности игрока влиять на сюжет,
- влияние проекта на игровую индустрию.

Почему был выбран японский геймплей? Японская культура и философия оказали глубокое влияние на геймдизайн, особенно в создании уникальной атмосферы и вовлечении игрока. Восточные концепции — дзен (медитация и созерцание, пребывание в настоящем моменте), моно но аварэ («очарование вещей», тоска из-за мимолетности вещей и одновременная признательность) и икигай (поиск личного предназначения) — подчёркивают важность настоящего момента, гармонии с природой и поиска смысла в деятельности.

Также японские разработчики часто рефлексируют на тему культуры и личного опыта при разработке, используя гиперболизированную, выразительную графику и затрагивая важные социальные темы. На примере сравнения японской и британской версий Devil May Cry, мы видим, что японский дизайн отличается яркостью персонажей, подчёркивая их характер. Явные отличия к подходу реализации схожих идей можно увидеть на примере франшизы Devil May Cry. Изначально игры этой серии создавались японскими разработчиками. Но позднее возможность разрабатывать игру выпала британцам. Это возможность сопоставить и сравнить разные взгляды на реализацию одной идеи.

Сравним особенности дизайна игры в разных произведениях. Черты дизайна от японского дизайна — яркие цвета одежды, волос, специфичная поза героя. Яркий образ персонажа отражает его характер. Западный вариант имеет меньшую выразительность, по сравнению с японским аналогом. Кроме того, японские игры часто используют недосказанность, предоставляя игроку свободу интерпретации и экспериментов, как это видно в Devil May Cry 3, где игра не указывает на эффективное оружие, а оставляет выбор за игроком. На примере сравнения игрового процесса двух игр можно отметить еще одну яркую черту японских игр — недосказанность. Японские медиа оставляют некоторые свои элементы на рассмотрение и интерпретацию пользователя. В фильмах и аниме этими элементами могут выступать открытые концовки. Одним из ключевых механизмов такого вовлечения является состояние потока, которое требует отдельного рассмотрения.

Феномен потока тесно связан с японской культурой через концепции осознанного присутствия и глубокого сосредоточения на настоящем моменте, которые укоренены в традициях дзен-буддизма и эстетике, например, в категории «югэн» — ощущении сокровенного, мистического присутствия. Данный феномен, впервые детально описанный Михаем Чиксентмихайи, проявляется, когда игрок полностью погружается в деятельность, достигая оптимального состояния между мастерством и вызовом. Это состояние, по словам исследователя, «возникает, когда человек настолько вовлечён в процесс, что всё остальное перестаёт иметь значение» [2]. Японская культура исторически развивалась в условиях, когда внимание сосредотачивалось на малом и близком, что проявляется в поэзии, искусстве и повседневной жизни — это создает особое восприятие пространства и времени.

В японской философии присутствия важна не столько цель, сколько сам процесс — путь (дао), который воспринимается как лабиринт без начала и конца, где ценится сам опыт движения и созерцания. Это сходно с психологическим состоянием потока, когда человек полностью погружён в деятельность и теряет ощущение времени.

В руках геймдизайнера есть множество инструментов, благодаря которым он может наполнить игру незабываемыми и уникальными моментами, заставить игрока быстро думать, совершать моральные выборы или же просто месить монстров тысячами, не переживая ни о чем. Благодаря правильно-построенному геймплею игра будет непредсказуемой и захватывающей. Разработка игр — это сложный процесс, включающий множество этапов, от задумки и создания первых прототипов до тестирования и доведения до совершенства каждой детали. Чтобы создать игру, которая действительно захватывает, разработчики стремятся к сбалансированному геймплею, предлагая задачи, которые соответствуют навыкам игрока, и обеспечивая понятную (чаще всего мнгновенную) обратную связь. Игрок постепенно погружается в игровой мир, осваивая механики интуитивно, что позволяет ему лучше понимать и чувствовать игру.

В The Legend of Zelda: Breath of the Wild геймплей устроен таким образом, чтобы максимально погружать игрока в открытый, живой мир с огромной свободой действий и исследованием. Как отмечают критики, именно открытый мир, пришедший из первой игры серии 1986 года, является ключевым элементом, способствующим вовлечению игрока. В отличие от других игр с открытым миром, в Breath of the Wild намеренно отсутствуют навязчивые указатели, что стимулирует самостоятельность, любопытство и чувство настоящего приключения.

Необходимо остановится на ключевых элементах, способствующих состоянию потока и вовлечению. Это открытый мир и свобода выбора, в котором игрок может идти куда угодно, исследовать локации в любом порядке, что создает ощущение настоящего приключения и самостоятельности. Первая часть серии вышла в 1986 году и была вдохновлена детскими воспоминаниями ее главного дизайнера. Как отмечают разработчики в официальном отчёте о создании игры [3], ключевой идеей Breath of the Wild стало «возвращение к истокам» серии - принципу абсолютной свободы исследования, вдохновлённому детскими воспоминаниями геймдизайнера.

Также рассматривается интерактивность и разнообразие механик: игроку доступны разные способы взаимодействия с окружением — например, использование щита как сноуборда, приготовление пищи, применение магических рун для решения головоломок. Это стимулирует экспериментирование и поддерживает интерес. Благодаря тому каждое прохождение игры становится уникальным и значимым. Не обходимо учитывать баланс сложности и прогрессия: в игре реализована система постепенного обучения и открытия новых способностей через прохождение святилищ с уникальными головоломками. Решение таких относительно простых, но интересных игроку задач вызывает выброс дофамина — нейромедиатора, который отвечает за чувство удовольствия. Это обеспечивает игроку ощущение удовлетворенности и успеха на начальных этапах, стимулируя дальнейшее прохождение и поддерживая высокий уровень вовлеченности.

Хочется отметить и важность реалистичных деталей, и выживание, при которых необходимо следить за выносливостью, состоянием оружия, погодой и даже настроением лошади, что добавляет глубину и заставляет планировать действия. Тактические бои и разнообразие оружия: оружие быстро ломается, поэтому игроку приходится использовать разные виды вооружения и тактики, что делает сражения динамичными и требующими внимания. Живой мир с множеством историй: в мире полно побочных квестов, случайных встреч и секретов, которые подогревают интерес и желание возвращаться в игру. Все эти элементы вместе создают глубокое погружение и состояние, при котором игрок полностью сосредоточен на исследовании, решении задач и взаимодействии с миром, испытывая удовольствие от процесса игры.

Принципы потока и японской философии присутствия предлагают ценные инструменты для современных разработчиков игр, стремящихся создать глубокий и вовлекающий геймплей. Рассмотрим, как эти принципы могут быть применены на практике всеми разработчиками.

Создание сбалансированного игрового процесса, в котором разработчики должны стремиться к определению задач, соответствующим навыкам игрока, обеспечивая баланс между сложностью и возможностью достижения успеха. Также интеграция принципов японской философии: принципы дзен, мононо аварэ и икигай могут быть интегрированы в геймдизайн для создания уникальной атмосферы и эмоциональной связи с игроком. Например, внимание к деталям, минимализм в дизайне и акцент на гармонии с природой могут создать ощущение покоя и перенести акцент на созерцание мира игры.

Разработчики могут исследовать темы, связанные с поиском смысла жизни, принятием неизбежности или ценностью каждого момента. Исследования важности содержания в геймплее на примере японского геймдизайна позволяют выработать следующие рекомендации по созданию геймплея, способствующего глубокому погружению и удержанию игрока:

- предоставление игрокам свободы выбора и возможности исследовать мир по своему усмотрению,
- создание интерактивного окружения, которое позволяет игрокам экспериментировать и находить новые способы взаимодействия с миром,
- интеграция элементов выживания и реалистичных деталей, которые добавляют глубину и заставляют планировать свои действия,
- создание тактических боёв, требующих внимания и использования различных стратегий.

Сочетание феномена потока и японской философии присутствия открывает новые горизонты при разработке дизайна уровней The Legend of Zelda: Breath of the Wild, демонстрирует, как принципы, рассмотренные ранее, важные в настоящий период становления игровой культуры, могут создать глубокий игровой опыт.

Таким образом, феномен потока в японском контексте можно рассматривать как культурно-философскую реализацию идеи полного присутствия и гармонии с окружающим миром, что отражается в традиционных практиках, искусстве и современном геймдизайне, где внимание к деталям и глубокое вовлечение игрока создают эффект медитативного погружения. Мы видим удачное сочетание феномена потока и японской философии присутствия в геймплее затягивающего игрока. Развитие геймдизайна с учётом философских аспектов могут быть использованы для создания более глубокого и осмысленного игрового опыта, который выходит за рамки простого развлечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Джесси Шелли.* Искусство геймдизайна, пер. с англ. — СПб.: Питер, 2020, С. 45.

2. Flow: The Psychology of Optimal Experience / Mihaly Csikszentmihalyi. — New York: Harper & Row, 1990, c.72.

3. The Making of The Legend of Zelda: Breath of the Wild Nintendo; 2017. [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://www.nintendo.com/zelda-breath-of-the-wild-development.

THE FLOW PHENOMENON AND JAPANESE PHILOSOPHY OF PRESENCE IN GAMEPLAY THAT ABSORBS THE PLAYER

Shevchuk O.A.

Supervisor: Sirazeeva T.T., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Annotation. Can gameplay become a tool for deep player immersion, akin to meditative practices? The article explores how the principles of the flow phenomenon and Japanese philosophy of presence are implemented in the design of The Legend of Zelda: Breath of the Wild, creating a unique gaming experience.

СЕКЦИЯ 27
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО И ИНЖИНИРИНГ КАК ТОЧКИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 330

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЗАНЯТОСТИ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ КАК ТОЧКИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Абдурахманова А.И.

Научный руководитель: Надреева Л.Л., доцент, к. э. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Данное исследование посвящено влиянию цифровизации на занятость в российской промышленности. Анализируются новые формы трудоустройства, возникающие благодаря внедрению цифровых технологий, а также факторы, сдерживающие этот процесс и требующие адаптации работников, включая переобучение и повышение квалификации для соответствия новым требованиям рынка труда.

Цифровизация – это внедрение цифровых технологий в разные сферы жизни для повышения ее качества и развития экономики [1].

Цифровизация представляет собой преобразование информации в цифровую форму [2].

Цель цифровизации — автоматизировать рутинные операции, перевести данные компании в цифровую среду, где их удобнее анализировать и использовать для принятия стратегических решений.

Цифровизация и новые формы занятости — точки инновационного развития российской промышленности, связанные с внедрением цифровых технологий и трансформацией рынка труда. Эти процессы влияют на эффективность производственных процессов, создание новых рабочих мест и изменение требований к квалификации работников.

Некоторые направления цифровизации в промышленности России:

— использование технологий: промышленного интернета вещей, цифровых двойников, алгоритмов искусственного интеллекта;

— внедрение профильного программного обеспечения для управления жизненным циклом производства или выпускаемой продукции, решений для моделирования;

— переход на отечественное программное обеспечение — это поддерживает развивающуюся ИТ-отрасль [3].

Промышленность является тем сектором экономики, на который цифровизация повлияла в наибольшей степени. Прогнозируется, что к 2030 году в результате цифровой трансформации в мировом промышленном секторе может быть сокращено до 20 миллионов рабочих мест (8,5%) [4].

Цифровую трансформацию российской промышленности и обеспечение устойчивой занятости в данном секторе экономики страны сдерживают следующие взаимосвязанные факторы:

— низкая технологическая база: многие предприятия имеют низкий уровень автоматизации, слабую инновационную активность и не освоили технологий предыдущих поколений;

— финансовые ограничения: недостаточная конкурентоспособность и финансовый потенциал предприятий, высокая зависимость от кредитов и высокая стоимость внедрения новых технологий ограничивают инвестиции в цифровую трансформацию;

— недостаток цифровых компетенций: низкий уровень цифровой грамотности руководства и ведущих специалистов приводит к непониманию целей и механизмов цифровой трансформации, а также к несоответствию организационной культуры предприятия этим задачам;

— недостаточная социальная ответственность: низкий уровень корпоративной социальной ответственности приводит к тому, что долгосрочные задачи устойчивой

конкурентоспособности и занятости уступают место экономии на персонале, проявляющейся в низкой оплате труда, неполной и временной занятости и экономии на обучении.

Цифровизация оказывает следующее влияние на российскую промышленность:

1. Рост эффективности: увеличение производительности труда за счет более эффективного использования ресурсов и повышения объемов производства.

2. Новые карьерные возможности: возникновение спроса на специалистов в области разработки, внедрения и обслуживания цифровых решений (программистов, аналитиков данных, специалистов по кибербезопасности и др.).

3. Трансформация трудовой деятельности: сокращение рабочих мест в традиционных отраслях из-за автоматизации и роботизации, но одновременно – создание новых возможностей в высокотехнологичном производстве и сфере услуг.

4. Гибкость занятости: развитие дистанционных и гибких форм занятости, расширяющее возможности трудоустройства для жителей отдаленных регионов и людей с ограниченными возможностями.

5. Повышение квалификации: необходимость в переобучении и приобретении новых навыков, соответствующих требованиям цифровой экономики, для успешной адаптации работников.

6. Разнообразие форм занятости: появление новых форм занятости, таких как работа на платформах и временная занятость, требующих гибкости и адаптивности от работников.

Цифровизация российской промышленности создает как новые возможности, так и новые вызовы для занятости. Внедрение передовых технологий, таких как искусственный интеллект, робототехника, интернет вещей и дополненная реальность, трансформирует характер труда и требует от работников освоения новых компетенций. Однако, цифровизация также стимулирует создание новых рабочих мест, повышает производительность и открывает перспективы для развития дистанционных и гибких форм занятости. Изменения приводят к появлению новых форм занятости, которые отличаются от традиционных по месту, времени и характеру работы, а также статусу работника. Автоматизация и создание новых бизнес-моделей на основе цифровых платформ и сетей лежат в основе этих изменений.

Помимо технологического обновления, ключевыми приоритетами цифровой трансформации российской промышленности являются создание современных рабочих мест с достойными условиями и оплатой, переобучение и удержание квалифицированных кадров, обладающих цифровыми компетенциями. Чтобы остановить отток специалистов в крупные города и повысить привлекательность работы в промышленности, предприятиям необходимо сделать ее более интересной и престижной, автоматизировать процессы для оптимизации численности персонала и, особенно, развивать компетенции по созданию и управлению промышленными роботами.

Аналитики подчеркивают, что регионы с развитой добывающей и обрабатывающей промышленностью, характеризующиеся низкой долей неформальной занятости, демонстрируют более высокую производительность труда, инвестиционную активность и стабильность занятости. В то же время, в регионах с ограниченными финансовыми ресурсами, низкой инновационной активностью и дешевой рабочей силой, где автоматизация внедряется медленнее, существует риск формирования "экономики незнания", сопровождающейся социальной нестабильностью из-за неустойчивой занятости и роста неформального сектора. В связи с этим региональным властям необходимо уже сейчас активно заниматься адаптацией населения к цифровизации, стимулируя предприятия к реализации стратегий, при которых новые технологии не вытесняют работников, а расширяют их возможности [5].

Влияние цифровизации на занятость:

1. Сокращение занятости: автоматизация повышает производительность, но может привести к потере рабочих мест. В перспективе 50% рабочих мест могут быть автоматизированы.

2. Создание новых рабочих мест: цифровая трансформация также создает новые возможности для трудоустройства, хотя сложно точно спрогнозировать масштабы и отрасли.

Примером являются социальные сети, ставшие платформами для развития бизнеса и создания новых онлайн-профессий, особенно для молодежи. Однако, существует риск, что темпы сокращения рабочих мест превысят темпы создания новых, а значительная часть высвобождаемых работников не сможет адаптироваться к новым требованиям рынка труда из-за возраста, низкой квалификации или недостаточной социальной поддержки.

3. Улучшение условий труда: автоматизация позволяет заменить человека в тяжелых, вредных и опасных производственных процессах, снижая травматизм и повышая качество и удовлетворенность работой.

4. Расширение возможностей трудоустройства: цифровые технологии позволяют привлекать к работе пожилых людей и лиц с ограниченными возможностями здоровья.

Новые формы занятости в промышленной сфере, которые появились благодаря цифровизации:

1. Дистанционная занятость – работа вне офиса или филиала работодателя, например, удаленный мониторинг оборудования, позволяющий оперативно выявлять причины сбоев и сокращать время простоя, снижая производственные потери и повышая надежность оборудования [6].

2. Фриланс — выполнение задач вне штата компании, например, внештатный консалтинг или обучение инженеров разработке программного обеспечения. Фриланс часто используется для привлечения инженеров в условиях дефицита кадров, позволяя специалистам работать одновременно на несколько компаний.

3. Проектная форма занятости – предполагает выполнение задач в рамках определённого проекта без долгосрочных обязательств. Пример: внедрение нового программного обеспечения, модернизация производственной линии, разработка нового продукта.

4. Платформенная занятость – это форма работы, при которой сотрудник взаимодействует с компанией не напрямую, а через цифровую платформу-посредника. Пример: сервисные инженеры, выполняющие работы по обслуживанию оборудования через платформы, специалисты по кибербезопасности, оказывающие услуги по защите промышленных сетей.

5. Частичная занятость – форма трудовых отношений, при которой работник выполняет обязанности меньшее количество времени, чем установлено для полной ставки. Пример: работники на производстве; работа, которая не требует специальных знаний.

Оценки роста занятости в целом по выборке опрошенных промышленных предприятий по итогам 2024 г. были ниже, чем в 2023 г. (рис. 1).

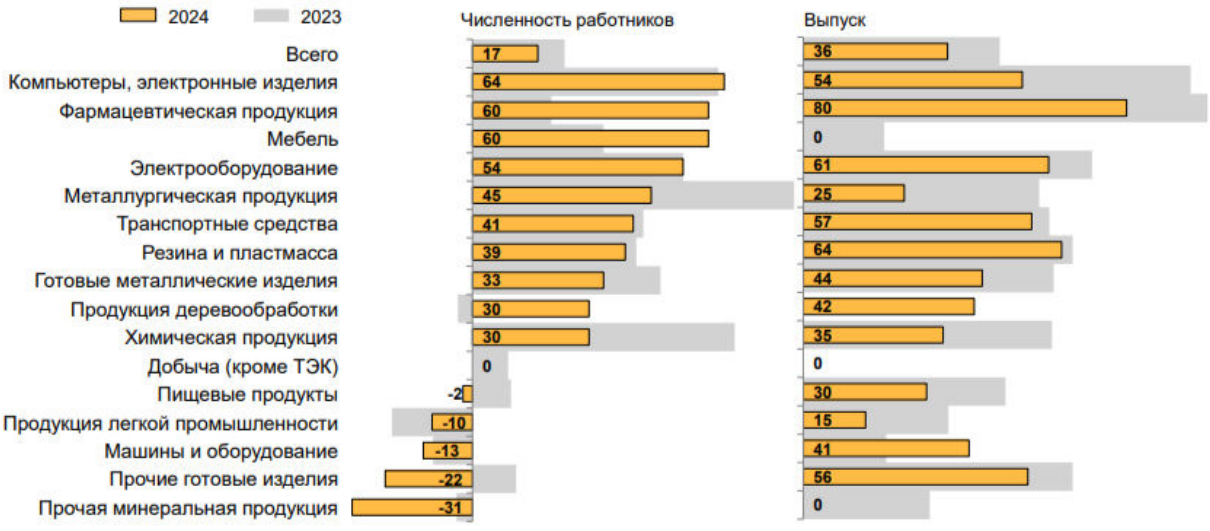


Рисунок 1. Балансы ответов по изменению численности работников и физических объемов выпуска

$$\text{Баланс} = \%\ \text{предприятий, отметивших рост} - \%\ \text{предприятий, отметивших снижение}$$

Несмотря на продолжающийся рост занятости в металлургической и химической промышленности, темпы значительно замедлились по сравнению с 2023 годом. В металлургии это связано с падением спроса на внутреннем рынке, вызванным отменой льготной ипотеки и ростом процентных ставок, что привело к замедлению строительства. В химической отрасли замедление роста производства было менее выраженным.

Предприятия также использовали альтернативные и гибкие формы занятости (совместительство, непостоянную, частичную и дистанционную занятость) для привлечения дополнительных трудовых ресурсов. Эти формы позволяют нанимать сотрудников, совмещающих несколько должностей, проживающих в других регионах, а также тех, кто временно не может работать полный день из-за учебы, воспитания детей или проблем со здоровьем.

Хотя спрос на дистанционную занятость возник еще во время пандемии COVID-19, она не получила широкого распространения в промышленности из-за специфики производственных процессов. Многие работодатели, попробовав удаленную работу, вернулись к прежнему формату. Даже в условиях напряженного рынка труда, удаленный режим применяли только 2% компаний. Тем не менее, дистанционная работа могла бы решить проблему нехватки некоторых категорий работников, особенно офисного персонала. И только на предприятиях металлургии наблюдались более выраженные изменения в составе персонала за счет роста численности сотрудников, работающих удаленно (рис. 2).

	Работники несписочного состава (по договору ГПХ, внешние совместители и пр.)	Сотрудники, работающие на условиях непостоянной занятости (сезонная, вахтовая, краткосрочная)	Сотрудники, работающие на условиях неполной занятости (неполный рабочий день, неполная рабочая неделя)	Сотрудники, работающие удаленно (полностью или частично)
Всего	**12**	**7**	**6**	**2**
Добыча (кроме ТЭК)	10	20	0	0
Машины и оборудование	15	0	9	0
Транспортные средства	14	5	18	0
Компьютеры, электронные изделия	13	9	4	0
Электрооборудование	15	8	8	0
Готовые металлические изделия	14	6	4	3
Прочая минеральная продукция	4	7	4	0
Продукция деревообработки	12	12	0	0
Химическая продукция	8	12	4	4
Резина и пластмасса	19	6	9	9
Металлургическая продукция	0	0	0	20
Фармацевтическая продукция	25	0	0	0
Пищевые продукты	6	6	0	0
Продукция легкой промышленности	15	12	18	3
Мебель	0	0	0	0
Прочие готовые изделия	44	22	11	0

Рисунок 2. Категории работников, за счет которых произошел рост численности персонала в 2023– 2024 гг., % ответивших

Структура занятости в российской промышленности сильно зависит от специфики отрасли, определяемой особенностями производственных процессов и требованиями к квалификации персонала. Несмотря на перспективы, удаленный формат работы пока не получил широкого распространения [7].

Цифровизация оказывает существенное влияние на российскую промышленность и рынок труда, создавая как возможности, так и вызовы. С одной стороны, она способствует повышению производительности труда, созданию новых профессий в сфере цифровых технологий и развитию дистанционных форм занятости [8]. Это позволяет привлекать к работе жителей отдаленных регионов, людей с ограниченными возможностями и даже пожилых сотрудников, а также заменять людей на рабочих местах с вредными и опасными условиями труда. С другой стороны, цифровизация приводит к изменению характера труда, автоматизации рутинных задач и, как следствие, потенциальному сокращению рабочих мест в традиционных отраслях. Возникает необходимость в переобучении и повышении квалификации работников для адаптации к новым требованиям цифровой экономики, а также появляются новые, гибкие формы занятости. Ключевой вызов заключается в том, что темпы

сокращения рабочих мест в результате автоматизации могут опережать темпы создания новых. Существует риск, что значительная часть высвобождаемых работников не сможет адаптироваться к новым условиям из-за возраста, недостаточной квалификации или отсутствия поддержки со стороны бизнеса и государства. Для успешной цифровой трансформации российской промышленности необходимо уделять внимание не только технологической модернизации, но и созданию новых, привлекательных рабочих мест, а также программам переобучения и повышения квалификации персонала. Важно обеспечить, чтобы работники были готовы к новым требованиям цифровой экономики и имели возможность успешно адаптироваться к меняющимся условиям рынка труда. Кроме того, необходимо учитывать социальные аспекты цифровизации и обеспечивать поддержку тем, кто может столкнуться с трудностями при переходе к новым формам занятости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Акбашева Д.М.* Цифровизация предприятия / Д.М. Акбашева, Ш.К. Бойчоров, Л.Б. Хыбыртова. // Journal of Monetary Economics and Management. 2024. №2. С. 189-195.

2. *Хлебников А.С.* Цифровизация. Становимся ли мы счастливее? / А.С. Хлебников, Н.Н. Комарова // Бюллетень науки и практики. 2023. №2. С. 361-364.

3. Цифровизация промышленности: передовые технологии в производственных процессах, перспективы. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://digitalrosatom.ru/blog/184 (дата обращения: 01.08.2025).

4. Стратегия цифровой трансформации в современной промышленности России. – Текст: электронный. – 2025. – URL: vedomosti.ru (дата обращения: 04.08.2025).

5. *Краковская И.Н.* Трансформация занятости в промышленности в условиях цифровизации: предпосылки и направления // Экономика труда. 2022. №1. С. 97-112.

6. Цифровые технологии помогают российским предприятиям повышать производственную эффективность. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://itrussia.media/ru/article/tsifrovye-tekhnologii-pomogayut-rossiyskim-predpriyatiyam-po (дата обращения: 10.08.2025).

7. Адаптация промышленности к новым условиям на рынке труда: результаты опроса предприятий. – Текст: электронный. – 2025. – URL: https://cbr.ru/Content/Document/File/176558/analytic_note_20250505_dip.pdf (дата обращения: 15.08.2025).

8. Использование цифровых инструментов в решении проблемы снижения дефицита кадров / Л.Л. Надреева, Е.Е. Богоявленская, Г.Р. Чумарина, И.А. Железков // Естественно-гуманитарные исследования. – 2025. – № 3(59). – С. 378-384. – EDN LCZQRG.

TRANSFORMATION OF EMPLOYMENT AND DIGITALIZATION AS POINTS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF RUSSIAN INDUSTRY

Abdurakhmanova A.I.

Supervisor: Nadreeva L.L., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This study focuses on the impact of digitalization on employment in Russian industry. The article analyzes new forms of employment resulting from the introduction of digital technologies, as well as factors constraining this process and requiring adaptation of employees, including retraining and advanced training to meet new labor market requirements.

УДК 004.8

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАТИСТИЧЕКИХ ДАННЫХ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Абель М.А.

Научный руководитель: Самышева Е.Ю., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Современное промышленное предприятие сталкивается с огромным количеством информации, связанной с производством, качеством продукции, эксплуатацией оборудования и логистическими процессами. Одним из наиболее эффективных способов обработки и анализа больших объемов данных становится применение методов искусственного интеллекта (ИИ). Использование ИИ помогает выявлять скрытые закономерности, улучшать качество управления производственными процессами, повышать эффективность деятельности предприятия и снижать издержки.

Современные промышленные предприятия производят огромные объемы данных ежедневно: информация о работе оборудования, качестве выпускаемой продукции, расходовании материалов, уровне запасов, потреблении электроэнергии и прочих показателях. Традиционно обработка таких данных выполнялась вручную специалистами-статистиками и аналитиками, однако такой подход становился неэффективным ввиду возрастающих требований к скорости и точности принимаемых управленческих решений.

Искусственный интеллект способен значительно ускорить обработку больших массивов данных, повысить точность прогнозирования сбоев и отказов оборудования, оптимизировать производственные процессы и сократить затраты предприятия. Сегодня многие крупные российские заводы активно внедряют элементы искусственного интеллекта для улучшения качества своего продукта и повышения общей эффективности производства.

Цель настоящего исследования заключается в изучении возможностей применения искусственного интеллекта и машинного обучения в области сбора, хранения и анализа статистических данных, используемых на промышленных предприятиях, а также разработке рекомендаций по практическому применению данных подходов.

Под искусственным интеллектом понимают систему, способную решать задачи, традиционно считавшиеся прерогативой человеческого разума, такие как обучение, принятие решений, распознавание образов и речи, игра в шахматы и другие игры. Современный искусственный интеллект подразделяется на две большие группы:

Узкий искусственный интеллект (Narrow AI): решает ограниченные задачи, специфичные для конкретной области, такие как распознавание изображений, голосовые помощники, рекомендательные системы и др.;

Обобщенный искусственный интеллект (General AI): стремится воспроизвести универсальное человеческое мышление и решение широкого спектра задач, пока остается гипотезой.

В рамках настоящей работы мы будем рассматривать узкий искусственный интеллект, поскольку именно он находит наибольшее распространение в промышленной среде.

Методы искусственного интеллекта делятся на три категории [1]:

1) символьные методы: логика, правила вывода, символические представления;

2) биологически вдохновленные методы: генетические алгоритмы, нейронные сети, моделирование поведения насекомых;

3) гибридные подходы: комбинируют символьные и биологические методы.

Среди методов искусственного интеллекта наибольшего внимания заслуживают следующие [2]:

1) машинное обучение (Machine Learning): способность компьютера учиться на опыте без явного программирования. Включает регрессию, классификацию, кластеризацию и другие техники;

2) глубокое обучение (Deep Learning): использование многослойных нейронных сетей для сложных задач классификации и предсказания;

3) нечеткая логика (Fuzzy Logic): методология, позволяющая обрабатывать неопределенность и приблизительные значения переменных;

4) экспертные системы: модели, имитирующие рассуждения специалистов в определенной предметной области. Эти методы широко применяются в промышленной статистике и позволяют извлекать полезные знания из огромных объемов сырых данных. Рассмотрим преимущества и недостатки применения искусственного интеллекта на промышленных предприятиях:

Таблица 1

Преимущества и недостатки применения искусственного интеллекта на промышленных предприятиях

Преимущества	Недостатки
Повышение точности прогнозирования отказов оборудования	Высокие первоначальные инвестиции в разработку и внедрение систем ИИ
Оптимизация планирования и управления запасами	Необходимость подготовки квалифицированных кадров для эксплуатации и обслуживания интеллектуальных систем
Автоматизированный контроль качества продукции	Возможность ошибок вследствие недостаточной репрезентативности выборки данных
Сокращение затрат на производство благодаря оптимизации энергопотребления и уменьшению отходов	Проблема доверия персонала новым технологиям и риск потери рабочих мест при автоматизации некоторых функций
Улучшение безопасности сотрудников за счет своевременного выявления потенциальных угроз	

Сбор и хранение статистических данных является важным этапом перед применением методов искусственного интеллекта. Основными источниками данных выступают [3]:

1) датчики, установленные на оборудовании (температура, давление, скорость вращения);

2) информационные системы учета и отчетности (ERP, MES, CRM);

3) производственные журналы регистрации операций и событий;

4) внешняя информация (рыночные цены, погодные условия).

Хранение данных осуществляется в специализированных базах данных, чаще всего реляционных системах типа Oracle, SQL Server или NoSQL-хранилищах вроде MongoDB. Данные предварительно проходят этап очистки и нормализации для устранения пропусков и противоречивых значений.

Алгоритмы обработки данных зависят от целей анализа и используемой инфраструктуры. Среди распространенных подходов выделяются [4]:

1) кластерный анализ: разделение объектов на однородные группы;

2) регрессия: построение зависимостей между входными параметрами и целевыми значениями;

3) деревья решений: выявление значимых признаков и построение правил классификации;

Каждый алгоритм имеет свою область применения и подходит для конкретных типов задач. Рассмотрим ряд примеров успешного применения искусственного интеллекта в производственной сфере [5]:

1) предсказательная диагностика оборудования на заводах автомобилестроения (например, Toyota, Nissan);

2) контроль качества деталей методом компьютерного зрения (например, Bosch, Siemens);

3) оптимизация маршрутов доставки продукции (например, DHL, UPS);

4) определение оптимальной загрузки производственных линий (например, Intel, Samsung).

Практики показывают, что правильно подобранные методы ИИ способны существенно повысить производительность и снизить расходы предприятия.

Российский бизнес также активно осваивает потенциал искусственного интеллекта. Рассмотрим несколько ярких проектов:

Таблица 2

Внедрение искусственного интеллекта на крупных предприятиях России

Предприятие	Направление внедрения ИИ
ПАО «Газпром»	реализация проекта мониторинга трубопроводов с использованием беспилотников и нейронных сетей
ПАО «Норникель»	внедрение интеллектуальной системы контроля добычи полезных ископаемых и предотвращения аварий
ООО «Магнитогорский металлургический комбинат»	применение ИИ для оптимизации расхода топлива и увеличения срока службы печей доменного цеха
АО «АвтоВАЗ»	внедрение автоматизированных систем диагностики и ремонта автомобилей.

Данные примеры демонстрируют высокую степень зрелости российских компаний в освоении технологий искусственного интеллекта.

Безусловно несмотря на успешные кейсы, существуют значительные сложности при переходе на технологии ИИ:

1) недостаточная квалификация персонала;

2) отсутствие надежных стандартов и методик оценки эффективности ИИ-решений;

3) сложности выбора подходящего инструмента среди множества предлагаемых на рынке;

4) высокая стоимость пилотных проектов и длительная окупаемость вложений.

Решению указанных трудностей способствует тесное сотрудничество с научными учреждениями и консультантами, привлечение венчурных фондов и формирование экосистемы стартапов, разрабатывающих специализированные продукты для промышленности.

Ожидается дальнейший технологический прорыв в области искусственного интеллекта, связанный с развитием квантовых компьютеров, улучшением вычислительных мощностей и появлением новых архитектур нейронных сетей. Это позволит решить более сложные задачи, такие как проектирование индивидуальных изделий, автоматизация сложного ручного труда и полное исключение человека из опасных зон производства.

Также важной тенденцией станет интеграция технологий виртуальной реальности и дополненной реальности с системами искусственного интеллекта, что откроет дополнительные возможности для визуализации производственного процесса и обучения персонала.

Использование искусственного интеллекта вызывает этические вопросы, касающиеся прав работников, конфиденциальности персональных данных и ответственности за принятые системой решения. Поэтому важным направлением будущего развития должна стать

разработка законодательных норм регулирования и нормативов безопасного использования ИИ-технологий в промышленности.

Необходимо поддерживать баланс между возможностями ИИ и интересами общества, обеспечивать справедливое распределение выгод от автоматизации между работодателями и работниками.

Таким образом, можно сделать вывод, что искусственный интеллект играет ключевую роль в повышении эффективности промышленных предприятий, предоставляя широкие возможности для оптимизации производства, сокращения расходов и повышения прибыльности. Однако внедрение таких технологий сопряжено с определенными трудностями, такими как высокая стоимость, отсутствие необходимой квалификации сотрудников и недоверие к новым инструментам. Внедрение систем искусственного интеллекта должно происходить постепенно, начиная с простых и понятных задач, таких как мониторинг технического состояния оборудования и контроль качества продукции. По мере накопления опыта целесообразно расширять сферу применения ИИ, интегрируя его во все этапы жизненного цикла изделия — от проектирования до утилизации. Особое внимание следует уделить вопросам этики и социальной справедливости, исключая дискриминацию работников и предотвращая негативные последствия роботизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Каплан А.В., Кузнецов О.П., Меньшиков В.Н.* Искусственный интеллект и когнитивные вычисления // Вестник Нижегородского университета имени Н.И. Лобачевского. Серия Социальные науки. №1 (28). 2016 г.

2. *Гринин Л.Е.* Искусственный интеллект и цифровое общество: философские и правовые размышления // Философия и культура. №10. 2017 г.

3. *Козлов Ю.С., Коробков А.А.* Анализ влияния технологий искусственного интеллекта на российскую промышленность // Экономика региона. Том 16, №3. 2020 г.

4. *Кириченко Е.М., Балыкин А.Б.* Технология Big Data и современные требования к управлению информационными потоками // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. №1. 2019 г.

5. *Беленков Ю.А., Попова Э.Г.* Управление проектами внедрения искусственного интеллекта в корпоративные информационные системы // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. №20 (241). 2017 г.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PROCESSING STATISTICAL DATA AT AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Abel M.A.

Supervisor: Samysheva E.Y., Associate Professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. A modern industrial enterprise is faced with a huge amount of information related to production, product quality, equipment operation and logistics processes. One of the most effective ways to process and analyze large amounts of data is the use of artificial intelligence (AI) methods. The use of AI helps to identify hidden patterns, improve the quality of production process management, increase the efficiency of the enterprise and reduce costs.

УДК 001.895

ЦИФРОВОЙ ДИЗРАПТ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ ИНСТРУМЕНТ НАУКОЕМКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Аграновский Д.А.
Научный руководитель: Красюк И.А., профессор, д. э. н.
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург)

Аннотация. Цифровой дизрапт рассматривается как особый инструмент для формирования принципиально новых бизнес-моделей, создающих предпосылки для возникновения рынков и устойчивых конкурентных преимуществ наукоёмких предприятий в мировой экономике. Проанализирована роль «подрывателей» и передовых инженерных школ в институционализации инновационной экосистемы. Рассмотрены результаты их кооперации, которая выступает необходимым условием достижения технологического суверенитета и укрепления глобальных позиций российской промышленности.

Развитие современной экономики России в условиях внешнего санкционного давления и глобальных вызовов требует принципиально новых подходов и изменения парадигмы экономического роста [1]. В условиях разрыва устоявшихся международных цепочек поставок задача обеспечения технологической независимости и опережающего развития приобретает стратегическое значение. Для её решения недостаточно ограничиться цифровой трансформацией предприятий; необходим переход к использованию цифровых технологий как инструмента перестройки отраслевых бизнес-моделей, способных формировать новые рынки и обеспечивать долгосрочную устойчивость промышленности. В свою очередь, бизнес-модель представляет фундаментальную основу создания и доставки ценности потребителю, радикальное изменение которой приводит к трансформации рыночного поведения [2].

В мае 2024 года Президент России Владимир Владимирович Путин утвердил Указ, который установил национальные цели страны до 2030 года и на перспективу до 2036 года. Одним из основных направлений в документе стало достижение технологического лидерства. В число приоритетных задач вошли обеспечение технологической самостоятельности и развитие новых экономических рынков в таких сферах, как биотехнологии, цифровая трансформация, искусственный интеллект, новые материалы и перспективные энергетические технологии, увеличение доли отечественной продукции на внутреннем и мировом рынках [3].

Алексей Иванович Боровков, руководитель передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, отмечает: «Технологическое лидерство - это превосходство технологий и продуктов по функциональным, техническим, стоимостным параметрам над зарубежными аналогами» [4]. Важнейшим этапом для достижения такого уровня является фаза разработки изделий, где закладываются ключевые преимущества. Применение современных технологий, например, цифровых двойников, позволяет значительно сократить сроки создания высокотехнологичной продукции и повысить ее конкурентоспособность. Технологическое лидерство - это не просто применение передовых производственных технологий, но и умение быстро и эффективно трансформировать научные разработки в коммерчески успешные продукты, способные конкурировать на мировом рынке. Для этого необходимо тесное взаимодействие науки, образования и промышленности, а также постоянное обновление образовательных программ с учетом быстро меняющихся технологических трендов.

Министр промышленности и торговли Российской Федерации Антон Андреевич Алиханов выделяет четыре принципа обеспечения технологического лидерства [5]:

1. обновление оборудования;
2. создание современной испытательной базы;
3. развитие гибких производств и безлюдных технологий;
4. цифровизация предприятий

Реализация данных принципов обеспечит устойчивый рост российской промышленности, ее инновационное развитие, достижение технологического суверенитета, что создаст условия для формирования отраслевых и региональных инновационных кластеров.

Эти принципы подчеркивают необходимость перехода от реактивной модели развития, ориентированной на устранение технологического отставания и достижение импортозамещения, к проактивной стратегии, основанной на формировании собственных технологических трендов и генерации подрывных инноваций. Несмотря на санкционное давление, Российская Федерация обеспечила внутреннее производство, достижение мирового уровня конкурентоспособности некоторыми промышленными предприятиями. В этой ситуации использование механизмов цифрового дизрапта становится критическим условием обеспечения опережающего технологического развития и закрепления лидерских позиций России на мировом рынке.

Цифровой дизрапт (от англ. disrupt - «разрушать», «подрывать») — это изменение бизнес-модели в определённой области, обусловленное цифровыми свойствами инновации [6]. В отличие от цифровой трансформации, направленной на постепенную оптимизацию и улучшение существующих процессов, дизрапт предполагает радикальные изменения, при которых прежние бизнес-модели теряют актуальность, а их место занимают новые решения, основанные на цифровых технологиях и инновационных принципах создания ценности. Цифровой дизрапт выступает не только инструментом модернизации, но и важнейшим элементом стратегического позиционирования промышленных компаний, обеспечивающим им глобальное технологическое лидерство и конкурентоспособность в условиях современной экономики [7, 8].

Развитие цифрового дизрапта в промышленности невозможно без активной роли «подрывателей» (disruptors) - субъектов, которые инициируют радикальные технологические и организационные изменения в отрасли. В российском контексте «подрыватели» можно разделить на три группы:

1. Основатели отрасли - компании, формирующие принципиально новые сегменты рынка или трансформирующие традиционные отрасли за счёт внедрения прорывных цифровых технологий. Они создают инновационные продукты или услуги, которые не имеют прямых аналогов.

2. Физические доминанты - крупные промышленные корпорации, обладающие значительными ресурсами, которые способны перенаправлять их в сферу цифровых инноваций. Они играют ключевую роль в масштабировании технологий.

3. Нулевые игроки - стартапы и малые инновационные компании, которые изначально проектируют свой бизнес на основе цифровых технологий и подрывных бизнес-моделей. Они обладают высокой гибкостью, способностью быстро тестировать гипотезы и выходить на рынок с нишевыми уникальными решениями.

В российской практике цифровой дизрапт достигает максимальной эффективности при координации усилий всех категорий акторов с государственными структурами и научно-образовательным сектором. Важную роль здесь играют передовые инженерные школы, которые формируют кадровый и исследовательский потенциал для подрывных инноваций. К примеру, образовательные программы ПИШ СПбПУ «Цифровой инжиниринг» реализуются в тесном сотрудничестве с индустриальными партнёрами, что позволяет интегрировать образование, науку и промышленность воедино и одновременно решать задачи технологического суверенитета [9, 10].

Передовые инженерные школы становятся частью многоуровневой инновационной экосистемы: стартапы обеспечивают динамику и технологический задел, крупные предприятия отвечают за масштабирование и интеграцию решений, а «основатели отрасли» задают стратегическое направление и формируют новые сегменты технологического рынка.

Ключевыми драйверами цифрового дизрапта являются инновационная культура, управленческие компетенции и поддержка ведущих предприятий, обеспечивающие переход от адаптации к активному формированию новых рынков [11].

Цифровой дизрапт оказывает глубокое влияние на ключевые универсальные компетенции (командную работу, проектное управление, коммуникативность, лидерство, стрессоустойчивость и стратегическое мышление), преобразуя их из внутренних характеристик организации во внешние конкурентные преимущества [12]. Эти компетенции не просто облегчают внедрение цифровых технологий в бизнес-процессы, но и дают возможность предприятиям коренным образом изменить принятые бизнес-модели на рынках, формируя новые точки роста и уникальные конкурентные преимущества. Высокий уровень развития универсальных компетенций становится не только гарантией сохранения конкурентоспособности в эпоху активной цифровой трансформации, но и открывает путь к роли подрывателей - лидеров, способных инициировать и управлять структурными изменениями в своих отраслях, задавая новый вектор развития.

Концепция цифрового дизрапта строится на синтезе классической теории подрывных инноваций Клейтона Кристенсена, которая акцентирует внимание на радикальных изменениях в технологиях и бизнес-моделях, и современных исследований в области цифровых технологий, которые обеспечивают быстроту и масштабность этих изменений [13]. В научных источниках цифровой дизрапт рассматривается как комплексное и многослойное явление, включающее технологические инновации, преобразования организационных структур и рыночных взаимоотношений. Его суть заключается не в постепенном улучшении или адаптации существующих процессов, а в создании принципиально новых моделей создания и распределения ценности, которые меняют основу конкуренции и ведут к трансформации отраслей целиком. Такой подход требует от организаций гибкости, способности быстро адаптировать новые технологии и пересматривать стратегии развития в условиях быстро меняющейся цифровой среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Шлычков В.В.* Национальные проекты 2025-2027 гг. Как инструмент развития социально-экономической системы России и потенциальные риски процесса их реализации / В.В. Шлычков, Д.А. Зарезнов, Д.Р. Нестулаева // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. – 2024. – Т. 13, № 4. – С. 161-165. – DOI 10.24412/2225-8264-2024-4-897. – EDN RMQBQX.

2. *Kotler P.* Marketing Management: An Express Course. – 1st ed. – Pearson Education Limited, 2020. – 400 p.

3. Указ Президента РФ от 07.05.2024 г. No 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» // СПС Гарант.

4. *Беляева С.* Отечественные цифровые технологии помогут России выйти в лидеры / С. Беляева // Поиск. - 2025. - 27 мая. - URL: https://poisknews.ru/releases/pyaterku-dvojniku/ (дата обращения: 24.08.2025).

5. *Алиханов А.В.* Министр промышленности и торговли РФ об основах технологического лидерства [Электронный ресурс] // Совет Федерации Российской Федерации. 2025. URL: http://www.council.gov.ru/events/news/167765/ (дата обращения: 24.08.2025).

6. *Baiyere A.*, *Hukal P.* Digital Disruption: A Conceptual Clarification // Proc. of the 53rd Hawaii International Conference on System Sciences. - 2020. - P. 4434–4443. - DOI: 10.24251/HICSS.2020.674.

7. *Барыбина А.З.,* Дизрапт отраслей как следствие развития цифровых платформ в промышленности / А. З. Барыбина // Вестник Академии знаний. – 2021. – № 47(6). – С. 30-37. – DOI 10.24412/2304-6139-2021-6-30-37. – EDN YYCFEV.

8. *Красюк И.А.*, Цифровой дизрапт промышленной компании - стратегический инструмент инновационного развития маркетинговой деятельности / И.А. Красюк, А.Ю. Брагин // Экономика строительства. – 2025. – № 7. – С. 199-202. – EDN GOVUPL.

9. *Боровков А.И., Левенцов В.А., Рождественский, О.И.* ПИШ СПБПУ «Цифровой инжиниринг»: инжиниринговые программы магистратуры, реализуемые совместно с

индустриальными партнерами // Профессорский журнал. Серия: Технические науки. 2024. № 1(7). С. 35–60.

10. *Келлер А.В., Суворов Г.Н., Шадрин С.С., Коршунов И.А., Ширкова Н.Н.* Передовые инженерные школы: трансфер компетенций и инноваций в интересах регионального и отраслевого развития // Высшее образование в России. – 2025. – Т. 34, № 2. – С. 9–30.

11. *Thakur, R., Alsaleh, D., Hale, D.* Digital disruption: a managers' eye view // Journal of Business & Industrial Marketing. – 2022. – Vol. 37, No. 13. – P. 76–89. – DOI: 10.1108/JBIM-05-2021-0273.

12. *Красюк И.А*. Результативность маркетингового управления на основе ключевых компетенций и динамических способностей в условиях цифровизации / И.А. Красюк, А.Ю. Брагин // Экономические науки. – 2022. – № 212. – С. 110-114. – EDN PEHGPC.

13. *Christensen C.M.* The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail. - Boston: Harvard Business School Press, 1997. - 252 p.

DIGITAL DISRUPTION AS AN INNOVATIVE TOOL OF A SCIENCE-INTENSIVE ENTERPRISE

Agranovsky D.A.

Supervisor: Krasyuk I.A., Professor, Doctor of Economic Sciences

(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg)

Abstract. Digital disruption is considered as a special tool for the formation of fundamentally new business models that create prerequisites for the emergence of markets and sustainable competitive advantages of knowledge-intensive enterprises in the global economy. The role of "disruptors" and advanced engineering schools in the institutionalization of the innovation ecosystem is analyzed. The results of their cooperation are considered, which is a necessary condition for achieving technological sovereignty and strengthening the global positions of the Russian industry.

УДК 316

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ НА РЫНОК ТРУДА: НОВЫЕ ПРОФЕССИИ И ВЫЗОВЫ

Ахметзянов А.Х.

Научный руководитель: Самышева Е.Ю., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Цифровая экономика оказывает значительное влияние на структуру рынка труда во всём мире, включая Россию. Автоматизация процессов, развитие информационных технологий и внедрение цифровых платформ меняют требования работодателей к квалификации работников, формируют новые профессиональные компетенции и открывают перспективы для появления новых профессий. Настоящее исследование посвящено изучению тенденций изменения структуры занятости, анализа спроса на квалифицированные кадры в условиях цифровизации, выявлению перспективных направлений профессиональной деятельности и проблем адаптации специалистов к новым условиям рынка труда.

Современная цифровая экономика характеризуется стремительным развитием информационно-коммуникационных технологий, автоматизации производства и услуг, распространением удалённой работы и фриланса. Эти процессы приводят к кардинальному изменению требований работодателей к профессиональным компетенциям сотрудников, появлению принципиально новых рабочих мест и исчезновению традиционных специальностей. Важно понимать механизмы воздействия цифровой трансформации на

структуру занятости, определять потребности бизнеса в специалистах определённых профилей и выявлять основные вызовы, стоящие перед работниками и обществом в целом.

Термин «цифровая экономика» охватывает широкий спектр явлений, связанных с использованием цифровых технологий для повышения эффективности производственных процессов, улучшения качества товаров и услуг, оптимизации бизнес-моделей и внедрения инноваций. Ключевые компоненты цифровой экономики включают [1, с. 289]:

1. информационные технологии и коммуникационные сети;
2. интернет вещей (IoT);
3. большие данные (Big Data);
4. искусственный интеллект (AI);
5. облачные вычисления (Cloud Computing).

Эти элементы становятся основой для переосмысления традиционных подходов к организации бизнеса и взаимодействия между людьми, предприятиями и государством. Развитие цифровых экосистем ведёт к формированию сетевых сообществ потребителей и производителей, сокращению временных затрат на принятие решений и снижению транзакционных издержек.

Однако наряду с положительными эффектами цифровизация создаёт серьёзные вызовы для многих секторов экономики, особенно для тех, чья деятельность традиционно базировалась на ручном труде или стандартных процедурах управления. Компании вынуждены адаптироваться к изменениям, внедрять современные инструменты автоматизации и учиться эффективно управлять новыми ресурсами.

Для России этот процесс приобретает особую значимость ввиду особенностей национальной экономической модели, сложившейся инфраструктуры и уровня технологического развития регионов страны. Вопросы подготовки кадров, разработки законодательства и модернизации устаревших производств выходят на первый план повестки государственной политики.

Цифровая экономика существенно влияет на следующие аспекты рынка труда [2, с. 174]:

1. Изменение структуры занятости. За последние годы структура занятости претерпела значительные изменения благодаря развитию цифровых технологий. Переход от традиционных форм трудоустройства к гибким видам занятости продолжает ускоряться. По данным Росстата, доля работников, занятых дистанционно, увеличилась примерно на 8% за период с 2020 по 2023 год. Процент самозанятых граждан вырос на 5–7%, демонстрируя значительный сдвиг в сторону фриланса и индивидуальной трудовой деятельности.

Кроме того, развитие платформ для найма специалистов привело к росту популярности проектной работы. Такие платформы позволяют компаниям привлекать сотрудников на краткосрочные проекты, обеспечивая максимальную эффективность распределения ресурсов. Например, платформа Яндекс.Таланты увеличила количество зарегистрированных пользователей на 15% ежегодно начиная с 2021 года.

2. Формирование новых профессиональных ниш. Появление новых профессий связано преимущественно с развитием IT-технологий и автоматизации процессов. Так, профессии разработчиков программного обеспечения, специалистов по обработке больших данных и экспертов по кибербезопасности становятся всё более востребованными. За последние три года спрос на данные специальности увеличился на 20–30%. Например, вакансии в сфере разработки мобильных приложений выросли на 25% по сравнению с предыдущими годами.

3. Повышение роли интеллектуального капитала. Важнейшую роль играет развитие человеческого потенциала — особенно навыков критического мышления, креативности и быстрой адаптации к новым условиям. Рост потребности в высококвалифицированных специалистах очевиден: около 60% работодателей отмечают необходимость регулярного повышения уровня профессиональной подготовки персонала. Компании активно инвестируют в программы корпоративного обучения, внедряют онлайн-курсы и мастер-классы, повышая квалификацию сотрудников на постоянной основе.

4. Необходимость постоянного обновления компетенций.

Необходимость непрерывного образования обусловлена быстрым устареванием существующих знаний и технологий. Каждый год появляется огромное количество инноваций, меняющих подходы к выполнению рабочих задач. Поэтому обучение и переподготовка становятся обязательными элементами карьеры современного специалиста. Исследования показывают, что около 70% профессионалов регулярно проходят курсы повышения квалификации, обновляя свои компетенции каждые два-три года.

5. Рост мобильности рабочей силы. Развитие цифровых технологий способствует увеличению географической мобильности трудовых ресурсов. Возможность удалённой работы создаёт предпосылки для свободного перемещения сотрудников между регионами и странами. Согласно опросам, около 30% россиян готовы переехать ради лучших условий труда, а ещё 15% рассматривают такую возможность в ближайшие годы. Это означает значительное увеличение числа трудящихся, готовых сменить регион проживания или даже страну ради перспектив карьерного роста и повышения качества жизни.

Таким образом, современная цифровая экономика требует от человека не только высокого уровня технических знаний, но также развитых социальных навыков, умения оперативно реагировать на внешние вызовы и действовать в условиях неопределённости. Таким образом, цифровая экономика оказывает существенное воздействие на структуру занятости, формирование новых профессий, значимость интеллектуальных способностей и мобильность рабочей силы. Данные тенденции будут продолжать развиваться, способствуя дальнейшему преобразованию рынка труда и появлению новых возможностей для специалистов разных сфер деятельности.

Одной из главных тенденций современного рынка труда является переход от традиционного формата найма («работник-компания») к гибким схемам трудоустройства [3, с. 504]. К ним относятся:

1. фриланс и независимая профессиональная деятельность;
2. удалённый режим работы (telework);
3. проектная форма занятости (project-based work);
4. временная контрактная работа (contracting).

Эта тенденция вызвана необходимостью компаний оптимизировать расходы на персонал, сократить бюрократию и повысить эффективность командной работы. Для работника такие схемы предоставляют возможность самостоятельно выбирать график работы, повышать уровень личной ответственности и получать дополнительные стимулы к развитию своей карьеры.

Тем не менее существуют и негативные стороны гибких форм занятости: отсутствие социальной защиты, нестабильность доходов, необходимость самостоятельного ведения бухгалтерского учёта и уплаты налогов. Всё это предъявляет повышенные требования к психологической устойчивости и организованности сотрудника.

Кроме того, цифровизация порождает новый тип безработицы — технологическая безработица, вызванная замещением человеческого труда роботизированными системами и искусственным интеллектом. Это явление представляет собой серьёзную угрозу стабильности рынков труда, особенно в развивающихся странах, где значительная доля занятых работает в отраслях, подверженных автоматическому вытеснению.

Развитие цифровой экономики способствует возникновению множества инновационных сфер деятельности, где традиционные профессии постепенно уступают место профессиям будущего. Среди наиболее популярных профессий ближайшего десятилетия выделяют [4, с. 293]:

1. специалисты по работе с большими данными (Data Scientist);
2. разработчики приложений и веб-технологий (Web Developer);
3. эксперты по информационной безопасности (Cybersecurity Specialist);
4. инженеры и архитекторы облачных решений (Cloud Engineer/Architect);
5. дизайнеры интерфейсов и продуктов (UX/UI Designer);

6. специалисты по машинному обучению и искусственному интеллекту (Machine Learning Expert);

7. аналитики и консультанты по цифровому маркетингу (Digital Marketing Analyst);

8. консультанты по управлению проектами и продуктовым менеджменту (Project Manager/Product Owner).

Это лишь малая часть отраслей, где специалисты смогут реализовать себя в ближайшие годы. Важнейшими качествами успешных профессионалов станут универсальность навыков, способность интегрировать знания из разных областей и умение быстро адаптироваться к меняющимся условиям.

Отдельно стоит отметить появление гибридных профессий, сочетающих разные специализации и подходы к решению задач. Например, дизайнер-преподаватель, маркетолог-программист, менеджер-инженер и другие виды многопрофильных специалистов будут востребованы в условиях растущей конкуренции и усложнения рыночного ландшафта.

По данным Росстата, уровень распространения интернета и мобильных устройств в стране остаётся достаточно высоким. Однако темпы роста охвата цифровых сервисов значительно замедлились по сравнению с началом XXI века. Причиной этого являются экономические трудности последних лет, ограниченные возможности бюджетирования региональных инициатив и недостаток инвестиций в инфраструктуру периферийных территорий.

Кроме того, российские предприятия чаще всего применяют готовые решения зарубежных разработчиков, создавая зависимость от иностранных поставщиков ПО и оборудования. Эта ситуация снижает конкурентоспособность отечественных ИТ-продуктов и препятствует развитию собственных инновационных проектов.

Российские рабочие места характеризуются преобладанием низкооплачиваемых должностей в секторе обслуживания и розничной торговли. Несмотря на рост числа высокотехнологичных предприятий, большинство трудоспособного населения продолжает заниматься низкоквалифицированным трудом, связанным с физическим производством или работой в сферах туризма, гостиничного хозяйства и общественного питания.

Переход к цифровому обществу требует значительных усилий государства и бизнеса по подготовке квалифицированных кадров, повышению престижа инженерно-технических профессий и популяризации науки и техники среди молодёжи.

Изучив опыт стран-лидеров в формировании цифровой экономики, мы можем выделить три группы государств, достигших значительных успехов в данном направлении [5, с. 335]:

1. США и Китай — лидеры мирового рынка IT-технологий и инноваций. Они инвестируют огромные суммы в научные исследования, создают мощные центры разработки и привлекают лучших специалистов со всего мира.

2. Европа и Япония — успешно интегрируют цифровизацию в промышленность и социальную сферу, реализуя амбициозные проекты по созданию умных городов и экологичной транспортной инфраструктуры.

3. Индия и Бразилия — демонстрируют быстрые темпы роста, используя дешевую рабочую силу и преимущества локализации крупных международных корпораций.

Россия занимает промежуточное положение между этими группами, сталкиваясь с проблемами недостаточного финансирования научных исследований, слабым уровнем международного признания брендов и отставанием в реализации ряда инфраструктурных проектов.

Опыт зарубежных стран подсказывает нам пути преодоления имеющихся ограничений и построения устойчивой и процветающей цифровой экономики. Необходимо совершенствовать законодательство, развивать систему поощрения предпринимательства, улучшать подготовку кадров и обеспечивать равноправный доступ всех слоёв населения к информационным ресурсам.

Таким образом, можно сделать вывод о значительном воздействии цифровой экономики на рынок труда России и обозначило важнейшие направления дальнейшего

развития профессиональной сферы. Основными результатами нашего анализа стали следующие выводы:

1. Трансформация структуры занятости. Традиционные модели занятости постепенно уступают место новым гибким формам трудоустройства. Наблюдается устойчивый тренд увеличения доли удалённых работников и фрилансеров. Если ранее такие формы были редкостью, то теперь они составляют значительную долю рынка труда. В частности, по данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат), число официально зарегистрированных самозанятых увеличилось почти вдвое за последние пять лет. Только за последний отчётный период численность самозанятых выросла на 25%.

Удалённая занятость также получила широкое распространение. Около 30% российских компаний внедрили системы дистанционной работы для своих сотрудников. Эта тенденция наблюдается во всех отраслях, включая образование, медицину, финансы и ИТ-отрасль. Прогрессирующее внедрение инновационных решений ведёт к изменению подходов к организации рабочего процесса и распределению обязанностей среди сотрудников.

2. Появление новых профессий. Рынок труда переживает существенные изменения в структуре специальностей. Новые технологии требуют наличия квалифицированных кадров в сферах обработки больших данных, кибербезопасности и искусственного интеллекта. По данным Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ, число вакансий в указанных областях выросло на 35% за последние четыре года. Наиболее быстрыми темпами развивается профессия data scientist, востребованность которой возросла на 40% всего за один год.

Кибербезопасность также привлекает внимание крупных корпораций и государственных структур. Количество открытых позиций в данной отрасли увеличивается на 20–25% ежегодно. Развитие машинного обучения и искусственного интеллекта требует привлечения большого количества инженеров-разработчиков, чьи услуги высоко ценятся на рынке труда.

3. Возрастающая потребность в повышении квалификации. Постоянное обновление профессиональных навыков стало неотъемлемой частью успешной карьеры. В условиях быстрого технологического прогресса сотрудники вынуждены проходить дополнительное обучение и повышать свою квалификацию минимум раз в два-три года. Исследование, проведённое РАНХиГС совместно с HeadHunter, показало, что около 60% опрошенных работников испытывают острую необходимость в получении дополнительного профессионального образования.

Компании начинают вкладывать больше средств в программы переобучения и повышения квалификации сотрудников. Обучение проводится как очно, так и дистанционно. Онлайн-платформы для обучения, такие как Coursera, Stepik и Udemy, получили массовое признание и продолжают расширять своё присутствие на российском образовательном рынке.

4. Ключевая роль государственного регулирования. Государство играет важную роль в формировании законодательной базы, необходимой для успешного функционирования цифровой экономики. Российские власти принимают меры по поддержке предпринимательства, разработке образовательных инициатив и созданию правовых рамок для защиты прав потребителей и бизнеса. За последние три года приняты законы, регламентирующие использование персональных данных, защиту интеллектуальной собственности и обеспечение безопасности информационных систем.

Также разработана программа поддержки стартапов и малых предприятий, предоставляющая гранты и субсидии на разработку инновационных проектов. Таким образом, государство стремится создать комфортные условия для реализации предпринимательских идей и стимулирует развитие малого и среднего бизнеса.

Очевидно, что Россия сталкивается с существенными вызовами на пути своего экономического развития. Но наличие сильного научно-технического потенциала, исторически сложившихся традиций инженерии и высокая культура общения позволяют надеяться на успешное решение возникших проблем и построение стабильной и сильной цифровой экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мотивация и стимулирование трудовой деятельности [Электронный ресурс]: Учебник и практикум / под ред. С.Ю. Трапицына. Москва: Юрайт, 2019. 314 с. URL: https://urait.ru/bcode/469890 (дата обращения: 17.05.2025). Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. *Воденко К.В.* Экономика и социология труда [Электронный ресурс]: учебник / К.В. Воденко. Москва: Дашков и Ко, 2019. 308 с. URL: http://znanium.com/catalog/document/?pid=1232781&id=371217 (дата обращения: 17.05.2025). Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. *Дуракова И.Б.* Управление персоналом [Электронный ресурс]: Учебник / И.Б. Дуракова, Л.П. Волкова, Е.Н. Кобцева. Москва: ИНФРА-М, 2022. 570 с. URL: https://znanium.com/catalog/product/1817539 (дата обращения: 18.05.2025). Режим доступа: по подписке.

4. Управление персоналом в России: вызовы XXI века [Электронный ресурс]: Книга 6: монография / под ред. И.Б. Дуракова. Москва: ИНФРА-М, 2022. 297 с. URL: https://znanium.com/catalog/product/1817538 (дата обращения: 19.05.2025). Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. *Кибанов А.Я.* Основы управления персоналом [Электронный ресурс]: Учебник / А.Я. Кибанов // 3-е изд, перераб.и доп. Москва: ИНФРА-М, 2022. 440 с. URL: https://znanium.com/catalog/product/1871550 (дата обращения: 19.05.2025). Режим доступа: для авториз. пользователей.

STUDY OF THE IMPACT OF THE DIGITAL ECONOMY ON THE LABOR MARKET: NEW PROFESSIONS AND CHALLENGES

Akhmetzyanov A.K.

Supervisor: Samysheva E.Y., Associate Professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The digital economy has a significant impact on the structure of the labor market throughout the world, including Russia. Automation of processes, development of information technologies and introduction of digital platforms change employers requirements for employee qualifications, form new professional competencies and open up prospects for the emergence of new professions. This study is devoted to studying trends in the change in the employment structure, analyzing the demand for qualified personnel in the context of digitalization, identifying promising areas of professional activity and problems of adaptation of specialists to new conditions of the labor market.

УДК 332.012.2

ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ИНИЦИАТИВЫ ПОДДЕРЖКИ СТАРТАПОВ В СФЕРЕ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ: ОПЫТ РОССИИ

Ахметова Н.М.

Научный руководитель: Кашина Н.В., доцент, к. э. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье рассматриваются ключевые государственные инициативы России, направленные на поддержку стартапов в сфере высоких технологий, и их роль в формировании инновационной экосистемы. На основе актуальных данных за 2025 год анализируются механизмы финансирования, инфраструктурные проекты и успешные кейсы, демонстрирующие эффективность государственных мер.

В условиях стремительного технологического прогресса и глобальной конкурентной борьбы ключевую роль в экономическом развитии страны играют стартапы, способные предложить инновационные решения и продукты. В частности, в сфере высоких технологий стартапы становятся двигателями прогресса, способствуя не только созданию новых рабочих мест, но и повышению общей конкурентоспособности экономики. Однако для успешного функционирования и роста стартапов требуется поддержка, в том числе со стороны государства.

В России в последние годы наблюдается усиленный интерес к развитию технологических стартапов и инжиниринговых компаний, как стимуляторов экономического роста и инновационного развития промышленности. Российское правительство активно внедряет различные программы и механизмы, направленные на стимулирование инновационной активности в стране.

Государственные инициативы по поддержке стартапов в сфере высоких технологий в России играют важную роль в стимулировании инновационного развития и укреплении позиций страны на мировом рынке. Правительство активно сотрудничает с бизнес-сообществом, научными учреждениями и инвесторами для создания благоприятной среды и для роста технологических компаний. Постоянное развитие и совершенствование таких программ и инициатив способствует реализации потенциала российской промышленности и обеспечивает устойчивый экономический рост страны.

Одной из важнейших программ поддержки стартапов в высокотехнологичной сфере является программа «Сколково». Этот инновационный центр стремится создать экосистему поддержки и развития технологических компаний, предоставляя им не только финансовую помощь, но также инфраструктуру, обучение и консалтинговые услуги. «Сколково» успешно предоставляет стартапам доступ к инвесторам, научным и техническим ресурсам, что способствует быстрому росту и развитию инновационных проектов. Фонд «Сколково» предоставляет гранты до 700 млн рублей на разработку цифровых решений, например, для проектов в области ИИ (искусственного интеллекта), телемедицины или робототехники. Среди успешных кейсов — платформа Botkin.AI для анализа медицинских изображений и робот-курьер «Почты России» [1].

Программа активно поддерживает проекты, направленные на замену зарубежных технологий. Например, стартап «Оклэс Технолоджиз» разработал уникальный обратный клапан для нефтяной промышленности, который теперь используется даже международными компаниями

С 2023 года Фонд «Сколково» выплатил около 90 миллионов рублей в рамках программы возмещения инвестиций в университетские стартапы. В первой половине 2024 года сумма составила 52,5 миллиона рублей. Среди стартапов, чьи частные инвесторы получили выплаты, можно выделить платформу по обучению студентов университетским предметам, телемедицинскую ИИ-систему, умный инструмент для коллтрекинга, а также проект по созданию отечественного производства высокочистого ацетонитрила. Программа возмещения инвестиций Фонда «Сколково» осуществляется в рамках федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства» (ПУТП) Министерства образования и науки Российской Федерации. Это часть нацпроекта «Технологии», направленного на коммерциализацию научных разработок и создание 50 стартап-студий к 2030 году. В рамках данной программы государство компенсирует до 50% вложений, что делает инвестиции в стартапы менее рискованными. Также программа поддерживает проекты, созданные в вузах, помогая превратить научные идеи в бизнес. «Сколково» демонстрирует системный подход: от финансовой поддержки (гранты, инвестиции) до международного продвижения и образовательных программ [2].

Таким образом, программа возмещения инвестиций «Сколково» – это удачный пример господдержки, которая не только возмещает вложения, но и создает устойчивую систему финансирования стартапов. Государство активно поддерживает технологические стартапы, снижая барьеры для инвесторов и помогая коммерциализировать научные разработки.

Кроме программы «Сколково» в России существует целый ряд других государственных инициатив, направленных на поддержку стартапов в сфере высоких технологий. Например, проект «Цифровой прорыв», который является частью федеральной программы «Искусственный интеллект» нацпроекта «Цифровая экономика», что подчеркивает его стратегическое значение для государства. Организаторами выступают Минэкономразвития и платформа «Россия — страна возможностей», созданная по инициативе президента РФ.

Данный проект представляет собой одну из ключевых государственных инициатив, направленных на поддержку стартапов в сфере высоких технологий в России. Цифровой прорыв был запущен с целью создания благоприятной экосистемы для развития цифровых решений и технологий, а также для содействия развитию инновационного предпринимательства.

Государство через проект стимулирует развитие стартапов в высокотехнологичных сферах. Кейсы от госструктур и госкомпаний: Например, задачи от РЖД, Минприроды, Центра организации дорожного движения Москвы, направленные на внедрение ИИ (искусственного интеллекта) в транспорт, экологию и городское планирование. Проект закрывает дефицит специалистов в сфере ИИ, предлагая обучение, стажировки и трудоустройство через партнеров (VK, Сбербанк). В отличие от «Сколково», где требуется готовый продукт для гранта, «Цифровой прорыв» доступен даже студентам без опыта.

Программа «Цифровой прорыв» за годы своего существования стала площадкой для создания множества успешных стартапов и технологических решений. Ярким примером такого проекта является бот-помощник для приложений. Данный проект представляет собой инновационное решение для интеграции чат-ботов в мобильные и веб-приложения. Бот упрощает взаимодействие пользователей с сервисами, автоматизируя процессы и сокращая время на разработку. Он умеет запускать бизнес-процессы в ответ на сообщения в чатах, также обрабатывает запросы клиентов, пересылает их в нужные отделы и уведомляет пользователей о статусе заявки. Бот сочетает простоту интеграции с мощной автоматизацией, работая там, где другие боты требуют доработок. Его ключевое преимущество — снижение затрат на внедрение при расширенном функционале, что делает его идеальным для среднего и крупного бизнеса.

Таким образом, «Цифровой прорыв» доказал свою эффективность как инкубатор технологических стартапов, сочетая образовательные, конкурсные и коммерческие механизмы. Его главная ценность — в создании «быстрых» инноваций, которые сразу тестируются на реальных задачах. Проект не только стимулирует создание инновационных решений, но и обеспечивает их дальнейшую поддержку через финансирование, обучение и интеграцию в реальный сектор экономики.

Программа «Взлет к IPO» является одной из важных государственных инициатив, направленных на поддержку стартапов в области высоких технологий в России. Она охватывает полный цикл развития стартапа — от зарождения идеи до выхода на биржу (IPO), предоставляя комплексную поддержку на всех этапах. Программа запущена в 2022 году в рамках нацпроекта «Малое и среднее предпринимательство» и курируется Минэкономразвития и Корпорацией МСП. Участие в программе позволяет не только получить финансовую поддержку, но и воспользоваться экспертными знаниями и опытом, что является неоценимым ресурсом для успешного развития и достижения стратегических целей.

В рамках этого же проекта в июне 2024 года в России была запущена государственная программа предоставления грантов для технологических стартапов. Малые инновационные предприятия имеют возможность претендовать на финансирование в размере до ₽8 млн. Эта программа осуществляется Фондом содействия инновациям совместно с Министерством экономического развития России в рамках федерального проекта «Взлёт — от стартапа до IPO».

Льготные кредиты на общую сумму 2,4 млрд рублей получили в 2022 году в том числе резиденты «Сколково» в рамках федерального проекта «Взлет – от стартапа до IPO». Всего

финансовой поддержкой дочерней организации Корпорации МСП банка воспользовались 25 компаний инновационного центра.

В качестве примера успешного стартапа в рамках проекта «Взлёт от стартапа до IPO» можно привести «Аэрогаз», который разрабатывает технологии для мониторинга состояния окружающей среды, сельского хозяйства и инфраструктуры с использованием дронов. Это позволяет значительно повысить эффективность сбора данных и их анализа. Его участие в проекте «Взлет от стартапа до IPO» дало возможность получить доступ к менторству, инвестициям и необходимым ресурсам для масштабирования бизнеса [3].

На текущий этап (2025 год) компания «Аэрогаз» демонстрирует значительные успехи в разработке инновационных решений для нефтегазовой отрасли, подтверждённые внедрением технологий и государственной поддержкой. Он сочетает технологические инновации с активной коммерциализацией. Поддержка государства (кредиты, гранты) и партнёрства с нефтяными гигантами ускоряют её рост. Планы на 2025 год включают масштабирование экспорта и интеграцию ИИ в моделирование.

«Аэрогаз» является примером того, как поддержка со стороны государства и акселераторов может помочь стартапам в России достигать успеха и выходить на международный уровень. Программа «Взлёт — от стартапа до IPO» стала для «Аэрогаз» ключевым инструментом роста, позволив привлечь финансирование и укрепить позиции на рынке.

Государственные инициативы поддержки стартапов в сфере высоких технологий играют ключевую роль в развитии инновационной экономики России. Опыт таких программ, как «Сколково», «Цифровой прорыв» и «Взлет от стартапа до IPO», демонстрирует комплексный подход к стимулированию технологического предпринимательства.

«Сколково» выступает в роли крупнейшего инновационного центра, предоставляя стартапам налоговые льготы, гранты, инфраструктуру и доступ к международным рынкам. «Цифровой прорыв» (в рамках платформы «Россия — страна возможностей») фокусируется на выявлении и поддержке талантливых IT-специалистов через конкурсы и образовательные программы. Инициатива «Взлет от стартапа до IPO» направлена на помощь перспективным компаниям в масштабировании бизнеса и выходе на IPO, что особенно важно для привлечения инвестиций в высокотехнологичные стартапы.

Таким образом, российский опыт показывает, что системная господдержка, сочетающая финансовые, образовательные и инфраструктурные меры, способствует росту технологических стартапов. Дальнейшее развитие этих инициатив требует более тесного взаимодействия с частными инвесторами и адаптации к глобальным трендам, что позволит усилить позиции России на мировой арене инноваций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сколково, поддержка стартапов. [Электронный ресурс]: - Режим доступа - https://aupkons.ru/blog/sistemnyy-administrator/skolkovo-podderzhka-startapov/, - (Дата обращения 03.06.2025).

2. «Сколково» с 2023 года возместил более 80 млн рублей инвестиций в университетские стартапы. [Электронный ресурс]: - Режим доступа - https://tass.ru/ekonomika/21253841, - (Дата обращения: 30.05.2025).

3. От стартапа до IPO: как государство помогает малому и среднему бизнесу [Электронный ресурс]: - Режим доступа - https://www.rbc.ru/business/27/11/2023/654e0cba9a79474bef26a099, - (Дата обращения 01.06.2025).

GOVERNMENT INITIATIVES TO SUPPORT HIGH-TECH STARTUPS: THE RUSSIAN EXPERIENCE

Akhmetova N.M.

Supervisor: Kashina N.V., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article examines Russia's key government initiatives aimed at supporting high-tech startups and their role in shaping the innovation ecosystem. Based on up-to-date data for 2025, financing mechanisms, infrastructure projects and successful cases demonstrating the effectiveness of government measures are analyzed.

УДК 330.341.1

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА И ИНЖИНИРИНГА

Борисова В.Г.
Научный руководитель: Сергеев Н.А., старший преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье проводится комплексный анализ современных образовательных программ и систем подготовки кадров в сфере технологического предпринимательства и инжиниринга в Российской Федерации. Выявляются ключевые дисбалансы между компетенциями выпускников и требованиями инновационной экономики, а также структурные проблемы интеграции образовательного, исследовательского и производственного секторов. Формулируются конкретные предложения по разработке интегрированной образовательной модели, направленной на формирование кадрового потенциала для технологического суверенитета.

Стратегическая задача достижения технологического суверенитета и перехода к модели инновационно-ориентированной экономики детерминирует необходимость формирования принципиально новой системы подготовки кадрового потенциала. Традиционные модели инженерного и управленческого образования, характеризующиеся высокой степенью теоретизации и слабой связью с реальными потребностями промышленности, демонстрируют свою неэффективность в условиях rapid technological changes и глобальной конкуренции [1, с. 24]. В данном контексте создание эффективной экосистемы подготовки специалистов для технологического предпринимательства и инжиниринга, способных не только генерировать прорывные идеи, но и коммерциализировать их в формате успешных стартапов и инновационных продуктов, становится императивом национального развития. Настоящее исследование направлено на выявление системных lacunas в существующих образовательных программах и разработку концепции их трансформации на основе лучших международных и отечественных практик.

Технологическое предпринимательство как междисциплинарная область деятельности синтезирует компетенции из трех ключевых domains: глубокие инженерно-технические знания (Hard Skills), управленческие и бизнес-навыки (Business Acumen) и личностные качества, такие как креативность, устойчивость к неопределенности и лидерство (Soft Skills) [2, с. 117]. Теоретической основой проектирования соответствующих образовательных программ выступает компетентностный подход, ориентированный на результат в форме способности выпускника решать комплексные задачи в реальных условиях. Ключевым вызовом является преодоление «силосного эффекта» (Silo Effect) между факультетами, обеспечивающее интеграцию знаний на стыке дисциплин.

Ландшафт образовательных программ в сфере технологического предпринимательства и инжиниринга в России характеризуется значительной фрагментированностью и неравномерностью качества. Условно все программы можно классифицировать по уровню интеграции предпринимательского и инженерного компонентов (см. Таблицу 1).

Таблица 1

Классификация образовательных программ в сфере технологического предпринимательства и инжиниринга в РФ

Тип программы	Описание	Примеры	Преимущества	Недостатки
Дисциплинарно-ориентированные	Добавление отдельных курсов по предпринимательству в инженерные curricula	Курс "Основы технологического предпринимательства" в технических вузах	Простота внедрения, широкий охват	Поверхностность, отсутствие интеграции и практики
Магистерские программы	Специализированные программы полного цикла (MSc)	Магистратура "Технологическое предпринимательство" (МФТИ, ИТМО, МГТУ им. Баумана)	Глубина подготовки, проектный подход	Точечность, ограниченный набор, высокая стоимость
Дополнительное образование	Программы повышения квалификации и переподготовки	Акселераторы (Фонд Сколково, GenerationS), онлайн-курсы	Практикоориентированность, скорость	Отсутствие фундаментальной базы, разрозненность
Интегрированные модели	Сквозные проекты на стыке факультетов	"Проектная деятельность" в Университете 20.35, программа "Стартап как диплом"	Максимальная приближенность к реальности	Высокая ресурсоемкость, организационная сложность

Анализ содержания программ reveals a significant gap: преобладание теоретических экономических и управленческих дисциплин при недостатке практических модулей, посвященных специфике коммерциализации R&D, работе с интеллектуальной собственностью, привлечению венчурного финансирования и выводу продукта на global markets.

Для выработки эффективных решений необходим benchmarking с признанными международными центрами подготовки технологических предпринимателей (см. Таблицу 2).

Таблица 2

Сравнительные характеристики мировых лидеров в образовании для технологического предпринимательства

Параметр / Модель	Stanford University (США)	ETH Zürich (Швейцария)	Aalto University (Финляндия)	ТПУ (Россия, пример)
Ключевой принцип	"Формирование экосистемы"	"Глубокие tech + предпринимательство"	"Слияние дизайна, бизнеса и технологий"	"Модернизация традиционной модели"
Структура программы	Гибкая, elective-based	Фундаментальная инж. подготовка + MBA элементы	Междисциплинарные студии и проекты	Курсы по выбору в рамках инж. программы

Ядро программы	Case studies, networking с индустрией	Transfer Technology Office, spin-off компании	Трехстороннее сотрудничество университета	Дипломный проект с элементом коммерциализации
Метрики успеха	Количество основанных стартапов и привлеченных инвестиций	Количество патентов и лицензий, созданные spin-off	Индекс удовлетворенности студентов, количество стартапов	Количество выпускников, трудоустроенных по специальности
Интеграция с индустрией	Через выпускников и venture capital	Промышленные партнеры и заказные R&D	Партнерство с корпорациями для решения реальных кейсов	Базовые кафедры и практика на предприятиях
Параметр / Модель	Stanford University (США)	ETH Zürich (Швейцария)	Aalto University (Финляндия)	ТПУ (Россия, пример)

Данный анализ демонстрирует, что успешные модели базируются на полном погружении студентов в инновационную экосистему, где образование неразрывно связано с исследованиями, практикой и прямым взаимодействием с бизнес-ангелами и венчурными фондами.

Проведенное исследование позволяет идентифицировать ряд критических проблем, сдерживающих развитие эффективной системы подготовки кадров [3]:

1. Кадровый дефицит: Острая нехватка преподавателей-практиков (practitioners), обладающих успешным опытом ведения технологического бизнеса.
2. Фрагментированность**:** Отсутствие единой методологической базы и государственных образовательных стандартов, адекватных запросам технологического предпринимательства.
3. Инфраструктурные ограничения: Недостаток современных лабораторий (Fab Lab, Engineering Workshop), оснащенных оборудованием для прототипирования и проведения R&D.
4. Нормативные барьеры: Жесткость Федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС), ограничивающая университеты в быстром обновлении содержания программ и внедрении гибких форм обучения.
5. Низкий уровень интернационализации: Языковые и административные барьеры, препятствующие привлечению иностранных студентов и профессоров, что сужает горизонты формирования глобально-ориентированных предпринимателей.

Для преодоления выявленных дисбалансов предлагается реализация комплекса взаимосвязанных мер [4]:

1. Разработка и внедрение нового поколения ФГОС по направлению "Технологическое предпринимательство", предусматривающих обязательную проектно-ориентированную деятельность и сквозное обучение через реальные кейсы индустриальных партнеров.
2. Создание федеральной программы подготовки преподавателей-методистов на базе ведущих университетов с обязательными стажировками в технологических компаниях и акселераторах.
3. Стимулирование создания консорциумов "Университет - Исследовательский центр - Промышленная корпорация - Стартап-студия" для обеспечения сквозной траектории развития проекта от идеи до пилотного внедрения.
4. Введение системы грантовой поддержки для университетов, активно внедряющих модель "Стартап как диплом" и иные практико-ориентированные форматы аттестации.

5. Развитие программ академической мобильности и приглашение международных экспертов для чтения модулей, направленных на изучение глобальных рынков и практик ведения технологического бизнеса.

Таким образом, проведенный анализ позволяет констатировать, что текущее состояние образовательных программ в сфере технологического предпринимательства и инжиниринга в Российской Федерации характеризуется переходным характером: от осознания необходимости подобной подготовки к поиску эффективных моделей ее реализации. Несмотря на наличие позитивных отдельных инициатив в ведущих технических университетах, системный подход пока не сформирован. Ключевыми проблемами остаются фрагментированность усилий, кадровый дефицит, слабая интеграция с реальным сектором экономики и консервативность образовательных стандартов.

Предложенные меры, включающие структурные, содержательные и организационные изменения, направлены на создание целостной национальной системы подготовки кадров для технологического предпринимательства. Критически важным является отход от узко-дисциплинарного подхода в сторону создания гибких, интегрированных образовательных сред, где процесс обучения тождественен процессу создания инновационного продукта. Успешная реализация данной концепции требует консолидированных усилий со стороны государства, университетского сообщества и частного бизнеса. Только через формирование эффективного кадрового потенциала, обладающего уникальными компетенциями на стыке инженерии, науки и бизнеса, возможно обеспечение устойчивого технологического развития и достижение стратегических конкурентных преимуществ на глобальной арене. Дальнейшие исследования должны быть сфокусированы на разработке объективных метрик оценки эффективности подобных образовательных программ, выходящих за рамки традиционных академических показателей и измеряющих реальный вклад выпускников в развитие инновационной экономики страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Агранович М.Л.* Образовательные программы как инструмент формирования кадров для инновационной экономики // Высшее образование в России. 2023. Т. 30. № 12. С. 23–35.

2. *Рыжкова Т.А., Смирнов Е.И.* Модель интеграции инженерной и предпринимательской подготовки в техническом университете // Университетское управление: практика и анализ. 2023. Т. 24. № 4. С. 117–129.

3. *Блинов В.И.* Развитие системы подготовки кадров для технологического предпринимательства: вызовы и решения [Электронный ресурс] / В.И. Блинов, О.Ф. Батрова // Образование и наука. – Электрон. дан. – 2022. – Т. 24. № 6. – Режим доступа: https://www.edscience.ru/jour/article/view/2801 (дата обращения: 20.08.2025).

4. World Bank. Building the Skills for Technology Commercialization and Entrepreneurship: A Review of International Best Practices [Электронный ресурс]. – Текст: электронный. – 2023. – URL: https://www.worldbank.org/en/topic/education/publication/building-skills-for-technology-commercialization (дата обращения: 20.08.2025).

EDUCATIONAL PROGRAMS AND PERSONNEL TRAINING FOR TECHNOLOGICAL ENTREPRENEURSHIP AND ENGINEERING

Borisova V.G.

Supervisor: Sergeyev N.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article provides a comprehensive analysis of modern educational programs and training systems in the field of technological entrepreneurship and engineering in the Russian Federation. The key imbalances between graduates' competencies and the requirements of the innovative economy, as well as structural problems of integration of the educational, research and

production sectors, are identified. Specific proposals are formulated for the development of an integrated educational model aimed at building human resources for technological sovereignty.

УДК 330

ПРОБЛЕМА ТРУДОУСТРОЙСТВА ВЫПУСКНИКОВ: БАРЬЕРЫ И ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ

Бусол И.Ю.
Научный руководитель: Надреева Л.Л., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается проблема трудоустройства выпускников в современных условиях, выявляются основные барьеры, препятствующие успешной профессиональной адаптации молодых специалистов. Анализируются причины несоответствия компетенций выпускников требованиям рынка труда – прежде всего это недостаток практического опыта, слабая профориентация и завышенные ожидания. На основе статистических данных, опросов и интервью с выпускниками и работодателями выявлены ключевые факторы, влияющие на успешное трудоустройство. Предлагаются пути преодоления барьеров, включая совершенствование профориентационной работы, развитие дуального обучения и стажировок, обновление образовательных программ с акцентом на soft skills, а также меры государственной поддержки.

В современных социально-экономических условиях проблема активного трудоустройства выпускников высших учебных заведений приобретает особую актуальность в связи с дефицитом кадров. Несмотря на высокий уровень образования и значительные инвестиции в развитие человеческого капитала, многие молодые специалисты сталкиваются с трудностями при поиске первого рабочего места, что зачастую приводит к безработице (Рис. 1.).

Рис. 1. График динамики безработицы в России среди молодых специалистов.

График иллюстрирует, что, несмотря на положительную динамику, проблема безработицы среди выпускников остаётся достаточно актуальной, особенно для отдельных направлений подготовки.

Так, анализ трудоустройства выпускников по различным специальностям показывает, что наиболее высокий уровень трудоустройства по специальности наблюдается у инженеров (97%), IT-специалистов (89%), медиков (74%) и педагогов (60%) [1]. В то же время гуманитарные и экономические специальности демонстрируют более низкие показатели. Например, по экономике и управлению уровень трудоустройства составляет около 70% среди бакалавров и специалистов и около 80% среди магистров, а по гуманитарным наукам —

примерно 63% и 71% соответственно (табл. 1.). Юриспруденция, как одна из массовых гуманитарных специальностей, имеет еще более низкий уровень трудоустройства — около 50% для бакалавров и 62% для магистров. Опросы ВЦИОМ выявили, что более 50% выпускников испытывают сложности с выбором профессии и поиском работы [2].

Таблица 1

Доля трудоустройства выпускников по гуманитарным специальностям

Направление подготовки	Доля в общем выпуске, %	Доля трудоустроенных бакалавров/специалистов, %	Доля трудоустроенных магистров, %
Экономика и управление	28,2	70,1	79,5
Гуманитарные науки	3,5	63,6	71,5
Юриспруденция	11,7	50,8	62,5
Другие науки	6,3	63,3	69,8

Эта ситуация – сложности с трудоустройством – обусловлена целым рядом объективных и субъективных факторов, среди которых – несоответствие между профессиональными компетенциями выпускников и требованиями работодателей, отсутствие практического опыта, ограниченность информации о вакансиях, а также завышенные ожидания относительно условий труда и оплаты.

Целью настоящей статьи является комплексный анализ основных барьеров, с которыми сталкиваются выпускники при трудоустройстве, а также поиск эффективных путей их преодоления. В рамках исследования будут рассмотрены следующие вопросы:

- какие факторы препятствуют успешному трудоустройству молодых специалистов;
- какую роль играют образовательные учреждения, работодатели и государство в решении данной проблемы;
- какие практические меры могут повысить конкурентоспособность выпускников и облегчить их профессиональную адаптацию.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью поиска новых подходов к интеграции выпускников в рынок труда, что имеет важное значение для устойчивого социально-экономического развития страны.

Основные барьеры трудоустройства выпускников представляют собой комплекс взаимосвязанных факторов, которые существенно осложняют процесс их профессиональной интеграции на рынке труда. Одним из ключевых препятствий является несоответствие компетенций выпускников требованиям работодателей. Часто образовательные программы в высших учебных заведениях не успевают адаптироваться к быстрому развитию технологий и изменению отраслевых стандартов, что приводит к тому, что полученные знания и навыки оказываются недостаточно актуальными или практикоориентированными. В результате молодые специалисты не всегда могут эффективно применить свои знания в реальных рабочих условиях [3].

Между тем учебные программы должны регулярно обновляться с учетом изменений на рынке труда и включать практикоориентированные методы обучения, такие как проектная деятельность, кейс-стади и симуляции реальных рабочих ситуаций. Важным элементом является тесное взаимодействие вузов с работодателями, которое может выражаться в привлечении практиков к преподаванию, организации гостевых лекций и дней карьеры. Такое сотрудничество помогает студентам лучше понять требования профессии и установить полезные профессиональные связи еще во время обучения.

Еще одним значимым барьером является отсутствие у выпускников практического опыта**.** Многие работодатели отдают предпочтение кандидатам, уже имеющим стаж работы или прошедшим стажировки, поскольку это снижает риски и затраты на адаптацию новых сотрудников. Однако для большинства молодых специалистов получить такой опыт во время

обучения достаточно сложно из-за ограниченного количества программ практик и стажировок, а также недостатка взаимодействия вузов с предприятиями.

Практический опыт, полученный в ходе стажировок и производственных практик, играет решающую роль в успешном трудоустройстве. Возможность погрузиться в реальную рабочую среду, познакомиться с корпоративной культурой и применить теоретические знания на практике значительно повышает шансы выпускника на рынке труда. Дополнительные квалификации и профессиональные сертификаты, полученные в рамках курсов повышения квалификации, также способствуют повышению конкурентоспособности. Кроме того, участие в волонтерских проектах и иных внеклассных активностях демонстрирует инициативность и организаторские способности, что ценится работодателями.

В России же активно развивается дуальное обучение, при котором студенты совмещают теорию с работой на предприятиях [4]. Например, Южно-Уральский государственный технический колледж достиг уровня трудоустройства выпускников более 80% благодаря тесному сотрудничеству с предприятиями и организации практик. Обязательные стажировки и наставничество помогают студентам адаптироваться к реальным условиям труда, что повышает их конкурентоспособность на рынке. Внедрение таких моделей позволяет работодателям видеть реальный потенциал молодых специалистов и снижает риски при найме.

Среди других факторов, влияющих на успешное трудоустройство выпускников, исследователи ВШЭ выделяют активность выпускника в поиске работы и умение эффективно себя представить. Пассивное ожидание предложений редко приводит к успеху, поэтому важно владеть навыками поиска вакансий, пользоваться профессиональными социальными сетями и рекрутинговыми платформами, а также уметь грамотно составлять резюме и мотивационные письма. Кроме того, навыки прохождения собеседований, умение четко и уверенно излагать свои мысли, демонстрировать заинтересованность и задавать вопросы работодателю значительно повышают шансы на получение желаемой работы. Особое значение имеют так называемые «гибкие» навыки (soft skills) — коммуникабельность, умение работать в команде, критическое мышление и адаптивность, которые позволяют выпускникам быстрее адаптироваться к новым условиям и эффективно взаимодействовать с коллегами. Современные исследования подчеркивают необходимость развития soft skills для успешной адаптации выпускников на рынке труда [5].

Образовательные учреждения начинают активнее внедрять в учебные планы курсы по развитию «гибких» навыков. Это отвечает требованиям современного рынка, где работодатели ценят не только профессиональные знания, но и умение работать в команде и быстро адаптироваться. В ряде вузов (например, РЭУ им. Г.В. Плеханова, Финансовый университет при Правительстве РФ) создаются центры карьеры, которые помогают студентам развивать эти навыки и готовят их к реальным вызовам рынка труда [6]. Такая гибкость программ позволяет выпускникам быть более универсальными и востребованными.

Значительным препятствием являются и завышенные ожидания самих выпускников относительно уровня заработной платы и условий труда. Нереалистичные представления о быстром карьерном росте и высокой оплате часто приводят к отказу от первых предложений работы, что затягивает процесс трудоустройства и увеличивает уровень безработицы среди молодежи.

Недостаточная информированность и слабая профориентация также мешают выпускникам эффективно искать работу. Методы профориентационной работы, применяемые в ведущих вузах страны, способствуют более осознанному выбору профессии студентами. Отсутствие качественной поддержки со стороны учебных заведений и государственных служб занятости приводит к тому, что молодые специалисты не всегда знают, где и как искать вакансии, а также как подготовиться к собеседованиям и составить конкурентоспособное резюме.

Развитие профориентации помогает студентам осознанно выбирать профессию и строить карьеру, снижая риск получения невостребованной специальности. В России,

например, в рамках долгосрочной программы содействия занятости молодежи до 2030 года планируется охватить профориентационными мероприятиями не менее 10 миллионов человек. Центры карьеры при вузах и колледжах проводят тестирования, консультации и обучают навыкам поиска работы, что помогает студентам лучше ориентироваться в рынке труда и формировать реалистичные карьерные ожидания. Это снижает уровень безработицы и повышает качество трудоустройства, поскольку выпускники начинают более целенаправленно готовиться к востребованным профессиям. Наличие актуальных баз данных вакансий, работа центров карьеры при вузах, проведение ярмарок вакансий и дней открытых дверей позволяют выпускникам получать своевременную и полную информацию о возможностях трудоустройства. Прозрачность требований работодателей помогает выпускникам адекватно оценивать свои силы и целенаправленно развивать необходимые компетенции.

Кроме того, на рынке труда наблюдается высокая конкуренция, усугубляемая структурными дисбалансами. В некоторых направлениях, таких как экономика, юриспруденция или гуманитарные науки, количество выпускников значительно превышает спрос, что приводит к перенасыщению рынка и снижению шансов на трудоустройство. В то же время в технических и медицинских сферах ощущается дефицит квалифицированных кадров, что создает дополнительное напряжение и требует более гибкого подхода к распределению специалистов. Географические и социальные барьеры играют не менее важную роль. Многие выпускники не готовы или не имеют возможности переехать в регионы с более высоким спросом на специалистов, что ограничивает их возможности трудоустройства и усугубляет региональные диспропорции на рынке труда.

Таким образом, успешное трудоустройство выпускников является результатом комплексного взаимодействия личной активности, качественного образования, практического опыта и эффективного информационного сопровождения. Только при учете всех этих факторов можно значительно повысить шансы молодых специалистов на успешное начало профессиональной карьеры. Наряду с этими факторами, важное влияние на успешное трудоустройство выпускников оказывают такие факторы как поддержка предпринимательства и самозанятости среди выпускников и меры государственной поддержки и стимулирования занятости молодежи. Остановимся на них подробнее.

В условиях ограниченного количества рабочих мест поддержка предпринимательства становится важным инструментом занятости молодежи. В России действуют бизнес-инкубаторы и акселераторы, а также государственные программы субсидирования молодых предпринимателей. Обучение основам бизнеса и финансовой грамотности помогает выпускникам создавать собственные проекты и находить альтернативные пути трудоустройства. Особый интерес вызывает метод полипрофессиональной проектной подготовки, предполагающий закрепление основных и освоение смежных профессиональных компетенций студентами старших курсов технического университета при совместной разработке ими первичной проектной документации и последующей подготовки на ее основе бизнес-плана инновационного проекта. Вся работа выполняется по заказу предприятия. Практические успехи, достигнутые в ходе проведенных по инициативе кафедры «Экономика и управления на предприятии» КНИТУ-КАИ многочисленных экспериментов, в том числе и на межвузовском уровне, свидетельствуют о целесообразности широкого внедрения метода в практику образовательной деятельности технических университетов [7, 8].

Это способствует развитию экономики и снижению уровня безработицы среди молодежи, а также формирует культуру инновационного мышления.

Далее остановимся на мерах государственной поддержки и стимулирования занятости молодежи. Государство реализует ряд мер, направленных на стимулирование работодателей к приему молодых специалистов. Одним из эффективных инструментов является субсидирование заработной платы работодателям, которые нанимают выпускников в возрасте до 30 лет, не занятых в течение 4 месяцев после окончания учебы. Такая поддержка позволяет работодателям предлагать более конкурентоспособные условия, а выпускникам — быстрее

найти работу. Законодательство РФ предусматривает меры по содействию занятости молодежи и стимулированию работодателей к приему выпускников. Кроме того, создаются программы молодежной занятости, развиваются центры занятости и службы содействия трудоустройству, которые оказывают консультационную и информационную помощь. Также Трудовой кодекс РФ гарантирует права молодых специалистов при трудоустройстве, что очень важно для молодых специалистов. Например, в Чапаевском губернском колледже и других образовательных организациях функционируют центры карьеры, которые успешно помогают выпускникам находить работу и проходят мониторинг эффективности трудоустройства. А анализ образовательных программ МГУ демонстрирует их адаптацию к меняющимся требованиям рынка труда [9].

В каких учебных заведениях уже реализуется:

- программа содействия занятости молодежи до 2030 года охватывает всю Россию;
- Южно-Уральский государственный технический колледж демонстрирует успешные практики стажировок и трудоустройства [10];
- центры карьеры и помощь в освоении soft skill при ведущих вузах Москвы (РЭУ, Финансовый университет, РАНХиГС) активно развивают навыки и содействуют трудоустройству [11];
- в Самарской области и Чапаевске работают центры содействия трудоустройству с положительной динамикой;
- государственные субсидии работодателям распространены по всей стране и стимулируют прием молодых специалистов.

Таким образом, комплексное применение этих мер уже приносит ощутимые результаты и имеет потенциал для масштабного улучшения ситуации с трудоустройством выпускников. По данным Федерального центра занятости, программы поддержки молодежной занятости демонстрируют положительный эффект [12].

В качестве вывода хочется сказать, что в ходе исследования проблемы трудоустройства выпускников выявлены ключевые барьеры, влияющие на успешную профессиональную адаптацию молодых специалистов. Основными препятствиями являются несоответствие компетенций требованиям рынка труда, недостаток практического опыта, слабая профориентация и завышенные ожидания выпускников относительно условий работы и заработной платы. Анализ статистики и эмпирических данных показал, что выпускники технических и медицинских направлений трудоустроены значительно лучше, чем представители гуманитарных и экономических специальностей, что обусловлено структурными диспропорциями на рынке труда.

В условиях быстро меняющегося рынка труда и технологических преобразований возрастает значимость гибкости, готовности к постоянному обучению и развитию новых навыков. Однако не все образовательные программы своевременно адаптируются к этим изменениям, что усиливает разрыв между системой образования и запросами экономики. Кроме того, сохраняются структурные диспропорции: избыток специалистов в одних областях и дефицит — в других.

Для повышения уровня трудоустройства необходимо реализовать комплекс мер, включающих совершенствование профориентационной работы, развитие системы стажировок и дуального обучения, обновление образовательных программ с акцентом на развитие soft skills, а также активное взаимодействие вузов с работодателями. Особое значение имеет поддержка предпринимательства и самозанятости среди молодежи, а также государственные программы стимулирования приема молодых специалистов.

Реализация данных рекомендаций позволит повысить конкурентоспособность выпускников, сократить разрыв между образовательными стандартами и требованиями рынка труда, а также создать условия для эффективной профессиональной самореализации молодых специалистов. Цифровизация и внедрение искусственного интеллекта меняют структуру рынка труда и требуют новых компетенций от выпускников [13]. В перспективе целесообразно продолжить исследование влияния новых технологий и цифровизации на

рынок труда, а также разработать механизмы адаптации образовательных программ к быстро меняющимся экономическим условиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Портал «Работа в России». Статистика по трудоустройству и востребованности профессий [Электронный ресурс] / сайт: trudvsem.ru. – 2024. – Режим доступа: https://trudvsem.ru/statistics (дата обращения: 03.07.2025).

2. Всероссийский центр изучения общественного мнения (ВЦИОМ). Исследование профориентации и трудоустройства молодежи в России [Электронный ресурс] / сайт: wciom.ru. – 2023. – Режим доступа: https://wciom.ru/reports/2023/youth-employment (дата обращения: 03.07.2025).

3. Финансовый университет при Правительстве РФ. Материалы по профориентации и стажировкам [Электронный ресурс] / сайт: fa.ru. – 2024. – Режим доступа: https://fa.ru/career/practice (дата обращения: 03.07.2025).

4. Министерство образования и науки РФ. Государственная программа «Развитие образования» [Электронный ресурс] / сайт: minobrnauki.gov.ru. – 2023. – Режим доступа: https://minobrnauki.gov.ru/programs/education-development (дата обращения: 03.07. 2025).

5. Российский экономический журнал. Современные тенденции рынка труда и образование: вызовы и решения. 2024. №2. С. 45-59.

6. РЭУ им. Г.В. Плеханова. Центр карьеры: отчеты и методические рекомендации [Электронный ресурс] / сайт: reu.ru. – 2024. – Режим доступа: https://reu.ru/career-center/reports (дата обращения: 03.07.2025).

7. *Мингалеев Г.Ф.* О некоторых направлениях кадровой поддержки антикризисных инвестиционных проектов и стабилизации рынка труда Республики Татарстан / Г.Ф. Мингалеев, Л.Л. Надреева, А.Г. Баширова // Экономический вестник Республики Татарстан. – 2009. – № 4. – С. 76-80.

8. *Надреева Л.Л.* О синергии репрофессионализации и полипрофессиональной проектной подготовки в организации кадрового обеспечения инновационного комплекса / Л.Л. Надреева, В.В. Мельничнов, А.Г. Мингалеева // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2013. – № 2-2. – С. 269-273.

9. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Анализ рынка труда и образовательных программ [Электронный ресурс] / сайт: msu.ru. – 2022. – Режим доступа: https://msu.ru/research/labor-market (дата обращения: 03.07.2025).

10. Южно-Уральский государственный технический колледж. Отчет о взаимодействии с работодателями и дуальном обучении [Электронный ресурс] / сайт: sutc.ru. – 2024. – Режим доступа: https://sutc.ru/reports/dual-education (дата обращения: 03.07.2025).

11. Портал «Работа в России». Статистика по трудоустройству и востребованности профессий [Электронный ресурс] / сайт: trudvsem.ru. – 2024. – Режим доступа: https://trudvsem.ru/statistics (дата обращения: 03.07.2025).

12. Федеральный центр занятости населения. Отчет о реализации программ поддержки молодежной занятости [Электронный ресурс] / сайт: fczn.ru. – 2024. – Режим доступа: https://fczn.ru/youth-support/reports (дата обращения: 03.07.2025).

13. Институт экономики РАН. Исследование влияния цифровизации на рынок труда [Электронный ресурс] / сайт: iep.ru. – 2023. – Режим доступа: https://iep.ru/digitalization-labor-market (дата обращения: 03.07.2025).

THE PROBLEM OF GRADUATE EMPLOYMENT: BARRIERS AND WAYS TO OVERCOME THEM

Busol I.Y.

Supervisor: Nadreeva L.L., Associate Professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the problem of graduate employment in modern conditions, identifies the main barriers that hinder the successful professional adaptation of young professionals. The reasons for the inconsistency of graduates' competencies with the requirements of the labor market, lack of practical experience, poor career guidance and high expectations are analyzed. Based on statistical data, surveys and interviews with graduates and employers, key factors influencing successful employment have been identified. Ways to overcome barriers are proposed, including improving career guidance, developing dual training and internships, updating educational programs with an emphasis on soft skills, as well as government support measures.

УДК 336.66:658

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОНКУРЕНТНОЙ СТРАТЕГИИ АПТЕЧНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Васильева О.В.
Научный руководитель Уразбахтина Л.Р., доцент, к. э. н.
(Казанский государственный энергетический университет, г. Казань)

Аннотация. Какую конкурентную стратегию считать эффективной для своего предприятия каждый участник фармацевтического рынка определяет, исходя из внешних факторов. От правильности принятого решения зависит определенность направления, перспективность и возможность шанса на успех.

В стратегическом менеджменте маркетинговый подход определения конкурентных стратегий Ф. Котлера основан на разделении участников рынка по доле его охвата: лидеры, претенденты на лидерство, последователи и «нишевики».

Бесспорно, четкую конкурентную стратегию лидера в фармацевтической рознице имеют крупные федеральные игроки - аптечные сети, такие как «Апрель», «Ригла», «Планета здоровья» и др [1].

Эти компании в полной мере используют возможности данной стратегии: выпускает товары под собственным брендом, стимулирует спрос потребителей посредством рекламы, заключает маркетинговые договоры с производителями , что позволяет существенно снижать цены, открывают новые аптеки – точки сбыта продукции или скупают мелких региональных игроков-конкурентов, открывают собственные склады, развивают онлайн-торговлю, данный комплекс мер по развитию бизнеса ведет к увеличению рентабельности аптек, укреплению позиций сети на рынке, а также доступности готовых форм лекарственных препаратов для населения.

Качественно проведенный SWOT-анализ крупных федералов лежит в основе аргументации выбора конкурентной стратегии.

Занять место лидера, используя стратегию «претендента на лидерство» мелким аптекам, практически невозможно: федеральные сети полностью отрегулировали вопросы по каналам дистрибуции, ценообразования, созданию барьеров для конкурентов. У малого бизнеса фармацевтического сектора отсутствует бюджет с заложенными расходами на выпуск новых продуктов, рекламные кампании, аренду торговых площадей в точках с высоким транзитным трафиком.

Для малого бизнеса характерна стратегия «последователя». Аптечное предприятие готовых лекарственных форм (без права изготовления лекарственных препаратов), являющееся мелким региональным игроком, подстраивается под крупные сетевые аптеки, тем самым выдерживают конкуренцию. Такие аптечные предприятия могут частично заимствовать методы работы федералов, максимально адаптируя их под себя. Например, пересмотреть ассортимент - провести ABC-анализ, увеличивая долю присутствия товаров с большой рентабельностью, или аналогичные товары, но с лучшими потребительскими характеристиками.

Таблица 1

Таблица SWOT-анализа федеральных аптечных сетей

Сильные стороны	Слабые стороны
- гибкая ценовая политика - удобный график работы - рекламные кампании - маркетинговые кампании - аренда площадей в крупных торговых центрах - доступная выкладка товара - расширение линейки СТМ - собственная логистика	- ограниченный ассортимент - отсутствие контакта с региональными дистрибьюторами - высокая текучесть кадров - не участвуют в программе ОНЛС
Возможности	Угрозы
- использование различных конкурирующих стратегий - привлечение специалистов конкурирующих аптек	- возвращение пандемии COVID-19 - логистические риски

Ассортимент аптечного предприятия строго определен законодательством РФ, которое разрешает реализовывать населению ЛП, ИМН, БАДы, косметические средства, продукты детского и диетического питания, дезинфицирующие средства, предметы и средства личной гигиены и некоторые другие категории товаров [2].

Государство не только регламентирует ассортимент аптек, но и контролирует ценообразование на товары из вышеизложенного перечня (в отношении лекарственных препаратов, включённых в перечень ЖНВЛП), опираясь на методику, утвержденной Федеральной службой по тарифам РФ [3]. Согласно КоАП РФ Статьи 14.6. «Нарушение порядка ценообразования» установлены меры ответственности за нарушения. В связи с чем есть ограничения в получении максимальной прибыли от формирования цен на товары.

Таблица 2

Товарооборот ООО «Аптека» за 2024 год

Процент наценки (%)	Сумма выручки (руб)	Сумма прибыли (руб)
0 – 10 %	6 620 550,41	470 820,54
10 – 20 %	1 225 851,50	199 917,25
20 – 40 %	36 253 622,25	8700 839,67
40 – 100 %	10 130 852,32	4 264 048,94
Более 100 %	3 429 645,78	1 910 226,58
Итого	57 660 522,26	15 545 852,98

Для разделения товаров на группы по степени доходности рационально использовать АВС-анализ, базирующийся на принципах Парето.

Таблица 3

Определение категории товаров по доле в прибыли ООО «Аптека» за 2024 год

Товары с наценкой	Доля в прибыли	Приоритет
0 – 10 %	3,0 %	C
10 – 20 %	1,3 %	C
20 – 40 %	55,9 %	A
40 – 100 %	27,4 %	B
Более 100 %	12,28 %	C

Как видно из приведенных таблиц аптечное предприятие имеет высокую рентабельность, что свидетельствует правильно выбранной стратегии формирования

основных фондов имущественного комплекса, в частности фокусировка внимания на реализации товаров А, В-групп.

Фармацевтическая индустрия не отстает от требований настоящего времени: применяет современные технические возможности, также с подключением функций ИИ при формировании заявок, рационально использует основные средства, оптимизирует рабочие процессы, оперативно реагирует на изменения в законодательстве в сфере здравоохранения и экономики, совершенствует профессиональные знания и навыки фармацевтических специалистов.

Применение алгоритмов ИИ для анализа собираемой информации помогает в выборе стратегий по оптимизации использования имеющихся ресурсов у предприятия и усовершенствованию эффективности его работы, в решении проблем повышения производительности труда, сокращению издержек и увеличению чистой прибыли аптеки.

Аптеки с правом изготовления лекарственных препаратов занимают настолько узкую нишу, что не привлекают внимания крупных фармацевтических игроков. Стратегия таких аптек заключается в специализации – производство конкретных лекарственных препаратов, в изготовлении которых не заинтересованы фармацевтические заводы, в силу их нестабильности, коротком сроке годности, отсутствии производственной площадки или нормативных документов у предприятия [2].

Так, например, до 2003 года на ООО «Аптека» (на тот период ГУП «Аптека») была возложена функция по изготовлению лекарственных средств по рецептам врачей лечебно-профилактического учреждения района для реализации населению для лечения амбулаторно, в стационарах и поликлинике. В связи с чем каждый квадратный метр имущественного фонда в советский и постсоветский период был задействован под определенные технологические процессы – изготовление, стерилизация, фасовка, хранение, проведение химического аналитического контроля качественного и количественного состава лекарственных средств. На сегодняшний день общая площадь помещений ООО «Аптека» составляет 1340 кв.м. На данный момент рационально задействованы под нужды предприятия около 400 кв.м. В таблице 4 приведены значения издержек на содержание такого количества площадей.

Таблица 4

Показатели издержек по содержанию недвижимого имущества предприятия за 2024 г.:

Площади	Фонд кап. ремонта	Содержание МКД+ТБО	Коммунальные платежи	Арендная плата	Земельный налог	Имущественный налог
Арендованные	-	-	89529,37	538084,26	-	-
Собственные	94591,50	212912,63	683880,97	-	605,00	145686,00
Всего:	94591,50	212912,63	782410,34	538084,26	605,00	145686,00

Если посмотреть на уровень доходов ООО «Аптека» за трехлетний период коммерческой деятельности, то видно из приведенной таблицы 5, что с увеличением прибыли увеличиваются и расходы, связанные с налоговой нагрузкой, вложениями на модернизацию процессов и прочее.

Таблица 5

Показатели доходов и расходов ООО «Аптека» за период 2022-2024гг. в рублях

Год	Выручка	Расходы	Налог	Чистая прибыль
2022	26156227,44	11698832,14	2145209,29	12156186,02
2023	27440798,53	12898800,00	2181299,70	12360698,83
2024	30069451,16	14052814,92	2708456,57	13308179,70

Приведенные цифры в денежном выражении доказывают необходимость грамотно выстроить стратегию по снижению издержек и увеличению прибыли предприятия, развивая конкурентную политику аптечной сети ООО «Аптека».

Если брать за ориентир Распоряжение Правительства Российской Федерации от 7 июня 2023 г. № 1495-р: «Стратегия развития фармацевтической промышленности Российской Федерации на период до 2030 года», где подробно описывается поддержка организации производства лекарств и их экспорта, подготовка научных, технологических и производственных кадров для отрасли; устранение административных барьеров и ускоренное внедрение новых технологических решений, то фармацевтическому бизнесу стоит принять во внимание данные показатели для своей работы.

Таблица 6

Объем производства на территории Российской Федерации лекарственных средств для медицинского применения до 2030 года (млрд. рублей)

Сценарий/год	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Консервативный	608	696	766	842	918	1001	1081	1167	1261
Базовый	608	721	808	904	990	1085	1177	1277	1385

Невооруженным взглядом наблюдается ежегодный прогнозируемый прирост объемов выпуска, следовательно, ожидаемый прирост розничной реализации лекарственных средств будет аналогичен показателям производства.

Также необходимо брать во внимание эпидемиологический прогноз – ситуация в стране и мире нестабильна, в любой момент возможно возвращение пандемии COVID-19, связанной с распространением короновируса SARS-CoV-2 и его мутацией. Поэтому важно соблюдать указания ВОЗ и правительства РФ, при планировании бюджета фондов предприятия. Любая пандемия, не только COVID-19, представляет угрозу состоянию как здоровья населения, так и для деятельности предприятий. Если провести анализ работы аптеки в ковидный период в таблице 7, то можно выявить предпосылки заложенной тенденции прироста в Постановлении Правительства РФ № 1495-р.

Таблица 7

Показатели доходов и расходов ООО «Аптека» за период 2019-2021гг. в рублях

Год	Выручка	Расходы	Налог	Чистая прибыль
2019	21369344,54	11832050,54	1430594,10	8106699,90
2020	25048864,87	13209971,63	1775833,98	10063059,26
2021	26623797,29	12630007,24	2099068,50	11894721,55

Доходы аптеки связаны с повышенным спросом на лекарственные препараты для лечения и профилактики сезонных заболеваний, на изделия медицинского назначения, на средства индивидуальной защиты, угроза же состояла в возросшей нагрузке на специалистов, возможной их госпитализации в связи с риском заражения при выполнении трудовых обязанностей. Поэтому в фонд потребления были заложены некоторые статьи расхода, связанные с лечением и реабилитацией сотрудников, перенесших заболевание острой короновирусной инфекцией.

Вывод. При выборе конкурентной стратегии аптечного предприятия неизбежно приходится уделять особое внимание эффективному использованию основных фондов на базе расчетов предельного дохода [4]. Стратегия участника фармацевтического рынка позволяет учесть предпочтения и сохранить лояльность клиентов, производителей лекарственных препаратов, а также лиц, заинтересованных в долгосрочном присутствии и развитии аптечного бизнеса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Официальный сайт DSM Group. – URL: https://dsm.ru/news/3102/ (Дата обращения 19.02.2025).

2. Федеральный закон от 12.04.2010 N 61-ФЗ (ред. от 26.12.2024) «Об обращении лекарственных средств».

3. Приказ Государственного комитета Республики Татарстан по тарифам № 158-5/соц-2021 «Об установлении предельных размеров оптовых надбавок и предельных размеров розничных надбавок к фактическим отпускным ценам, установленным производителями лекарственных препаратов, на лекарственные препараты, включенные в перечень жизненно необходимых и важнейших лекарственных препаратов».

4. *Бурганов Р.А.* Управленческая экономика: учебное пособие для вузов / Р.А. Бурганов. - Москва: ИНФРА - М, 2017. - 192 с

TOPICAL ISSUES OF A PHARMACY ENTERPRISE'S COMPETITIVE STRATEGY

Vasilyeva O.V.

Supervisor: Urazbakhtina L.R., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Kazan State Power Engineering University, Kazan)

Abstract. Each participant in the pharmaceutical market determines which competitive strategy is effective for their enterprise based on external factors. The correctness of the decision determines the direction, prospects, and chances of success.

УДК 331.5

ЭКОНОМИКА ТРУДА В ЭПОХУ АВТОМАТИЗАЦИИ И ИСКУСТВЕННОГО ИНТЕЛЕКТА

Веселъев А.Д.

Научный руководитель: Сергеев Н.А., ст. преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются основные трансформации рынка труда, вызванные технологическим прогрессом в области автоматизации и искусственного интеллекта (ИИ). Особое внимание уделено тому, как новые технологии влияют на структуру занятости, уровень безработицы, производительность труда и распределение доходов. Проведен анализ современных исследований и статистических данных, позволяющий оценить риски замещения человеческого труда машинами и определить новые возможности для создания рабочих мест в смежных отраслях. Выявляются ключевые вызовы: необходимость переподготовки кадров, изменение требований к компетенциям работников, усиление социального неравенства, а также вопросы регулирования внедрения ИИ с точки зрения этики и правовой ответственности.

В последние десятилетия мировая экономика переживает волну технологических изменений, представленных робототехникой, автоматизированными системами управления и алгоритмами искусственного интеллекта [3]. Эти технологии уже сегодня внедряются в производственные и сервисные сектора, трансформируя способы выполнения рутинных операций и создавая предпосылки для коренного изменения трудовых процессов. Для работников и работодателей данный сдвиг несёт как масштабные возможности, так и серьёзные вызовы.

С одной стороны, автоматизация повышает эффективность и скорость производства, сокращает издержки и позволяет компаниям предлагать более конкурентоспособные товары и услуги [6]. ИИ-системы способны анализировать огромные массивы данных, оптимизировать логистические цепочки, прогнозировать спрос и управлять рисками — всё это способствует росту производительности и экономическому развитию [3]. С другой стороны, внедрение передовых технологий может приводить к сокращению занятости в традиционных

профессиях с высокой долей рутинных операций: от банковского обслуживания до сборки электронных компонентов [2]. Подобная тенденция порождает беспокойство относительно социальной стабильности, поскольку не все работники способны быстро адаптироваться к новым требованиям рынка.

В условиях быстро меняющейся технологической среды возрастает роль непрерывного образования и обучения на протяжении всей жизни (lifelong learning). Работникам необходимо осваивать цифровые навыки, критическое мышление и умение взаимодействовать с «умными» машинами [7]. Государствам и бизнесу важно выстраивать эффективные механизмы переподготовки кадров, программы поддержки мобильности трудовых ресурсов и социальные гарантии для наиболее уязвимых групп.

Актуальность исследования обусловлена тем, что от того, насколько успешно общество справится с вызовами «четвёртой промышленной революции», во многом будет зависеть не только экономический рост, но и уровень социальной сплочённости, качество жизни и доверие граждан к институтам власти [4]. В данном контексте необходимо комплексно оценить воздействие автоматизации и ИИ на динамику занятости, выявить факторы, способствующие созданию новых рабочих мест, и выработать рекомендации по адаптации трудового законодательства и политики в сфере образования.

Экономическая теория традиционно оперирует понятием «технического прогресса» как одного из двигателей экономического роста. В модели Солоу–Сванна рост капитала и труда дополняется ростом эффективности производства под воздействием технологий [3]. Однако классические рамки не всегда позволяют учесть специфику ИИ, поскольку речь идёт не только о воспроизводстве результатов усилий человека, но и об эмпатии, обучении на основе данных и автономном принятии решений. Современные авторы выделяют два ключевых эффекта технического прогресса: эффект замещения (substitution effect), когда машина или алгоритм заменяют труд человека, и эффект дополнения (complementarity effect), при котором новые технологии повышают производительность и спрос на высококвалифицированных специалистов [6].

В контексте автоматизации обретают значимость концепции «рабочих навыков будущего» — гибкость мышления, способность к междисциплинарному взаимодействию, управление проектами в цифровой среде [13]. Экономисты подчёркивают, что рост спроса будет смещаться в сторону профессий, связанных с разработкой, внедрением и обслуживанием интеллектуальных систем, тогда как традиционные «низкотехнологичные» специальности окажутся под давлением сокращения рабочих мест [2].

Статистические оценки показывают, что в среднем 30–50 % текущих профессий в развитых странах могут быть частично или полностью автоматизированы в ближайшие десятилетия [1]. При этом степень риска зависит от характера трудовой функции: рутинные операции с высокой повторяемостью более уязвимы, чем процессы, требующие творчества и социальных навыков [2]. Одно из ключевых исследований выявило, что около 47 % занятости в США подвержено значительному риску замещения до 2030 года, однако одновременно может быть создано до 13 млн новых рабочих мест в секторах зелёной экономики, здравоохранения и цифровых услуг [5].

Рынки труда в различных регионах реагируют по-разному. В странах с развитой системой образования и гибкими институтами рынка труда адаптация происходит относительно быстрее: работники имеют доступ к программам переквалификации, а бизнес — к налоговым льготам за инвестиции в обучение персонала [6]. В развивающихся экономиках, напротив, значительная часть рабочей силы не располагает необходимыми цифровыми навыками, что увеличивает риск долгосрочной безработицы [8].

Ключевым механизмом смягчения негативных последствий технологической трансформации является система непрерывного образования, включающая онлайн-курсы, модульные программы и тимбилдинговые платформы для обмена знаниями в режиме реального времени [13]. Государственные инициативы, такие как «Центры компетенций» и субсидированные курсы сертификации, позволяют работникам обновлять навыки без отрыва

от основной деятельности [4]. Корпоративные университеты и платформы дистанционного обучения (MOOC) внедряют адаптивные образовательные трекеры, учитывающие индивидуальный профиль и цель учащегося [7].

Внедрение ИИ может усилить неравенство: высокооплачиваемые специалисты, обладающие цифровыми навыками, получают большую часть выгод, в то время как работники среднего и низкого уровня рискуют потерять постоянную занятость [11]. Для преодоления этого дисбаланса целесообразно развивать механизмы социальной поддержки, включая временные пособия, системы гарантированного дохода и программы трудовой мобильности [15]. Такие меры помогают смягчить переходный период и снизить социальное напряжение.

Эффективная адаптация рынка труда к автоматизации и ИИ требует скоординированных действий государства и бизнеса. В числе ключевых мер:

1. Обновление трудового законодательства с учётом гибких форм занятости (гиг-экономика, фриланс) [8].
2. Стимулирование инвестиций в «умные» технологии и R&D посредством налоговых льгот [6].
3. Развитие инфраструктуры для переналадки производства и переквалификации трудовых ресурсов [4].
4. Создание «плавучих» систем социальной защиты, которые автоматически адаптируются к статусу занятости гражданина [15].

По мере распространения ИИ и робототехники рынок труда будет всё больше ориентироваться на качество человеческого капитала, а не на количество задействованных работников [10]. Улучшение качества образовательных программ, формирование навыков стратегического и системного мышления, развитие эмоционального интеллекта должны стать приоритетами национальных стратегий развития [13]. Важную роль сыграют международные стандарты и совместные исследования, направленные на выработку этических норм использования ИИ и защиты прав работников [11].

Автоматизация и искусственный интеллект представляют собой двунаправленный фактор трансформации рынка труда. С одной стороны, они ускоряют экономический рост и повышают производительность; с другой — создают вызовы, связанные с риском замещения рабочих мест и усилением социального неравенства. Успешное преодоление этих вызовов зависит от эффективной политики в сфере образования, социальной защиты и регулирования трудовых отношений. Только при комплексном подходе технологические инновации способны трансформировать рынок труда в направлении повышения качества жизни, создания новых профессий и устойчивого экономического развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Арнц М., Грегори Т., Цирян У.* The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis: OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 189 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2016/05/the-risk-of-automation-for-jobs-in-oecd-countries_g17a27d8/5jlz9h56dvq7-en.pdf. (дата обращения: 17.05.2025).
2. *Фрей К. Б., Осборн М. А.* The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerisation? [Электронный ресурс] / Oxford Martin School Working Paper. – Режим доступа: https://www.fhi.ox.ac.uk/wp-content/uploads/The-Future-of-Employment-How-Susceptible-Are-Jobs-to-Computerization.pdf (дата обращения: 17.05.2025).
3. *Автор Д., Бриньольфссон Э., Макафи А.* Вторая машинная эра: работа, прогресс и процветание в эпоху технологий. – М.: Альпина Паблишер, 2014.
4. Международная организация труда. World Employment and Social Outlook: The role of technology and the future of work [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40dgreports/%40dcomm/%40publ/documents/publication/wcms_795453.pdf (дата обращения: 17.05.2025).

5. Всемирный экономический форум. The Future of Jobs Report 2020 [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2020.pdf (дата обращения: 17.05.2025).
6. ОЭСР. Digitalisation and Productivity: In Search of the Holy Grail – Firm-level empirical evidence from EU countries [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2019/02/digitalisation-and-productivity-in-search-of-the-holy-grail-firm-level-empirical-evidence-from-eu-countries_a3e5982a/5080f4b6-en.pdf (дата обращения: 17.05.2025).
7. *Бахтин В.* Новые навыки для новой экономики // Экономика и управление. – 2018. – № 5. (дата обращения: 17.05.2025).
8. *Петрова Е.* Гиг-экономика и её влияние на рынок труда // Вестник экономических исследований. – 2020. – Т. 12, № 3. (дата обращения: 17.05.2025).
9. *Сидоренко А.* Роботы и люди: баланс силы труда в 21 веке // Экономический журнал. – 2022. – № 2. (дата обращения: 17.05.2025).
10. *Шмидт Х.* The Ambiguous Labor Market Impact of Automating Prediction // Journal of Economic Perspectives. – 2019. – Vol. 33, No. 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jep.33.2.31 (дата обращения: 17.05.2025).
11. *Кузнецов И.* Этика и ответственность при использовании ИИ // Социально-этические исследования. – 2021. – № 4. (дата обращения: 17.05.2025).
12. *Ли К.* Automation, Labor Share, and Productivity Growth // Asian Economic Papers. – 2018. – Vol. 17, No. 1. (дата обращения: 17.05.2025).
13. *Гарсия М., Сантос Р.* Reskilling for the Digital Age // European Journal of Training and Development. – 2020. – Vol. 44, Issue 6. (дата обращения: 17.05.2025).
14. *Романова Н.* Проблемы адаптации рабочей силы к технологическим изменениям // Вестник социологии труда. – 2019. – № 7. (дата обращения: 17.05.2025).
15. ООН. Digital Transformation and Human Development [Электронный ресурс]. – UNDP, 2021. – Режим доступа: http://www.undp.org/content/undp/ru/home/librarypage/hdr/2021-digital-transformation-and-human-development.html (дата обращения: 17.05.2025).

THE LABOR ECONOMY IN THE AGE OF AUTOMATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Veselev A.D.
Supervisor: Sergeev N.A., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the major transformations of the labor market caused by technological progress in the fields of automation and artificial intelligence (AI). Special attention is given to how new technologies affect employment structure, unemployment levels, labor productivity, and income distribution. An analysis of contemporary research and statistical data is conducted, allowing an assessment of the risks of human labor being replaced by machines, as well as identifying new opportunities for job creation in related industries. Key challenges are identified, including the need for workforce retraining, changing requirements for employee competencies, rising social inequality, and issues surrounding the regulation of AI implementation in terms of ethics and legal responsibility.

УДК 331.5

СОЦИАЛЬНОЕ НЕРАВЕНСТВО И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ

Весельев А.Д.
Научный руководитель: Сергеев Н.А., ст. преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Социальное неравенство, отражающее диспропорции в распределении доходов и богатства, является одной из ключевых проблем современного мира. Рост разрыва между богатыми и бедными ведёт к снижению социальной мобильности и ослаблению человеческого капитала, что, в свою очередь, тормозит общий экономический рост. В статье анализируются основные каналы влияния неравенства на рост через инвестиции в образование и здравоохранение, политическую нестабильность, эффекты спроса и институциональные барьеры. Особое внимание уделяется эмпирическим исследованиям в странах ОЭСР и России, где в последние годы коэффициент Джини превысил 0,40, а доля доходов 10 % богатейших достигла рекордных значений. На примере нескольких государств показано, что повышение неравенства ослабляет потребительский спрос, сокращает инвестиции в человеческий капитал и стимулирует социальную напряжённость, вследствие чего темпы роста ВВП замедляются.

Анализ динамики доходного неравенства в странах ОЭСР показывает, что в период с 1980 по 2010 гг. отношение доходов верхнего и нижнего децилей населения выросло с примерно 7:1 до 9,5:1 [1]. Одновременно мировой коэффициент Джини достиг исторических максимумов, а социальная мобильность снизилась до минимальных уровней за последние пятьдесят лет [2]. Классические и эндогенные модели экономического роста подчёркивают роль человеческого капитала и распространения технологий; однако чрезмерное расслоение ограничивает доступ к образованию и замедляет технологический прогресс [5]. Политэкономические исследования демонстрируют, что высокое неравенство стимулирует политическую поляризацию и фискальную нестабильность, что отпугивает частные инвестиции и снижает темпы роста ВВП [3].

В российской практике после минимальных значений 0,395 в 2022 г. коэффициент Джини вновь вырос и по итогам I кв. 2024 г. составил 0,399. В майских указах Президента РФ поставлена цель снижения этого показателя до 0,37 к 2030 г. и до 0,33 к 2036 г. Эти тенденции обосновывают необходимость комплексного подхода к разработке налогово-социальных инструментов, способных обеспечить баланс между перераспределением и сохранением стимулов к инновациям.

1. Теоретические модели влияния неравенства

Теоретические модели экономического роста показывают, что распределение доходов определяет структуру сбережений и инвестиций. Когда значительная часть населения имеет низкие доходы, их возможности вкладывать средства в образование, здоровье или малый бизнес резко ограничены [5]. Это приводит к недоинвестированию в человеческий капитал и, как следствие, снижению производительности труда.

В противоположность этому, концентрация ресурсов в руках состоятельных агентов иногда рассматривается как фактор ускорения инвестиций в инновации и крупные проекты. Однако в долгосрочной перспективе данный эффект редко компенсирует издержки, связанные с недоиспользованием потенциала широких слоёв населения [4].

Кроме того, высокий уровень неравенства тесно связан с политическими рисками: усиливается недоверие к государственным институтам, растёт поддержка радикальных движений, увеличивается вероятность социальных протестов [3]. Эти факторы ограничивают инвестиционную привлекательность страны и снижают устойчивость экономического развития.

2. Эмпирические данные по России

1. Коэффициент Джини. В I кв. 2024 г. индекс концентрации доходов составил 0,399 [6].

2. Уровень бедности. Во II кв. 2024 г. граница бедности равнялась 15 354 ₽, а доля населения с доходами ниже этой пороговой величины составила 8,5 % [7].

3. Региональные различия. В Северо-Кавказском федеральном округе уровень бедности превышает 12 %, тогда как в Центральном — около 6 % [9].

4. Динамика. В 2024 г. число бедных россиян сократилось до 12,4 млн человек (8,5 %) [10, 11], но сохраняется риск возвращения к высоким значениям при стагнации доходов.

5. Социальная политика. Заместитель Председателя Правительства Т. Голикова сообщила о снижении уровня бедности на 37 % с 2018 г. до 8 % по итогам III кв. 2024 г. [12]. Однако достижение целевых значений потребует долгосрочных реформ.

3. Каналы влияния на экономический рост

— Инвестиции в образование и здравоохранение. Ограниченные возможности малообеспеченных групп снижают уровень человеческого капитала и формируют «порочный круг бедности» [1, 2].

— Потребительский спрос. Снижение покупательной способности большинства населения ограничивает рост внутреннего рынка, что негативно сказывается на динамике производства [4].

— Фискальная стабильность. Государство вынуждено расширять социальные расходы, что создаёт риск бюджетного дефицита и ухудшает инвестиционный климат [3].

— Институциональные эффекты. Неравенство закрепляет политическое влияние узкой элиты и снижает эффективность институтов, препятствуя структурным реформам [9].

4. Международные сопоставления

Сравнительный анализ показывает, что страны с низким коэффициентом Джини (менее 0,30), такие как Швеция и Норвегия, демонстрируют высокий уровень инновационной активности, социального доверия и устойчивого роста. В то время как государства с высоким уровнем неравенства, например, Бразилия или Южная Африка, сталкиваются с политической нестабильностью, слабым спросом и высоким уровнем преступности [1, 2].

Эти различия подтверждают, что активная политика перераспределения доходов и инвестиций в человеческий капитал является не тормозом, а стимулом для долгосрочного экономического развития.

Проведённый анализ показал, что социальное неравенство оказывает комплексное и преимущественно негативное влияние на экономический рост. Оно снижает инвестиции в человеческий капитал, ослабляет потребительский спрос, усиливает политическую поляризацию и повышает нагрузку на государственные финансы. Положительные эффекты в виде ускоренного накопления капитала проявляются значительно слабее и не компенсируют системные издержки.

Для России ключевыми вызовами остаются рост коэффициента Джини выше 0,39, территориальная дифференциация уровня жизни и сохранение бедности на уровне 8–9 %. Решение этих проблем требует сочетания нескольких направлений политики:

— введение элементов прогрессивного налогообложения;

— расширение инвестиций в образование и здравоохранение;

— развитие региональных программ по сокращению бедности;

— институциональные реформы, направленные на повышение прозрачности управления и доверия к государственным институтам.

Таким образом, устойчивый экономический рост в условиях глобальных вызовов возможен только при формировании справедливой социальной среды, обеспечивающей равные возможности для всех граждан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. OECD. Trends in Income Inequality and Its Impact on Economic Growth. OECD Publishing, 2014. URL: https://www.oecd.org/els/soc/trends-in-income-inequality-and-its-impact-on-economic-growth.htm (дата обращения: 15.05.2025).

2. OECD. Society at a Glance 2024. OECD Publishing, 2024. URL: https://www.oecd.org/social/society-at-a-glance-22471871.htm (дата обращения: 15.05.2025).

3. *Alesina A., Perotti R.* Income Distribution, Political Instability, and Investment // European Economic Review. 1996. Vol. 40, No 6, p. 1203–1228. DOI: 10.1016/0014-2921(95)00047-0.

4. *Banerjee A., Duflo E.* Inequality and Growth: What Can the Data Say? // Journal of Economic Growth. 2003. Vol. 8, No 3, p. 267–299. DOI: 10.1023/A:1026330901377.

5. *Aghion P., Bolton P.* Government Intervention and Competition // Review of Economic Studies. 1990. Vol. 57, No 2, p. 263–291. DOI: 10.2307/2297815.

6. Federal State Statistics Service. Социально-экономическое положение России: февраль 2024. Rosstat, 2024. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/2024/02-29/tQ1QjJBq/Doklad_04-2024/3-1-2_04-2024.doc (дата обращения: 15.05.2025).

7. Federal State Statistics Service. Численность населения с денежными доходами ниже границы бедности во II квартале 2024 г. Rosstat, 2024. URL: https://rosstat.gov.ru/folder/313/document/244096 (дата обращения: 15.05.2025).

8. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 239 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2036 года». URL: https://kremlin.ru/events/president/news/73986 (дата обращения: 15.05.2025).

9. RBC. Неравенство в России вернулось почти к «досанкционному» уровню. 07.03.2025. URL: https://www.rbc.ru/economics/07/03/2025/67c96f139a794702ed62e69a (дата обращения: 15.05.2025).

10. Ведомости. Количество бедных россиян снизилось на 1,7 млн в 2024 году. 12.03.2025. URL: https://www.vedomosti.ru/society/articles/2025/03/12/1097616-kolichestvo-bednih-snizilos (дата обращения: 15.05.2025).

11. Ведомости. Во II квартале 2024 г. уровень бедности снизился до 8,5 %. 15.10.2024. URL: https://www.vedomosti.ru/economics/news/2024/10/15/1068822-bednih-v-kavichkah (дата обращения: 15.05.2025).

12. Голикова Т. Ю. Уровень бедности в России упал на 37 % с 2018 г. 12.02.2025. URL: https://www.vedomosti.ru/society/news/2025/02/12/1091651-golikova-uroven (дата обращения: 15.05.2025).

SOCIAL INEQUALITY AND ITS IMPACT ON ECONOMIC GROWTH

Veselev A.D.

Supervisor: Sergeev N.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Social inequality, reflecting disparities in the distribution of income and wealth, is one of the key problems of the modern world. The growing gap between the rich and the poor leads to reduced social mobility and the weakening of human capital, which in turn slows overall economic growth. The article analyzes the main channels through which inequality affects growth, including investments in education and healthcare, political instability, demand effects, and institutional barriers. Special attention is given to empirical research in OECD countries and Russia, where in recent years the Gini coefficient has exceeded 0.40, and the income share of the wealthiest 10% has reached record levels.

УДК 0066:658:818

СТАНДАРТЫ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ КЛИЕНТОВ В ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ: КАК СТАНДАРТЫ ФОРМИРУЮТ ЛОЯЛЬНОСТЬ

Галлямова Э.М., Клюева К.Э., Рафикова К.Р.
Научный руководитель: Пурис А.В., доцент, к. э. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье проведен анализ влияния стандартов обслуживания клиентов на лояльность покупателей в онлайн-ритейле на примере ООО «Золотое Яблоко». Исследование рассматривает применяемые компанией стандарты и их влияние на ключевые показатели.

В современных условиях динамичного развития электронной коммерции повышение лояльности клиентов становится важным элементом стратегического управления для интернет-магазина.

Электронная коммерция – это процесс покупки и продажи товаров и услуг через интернет. Это включает в себя различные виды транзакций, такие как розничная торговля, оптовая торговля, а также услуги и цифровые продукты [1].

Значимость электронной коммерции в современном мире заключается в следующем:

1. Удобство и доступность для потребителей: с помощью онлайн-магазинов люди совершают приобретения в любые удобные для себя дни и часы, при этом даже не требуется выходить из дома;
2. Широкий ассортимент товаров и услуг: электронные платформы предлагают широкий выбор продукции, позволяя покупателям находить именно то, что им нужно;
3. Снижение затрат: для компаний электронная коммерция позволяет снизить затраты на аренду помещений, оплату труда и другие операционные расходы;
4. Лёгкость маркетинга и аналитики: онлайн-платформы предоставляют множество инструментов для маркетинга и аналитики, что помогает компаниям отслеживать поведение пользователей, анализировать данные и адаптировать свои стратегии для улучшения продаж;
5. Глобальный рынок: компании могут продавать свои товары и услуги по всему миру, не ограничиваясь географическими рамками [1].

Бренды особенно стремятся увеличить свою долю рынка и укрепить позиции среди потребителей в рамках многообразного и высококонкурентного рынка онлайн-ритейла. Интернет-магазин «Золотое яблоко», является одним из ведущих российских ритейлеров в сегменте косметики и парфюмерии, который предлагает широкий ассортимент товаров как отечественных, так и зарубежных брендов [3], представляя собой сильного конкурента для других интернет-магазинов данной сферы, поэтому ему так важно сохранять свои позиции.

Рассмотрим стандарты качества обслуживания клиентов на примере интернет-магазина «Золотое Яблоко»:

Во-первых, прозрачность информации о товарах. У любого продукта есть описание, а при необходимости можно ознакомиться с составом товара. Также на каждую партию товара есть сертификат качества, который можно предоставить покупателю по запросу.

Во-вторых, система поддержки клиентов: каналы связи (чат, телефон, email) и их эффективность.

Система поддержки клиентов в «Золотом Яблоке» включает следующие каналы связи:

−онлайн-чаты в WhatsApp и Telegram. Специалисты call-центра доступны для связи 24/7;

−телефонный номер 8 800 770-70-21;

−чат в Telegram (@GoldappleSupportBot). В нём можно получить помощь по любым вопросам 24/7.

Эффективность системы можно оценить по тому, что операторы отвечают на запросы из чата, соцсетей, звонков. Клиентам приходят уведомления через sms, push, email. Благодаря этому увеличился процент позитивной обратной связи.

Также на сайте реализован чат-бот, который позволяет вести переписку при выборе товаров и стимулировать клиента совершить целевое действие – сделать заказ.

В-третьих, это способы доставки: как компания «Золотое Яблоко» обеспечивает быструю и надежную доставку (табл. 1).

Таблица 1

Оценка организации доставки интернет-магазина «Золотое яблоко» [3]

Критерии	Описание
Способы доставки	1. Курьерская доставка: доставка на дом или в офис курьером – один из самых популярных способов. Клиенты могут выбрать время доставки, что добавляет удобства. 2. Самовывоз: возможность забрать заказ из одного из пунктов выдачи или магазинов «Золотого яблока» является хорошим вариантом для тех, кто предпочитает получать товары самостоятельно. 3. Доставка в постаматы: этот способ становится все более популярным благодаря своей удобности. Заказ можно забрать в любое время, что особенно актуально для занятых людей.
Сроки доставки	1. Курьерская доставка: в крупных городах доставка может осуществляться в течение 1-3 дней. 2. Самовывоз: заказ можно забрать в тот же день, если он был оформлен до определенного времени. 3. Доставка в постаматы: обычно занимает 1-2 дня. Эти сроки являются конкурентоспособными и соответствуют ожиданиям клиентов.
Стоимость доставки	Стоимость доставки зависит от выбранного способа и суммы заказа. Как правило, «Золотое яблоко» предлагает бесплатную доставку при заказе на определенную сумму, что стимулирует покупателей делать более крупные заказы. Также возможны акции и скидки на доставку, что делает условия более привлекательными.
Качество обслуживания	1. Информирование клиентов: клиенты получают уведомления о статусе заказа, что позволяет им отслеживать его на всех этапах доставки. 2. Обратная связь: магазин активно собирает отзывы о доставке и реагирует на них, что помогает улучшать сервис. 3. Вежливость и профессионализм курьеров.

Анализируя данную таблицу, можно сделать вывод о том, что «Золотое яблоко» предлагает разнообразные и удобные способы доставки, включая курьерскую доставку, самовывоз и доставку в постаматы, что позволяет клиентам выбрать наиболее подходящий вариант. Сроки доставки конкурентоспособны и соответствуют ожиданиям клиентов, а стоимость часто компенсируется акциями и возможностью бесплатной доставки при определенной сумме заказа. Качество обслуживания также находится на высоком уровне: информирование клиентов, активная обратная связь и профессионализм курьеров способствуют положительному впечатлению о компании.

В-четверых, формирование единого клиентского профиля. В нём объединены контактные данные клиента, отметка о наиболее удобном способе связи с ним, история обращений, информация о купленных продуктах и услугах. Так, когда пользователь позвонит в службу поддержки, оператор контакт-центра сразу определит, кто звонит, какие услуги подключены, с какими проблемами клиент обращался раньше.

Внедрены персонализированные опросы. Они создаются на основе истории взаимодействия клиентов с компанией и позволяют получать более точные и ценные данные.

Такие опросы могут включать вопросы, относящиеся к конкретным покупкам или сервисам, которыми пользовался клиент.

Собираются видеоотзывы. Это помогает не только понять эмоции клиента от товаров, но и обнаруживать нестандартные и интересные способы их применения. Например, использование красивой упаковки в качестве элемента интерьера или превращение пакета для транспортировки в стильный брендированный аксессуар.

Лояльность клиентов – это приверженность покупателей определённому бренду, при которой они искренне верят производителям и готовы обращаться к ним повторно. Значимость лояльности для «Золотого яблока» заключается в том, что лояльная аудитория сокращает расходы компании: привлечение новых клиентов обходится дороже, а их доведение до покупки потребует дополнительных усилий.

Рассмотрим ряд ключевых метрик интернет-магазина «Золотое Яблоко», по которым мы видим, лояльность клиентов интернет-магазина «Золотое Яблоко»

Во-первых, количество посещений (рис. 1).

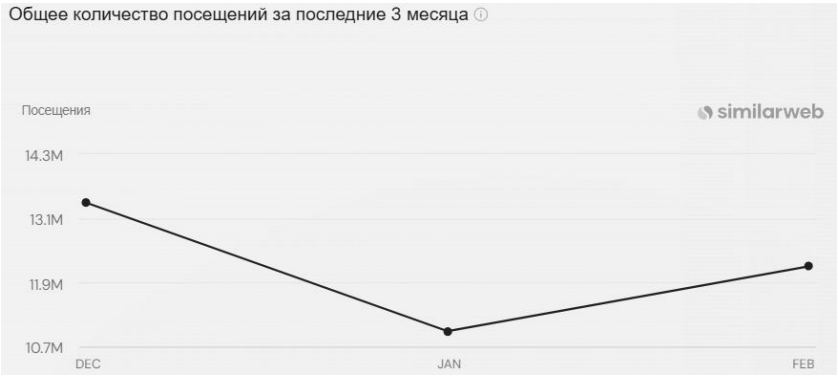


Рис. 1. Общее количество посещений интернет-магазина в период за 12.2024 – 02.2025 гг. [2]

Анализируя данный рисунок, можно сделать следующие выводы:

В период с декабря 2024 г. по февраль 2025 года интернет-магазин «Золотое Яблоко» демонстрирует спад посещаемости в январе 2024 года, однако, уже в феврале 2025 г. демонстрирует рост. В конце 2024 года онлайн-магазин посетило 13,4 миллиона пользователей, в январе 2025 года показатель уменьшился и составил 11 миллионов, а в феврале вырос до 12,2 миллионов. Данная динамика свидетельствует о повышении интереса к магазину.

Анализ темпов роста показывает следующие результаты: декабрь – январь: уменьшение на 2,4 миллиона посещений, что составляет 17,91%; январь – февраль: прирост составил 1,2 миллиона посещений, или 10,94%.

Эти данные указывают на ускорение темпов роста посещаемости в феврале по сравнению с предыдущими месяцами.

Среднее количество посещений за три месяца составляет 12,2 миллионов. Это значение подчеркивает стабильный интерес пользователей к интернет-магазину в течение всего анализируемого периода.

На основании представленных данных можно сделать несколько выводов:

–положительная динамика: наблюдается явное увеличение интереса к магазину, что может быть связано с различными факторами, включая маркетинговые активности и сезонные предложения.

–сезонный рост: значительный прирост посещаемости в феврале, скорее всего, обусловлен предпраздничными акциями и распродажами, что традиционно приводит к увеличению трафика.

Во-вторых, трафик и прозрачность представлены на рисунке 2.

Рис. 2. Трафик и прозрачность интернет-магазина в период за 12.2024 – 02.2025 гг. [2]

Анализируя данный рисунок, можно сделать такие выводы, как:

1. Общее количество посещений: 12,2 миллионов. Это высокий интерес к продуктам магазина;

2. Изменение за последний месяц: +10,94%. Значительный рост, вероятно, связан с успешными рекламными кампаниями или новыми поступлениями товаров;

3. Показатель отказов: 35,78%. Низкий уровень отказов указывает на то, что пользователи находят сайт интересным;

4. Количество страниц за одно посещение: 4,81. Пользователи активно исследуют сайт, что свидетельствует о хорошей навигации;

5. Средняя продолжительность визита: 3 минуты 31 секунда. Долгое время на сайте указывает на высокий уровень вовлеченности.

Анализ показывает положительные тренды в росте посещаемости и вовлеченности. Увеличение трафика и высокий уровень взаимодействия свидетельствуют об успешности интернет-магазина, однако необходимо продолжать оптимизацию для повышения конверсии.

Таким образом, стандарты качества обслуживания имеют тесную взаимосвязь с уровнем лояльности в электронной коммерции. На примере ООО «Золотое Яблоко» доказано, что целенаправленное внедрение и постоянное совершенствование стандартов, охватывающих все этапы взаимодействия с клиентом – от навигации на сайте до обработки возвратов, – приводит к ощутимому росту лояльности. Успешная стратегия «Золотого Яблока» демонстрирует важность многоканальной коммуникации, проактивного решения проблем и создания персонализированного опыта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Электронная коммерция: что это и зачем нужно [Электронный ресурс]: – Режим доступа: https://sky.pro/wiki/profession/elektronnaya-kommerciya-chto-eto-i-zachem-nuzhno/, (дата обращения: 22.02.2025).

2. Анализ работы веб-сайта «Золотое Яблоко» [Электронный ресурс]: – Режим доступа: https://www.similarweb.com/ru/website/goldapple.ru/#overview, (дата обращения: 20.02.2025).

3. Оценка организации доставки компании «Золотое яблоко» [Электронный ресурс]: – Режим доступа: https://goldapple.ru/, (дата обращения: 20.02.2025).

CUSTOMER SERVICE QUALITY STANDARDS IN E-COMMERCE: HOW STANDARDS FORM LOYALTY

Gallyamova E.M., Klyueva K.E., Rafikova K.R.

Supervisor: Puris A.V., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article analyzes the impact of customer service standards on customer loyalty in online retail using the example of Golden Apple LLC. The study examines the standards applied by the company, their impact on key indicators.

УДК 338.48

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ КРЕДИТНОГО РЫНКА В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПАО «СБЕРБАНК»

Гиниятуллина Р.Р.
Научный руководитель: Шипшова О.А., доцент, к. э. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Целью данного исследования является моделирование тенденций развития кредитного рынка России на примере ПАО «Сбербанк» в период 2022–2025 гг., а также выявление механизмов минимизации рисков в условиях нестабильности. Основное внимание уделяется взаимосвязи макроэкономических факторов, цифровой трансформации и регуляторных мер.

Кредитный рынок, будучи ключевым элементом финансовой системы, играет важнейшую роль в обеспечении экономического роста и стабильности. Однако в условиях современных вызовов — санкционного давления, инфляции и валютных колебаний — его динамика требует глубокого анализа.

Кредитный рынок, будучи важнейшим элементом устойчивой финансовой системы, оказывает значительное влияние как на уровень экономического роста, так и на общую стабильность национальной экономики. Особая роль в этом процессе принадлежит крупнейшим финансовым институтам, таким как ПАО «Сбербанк», который является ключевым игроком на российском кредитном рынке. Особая роль в формировании и функционировании кредитного рынка принадлежит крупнейшим финансовым институтам, таким как ПАО «Сбербанк», который занимает доминирующую позицию на российском финансовом рынке. Этот банк обеспечивает значительную часть кредитных ресурсов как для физических, так и для юридических лиц, активно участвует в реализации государственных программ поддержки экономики и стимулирования потребительского спроса. В связи с этим его стратегические решения и управление кредитным портфелем оказывают существенное влияние на динамику всего рынка.

В условиях современных вызовов, таких как санкционное давление, высокий уровень инфляции и внезапные колебания валютных курсов, динамика кредитного рынка требует тщательного и глубокого анализа для поиска оптимальных решений.

Одной из основных целей данного исследования является выявление и моделирование тенденций развития кредитного рынка России на примере деятельности ПАО «Сбербанк» в период 2022–2025 годов. Этот анализ будет направлен на определение ключевых факторов, влияющих на спрос и предложение кредитных ресурсов, а также на их взаимосвязь с различными макроэкономическими показателями. В частности, внимание будет уделено таким аспектам, как уровень инфляции, изменения в экономической политике, колебания валютных курсов и влияние внешнеэкономической конъюнктуры.

Помимо этого, важным элементом исследования станет изучение механизмов минимизации рисков, с которыми сталкивается кредитный рынок в условиях финансовой нестабильности. В этом контексте следует рассмотреть, как внутренние, так и внешние факторы, способные повлиять на устойчивость кредитного портфеля, а также на способность банков адаптироваться к изменяющимся условиям рынка. Одним из решений в этой ситуации может стать внедрение инновационных технологий и цифровых инструментов, способствующих более эффективному управлению рисками [1].

Цифровая трансформация — это не только вызов, но и возможность для кредитных учреждений переосмыслить свои бизнес-модели и укрепить позиции на рынке. В то время как традиционные методы ведения дел могут терять актуальность, новые цифровые подходы, такие как анализ больших данных и внедрение искусственного интеллекта, могут значительно

повысить уровень обслуживания клиентов и эффективность кредитования. Важно выделить, как «Сбербанк» использует цифровые инновации для оптимизации кредитного процесса и минимизации потенциальных рисков [2].

Кроме того, в условиях изменяющегося законодательного и регуляторного поля, необходимо проанализировать, как новые регуляторные меры влияют на кредитное учреждение и его клиентов. Это может включать в себя как требования к капиталу и резервированию, так и поддержку со стороны государства для обеспечения финансовой стабильности и защиты интересов вкладчиков.

За последние три года кредитный портфель ПАО «Сбербанк» продемонстрировал устойчивый рост, несмотря на внешние экономические шоки. Объем корпоративных кредитов увеличился с 18,6 трлн руб. в 2022 г. до 27,74 трлн руб. в 2024 г., что во многом стало результатом государственных программ поддержки малого и среднего бизнеса. Например, льготное кредитование под 6–8% годовых позволило сектору МСП занять 16% в структуре корпоративного портфеля банка, что на 5 процентных пунктов выше показателей 2022 г. [3].

В розничном сегменте наиболее заметный рост наблюдался в ипотечном кредитовании — за три года объем выданных жилищных займов вырос на 311,9%. Этот скачок связан с реализацией программ «Семейная ипотека» и специальных ставок для IT-специалистов. Однако к 2024 г. доля проблемных кредитов в рознице достигла 8,9%, что объясняется снижением реальных доходов населения на 3,2% и инфляцией, превысившей 10%. Эти факторы создали дополнительную нагрузку на заемщиков, вынуждая банки ужесточать скоринговые модели.

Макроэкономическая нестабильность оказала значительное влияние на кредитную активность. Регрессионный анализ данных за 2015–2024 гг. выявил сильную корреляцию между ключевой ставкой ЦБ РФ и объемом ипотечных кредитов ($R^2 = 0,87$). Так, повышение ставки до 20% в 2022 г. привело к сокращению выдачи ипотеки на 15%. Инфляция на уровне 10% в 2024 г. дополнительно увеличила долю просроченных платежей на 2,3 процентных пункта. Санкционное давление также сыграло роль: отток иностранных инвестиций из банковского сектора составил 24%, что ограничило доступ кредитных организаций к долгосрочным ресурсам [4].

Прогнозирование динамики кредитного рынка на 2025–2027 гг. основано на трех сценариях. Базовый вариант предполагает сохранение текущих трендов — ежегодный рост корпоративного кредитования на 7% и увеличение доли онлайн-кредитования до 70%. Пессимистический сценарий, учитывающий усиление санкций, прогнозирует снижение объема кредитов МСП на 12% и рост ключевой ставки до 13%. Оптимистический вариант связывают с реализацией ESG-стратегии: объем «зеленых» кредитов может достичь 1,2 трлн руб., а внедрение AI-скоринга способно сократить долю просрочки в рознице до 6% [5].

Кредитный рынок, будучи важной составляющей финансовой системы, сталкивается с множеством ключевых рисков, которые могут существенно повлиять на его стабильность и развитие в будущем. Среди наиболее актуальных угроз выделяются киберугрозы, низкая финансовая грамотность населения и жесткие регуляторные ограничения.

Согласно данным за 2024 год, число кибератак на финансовые платформы увеличилось на 40%. Это тревожное явление подчеркивает необходимость внедрения современных технологий, таких как блокчейн, для повышения прозрачности и безопасности транзакций. Блокчейн может не только снизить риск мошенничества, но и обеспечить неизменность и проверяемость записей о транзакциях, что, в свою очередь, повышает доверие пользователей к финансовым услугам.

Одновременно, в условиях быстро меняющихся экономических реалий, наблюдается низкая финансовая грамотность среди населения. Лишь 35% заемщиков полностью понимают условия кредитных договоров, что создает предпосылки для возникновения конфликтов между кредиторами и заемщиками. Это подчеркивает настоятельную необходимость внедрения образовательных программ, направленных на повышение финансовой

грамотности, что позволит гражданам более осознанно подходить к вопросам кредитования и управления личными финансами.

Также стоит учитывать влияние регуляторных ограничений. Ужесточение нормативов резервирования для необеспеченных займов до 12% создает дополнительные сложности для банков, заставляя их пересматривать свои стратегии риск-менеджмента. Банки будут вынуждены находить новые способы управления рисками, адаптироваться к изменяющимся требованиям и пересматривать кредитные политики, что может привести к снижению доступности кредитов для населения.

Моделирование динамики кредитного рынка продемонстрировало его сильную зависимость от общего состояния макроэкономической среды и способности финансовых институтов оперативно адаптироваться к изменениям. Устойчивость сектора обеспечивается за счет цифровизации услуг, что позволяет не только повысить качество обслуживания, но и снизить операционные издержки. Государственная поддержка приоритетных отраслей экономики также играет важную роль в обеспечении стабильности кредитного рынка, предоставляя дополнительные возможности для роста и развития.

Внедрение инновационных технологий, таких как искусственный интеллект (AI) и блокчейн, может существенно улучшить процессы кредитования. AI может помочь банкам лучше оценивать кредитоспособность заемщиков, в то время как блокчейн обеспечивает прозрачность и безопасность сделок. Для минимизации рисков, с которыми сталкивается кредитный рынок, необходимо усилить образовательные инициативы, увеличить финансирование кибербезопасности и поддерживать гибкость регуляторной политики.

Кроме того, перспективы развития кредитного рынка напрямую связаны с внедрением ESG-кредитования, что соответствует глобальным трендам устойчивого роста и заботы об экологии. Модели, основанные на принципах экологической, социальной и корпоративной ответственности, становятся все более популярными среди инвесторов и заемщиков. Это не только способствует улучшению репутации финансовых институтов, но и открывает новые возможности для привлечения клиентов, стремящихся к ответственному потреблению и инвестированию. Кредитный рынок, интегрируя эти принципы, будет способен отвечать на вызовы времени и способствовать формированию более устойчивой экономики в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Отчет ПАО «Сбербанк» за 2024 г. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sberbank.com (дата обращения: 25.05.2025).

2. Банк России. Годовая отчетность за 2024 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cbr.ru (дата обращения: 27.05.2025).

3. *Ларионова И.В*. Банковское дело: современные технологии кредитования. Казань: КФУ, 2021. 280 с.

4. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) от 30.11.1994 г. № 51-ФЗ.

5. Федеральный закон от 21.12.2013 № 353-ФЗ (ред. от 02.07.2021) «О потребительском кредите (займе)» – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_155986/ea6f7bb32cdb797dc30aca18be2a215cd0211ad2/ (дата обращения: 25.05.2025).

ECONOMIC MODELING OF CREDIT MARKET DYNAMICS IN CONDITIONS OF INSTABILITY USING THE EXAMPLE OF SBERBANK PJSC

Giniyatullina R.R.

Supervisor: Shipshova O.A., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The purpose of this study is to model the development trends of the Russian credit market using the example of Sberbank PJSC in the period 2022–2025, as well as to identify mechanisms for minimizing risks in conditions of instability. The main focus is on the relationship between macroeconomic factors, digital transformation and regulatory measures.

УДК 004.89

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБКИХ МЕТОДОЛОГИЙ AGILE В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Гиниятуллина Р.Р.
Научный руководитель: Сергеев Н.А., ст. преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье анализируется роль гибких методологий разработки (Agile, Scrum, Kanban) в контексте цифровизации экономики. Рассматриваются ключевые преимущества этих подходов: повышение адаптивности организаций, ускорение процессов разработки, ориентация на потребности клиентов и эффективное управление ресурсами, что критически важно для успешной цифровой трансформации. Выявлены основные вызовы внедрения: сложности масштабирования для крупных компаний, интеграция с унаследованными (legacy) системами, необходимость трансформации корпоративной культуры и высокие требования к квалификации команд. Подчеркивается актуальность Agile для различных секторов экономики (на примере российского опыта в ИТ и банкинге) и обсуждаются пути преодоления трудностей, включая гибридные подходы. Делается вывод о необходимости комплексной подготовки команд и создания среды, поддерживающей изменения.

Стремительная цифровизация экономики, пронизывающая все сферы деятельности, кардинально трансформирует требования к разработке и эксплуатации информационных систем, особенно критичных для бизнеса. В этой динамичной среде традиционные, жестко регламентированные методологии управления проектами, основанные на длительном предварительном планировании и последовательном выполнении этапов, все чаще демонстрируют свою неэффективность. Они просто не успевают за скоростью изменения технологий, рыночных условий и ожиданий пользователей. Именно здесь гибкие методологии разработки программного обеспечения (Agile), такие как Scrum и Kanban, перестают быть инструментом исключительно ИТ-команд и приобретают стратегическое значение как двигатель успешной цифровой трансформации организаций в целом. Их фундаментальная ценность в условиях цифровизации заключается в присущей им способности обеспечивать необходимую скорость, адаптивность и фокус на реальной ценности для клиента.

Цифровая трансформация предъявляет беспрецедентные требования к скорости создания и обновления информационных систем, особенно корпоративного уровня, служащих ее основой. Гибкие методологии Agile отвечают на этот вызов своей итеративной природой. Вместо попыток предсказать все требования на годы вперед – задача почти невыполнимая в стремительно меняющемся цифровом мире – Agile разбивает работу на короткие, фиксированные по времени циклы (спринты). По завершении каждого такого цикла команда демонстрирует заказчику или стейкхолдерам работающий инкремент продукта – реальный, функциональный результат. Этот механизм позволяет мгновенно получать обратную связь, выявлять расхождения с ожиданиями или новыми рыночными трендами и оперативно корректировать курс разработки. Такая способность к быстрой адаптации становится ключевым конкурентным преимуществом в эпоху экспоненциального развития технологий, таких как искусственный интеллект или интернет вещей, и постоянно эволюционирующих запросов потребителей. Постоянный мониторинг прогресса и готовность к адаптации планов становятся неотъемлемой частью рабочего процесса.

Не менее важен в контексте цифровизации присущий Agile фокус на доставке реальной ценности для конечного пользователя на ранних стадиях. Задачи приоритизируются исходя из их важности для клиента и бизнеса, а регулярные демонстрации работающего функционала позволяют заказчику не только видеть прогресс, но и активно влиять на него. Это значительно снижает ключевой риск цифровых инициатив: разработку решения, которое к моменту своего

релиза оказывается неактуальным или невостребованным из-за изменившихся условий – проблема, характерная для длительных проектов по каскадной модели (Waterfall). Ранняя и частая обратная связь минимизирует недовольство заказчиков и существенно повышает шансы на успех всей программы цифровой трансформации [1].

Для оптимизации сложных процессов разработки цифровых решений Agile предлагает мощные инструменты повышения прозрачности и эффективности. Метод Kanban, например, фокусируется на визуализации потока работ, ограничении количества задач, выполняемых одновременно, и постоянном устранении препятствий (блокеров). Это позволяет командам наглядно видеть узкие места и оптимизировать поток. Общий для Agile итеративный подход и концентрация на приоритетных задачах в рамках спринта помогают командам избегать распыления ресурсов и минимизировать потери времени. Визуализация и управление потоком становятся критически важными при интеграции множества компонентов в рамках масштабной цифровой трансформации. Культивируемые Agile принципы самоорганизации, кросс-функциональности и прямой коммуникации внутри команды способствуют формированию культуры гибкости и отзывчивости во всей организации. Команды, работающие по Agile, становятся прототипом той самой адаптивной структуры, которую требует цифровизация бизнеса, контрастируя с традиционными иерархическими моделями, зачастую тормозящими изменения [2].

Опыт России, как отмечено в источниках, ярко иллюстрирует востребованность Agile в цифровую эпоху. Активный интерес к этим методологиям проявился в 2010-х годах прежде всего в секторе информационных технологий. Практически параллельно началось их внедрение в банковском секторе, где опыт Сбера стал одним из наиболее заметных примеров. Сегодня применение Agile распространилось на множество других отраслей российской экономики, стремящихся повысить свою эффективность и конкурентоспособность в условиях всеобъемлющей цифровой трансформации.

Однако внедрение и эффективное использование Agile в контексте именно масштабной цифровизации сталкивается с рядом существенных вызовов, которые организациям необходимо осознавать. Одной из наиболее острых проблем является масштабируемость (Scalability). Практики, прекрасно работающие в небольших, сплоченных командах над одним продуктом, сталкиваются с огромными трудностями при применении к крупным, комплексным программам цифровизации, вовлекающим десятки команд, сотни людей и множество взаимосвязанных систем. Сложности синхронизации работы, обеспечения единого видения, управления зависимостями и сохранения прозрачности на уровне портфеля проектов могут привести к хаосу, дублированию усилий и замедлению темпов трансформации. Преодоление этого барьера требует значительных инвестиций времени и средств и часто связано с внедрением специализированных фреймворков масштабирования Agile, таких как SAFe (Scaled Agile Framework) или LeSS (Large-Scale Scrum), что само по себе является сложным проектом [3].

Серьезным тормозом для Agile в цифровизации становятся унаследованные системы (Legacy Systems). Крупные организации, особенно в традиционных отраслях (финансы, промышленность), часто опираются на сложные, морально устаревшие ИТ-системы (мэйнфреймы, старые ERP/CRM), критически важные для их функционирования. Эти системы, обладая монолитной архитектурой, закрытыми интерфейсами и неполной документацией, создают огромные технические и организационные трудности при интеграции с новыми, гибко разрабатываемыми цифровыми сервисами. Legacy-системы могут существенно замедлять или даже блокировать внедрение новых решений, разработанных по Agile, требуя дорогостоящих проектов по модернизации или созданию сложных слоев интеграции.

Фундаментальным вызовом, лежащим в основе многих трудностей, является необходимость глубокой трансформации корпоративной культуры. Успех Agile критически зависит от смены парадигмы управления: от иерархии и контроля к доверию, самоорганизации команд и принятию неопределенности. Командам необходимо предоставлять автономию, а

менеджерам – переходить на роль лидеров-слуг (Servant Leaders). Акцент должен сместиться с индивидуальных достижений на коллективную ответственность за результат, а открытая коммуникация должна цениться выше формальных отчетов. Кроме того, члены Agile-команд должны обладать не только высокой квалификацией в своей области, но и кросс-функциональностью (T-shaped специалисты), способностью понимать смежные задачи и поддерживать качество на всех уровнях. Обучение сотрудников новым принципам, ролям (Scrum Master, Product Owner) и инструментам – это длительный, сложный и ресурсоемкий процесс. Сопротивление изменениям, особенно со стороны среднего менеджмента, часто оказывается значительным, а неготовность культуры – одной из главных причин неудач Agile-трансформаций в цифровизации [4].

Итеративный характер Agile и неизбежные изменения приоритетов плохо сочетаются с традиционными моделями финансирования и отчетности, требующими жестких бюджетов и детальных планов на длительный срок. Это создает трудности в точном прогнозировании финальной стоимости и сроков масштабной цифровой инициативы на старте, а также риски перераспределения бюджета, что может вызывать непонимание и конфликты с руководством и финансовыми департаментами. Требуется переход к более гибким моделям финансирования, ориентированным на потоки создания ценности. Несмотря на популярность, Agile не лишен критики. Звучат обоснованные опасения относительно потенциального недостатка формальной проектной документации (что может затруднить долгосрочную поддержку и аудит), нестабильности сроков выполнения крупных инициатив и рисков перерасхода бюджета из-за постоянных изменений, что порождает восприятие Agile как «хаотичного» подхода.

Осознавая эти вызовы, особенно актуальные для крупных организаций и комплексных программ цифровизации, все большее распространение получают гибридные подходы (Hybrid Agile). Их суть заключается в разумном сочетании гибкости, итеративности и клиентоцентричности Agile со структурированностью, предсказуемостью и управляемостью традиционных методологий, таких как Waterfall. На практике это может означать использование более структурированных методов на уровне стратегического планирования, управления бюджетом крупной программы в целом и взаимодействия с регуляторами, требующими формальных планов. При этом на уровне непосредственной разработки и внедрения цифровых продуктов и сервисов активно применяются Scrum, Kanban или другие Agile-фреймворки, сохраняющие скорость и адаптивность. Более формальные подходы также могут использоваться для решения сложных задач интеграции с унаследованными системами, где требуется детальное предварительное проектирование. Гибридные модели позволяют организациям сохранять столь необходимую в цифровую эпоху адаптивность и скорость на уровне команд-разработчиков, одновременно обеспечивая управляемость, предсказуемость бюджетирования и соответствие регуляторным требованиям на уровне крупных программ и портфелей проектов, становясь практическим ответом на вызовы масштабирования и интеграции в условиях цифровизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Kanban/Agile/Scrum/Lean — гибкие методологии разработки [Электронный ресурс]: обзор методологий / VC.ru; ред. К. Горбунова. – Электрон. дан. – М.: VC.ru, 2023. – Режим доступа: https://vc.ru/u/752307-karina-gorbunova/218436-kanban-agile-scrum-lean-gibkie-metodologii-razrabotki (дата обращения: 20.06.2025).

2. Гибкие методологии разработки программного обеспечения [Электронный ресурс]: обзор методик / Молодой ученый; ред. А.Баранов. – Электрон. дан. – СПб.: Молодой ученый, 2022. – Режим доступа: https://moluch.ru/archive/380/84098/ (дата обращения: 27.06.2025). – Загл. с экрана. Петров В.И. Гибкие методологии в эпоху цифровой трансформации: вызовы и решения. – М.: ИНФРА-М, 2024. – 215 с.

3. *Сидорова Е.А., Кузнецов М.П.* Цифровизация и Agile: синергия подходов // Управление проектами и программами. – 2023. – № 4(52). – С. 45-58.

4. *Иванова О.Л.* Agile-трансформация в крупных корпорациях: опыт внедрения в условиях legacy-систем [Электронный ресурс]// Экономика и управление в цифровую эпоху. – 2024. – № 1. – Режим доступа: https://econ-digital.ru/archive/2024/1/ivanova-agile-legacy (дата обращения: 20.06.2025). – Загл. с экрана.

ECONOMIC MODELING OF CREDIT MARKET DYNAMICS IN CONDITIONS OF INSTABILITY USING THE EXAMPLE OF SBERBANK PJSC

Giniyatullina R.R.
Supervisor: Sergeev N.A., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article analyzes the role of Agile software development methodologies (Agile, Scrum, Kanban) in the context of economic digitalization. It examines the key advantages of these approaches: increased organizational adaptability, accelerated development processes, customer focus, and efficient resource management, which are critical for successful digital transformation. The main implementation challenges are identified: scalability issues for large companies, integration with legacy systems, the need for corporate culture transformation, and high demands on team skills. The relevance of Agile for various economic sectors (drawing on Russian experience in IT and banking) is highlighted, and pathways to overcome difficulties, including hybrid approaches, are discussed. The conclusion emphasizes the need for comprehensive team preparation and creating an environment supportive of change.

УДК 336.66:658

РОЛЬ ИННОВАЦИОННЫХ ЭКОСИСТЕМ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВЕ

Грошев Д.М.
Научный руководитель: Уразбахтина Л.Р., доцент, к. э. н.
(Казанский государственный энергетический университет, г. Казань)

Аннотация. В статье исследуется роль интегрированных инновационных экосистем как ключевого драйвера экономического развития и технологического лидерства в XXI веке. Обосновывается идея, что подлинная конкурентоспособность и способность генерировать прорывные инновации достигаются не изолированно, а через глубокую синергию трех взаимодополняющих элементов: технологического предпринимательства, инжиниринга и промышленности.

В эпоху глобальной конкуренции и стремительных технологических изменений успех экономик и обществ все больше зависит от способности генерировать, внедрять и масштабировать инновации. Ключевым инструментом для достижения этой цели становятся инновационные экосистемы – сложные сети взаимодействий, специально спроектированные для ускорения технологического прогресса и его коммерциализации. Особую значимость приобретают экосистемы, которые органично интегрируют три критически важных элемента: технологическое предпринимательство, инжиниринг и промышленность. Именно на их синергии строится способность превращать перспективные идеи в конкурентоспособные продукты и услуги, меняющие рынки и повседневную жизнь. Эта триада формирует жизненный цикл инновации – от смелой гипотезы стартапа через инженерную разработку к промышленному воплощению и глобальному распространению.

Технологическое предпринимательство выступает первичным двигателем, генератором радикальных идей и смелых решений. Предприниматели, часто работающие в условиях неопределенности и высокого риска, обладают уникальной способностью видеть рыночные возможности там, где другие видят только проблемы. Они не боятся бросить вызов

устоявшимся практикам и предложить принципиально новые подходы. Современное технологическое предпринимательство – это не просто создание бизнеса, это построение компаний, основанных на глубоких научных знаниях и прорывных технологиях. Венчурные капиталисты, бизнес-ангелы, акселераторы и инкубаторы являются кровеносной системой этого слоя экосистемы, предоставляя необходимые ресурсы для проверки гипотез и выхода на рынок. Культура предпринимательства, поощряющая эксперименты, терпимая к неудачам и ценящая скорость, создает питательную среду для рождения инноваций. Однако блестящая идея или прототип, созданный в гараже, сам по себе редко меняет мир. Без перехода к фазе инжиниринга и промышленного производства потенциал остается нереализованным [1].

Здесь на передний план выходит инжиниринг – дисциплина, превращающая концепции и прототипы в надежные, эффективные и масштабируемые решения. Инжиниринг обеспечивает необходимую глубину проработки: от проектирования сложных систем и оптимизации процессов до обеспечения качества, безопасности и соответствия стандартам. Современный инжиниринг – это междисциплинарная деятельность, объединяющая знания в области механики, электроники, материаловедения, программирования, системного анализа и многих других областей. Он требует высочайшей квалификации, доступа к современному оборудованию (лаборатории, испытательные стенды, CAD/CAE системы) и тесной связи с фундаментальной и прикладной наукой. Университеты и исследовательские институты играют ключевую роль в подготовке инженерных кадров и проведении НИОКР, результаты которых ложатся в основу новых продуктов и процессов. Инженерные команды переводят язык изобретений на язык технически реализуемых и экономически жизнеспособных продуктов [2].

Но даже самый совершенный инженерный проект нуждается в мощном двигателе для массового производства и выхода на глобальные рынки. Этим двигателем является промышленность.

Крупные корпорации и высокотехнологичные производственные предприятия обладают уникальными ресурсами: передовыми производственными линиями, глобальными цепочками поставок, налаженными каналами сбыта, сильными брендами, глубоким пониманием рынков и масштабными инвестиционными возможностями. Они способны доводить инновации до стадии массового производства, обеспечивая необходимое качество, эффективность и доступность. Промышленность – это конечный потребитель многих инноваций, рожденных в стартапах и инжиниринговых центрах. Ее потребности в повышении производительности, снижении издержек, создании новых материалов или энергоэффективных решениях являются мощным драйвером для всей экосистемы. Крупные компании все чаще осознают, что не могут инновировать в одиночку с необходимой скоростью. Поэтому они активно участвуют в экосистемах: создают корпоративные венчурные фонды, открывают инновационные хабы и лаборатории открытых инноваций (Open Innovation), заключают партнерства со стартапами и университетами. Промышленность задает реалистичные рыночные требования и обеспечивает необходимый масштаб для настоящего воздействия инновации на экономику и общество.

Магия экосистемы заключается не в простом соседстве этих трех элементов, а в их глубокой, постоянной и взаимовыгодной синергии. Предпринимательская энергия и свежий взгляд стартапов сталкиваются с инженерной строгостью и технологической глубиной, а затем получают мощный импульс к масштабированию благодаря ресурсам и рыночному охвату промышленности. Примеры успешных экосистем, таких как Кремниевая дольна, шэньчжэньский кластер в Китае или Технопарки в Израиле, демонстрируют эту модель в действии [3]. В этих местах физическая близость университетов мирового уровня (источников знаний и кадров), плотных сетей венчурных инвесторов, множества стартапов на разных стадиях развития, инжиниринговых компаний и R&D центров крупных корпораций создает невероятную плотность взаимодействий. Идеи циркулируют быстрее, таланты легко перетекают между проектами и организациями, капитал находит перспективные решения, а промышленность получает доступ к передовым разработкам «из первых рук». Обмен

знаниями, совместные проекты, лицензирование технологий, инвестиции, приобретения стартапов – все эти каналы связей сплетают экосистему в единое целое, которое гораздо мощнее суммы своих частей.

Однако построение и поддержание такой эффективной экосистемы – сложная задача, сопряженная с серьезными вызовами. Преодоление культурного разрыва между динамичным, готовым к риску миром стартапов и более консервативными, процессно-ориентированными инжиниринговыми и промышленными гигантами требует постоянных усилий. Институциональные барьеры, такие как негибкое законодательство, сложные процедуры регистрации интеллектуальной собственности или несовершенные контрактные нормы, могут тормозить сотрудничество [4]. Дефицит квалифицированных кадров, особенно инженеров широкого профиля и специалистов по глубоким технологиям (deep tech), является хронической проблемой для роста. Недостаток взаимного доверия между участниками (страх утечки идей, недоверие к компетенциям) также мешает формированию прочных связей.

Роль государства и политики в преодолении этих барьеров и формировании благоприятной среды трудно переоценить. Эффективная государственная стратегия должна быть многогранной:

- Создание инфраструктуры: финансирование и развитие технопарков, инжиниринговых центров коллективного пользования (ЦКП), испытательных полигонов, обеспечивающих доступ к дорогостоящему оборудованию для стартапов и малых компаний;
- Стимулирующее законодательство: введение налоговых льгот для R&D, упрощение регуляторных процедур (особенно для новых отраслей вроде биотеха или квантовых вычислений), создание понятных правил игры для венчурных инвестиций и защиты ИС;
- Финансовая поддержка: прямое финансирование фундаментальных и прикладных исследований через гранты, участие в венчурных фондах (фонды фондов), субсидирование пилотных проектов и индустриальных внедрений;
- Образовательная политика: реформирование инженерного образования в сторону междисциплинарности и практических навыков, поддержка программ переподготовки, привлечение международных талантов;
- Формирование спроса: использование государственных закупок как инструмента поддержки инноваций, создание стандартов, стимулирующих использование передовых технологий;
- Посредническая роль: создание платформ для диалога между университетами, стартапами и промышленностью, организация форумов, хакатонов, индустриальных дней.

В глобальном контексте инновационные экосистемы становятся узлами международной сети знаний и капитала. Успех все больше зависит от способности экосистемы интегрироваться в глобальные потоки: привлекать лучших специалистов со всего мира, сотрудничать с ведущими международными исследовательскими центрами, привлекать иностранные инвестиции, выходить на международные рынки. Будущее принадлежит экосистемам, которые смогут не только генерировать прорывные технологии, но и обеспечивать их быстрое превращение в востребованные рынком продукты и услуги через эффективную связку предпринимательства, инжиниринга и промышленного могущества. Устойчивость экосистем будет зависеть от их способности адаптироваться к новым вызовам, таким как климатические изменения или геополитические сдвиги, и фокусироваться на решении глобальных проблем [5].

Таким образом, инновационные экосистемы, сознательно объединяющие технологическое предпринимательство, инжиниринг и промышленность, представляют собой не просто модную концепцию, а важнейший организационный принцип экономического развития в XXI веке. Это сложные, живые организмы, требующие постоянного внимания, инвестиций и политической воли. Их сила – в создании непревзойденной среды для ускоренной трансформации знания в ценность. Когда смелый предпринимательский дух, глубина инженерной мысли и мощь промышленного производства действуют слаженно, преодолевая барьеры и усиливая друг друга, рождаются не просто новые компании или

продукты, а целые новые отрасли и парадигмы развития. Инвестиции в построение и развитие таких экосистем – это инвестиции в будущую конкурентоспособность, устойчивость и технологический суверенитет. Игнорировать эту необходимость – значит добровольно уступить лидерство в мире, где инновации стали главной валютой прогресса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Глазьев С.Ю*. Экономическая теория технического развития. - М.: Наука, 2020.

2. *Докукина А.А*., *Щербак Л.О.* Современная конкурентоспособность: основные аспекты и проблемы российских производителей // Человеческий капитал и профессиональное образование. - 2022. - № 2 (22). - С. 62-73.

3. *Доценко Е.Ю*., *Жиронкин С.А., Жиронкина О.В.* Условия неоиндустриализации российской экономики // Вестник экономики, права и социологии. - 2023. - № 2. - С. 23-27.

4. *Уразбахтина Л.Р.* Тренды в молодежном технологическом предпринимательстве / Л.Р. Уразбахтина, Р.А. Газизова // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2025. – Т. 4, № 4(157). – С. 60-65. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2025.04.04.008.

5. *Каленов О.Е*. Роль технопарковых структур в процессе интеграции горнодобывающих регионов в экономику знаний / Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. - 2021. - № 1 (103). - С. 96-104.

THE ROLE OF INNOVATIVE ECOSYSTEMS IN TECHNOLOGICAL ENTREPRENEURSHIP

Groshev D.M.

Supervisor: Urazbakhtina L.R., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Kazan State Power Engineering University, Kazan)

Abstract. The article examines the role of integrated innovation ecosystems as a key driver of economic development and technological leadership in the 21st century. It substantiates the idea that genuine competitiveness and the ability to generate breakthrough innovations are achieved not in isolation, but through a deep synergy of three complementary elements: technological entrepreneurship, engineering and industry.

УДК 332.012.2

ГОСУДАРСТВЕННЫЕ МЕРЫ ПОДДЕРЖКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА: ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ

Загриева А.Р., Минеева П.А.

Научный руководитель: Хуснутдинова М.Н., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Технологическое предпринимательство становится все более важным фактором для экономического роста и инновационного развития стран. В этой статье мы рассматриваем критерии эффективности государственных мер поддержки, таких как финансовое и консультационное сопровождение, а также анализируем пути их улучшения для повышения вклада технологического предпринимательства в экономику.

В условиях санкционного давления и необходимости технологического суверенитета государственная поддержка технологического предпринимательства становится ключевым фактором инновационного развития России. Однако существующие меры требуют критического анализа и оптимизации.

Технологическое предпринимательство — это создание нового бизнеса, в основу устойчивого конкурентного преимущества которого положена инновационная

высокотехнологичная (наукоёмкая) идея. От других форм предпринимательства технологическое предпринимательство отличается тем, что создание новых продуктов или услуг в этом случае напрямую связано с использованием новейших научных знаний и/или технологий, правами на которые обладает компания-разработчик. Технологическое предпринимательство – новый, особенно для России, вид бизнеса. Он направлен на разработку инновационных решений актуальных проблем бизнеса и простых людей. Поэтому важно поддерживать подобные компании и стимулировать запуск новых стартапов за счет программ инкубации и акселерации.

Всего есть 20 сфер технологического предпринимательства. Основная доля российских стартапов связана с разработкой сервисов для бизнеса и цифровыми технологиями. Не менее 20 % компаний, прошедших программы акселерации GenerationS, занимаются IT, 10 % — промышленным производством, 8 % — энергетикой, 7 % — металлургией и добывающей промышленностью. Примеры технологического предпринимательства:

– IR WAY. Компания разрабатывает технологию, которая поможет водителям управлять транспортными средствами в условиях плохой видимости и в ночное время.

– «Гидравлический пакер». Это разработка российской команды ученых, которая отличается от аналогов уникальной конструкцией, снижающей сроки выполнения работ в скважинах в 2-4 раза и стоимость в 3-5 раз.

– VR Concept. Компания занимается разработкой ПО для 3D-моделирования и работы с цифровыми двойниками.

– ProFiShip. Команда создает технологию безотходной переработки морских биоресурсов для уменьшения объема мусора, создаваемого фабриками.

– FinCase. В рамках проекта стартаперы разработали систему скорингового анализа стоимости, которая позволяет определять рыночную стоимость товаров, услуг и сделок.

Все они направлены на разработку инновационных решений актуальных проблем бизнеса и простых людей. Поэтому важно поддерживать подобные компании и стимулировать запуск новых стартапов за счет программ инкубации и акселерации, а также внедрения новых подходов в образовательный процесс вузов, чтобы больше ученых стремились заняться предпринимательством и добавились успеха.

Таблица 1

Основные инструменты господдержки (2020-2024)

Инструмент	Бюджет (2024)	Количество получателей	Основные проблемы
Гранты (Фонд содействия инновациям)	58 млрд руб	2500+ проектов	Низкая коммерциализация (≤15%)
Спецрежимы (Сколково, Иннополис)	Налоговые льготы	500+ резидентов	Сложность входа для стартапов
Венчурные фонды (РВК, ВЭБ.РФ)	120 млрд руб	300+ инвестиций	Долгий процесс due diligence
Акселерационные программы	7 млрд руб	1000+ участников	Отрыв от реальных потребностей промышленности

Государственные меры поддержки технологического предпринимательства — это различные программы, которые направлены на стимулирование инновационной активности и повышение конкурентоспособности отечественной экономики. Перечень мер поддержки технологических компаний закреплён в Федеральном законе от 04.08.2023 №478-ФЗ «О развитии технологических компаний в Российской Федерации». Их можно разделить на несколько категорий:

1. Финансовая поддержка: субсидии, гранты, налоговые льготы и венчурное финансирование.

2. Консультационные услуги: программы наставничества, образовательные инициативы, акселераторы и инкубаторы.

3. Инфраструктурные меры: создание технопарков, технополисов и исследовательских лабораторий.

4. Правовые инициативы: упрощение регистрации бизнеса и защита интеллектуальной собственности [1].

Исследования показывают, что государственные меры оказывают положительное влияние на рост технологического предпринимательства. Однако степень их воздействия варьируется в зависимости от региона и сектора. Например, финансовая поддержка может быть особенно эффективной на начальных этапах развития стартапов, тогда как консультационные услуги способствуют более высокому качеству реализации бизнес-идей.

Несмотря на положительные аспекты, существуют и значительные недоработки:

– сложные процессы получения субсидий и грантов снижают интерес предпринимателей (67% стартапов отмечают сложность отчетности, средний срок получения гранта - 9 месяцев);

– недостаток информации. Многие предприниматели не знают о доступных мерах поддержки (только 12% проектов внедряются на предприятиях);

– программы часто не координируются между различными государственными и частными институтами [2];

– сложности с поиском потребителей. Преимущественно инновации создаются для B2B-сферы, но при этом не все крупные компании готовы к активному сотрудничеству со стартаперами. Часть бизнеса предпочитает разрабатывать новые технологии силами внутренних команд;

– сложности с поиском потребителей. Преимущественно инновации создаются для B2B-сферы, но при этом не все крупные компании готовы к активному сотрудничеству со стартаперами. Часть бизнеса предпочитает разрабатывать новые технологии силами внутренних команд;

– сложности с поиском потребителей. Преимущественно инновации создаются для B2B-сферы, но при этом не все крупные компании готовы к активному сотрудничеству со стартаперами. Часть бизнеса предпочитает разрабатывать новые технологии силами внутренних команд.

Если говорить конкретно о России и в целом о СНГ, то еще одна проблема технологического бизнеса — это отсутствие опыта предпринимательства. В отличие от США, в СССР нельзя было открыть собственное предприятие. Из-за этого РФ по активности бизнеса существенно уступает другим крупным экономикам.

Для достижения максимальной эффективности и результативности мер поддержки необходимо внедрить ряд улучшений:

1. Упрощение бюрократических процедур. (внедрение электронных платформ, создание централизованных онлайн-систем, где предприниматели могут подавать заявки на субсидии и гранты, а также отслеживать статус своих заявок; стандартизация форм и требований, уменьшение количества документов и упрощение требований при подаче заявок позволит избежать путаницы и значительно сократит время на оформление)

2. Повышение информированности (создание информационных центров, открытие точек доступа информации о мерах поддержки на уровне местных администраций, где предприниматели смогут получить консультации; проведение образовательных семинаров, организация регулярных семинаров и вебинаров для стартапов, где они смогут узнать о доступных возможностях и успешных практиках использования государственной поддержки).

3. Развитие экосистемы взаимодействия (развитие региональных и отраслевых кластеров, объединяющих стартапы, инвесторов, университеты и исследовательские центры, что поможет создать синергию и обмен знаниями; поддержка совместных проектов и инициатив между государственными и частными организациями для эффективного обмена ресурсами и опытом).

4. Мониторинг и оценка программ (разработка систематических критериев для оценки результатов программ поддержки, включая количество созданных рабочих мест, рост выручки стартапов и уровень привлечённых инвестиций; регулярное проведение опросов и фокус-групп с участием предпринимателей для получения отзывов о качестве и эффективности предоставляемых услуг).

5. Более активная финансовая поддержка (внедрение не только грантов и субсидий, но и расширение программы венчурного капитала, микрофинансирования и кредитования на льготных условиях; создание государственных и частных инвестиционных фондов для финансирования перспективных стартапов и инновационных проектов) [3].

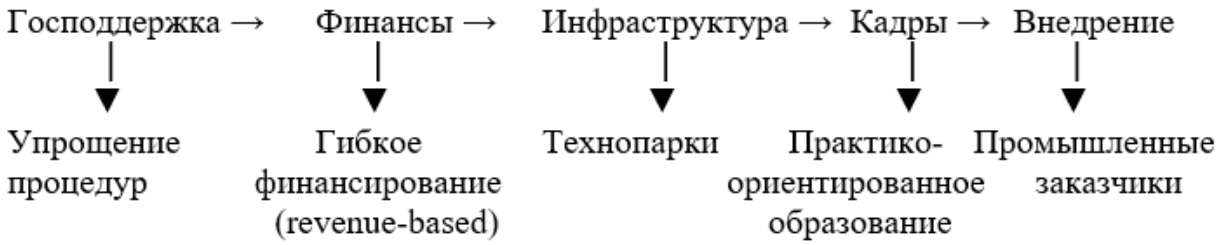


Рис 1. Концептуальная схема оптимизации

Таким образом, для реального повышения эффективности господдержки необходимо сместить фокус с количества поддержанных проектов на качество внедрения, внедрить гибкие механизмы финансирования и обеспечить прямую интеграцию стартапов в промышленные цепочки. Улучшение государственных мер поддержки технологического предпринимательства требует комплексного подхода, направленного на устранение существующих барьеров, повышение информированности и развитие сотрудничества между ключевыми участниками экосистемы. реализуя эти стратегии, государственные органы смогут создать более благоприятные условия для развития инновационных стартапов, что в итоге будет способствовать устойчивому экономическому росту и повышению конкурентоспособности страны.

Тем не менее в стране есть успешные проекты особенно в сфере информационно-коммуникационных технологий, фармакологии и биотехнологии. В области искусственного интеллекта наши МИПы уже стали известными большими компаниями: АСМ технологии (программы распознавания и синтеза речи); Just AI и Наносемантика (чатботы), Brand Analytics, Медиалогия и Крибрум (анализ медиа пространства в Интернете). Создание в обществе атмосферы доверия, уважения к предпринимательской деятельности, усиление господдержки позволит сократить утечку мозгов и ускорить инновационное развитие нашей страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Меры поддержки малых технологических компаний. Министерство экономического развития Российской Федерации. [Электронный ресурс]: - Режим доступа https://www.economy.gov.ru/material/departments/d01/razvitie_tehnologicheskogo_predprinimatelstva/mery_podderzhki_malyh_tehnologicheskih_kompaniy/.

2. Технологическое предпринимательство. [Электронный ресурс]: - Режим доступа https://generation-startup.ru/media-center/news/103470/.

3. *Мухаметшина Ф.А.* Инновации в секторе малого и среднего бизнеса: стимулирование предпринимательства и экономического развития / Ф.А. Мухаметшина, А.А. Потапов // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2024. – Т. 5, № 1(144). – С. 17-22. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2024.01.05.003.

STATE SUPPORT MEASURES FOR TECHNOLOGICAL ENTREPRENEURSHIP: EFFICIENCY AND WAYS TO IMPROVE

Zagrieva A.R., Mineeva P.A.
Supervisor: Khusnutdinova M.N., Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Annotation. Technological entrepreneurship is becoming an increasingly important factor for economic growth and innovative development of countries. In this article, we consider the criteria for the effectiveness of government support measures, such as financial and consulting support, and analyze ways to improve them to increase the contribution of technological entrepreneurship to the economy.

УДК 339.13

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ВЫХОДЕ НА ОПТОВЫЙ РЫНОК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ

Зорина В.А., Егорова А.В., Башурова К.П.
Научный руководитель: Зобнина Т.Ю., доцент, к. э. н.
(Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург)

Аннотация. Данное исследование предлагает экономико-математическую модель для оценки целесообразности выхода крупных промышленных потребителей на оптовый рынок электроэнергии и мощности (ОРЭМ). Модель включает три ключевых блока: расчёт экономии от отказа от посредников, оценку затрат на создание необходимой организационной структуры и анализ инвестиционной эффективности проекта. Результаты позволяют принять обоснованное решение о включении проекта в капитальный бюджет компании на основе расчёта стандартных финансовых показателей.

В России электроэнергия продается на двух уровнях – оптовом и розничном. Для большинства крупных энергоемких компаний, в число которых входит ОАО «РЖД», выход на оптовый рынок электроэнергии и мощности (в дальнейшем ОРЭМ) является важной, сложной и нетривиальной задачей, т.к. выход на ОРЭМ в качестве крупного промышленного потребителя позволит компании сэкономить большой объем финансовых ресурсов, затрачиваемых на посреднические услуги энергосбытовых компаний. При этом для прямой покупки электроэнергии и мощности на ОРЭМ необходимо создание штата высокопрофессиональных узкопрофильных специалистов. Например, по оценкам экспертов, выход на оптовый рынок позволил бы ОАО «РЖД» экономить 5 млрд руб. ежегодно [1]. Предлагаемая экономико-математическая модель позволит оценить эффективность выхода на ОРЭМ в качестве крупного промышленного потребителя.

«Экономико-математическая модель поддержки принятия решения при выходе на оптовый рынок электроэнергии и мощности» включает три расчетных блока, позволяющих оценить эффективность выхода на ОРЭМ для компании с учетом её профиля энергопотребления:

1. Экономико-математическая модель с учетом ценовых и технических параметров – позволяет оценить эффект от выхода компании на ОРЭМ, т.е. от покупки электроэнергии напрямую, минуя посредника в лице энергосбытовой компании.
2. Блок оценки затрат на содержание структуры, обеспечивающей работу на ОРЭМ – включает алгоритм создания новой организационной структуры компании на основе системы сбалансированных показателей и KPI с оценкой затрат на каждом этапе.
3. Оценка эффективности выхода компании на ОРЭМ – включает оценку коммерческой эффективности проекта.

Блок 1. Оценка эффекта от выхода компании на ОРЭМ.

Оптовый рынок электроэнергии и мощности – площадка, где происходит торговля электроэнергией между производителями (генерирующие компании) и крупными покупателями (энергосбытовые компании, крупные промышленные потребителями и др.).

Розничный рынок электроэнергии и мощности (в дальнейшем РРЭМ) – площадка, где энергосбытовая компания выступает посредником, покупая электроэнергию (в дальнейшем ээ) на оптовом рынке и перепродавая ее конечным потребителям. Структура цены на электроэнергию для конечного потребителя представлена в таблице 1.

Таблица 1

Структура цены на электроэнергию

Показатель	%
Генерация электроэнергии	51
Транспортировка электроэнергии (сетевые компании)	45
Сбытовая надбавка	3
Инфраструктурные платежи	1

Именно сбытовая надбавка представляет собой экономию при выходе компании на оптовый рынок электроэнергии и мощности.

Ценовые категории электроэнергии – это варианты тарифа на электроэнергию для потребителей.

Если потребитель подписывает с гарантирующим поставщиком (энергосбытовой компанией) договор энергоснабжения, то стоимость передачи электроэнергии уже включена в общий тариф.

Если же заключается договор купли-продажи, то потребитель должен отдельно оформить с сетевой организацией договор на передачу электроэнергии, по которому оплата будет производиться по соответствующему тарифу.

Всего существует 6 ценовых категорий (в дальнейшем ЦК). Рассмотрим основные технико-экономические параметры ЦК в таблице 2.

Таблица 2

Ценовые категории электроэнергии

Ценовые категории	Максимальная мощность	Тариф (стоимость услуги по передачи ээ)	Формула расчета стоимости электроэнергии (ээ)
I	< 670 кВт	одноставочный	Цена ээ за 1 кВт на V потребляемой ээ за месяц
II		одноставочный	Сумма стоимости ээ для каждой зоны суток (день-ночь/пик-полупик-ночь)
III	> 670 кВт	одноставочный	Сумма стоимостей ээ за каждый час потребления + стоимость max потребляемой мощности
IV		двухставочный	Сумма стоимостей ээ за каждый час потребления + стоимость max потребляемой мощности
V		одноставочный	Сумма фактической стоимости ээ по каждому часу + сумма отклонений от плана + стоимость мощности
VI		двухставочный	Сумма фактической стоимости ээ по каждому часу + сумма отклонений от плана + стоимость мощности

Одноставочный тариф – единый тариф за передачу 1 кВт·ч (киловатт-час) электроэнергии. Двухставочный тариф – содержит тариф за содержание электрических сетей и тариф на оплату технологических потерь.

Для потребителей I и II ценовых категорий используют интегральные приборы учеты - это цены, применяемые к суммарным за месяц или за зону суток. Для последующих ценовых категорий необходимо использование интервальных приборов учета – его использование позволяет формировать цену на каждый час с учетом закона спроса и предложения. I ценовую категорию выбирают с дневным потреблением. II ценовую категорию преимущественно выбирают предприятия с ночным потреблением.

Преимуществом III и IV ценовых категорий – раздельная оплата потребления ээ.

Для V и VI необходимо обеспечить почасовое планирование потребления ээ. Две последние ценовые категории больше всего приближены к ОРЭМ.

Для определения экономии потребителя в разрабатываемой нами «Экономико-математической модели поддержки принятия решения при выходе на оптовый рынок электроэнергии и мощности» мы рассчитываем все 6 ЦК в помесячном выражении. Вводными данными для расчета являются ценовые и технические параметры.

Ценовые параметры для расчета ЦК в субъекте деятельности Потребителя:

- величина тарифа на сбытовую надбавку, установленная для гарантирующего поставщика;
- утвержденный тариф на передачу электрической энергии;
- составляющие предельных уровней нерегулируемых цен на оптовом рынке.

Технические параметры для расчета ЦК:

- максимальная мощность;
- уровень тарифного напряжения;
- тип потребителя по мощности энергопринимающих устройств;
- данные интегральных приборов учета почасового потребления электроэнергии.

Методика расчета ЦК, реализуемая в предлагаемой модели, подробно представлена в Постановлении Правительства РФ от 04.05.2012 N 442 (ред. от 27.12.2024) «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии» [2].

Блок 2. Оценка затрат на содержание структуры, обеспечивающей работу на ОРЭМ.

Предприятия, которые хотели бы выйти на ОРЭМ, должны соответствовать чётким критериям. Рассмотрим основные критерии для выхода на ОРЭМ в таблице 3.

Таблица 3

Критерии для выхода на ОРЭМ

Критерии	Содержание критериев
Присоединённая мощность	Общая присоединенная мощность энергопринимающих устройств, принадлежащих компании, должна быть равна или превышать 20 МВА. При этом мощность каждого отдельного пункта подключения не может быть менее 750 кВА.
Техническое оснащение	Требованиями Оптового рынка электрической энергии и мощности (ОРЭМ) регламентируется необходимость использования автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ).
Регистрация в НП «Совет рынка»	Регистрация в НП «Совет рынка» необходима для работы на ОРЭМ, также обязательной является аккредитация, которая подтверждает, что предприятие соответствует требованиям законодательства. Кроме того, для участия в работе на ОРЭМ, необходима чёткая финансовая дисциплина. При просрочке оплаты за электроэнергию, компания должна будет предоставить финансовую гарантию. Это может быть банковская гарантия или депозит, который подтвердит платёжеспособность фирмы.

Минимально допустимая организационная структура отдела, занимающегося закупкой ээ на оптовом рынке, представлена на рисунке 1.

Рисунок 1. Минимально допустимая организационная структура отдела, занимающегося закупкой ээ на оптовом рынке.

Укрупненный расчет затрат на содержание отдела (заработная плата), представлен в таблице 4.

Таблица 4

Укрупненный расчет затрат на содержание отдела

№	Должность	Заработная плата (вознаграждение)	Начисления на з/п	Итого	Итого за год
1	Менеджер по закупкам	75 000	22 500	97 500	1 170 000
2	Аналитик рынка	105 000	31 500	136 500	136 500
3	Юрист	85 000	25 500	110 500	110 500
4	Технический специалист	75 000	22 500	97 500	1 170 000
				ИТОГО	2 587 000

Также необходимо учесть затраты на членские взносы Покупателя электроэнергии. С 01.01.2025 года они составляют 825 000 рублей в квартал или 3 300 000 рублей в год. Итого минимальные затраты на переход на оптовый рынок ЭЭ составят примерно: 5 887 000 рублей в год.

Блок 3. Оценка эффективности выхода компании на ОРЭМ.

Торгово-инвестиционный проект — это четко выстроенная последовательность мероприятий для получения заданного коммерческого результата. Его реализация сопряжена с привлечением финансирования и преследует цель достижения экономической выгоды.

Финансовая сторона проекта включает в себя все движения денежных средств: инвестиционные затраты, операционные расходы, поступления от реализации и налоговые отчисления.

В контексте разрабатываемой нами модели доход определяется экономией при выходе компании на ОРЭМ, рассчитываемой в Блоке 1, а затраты определяются издержками на содержание структуры, обеспечивающей работу на ОРЭМ, рассчитываемые в Блоке 2. Блок 3 позволяет определить коммерческую эффективность выхода на ОРЭМ с учетом дисконтирования.

При принятии положительного решения инвестиционный проект включается в состав капитального бюджета компании. Капитальный бюджет — это план, описывающий ожидаемые денежные потоки от инвестиций в операционные активы. Капитальное бюджетирование — это процесс анализа проектов и принятия решений о включении их в капитальный бюджет. Разрабатываемая нами модель позволяет принять решение о включении инвестиционного проекта по выходу компании на оптовый рынок электроэнергии и мощности в капитальный бюджет компании.

В Российской Федерации нет Постановления, устанавливающего единую методику оценки коммерческой эффективности инвестиционного проекта. Для оценки проектов и

принятия решений о том, должны ли они включаться в капитальный бюджет, существует шесть ключевых методов, они представлены на рисунке 2 [5].

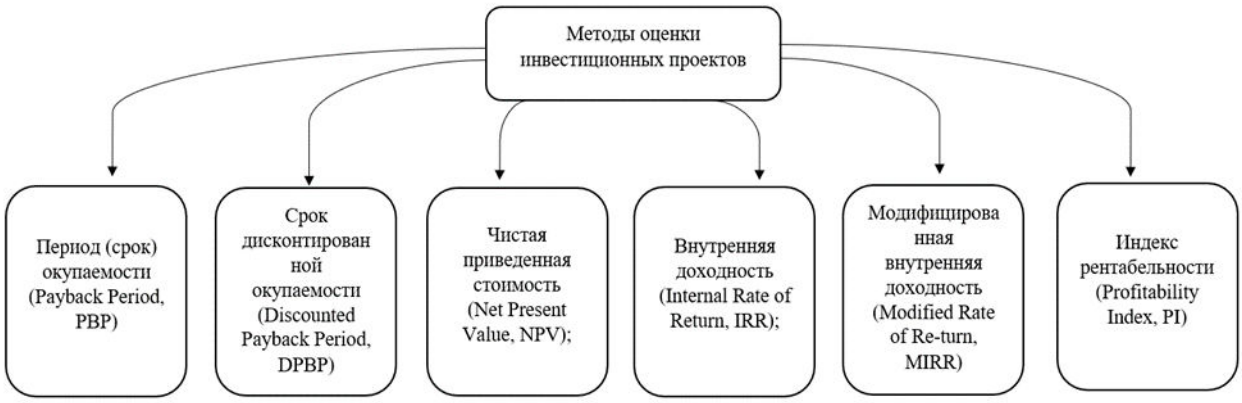


Рисунок 2. Методы оценки инвестиционных проектов.

Предлагаемая «Экономико-математическая модель поддержки принятия решения при выходе на оптовый рынок электроэнергии и мощности» включает расчет вышеприведенных показателей и позволяет принять взвешенное, экономически обоснованное решение о финансировании выхода компании на ОРЭМ.

Настоящая статья опубликована при поддержке Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» инициативных научных работ, выполняемых студенческими научными коллективами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Тока этого не хватало. – Текст: электронный. – 2022. URL: https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=204435 (дата обращения: 23.08.2025).

2. Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 N 442 (ред. от 27.12.2024) «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии». – Текст: электронный. – 2025. –URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_130498/ (дата обращения: 04.08.2025).

3. *Астахова Н.И.* Менеджмент: учебник для прикладного бакалавриата. — М.: Издательство Юрайт, 2019. — 422 с.

4. *Гапоненко А.Л.* Менеджмент: учебник для прикладного бакалавриата. — М.: Издательство Юрайт, 2019. — 398 с.

5. *Brigham E.F., Ehrhardt M.C.* Financial Management: Theory and Practice. – 16th ed. – Boston: Cengage Learning, 2020. – 1184 p.

ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODEL OF DECISION SUPPORT WHEN ENTERING THE WHOLESALE ELECTRICITY AND POWER MARKET

Zorina V.A., Egorova A.V., Bashurova K.P.

Supervisor: Zobnina T.Yu., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences.

(St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I, St. Petersburg)

Abstract. This study offers an economic and mathematical model for assessing the feasibility of large industrial consumers entering the wholesale electricity and capacity market (OPEM). The model includes three key blocks: calculating savings from abandoning intermediaries, assessing the cost of creating the necessary organizational structure and analyzing the investment efficiency of the project. The results allow you to make an informed decision on the inclusion of the project in the capital budget of the company based on the calculation of standard financial indicators.

УДК 339.137

ЭФФЕКТИВНЫЕ СТРАТЕГИИ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НЕБОЛЬШИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СТАРТАПОВ: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ

Каюмов А.Ф.
Научный руководитель: Сергеев Н.А., ст. преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В условиях стремительного перехода мировой экономики к цифровой трансформации искусственный интеллект (ИИ) приобретает статус ключевого инструмента, обеспечивающего конкурентоспособность малых предприятий, включая технологические стартапы. Цель настоящего исследования заключается в проведении анализа существующих подходов к внедрению решений на основе ИИ в деятельности молодых высокотехнологичных организаций. Работа включает выявление основных препятствий, стоящих перед такими компаниями, и разработку комплекса мер по их устранению. Исследование базируется на анализе лучших практик, представленных зарубежными и отечественными научными публикациями, а также материалах реальных кейсов внедрения ИИ. Полученные данные позволяют предложить практические рекомендации по снижению рисков и повышению эффективности инвестирования в технологии ИИ для малого технологического бизнеса. [1, с. 18-35]

Современные экономические реалии характеризуются быстрым развитием цифровых технологий, которое сопровождается масштабным использованием искусственного интеллекта (ИИ) различными субъектами хозяйствования. По оценкам специалистов McKinseyGlobalInstitute (2023), доля компаний, использующих хотя бы одно решение на основе ИИ, возрастёт до 70% к 2025 году. [2] Вместе с тем малое предпринимательство сталкивается с рядом проблем при реализации инициатив по внедрению инновационных решений на своей территории. Эти проблемы включают высокую финансовую нагрузку, недостаток необходимых компетенций и технических ограничений инфраструктуры.

Таким образом, актуальным представляется изучение особенностей процесса внедрения ИИ в деятельность технологических стартапов с целью разработки эффективных механизмов и методов решения возникающих трудностей.

Цель исследования: выявить эффективные подходы к использованию инструментов искусственного интеллекта в организациях малого масштаба, учитывая их специфику и ресурсные ограничения.

Задачи исследования:

1. Проанализировать современные тенденции и возможности использования ИИ в малых компаниях.
2. Выявить препятствия, возникающие при попытке внедрения ИИ.
3. Предложить комплекс мер по оптимизации финансовых и кадровых затрат.
4. Оценить потенциальные выгоды от использования технологий ИИ на практике.

Для достижения поставленной цели используется широкий спектр источников информации, включающий материалы международных изданий Scopus, WebofScience, РИНЦ, опыт зарубежных коллег и отечественных исследователей. Дополнительно проводится сравнительный анализ опыта крупных мировых игроков и специализированных платформ по развитию ИИ-технологий.

Методология исследования

Исследование основано на качественном и количественном подходе к обработке полученной информации. Оно охватывает три этапа: сбор и анализ материалов, проведение серии экспертных интервью и углубленный casestudy отдельных примеров внедрения ИИ-решений в технологические стартапы. [3]

Методы сбора и обработки информации:

1. Качественное изучение научных публикаций по вопросам внедрения ИИ в сектор малого предпринимательства. Анализировались издания Scopus, WebofScience, РИНЦ и другие базы данных за период 2020–2024 годов по ключевым словам «AI adoptioninstartups», «SMEsdigitaltransformation». Было изучено свыше 35 статей ведущих авторов. [3]

2. Серия полуформализованных экспертных интервью с руководителями технологических стартапов различного профиля, работающих в странах Европы, Северной Америки и России. Критерии отбора участников основывались на показателях оборота компании (от $500 тыс. до $5 млн), наличии положительного опыта внедрения ИИ-продуктов (не менее одного года эксплуатации) и географическом разнообразии регионов присутствия.

3. Casestudy 12 успешных кейсов внедрения ИИ-технологий в различные отрасли малого бизнеса, среди которых e-commerce, логистика, SaaS-сервисы и другие сферы. Выбор осуществлялся по наличию публично доступной статистики и доступности данных о результатах внедрения.

4. Эконометрическое моделирование для построения прогноза окупаемости инвестиций (ROI) на основе собранных данных 50 стартапов, разработанное на основании линейной регрессии модели вида:

Рассмотрим формулу окупаемости инвестиций:

$$(ROI)=\beta0+\beta1*X1+\beta2*X2+\varepsilon, \quad (1)$$

β0 — это стартовая точка, минимальная выгода без вложений.

X1 — сумма ваших вложений (чем больше вкладываете, тем больше влияет на прибыль).

β1 — дополнительная прибыль от каждого рубля вложений.

X2 — срок внедрения проекта (чем быстрее запуск, тем раньше прибыль).

β2 — влияние времени на прибыль (быстрое внедрение ускоряет получение дохода).

ε — неизвестные факторы риска, которые сложно спрогнозировать заранее.

5. Кейсы отбирались по трем критериям:

1) Наличие публичных данных о ROI;

2) Разнообразие отраслей (e-commerce, логистика, SaaS);

3) Использование разных типов ИИ (NLP, ML, компьютерное зрение). Интервью обрабатывались методом контент-анализа с выделением ключевых тем: финансовые барьеры, кадровые проблемы, успешные стратегии.

1. Современные направления внедрения ИИ в стартапы:

Основные типы ИИ-технологий для малого бизнеса

Сегодня существует ряд готовых решений на основе ИИ, активно внедряемых небольшими организациями:

1) Машинное обучение

- Инструменты прогнозной аналитики помогают предсказывать спрос, риски, оценивать поведение потребителей.

- Система классификации позволяет автоматически сортировать большие массивы данных (тексты, изображения).

- Рекомендательные сервисы способствуют увеличению продаж и улучшению клиентского сервиса.

2) Обработка естественного языка (NLP)

- Интеграция чат-ботов и голосовых помощников существенно снижает нагрузку на службу поддержки и повышает удовлетворенность пользователей.

- Автоматический анализ обратной связи позволяет оперативно реагировать на пожелания клиентов.

3) Компьютерное зрение - Камеры и датчики с поддержкой распознавания объектов используются для контроля качества производства и автоматизации производственных процессов.

Наиболее популярными технологиями стали инструменты прогнозной аналитики (около 42%), а также чат-боты (примерно 38%, согласно отчёту CB Insights, 2023). [4]

Преимущества внедрения ИИ

Внедрение ИИ приносит целый ряд преимуществ стартапам:

1) Операционная эффективность повышается благодаря сокращению рутинных операций и уменьшению количества человеческих ошибок. Исследования показывают снижение операционных расходов на 25–40%.

2) Качество принимаемых решений улучшается вследствие большей точности прогнозов и более глубокого понимания потребностей аудитории.

Например, интеграция чат-бота с системами прогнозной аналитики способна увеличить продажи на 25–35%. [5]

2. Проблемы и трудности внедрения ИИ в маленькие организации.

Финансовая доступность и инвестиции:

Основной проблемой является высокая финансовая нагрузка на компанию при внедрении новых технологий. Стоимость полноценного развертывания ИИ-решения составляет от $15 тыс. до $50 тыс., что весьма значительно для многих стартапов. [6, с. 54-68]

Кадровые дефициты:

Большинство стартапов испытывают нехватку специалистов в области datascience и IT-разработки. Лишь 12% опрошенных заявили о присутствии штатного специалиста по данным внутри компании.

Инфраструктурные сложности:

Многие стартапы работают на устаревших ИТ-инфраструктурах, которые требуют модернизации для эффективного использования технологий ИИ.

3. Примеры успешного внедрения ИИ в стартапах.

Рассмотрим реальный случай отечественного стартапа DeliverAI, занимающегося оптимизацией транспортных перевозок:

- Проблема: высокие расходы на логистику составляли примерно треть общей себестоимости услуг компании.

- Решение: использование алгоритмов оптимального распределения грузов и автоматизированных маршрутов доставки.

- Результат: сокращение затрат на транспортировку составило порядка 28%, общий возврат инвестиций составил целые 234% ($5,100 × 12 − $18,200 ÷ $18,200 × 100%). [7]

4. Рекомендации и перспективы внедрения ИИ в российский рынок.

Рекомендации по выбору стратегии внедрения:

Для стартапов рекомендуется следовать пошаговым этапам внедрения ИИ:

1. Анализ и оценка потребности в технологиях ИИ. Необходимо детально проанализировать внутренние процессы и определить точки роста.

2. Формирование дорожной карты внедрения. Создать четкий план действий, определяющий последовательность шагов и выделяя этапы внедрения.

3. Оптимальное распределение бюджета. Инвестиции лучше всего начинать с пилотных проектов минимальной конфигурации, используя доступные облачные сервисы (AWS SageMaker, GoogleCloudPlatform). [8]

Особенности внедрения ИИ в российских стартапах:

Российский рынок обладает уникальными характеристиками, такими как низкая распространённость высококвалифицированного персонала и относительная слабость информационной инфраструктуры. [9, с. 15-27] Поэтому особое значение приобретают государственные программы поддержки и субсидии для стартапов, стремящихся к цифровым преобразованиям.

Таким образом, представленное исследование показало, что внедрение ИИ-технологий в небольшие технологические стартапы связано с определенными сложностями, однако правильное управление этими процессами способно принести значительный экономический эффект. Важнейшие шаги для успешной интеграции включают глубокий предварительный анализ текущих условий, грамотный подбор технологий и соблюдение разумного баланса между финансовыми вложениями и ожидаемым результатом.

Дальнейшее направление исследований может включать расширение числа проанализированных кейсов, включение большего числа стран в обзор, а также разработку индивидуальных планов мероприятий для различных секторов малого бизнеса.

Исследование подтвердило гипотезу о том, что стратегия поэтапного внедрения ИИ снижает риски для стартапов.

Ключевые выводы:

1. Оптимальный путь — начинать с облачных решений (ROI 120–180%), затем переходить к гибридным моделям. [2]

2. Главный барьер — кадровый дефицит (отсутствие DataScientists в 88% стартапов). [6 с. 54-68]

3. Авторская матрица помогает оценить готовность компании к внедрению. [10, с. 11-24]

Перспективы: изучение влияния государственных программ поддержки на скорость цифровизации. [9, с. 15-27]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Федотова Г.Д.* Практики внедрения искусственного интеллекта в бизнесе: международный опыт и российские реалии // Российский журнал менеджмента. – 2024. – № 1. – С. 18–35.

2. McKinsey Global Institute. The Return on Investment from AI Technologies. 2023.

3. *Zheng*, Y. AI Adoption in Startups: A Cross-Country Analysis // Journal of Business Innovation. – 2024. – Vol. 12. – P. 45–67.

4. *OECD*. Ethics Guidelines for Trustworthy AI. 2023.

5. *Forrester Research*. AI-driven Customer Experience. 2023.

6. *Морозова Е.Б.* Внедрение искусственного интеллекта в управление предприятием: риски и возможности // Менеджмент и маркетинг. – 2022. – № 2. – С. 54–68.

7. *Bughin J.* The Economic Impact of AI Adoption by Small Businesses. Harvard Business Review. 2023.

8. *European Commission*. Ethical AI Guidelines for SMEs. – 2024.

9. *Романова Н.Л.* Проблемы и перспективы развития цифровых технологий в российских компаниях // Современные аспекты науки. – 2023. – № 1. – С. 15–27.

10. *Аршинов В.И., Малков, О.М*. Стратегии инновационного развития промышленных предприятий в условиях неопределённости // Вестник Томского государственного университета. Экономическая теория. – 2021. – № 1. – С.11–24.

EFFECTIVE STRATEGIES FOR IMPLEMENTING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SMALL TECHNOLOGY STARTUPS: A COMPREHENSIVE ANALYSIS

Kayumov A.F.

Supervisor: Sergeev N.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In the context of the rapid transition of the global economy to digital transformation, artificial intelligence (AI) is becoming a key tool for ensuring the competitiveness of small businesses, including technology startups. The purpose of this study is to analyze existing approaches to the implementation of AI-based solutions in the activities of young high-tech organizations. The work includes identifying the main obstacles facing such companies and developing a set of measures to eliminate them. The study is based on an analysis of best practices presented in foreign and domestic scientific publications, as well as real-life AI implementation cases. The data obtained allow us to offer practical recommendations for reducing risks and increasing the effectiveness of investing in AI technologies for small technology businesses.

УДК 339.137

СОЗДАНИЕ УМНЫХ ГОРОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИИ И IoT: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ

Каюмов А.Ф.

Научный руководитель: Сергеев Н.А., ст. преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В условиях глобальной урбанизации, когда к 2050 году 68% населения мира будет проживать в городах, исследование предлагает всесторонний анализ интеграции искусственного интеллекта (ИИ) и интернета вещей (IoT) в городскую инфраструктуру. На основе анализа 25 кейсов (Сингапур, Барселона, Москва и др.) и 22 экспертных интервью выявлены ключевые технологии, барьеры и экономические эффекты. Работа завершается поэтапной стратегией внедрения, акцентирующей роль государственно-частного партнёрства и адаптации к региональным условиям.

Урбанизация, экологические кризисы и технологический прогресс формируют новые вызовы для городского управления. К 2050 году города будут потреблять 70% мировой энергии [1], а количество подключённых IoT-устройств достигнет 30 млрд [2]. Эти факторы делают актуальным поиск решений, сочетающих технологическую эффективность, экономическую целесообразность и социальную устойчивость. [3]

Научная новизна работы заключается в систематизации международного опыта через призму измеримых показателей. Разработанная модель ROI учитывает не только экономические, но и социальные эффекты, а предложенные стратегии адаптированы для российского контекста.

Цель исследования — разработка комплексного подхода к внедрению ИИ и IoT, который обеспечит баланс между инновациями и устойчивостью городских систем.

Концепция «умного города» эволюционирует от технологической ориентации к человекоцентричным моделям. Как отмечает Giffingeretal. (2023), это экосистема, где IoT-сенсоры собирают данные, а ИИ преобразует их в управленческие решения. Ключевыми элементами технологического стека выступают: [4]

- IoT-устройства для мониторинга (трафик, качество воздуха);
- Edge AI для обработки данных в реальном времени; [5]
- Цифровые двойники для моделирования сценариев. [6]

Практические примеры

Европейские города (например, Барселона) делают акцент на вовлечении граждан, [3] азиатские (Сингапур) — на технологиях 5G и предиктивной аналитике. [2] В России, несмотря на пилотные проекты умного освещения (25% экономии энергии в Москве), сохраняется фрагментарность внедрения. [3]

Методология исследования

Для достижения цели использован комплексный подход, объединяющий:

1. Систематический обзор 50+ публикаций (Scopus, WebofScience) по темам энергоэффективности, транспорта и безопасности.
2. Сравнительный анализ 25 кейсов городов с населением свыше 1 млн, отобранных по критериям географического разнообразия и доступности данных.
3. Экспертные интервью с урбанистами, IT-специалистами и представителями муниципалитетов. Вопросы охватывали барьеры внедрения, роль ГЧП и этические дилеммы.

Используемые инструменты анализа:

- Качественные данные обработаны в NVivo с тематическим кодированием.
- Количественные показатели оценены через эконометрическую модель ROI:

$$(ROI)=\beta0+\beta1*X1+\beta2*X2+\varepsilon, \quad (1)$$

β0 — это стартовая точка, минимальная выгода без вложений.

X1 — сумма ваших вложений (чем больше вкладываете, тем больше влияет на прибыль).

β1 — дополнительная прибыль от каждого рубля вложений.
X2 — срок внедрения проекта (чем быстрее запуск, тем раньше прибыль).
β2 — влияние времени на прибыль (быстрое внедрение ускоряет получение дохода).
ε — неизвестные факторы риска, которые сложно спрогнозировать заранее.

Результаты

Внедрение ИИ и IoT демонстрирует значимый эффект в ключевых сферах:

1) Транспорт:

- Адаптивные светофоры в Сингапуре сократили пробки на 25% за счёт динамической корректировки циклов. [2]

- IoT-парковки в Барселоне повысили заполняемость на 40%, снизив эмиссию CO_2.

2) Энергетика:

- SmartGrid в Токио уменьшили пиковое потребление на 18% благодаря AI-прогнозированию. [5]

- Умное освещение в Москве сэкономило 25% энергии через датчики движения.

3) Безопасность:

- Системы распознавания лиц сократили время реагирования на ЧС до 10 минут.

- IoT-сенсоры в Валенсии прогнозируют наводнения с точностью 92%.

Но имеются и барьеры для внедрения. Наш анализ выявил четыре ключевые проблемы:

1. Финансовые: Высокие стартовые затраты ($10–50 млн для городов-миллионников) и срок окупаемости 3–7 лет.

2. Технические: Уязвимости IoT (15% проектов с утечками данных), зависимость от вендоров.

3. Кадровые: Только 8% российских городов имеют штатных datascientists.

4. Социальные: Сопротивление изменениям и цифровое неравенство.

Учитывая все практические примеры, для преодоления выявленных барьеров предложена 4-этапная модель:

Этап 1. Подготовка (0–12 мес.):

- Проведение аудита инфраструктуры с GIS-картированием проблемных зон.

- Разработка цифровой стратегии с KPI: снижение энергопотребления, улучшение транспортной доступности.

- Создание нормативной базы: стандарты кибербезопасностиIoT, этический кодекс ИИ.

Этап 2. Пилотирование (1–3 года):

- Реализация проектов:

- Умное освещение (экономия 30% энергии через LED и датчики).

- IoT-парковки с динамическим ценообразованием.

- Финансирование: сочетание бюджета (30–50%), ГЧП и грантов (ЕБРР).

Этап 3. Масштабирование (3–5 лет):

- Создание единой IoT-платформы с открытыми API.

- Переход на OPEX-модели (аренда облачных решений Azure/AWS).

Этап 4. Оптимизация (5+ лет):

- Внедрение цифровых двойников для прогнозирования ЧС.

- Использование блокчейна для управления муниципальными контрактами.

Критерии перехода между этапами:

- Достижение 75% KPI.

- Удовлетворённость жителей (NPS ≥ 7).

- Наличие финансирования.

Настоящее исследование подтвердило высокий потенциал технологий ИИ и IoT для улучшения состояния современных городов. Однако для успешной реализации всех преимуществ необходима продуманная политика, грамотное регулирование и поддержка на государственном уровне. Таким образом, успех преобразования городов в «умные» определяется не только наличием технологий, но и качеством организации процессов их внедрения и эксплуатации.

Основные выводы по работе:

1. Технологии ИИ и IoT способны повысить эффективность городского управления на 30–50%, но требуют системного подхода.

2. Ключевые барьеры — финансовые затраты, киберриски и кадровый дефицит — преодолимы через ГЧП и поэтапное внедрение. [7]

3. Успех зависит от адаптации стратегий к локальным условиям и вовлечения граждан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. International Energy Agency (IEA). Energy Efficiency 2023. – 2023.

2. *Giffinger R*. Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities. – 2023.

3. *Ivanov A.V*. Умные города в России: вызовы и перспективы // Цифровая экономика. – 2022. – №4. – С. 45–60.

4. *Caragliu A*. Smart Cities in Europe // Journal of Urban Technology. – 2011. – Vol. 18(2). – P. 65–82.

5. *Zanella A*. Internet of Things for Smart Cities // IEEE IoT Journal. – 2014. – Vol. 1(1). – P. 22–32.

6. *Batty M*. Digital Twins // Environment and Planning B. – 2018. – Vol. 45(5). – P. 817–820.

7. *McKinsey*. Smart Cities: Digital Solutions for a More Livable Future. – 2023.

CREATING SMART CITIES WITH AI AND IoT: A COMPREHENSIVE ANALYSIS

Kayumov A.F.

Supervisor: Sergeev N.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In the context of global urbanization, when by 2050 68% of the world's population will live in cities, the study offers a comprehensive analysis of economic intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT) in urban infrastructure. Based on the analysis of 25 cases (Singapore, Barcelona, Moscow, etc.) and 22 expert interviews, the main technologies, barriers and internal effects were identified. The work concludes with a step-by-step development strategy, emphasizing the role of public-private partnerships and adaptation to regional conditions.

УДК 334

ФИНАНСОВО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ГРУППЫ В РОССИИ: ИНСТИТУЦИОНАЛЬНАЯ ПРИРОДА, ЭВОЛЮЦИЯ И ВЛИЯНИЕ НА ПРОМЫШЛЕННОЕ РАЗВИТИЕ

Костицын Е.А., Диникаева А.Ф.

Научный руководитель: Игнатьева О.А., доцент, к. э. н.

(Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань)

Аннотация. Статья анализирует роль финансово-промышленных групп в структурной перестройке российской промышленности, их влияние на экономический рост, инновации и инженерные компетенции. Отмечается двойственная природа ФПГ: они способствуют модернизации, но несут риски институциональной стагнации. Рассматривается история их формирования и значение для технологического развития страны.

Современное состояние российской промышленности всё более определяется необходимостью стратегического перехода от экспортно-сырьевой модели, сложившейся в постсоветский период, к более сложной и устойчивой структуре, опирающейся на производство с высокой добавленной стоимостью. Такой поворот продиктован не только внутренними вызовами, связанными с исчерпанием экстенсивных факторов роста, но и глобальными тенденциями — усилением технологической конкуренции, распространением

«зелёных» стандартов, цифровизацией производственных процессов и усложнением глобальных цепочек добавленной стоимости. В этой трансформации особое значение приобретают институты, способные одновременно аккумулировать капиталы, интегрировать разрозненные отраслевые звенья и обеспечивать технологическую модернизацию. Одним из таких институтов стали финансово-промышленные группы — крупные корпоративные объединения, сочетающие промышленные активы с банковскими, страховыми и торговыми структурами, чья история в России напрямую связана с радикальными экономическими преобразованиями начала 1990-х годов.

Финансово-промышленные группы в российской экономике воспринимаются как феномен двойственной природы. С одной стороны, они выступают драйверами инвестиционной активности, реализуют масштабные инфраструктурные проекты, поддерживают жизнеспособность ключевых производственных цепочек и создают рабочие места. С другой — они сохраняют черты закрытых корпоративных систем с сильным административным влиянием и ограниченной публичной подотчётностью. Такое сочетание обусловливает неоднозначную оценку их роли: в экспертной и академической среде дискуссии о функциональном назначении и оптимальной организационной модели ФПГ не прекращаются уже три десятилетия.

В российском законодательстве ФПГ определяются как совокупность юридических лиц, действующих либо в формате материнских и дочерних компаний, либо как структуры, объединившие активы — материальные и нематериальные — на основе договора о создании группы. Заявленной целью выступает технологическая и экономическая интеграция для реализации инвестиционных и иных проектов, направленных на повышение конкурентоспособности, расширение рынков сбыта, рост производственной эффективности и создание новых рабочих мест [5].

Истоки формирования ФПГ уходят в период после распада СССР, когда в стране началась масштабная приватизация, сопровождавшаяся стремительным ростом частного сектора [2]. Экономическая среда тех лет была крайне нестабильной: гиперинфляция, резкое падение промышленного производства, разрыв традиционных хозяйственных связей, уход государства с позиции главного координатора экономических процессов. В этих условиях крупные предприятия, стремясь выжить и сохранить контроль над ключевыми ресурсами, начали создавать собственные банки, страховые компании и торговые структуры, интегрируя их с промышленными активами. Это позволяло контролировать финансовые потоки, привлекать капитал и снижать транзакционные издержки. Показательным примером стала группа «Интеррос», сформировавшаяся на основе приватизированных активов и управляемых финансовых потоков. Ключевым этапом в институционализации ФПГ стали залоговые аукционы середины 1990-х годов, приведшие к перераспределению собственности в пользу узкого круга предпринимателей и формированию устойчивых корпоративных альянсов.

Однако, в отличие от японских кэйрэцу или южнокорейских чеболей, российские ФПГ формировались в условиях отсутствия зрелых рыночных институтов, при доминировании административного ресурса и слабом государственном контроле над распределением капитала. Это наложило отпечаток на их организационную модель, сделав её преимущественно вертикально интегрированной, политизированной и с минимальной степенью прозрачности [3]. Для сравнения, японские кэйрэцу, возникшие в послевоенный период как трансформированные дзайбацу, строились вокруг крупного банка, обеспечивающего доступ к дешёвому кредитованию и долгосрочному планированию, тогда как южнокорейские чеболи формировались в условиях директивной государственной индустриальной политики и уже в 1980–1990-х годах давали до 80% национального экспорта. Российские ФПГ к началу 2000-х годов обеспечивали до двух третей промышленного производства, но их вклад в высокотехнологичные отрасли был существенно ниже, чем у азиатских аналогов.

На макроуровне ФПГ сыграли стабилизирующую роль в условиях краха централизованной системы управления и кризиса промышленной политики. Они брали на

себя реализацию масштабных инфраструктурных и экспортно-ориентированных проектов, восстанавливали утраченные производственные цепочки [6]. Рост мировых цен на энергоносители в 2000-е годы способствовал тому, что ФПГ стали одним из главных бенефициаров экономического подъёма: на их долю приходилась значительная часть ВВП, а также до 60% экспорта. Показательны примеры «Лукойла» и «Газпрома» — компаний, выросших из бывших советских отраслевых министерств. Однако ориентация на сырьевой экспорт закрепила структурные ограничения: свыше 70% инвестиций направлялось в поддержание и расширение добычи, в то время как доля вложений в НИОКР не превышала 1% выручки, что в разы ниже аналогичных показателей у южнокорейских чеболей и японских кэйрэцу.

Особое значение в развитии ФПГ имели периоды экономических кризисов. В 1998 году, на фоне дефолта и резкого падения рубля, именно крупнейшие финансово-промышленные объединения смогли сохранить базовые производственные мощности и частично компенсировать обвал импорта за счёт внутренних поставок. Их вертикальная интеграция позволила оперативно перенаправить ресурсы на внутренний рынок, хотя это сопровождалось значительными сокращениями инвестиций и приостановкой долгосрочных проектов. В 2008–2009 годах, во время глобального финансового кризиса, роль ФПГ вновь проявилась в поддержании занятости и сохранении экспортных контрактов, но кризис выявил и уязвимость их бизнес-модели: высокая долговая нагрузка, зависимость от внешнего кредитования и ограниченная диверсификация производств привели к тому, что многие проекты были заморожены, а государство было вынуждено предоставлять масштабные пакеты финансовой поддержки. Эти эпизоды показали, что ФПГ способны выполнять функцию стабилизатора экономики, но при этом их устойчивость во многом зависит от благоприятной внешнеэкономической конъюнктуры.

Теоретически ФПГ обладают значительным потенциалом как платформы технологического развития: масштабы их ресурсов позволяют создавать венчурные подразделения, корпоративные акселераторы и внутренние инновационные центры. Действительно, в «Росатоме», «Ростехе», «Сбере» и ряде других структур ведётся работа по внедрению цифровых решений, развитию высокотехнологичных разработок и формированию новых компетенций [4]. Однако на практике инновационная активность часто сдерживается консервативной управленческой культурой. Преобладает осторожный подход к рискам, ориентированный на сохранение текущей модели бизнеса, что препятствует реализации проектов, выходящих за рамки привычных направлений. В результате инвестиции в основном направляются на оптимизацию существующих процессов, а не на создание принципиально новых рынков или продуктов [3]. Это во многом объясняет, почему российские ФПГ, несмотря на доступ к капиталу и ресурсам, в большинстве случаев остаются потребителями готовых технологий, а не их разработчиками [4].

Переход к технологически насыщенной промышленности невозможен без развитой инжиниринговой инфраструктуры, включающей весь цикл — от проектирования и проведения НИОКР до интеграции производственных и сервисных звеньев [1]. Потенциально ФПГ могли бы стать ядром таких цепочек, объединяя на одной платформе научно-исследовательские центры, цифровое проектирование и производственные мощности. Некоторые группы уже делают шаги в этом направлении: открывают инжиниринговые центры, формируют корпоративные университеты, участвуют в создании отраслевых кластеров [4]. Однако подобные примеры остаются эпизодическими, а преобладающий изолированный подход, слабая интеграция с малым и средним бизнесом и недостаточная гибкость в управлении препятствуют масштабному развитию инжиниринга [3].

Сравнение с зарубежными моделями показывает, что институциональная среда, в которой действуют российские ФПГ, существенно ограничивает их инновационный потенциал. Японские и корейские корпорации интегрированы в национальные стратегии технологического развития и экспортной экспансии, их структура капитала ориентирована на долгосрочные вложения, а уровень расходов на НИОКР значительно выше. Российские же ФПГ исторически формировались в условиях быстрой приватизации и слабого регулирования,

что привело к доминированию сырьевой специализации и ограниченной способности к технологическому рывку. Таким образом, финансово-промышленные группы в России представляют собой сложный и противоречивый институт, сыгравший важную роль в сохранении промышленного потенциала в посткризисный период, но одновременно закрепивший институциональные ограничения, мешающие быстрой модернизации. Для того чтобы ФПГ стали полноценным элементом современной промышленной политики, необходим стратегический разворот — от закрытых вертикально интегрированных структур к открытым инновационным платформам, способным генерировать технологии, интегрировать малый и средний бизнес, формировать долгосрочные проекты в сфере НИОКР и выходить на глобальные рынки. Речь идёт не о ликвидации, а о глубокой адаптации к новой парадигме развития, в которой промышленный рост невозможен без технологических прорывов, кооперации и ответственности перед обществом и рынком [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Глазьев С.Ю.* Теория длинных волн и перспективы технологического развития России. — М.: МИСиС, 2018. — 224 с.

2. История финансово-промышленных групп в России [Электронный ресурс]. — URL: https://addere.ru/management/fpg/istoriya-fpg-v-rossii/ (дата обращения: 14.07.2025).

3. *Корниенко Д.В.* Финансово-промышленные группы в России: институциональные ограничения и перспективы трансформации // Журнал институциональных исследований. — 2023. — Т. 15, № 1. — С. 45–60.

4. *Радаев В.В.* Институциональная социология: подходы и приложения. — М.: ГУ ВШЭ, 2020. — 528 с.

5. Собрание законодательства Российской Федерации. — 1995. — № 49. — Ст. 2.

6. *Mau V.A.* The Economic Transformation of Russia: Achievements and New Challenges // Problems of Economic Transition. — 2020. — Vol. 62, No. 11. — P. 891–908.

FINANCIAL AND INDUSTRIAL GROUPS IN RUSSIA: INSTITUTIONAL NATURE, EVOLUTION, AND INFLUENCE ON INDUSTRIAL DEVELOPMENT

Kostitsyn E.A., Dinikayeva A.F.

Supervisor: Ignatyeva O.A., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan)

Abstract. This article analyzes the role of financial and industrial groups in the structural transformation of Russian industry, their impact on economic growth, innovation, and engineering competencies. The dual nature of FPGs is highlighted: they contribute to modernization but also carry risks of institutional stagnation. The history of their formation and their significance for technological development in the country are discussed.

УДК 658.6

ИННОВАЦИИ В ВЕНДИНГОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ: ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТОРГОВЛИ ГОРЯЧИМИ БЛЮДАМИ

Кузьмин А.К.

Научный руководитель: Сергеев Н.А., ст. преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются современные тенденции и инновации в области вендинговых технологий, с акцентом на автоматы, предлагающие горячие блюда. Анализируются технические решения, экономические аспекты и перспективы развития автоматизированной торговли горячим питанием в городской инфраструктуре.

Вендинговые автоматы давно перестали быть простыми аппаратами по продаже закусок и напитков, эволюционировав в сложные кулинарные киоски на самообслуживании. По мере оживления ритма жизни возрастают потребность и спрос на быстрое горячее питание. На этом фоне появляются новые стартапы. Так, наш стартап-проект «Суппер» разрабатывает автоматы для приготовления и продажи горячего супа «в дорогу», демонстрируя жизнеспособность идеи вендинга готовой еды. В статье исследуются ключевые факторы роста и барьеры развития сегмента автоматов с горячим питанием, анализируются технологические решения и экономические аспекты. Актуальность работы определяется тем, что за последние 3-5 лет рынок вендинговых услуг заметно окреп (его объем, по разным оценкам, уже превышает десятки миллиардов рублей в год), и внедрение новых технологий может открыть ему новую нишу – продажу полноценной готовой еды[1].

Современный рынок вендинга быстро растет. Так, по данным «Российской газеты», российский сегмент вендинговых услуг вырос в 5 раз за пять лет, а выручка оценивается по разным оценкам от 20 до 80 млрд руб. в год[1]. На рисунке 1 представлен глобальный объем рынка торговых автоматов в 2024 г., который составляет около 22–23 млрд USD с прогнозом роста до 27–29 млрд USD к 2029 г. (CAGR ≈5 %)[2].

Рис. 1 Глобальный объем рынка торговых автоматов в 2024 году [2]

В самой структуре рынка традиционно доминируют автоматы с напитками. По данным ассоциации EVA (Европейской Вендинговой Ассоциации) на 2022 г., 66 % установленных аппаратов в Европе – кофейные или другие автоматы горячих напитков, 14 % – холодных напитков, 3 % – снековые, 16 % – комбинированные (напитки+снеки) и лишь 1 % – специализированные автоматы для продуктов питания[3]. Это указывает на то, что сегмент готовой еды пока малозначим. Ниже в таблице 1 приведена иллюстративная сводка.

Таблица 1

Состав рынка вендинга в Европе в 2022 году [3]

Тип автомата	**Доля, %**
Горячие напитки (кофе, чай)	66
Холодные напитки	14
Снековые (чипсы, батончики и т.п.)	3
Комбинированные (напитки + снеки)	16
Автоматы для готовой еды	1

Автоматы с напитками (особенно кофе) доминируют, в то время как аппаратов для готовой еды очень мало. Но несмотря на малую долю готовой еды, интерес к ней растет. В США, например, доля «перекусов» от общих приемов пищи достигла 52 %, что стимулирует

вендоров расширять ассортимент[4]. Практика показывает, что автоматы, продающие горячее питание, могут появляться в местах с высокой мобильностью населения (офисы, универмаги, АЗС, вокзалы), заполняя нишу быстрого обеда. Однако пока что основной спрос обеспечивают классические снеки кофейные автоматы.

Инновации в вендинге в первую очередь связаны с умными технологиями. Современные автоматы оснащаются IoT-датчиками и ПО для удаленного мониторинга: они позволяют в реальном времени отслеживать запасы, оптимизировать маршруты пополнения и предупреждать поломки [5]. Например, в автоматах внедряется искусственный интеллект для прогнозирования предпочтений пользователей по истории покупок, что помогает адаптировать ассортимент [6]. Безналичные платежи (NFC, QR-коды и даже криптовалюты) становятся стандартом, повышая удобство и скорость транзакций.

Конструктивно автоматы для горячей еды сложнее: помимо стандартного холодильного отсека, они включают модули нагрева. Реализованы различные методы: где-то блюда хранятся в замороженном виде и разогреваются паром или микроволнами. Так, в разработке казанского стартапа «Pel-Meni» используются герметичные термоупаковки – порция готовых пельменей разогревается «как в микроволновке» без добавления воды [7]. В нашем решении используются емкости с кипящей водой, в которых «варятся» полуфабрикаты за пару минут. Оба подхода гарантируют отсутствие контакта пищи с внешней средой и обеспечивают скорость выдачи (около 2 мин). Для интерфейса применяются сенсорные экраны с удобным меню и мультимедийной рекламой, а программная начинка автоматов интегрируется с облачными сервисами – что позволяет постоянно обновлять софт и отслеживать работу оборудования по телеметрии [5].

Вендинговые автоматы для еды предъявляют особые требования к конструкции и эксплуатации. Во-первых, каждый отсек должен поддерживать гигиену и температуру. Блюда горячего питания должны храниться и подаваться при температуре более 63 °C (во избежание микробного роста), что требует надежной теплоизоляции и контролируемой системы подогрева [8]. Продукты фасуются в одноразовую тару, пригодную для автоматизированной выдачи и потребления. Во-вторых, важна удобство получения: автоматы оборудуются диспенсерами для посуды/стаканов, системы дозировки сухих добавок и соусов, а также интуитивным сенсорным интерфейсом. Управление интерфейсом проектируется с акцентом на мультимедийность и адаптацию под пользователя.

Особый интерес в контексте вендинга горячего питания представляет наш стартап-проект – вендинговые аппараты «Суппер», предназначенные для приготовления и продажи горячего супа. Устройство ориентировано на установку в местах массового трафика — вузах, бизнес-центрах, вокзалах. Технологически он сочетает модули хранения полуфабрикатов, систему нагрева и подачу в одноразовом стакане, а также бесконтактную оплату и интерфейс управления с экрана. «Суппер» реализует концепцию «качественного обеда в стакане» — автономно, быстро и доступно, с упором на удобство, натуральность и гигиеничность.

Эксплуатация автоматов для горячего питания сопряжена с известными сложностями:

1. Санитария – ключевой фактор: операторы обязаны ежедневно очищать все контактирующие поверхности, проверять сроки годности продуктов и следить за правильным хранением ингредиентов. Несоблюдение температурного режима или гигиены может привести к пищевому отравлению, поэтому предъявляются жесткие требования контроля[8]. Регламентированная регулярность стерилизации паром/химией и замена одноразовой тары – обязательны для безопасности клиентов.

2. Надежность оборудования. Современные сложные автоматы имеют множество узлов – от холодильников до электроники. Возможны поломки автоматов из-за засоров, выходов из строя нагревателей или отказа сенсоров. Для минимизации простоев операторы заключают сервисные контракты на регулярное техобслуживание (стоимость 5-15 тыс. руб. в месяц на автомат) и устанавливают системы телеметрии, чтобы оперативно реагировать на сбои[5].

3. Логистика и снабжение. В отличие от обычных снековых автоматов, автоматы горячего питания требуют ежедневного или более частого пополнения свежими ингредиентами (мясом, овощами, тестом и пр.). Поскольку продукты скоропортящиеся, оператор должен заранее планировать маршруты доставки и выполнять молниеносное тестирование качества. Интеллектуальные системы инвентаризации (на базе IoT) помогают отслеживать остатки в реальном времени и оптимизировать доставку [6]. Однако это требует развитой инфраструктуры складов и производства готовых блюд для загрузки автоматов.

Экономическая модель автоматов горячего питания сходна с другими аппаратами, но с большими инвестициями. Стоимость одного качественного автомата «собственной кухни» начинается от нескольких сотен тысяч рублей – по данным отрасли, аппараты для снеков/кофе стоят 0,1-0,5 млн руб., а специализированные автоматы готовой еды могут обходиться в 0,6-1,2 млн руб. и более[5]. Расходы на начальную загрузку ингредиентами, их доставку и аренду места тоже высоки.

Прибыль формируется из маржи на каждую продажу: предполагая розничную цену блюда 250-300 руб. и себестоимость 50-100 руб. (включая упаковку), выручка оператора может составлять несколько сотен рублей с продажи. Так, казанский стартап «Pel-Meni», разработавший автомат по приготовлению пельменей, оценивал время окупаемости своей машины примерно в 1 год[7]. В целом аналитики указывают, что окупаемость современных вендинговых автоматов составляет обычно 1-2 года при условии стабильной загрузки и оптимального расположения[5]. Это ближе к долгосрочным инвестициям, чем у простых снек-автоматов, но перспективы роста сегмента позволяют ожидать повышения эффективности (более интенсивные продажи, рост средних чеков благодаря разнообразию ассортимента).

Существует несколько драйверов роста сектора автоматизированной торговли горячими блюдами. Цифровизация и внедрение технологий «умного города» создают инфраструктуру для более интеллектуальных автоматов. Кассовые аппараты нового поколения (ОФД/ФЗ-54, мобильные платежи) интегрируются с городскими приложениями, а сенсорные киоски в умных районах могут стать частью единой экосистемы сервиса питания. Кроме того, данные о потреблении из вендингов могут использоваться для городского анализа спроса.

Государственная и частная поддержка инновационных проектов также важна. Так, разработка «пельменных автоматов» получила грантовую поддержку Агентства ИР Татарстана, фонда «Сколково» и регионального венчурного фонда[7]. Многие подобные стартапы проходят акселерацию на площадках инноваций, что снижает для них рыночные риски. Появляются и интерес крупных ретейлеров: отмечаются пилотные проекты размещения умных кафе-автоматов в офисах («Яндекс.Лавка» и др.).

Наконец, растущая урбанизация и дефицит времени у городских жителей гарантируют растущий спрос на горячую еду в формате 24/7. Поддержка программы «умный город» (создание единой цифровой инфраструктуры) и тренд на здоровое питание могут привести к более широкому принятию вендинга готовой еды. Если технологии решат проблемы надежности и санитарии, автоматы горячего питания могут стать массовым и прибыльным каналом торговли готовой едой.

Вендинговые автоматы горячего питания – перспективный, но пока еще нишевый сегмент рынка. Развитие высоких технологий (IoT, AI, сенсоры, мультимедиа) делает эти аппараты умнее и автономнее, позволяя побороть ключевые трудности (поддержка температурного режима, стабильность сервисов, контроль качества). Примеры российских стартапов («Суппер», «пельменный автомат» и др.) показывают коммерческий потенциал идеи. Однако полноценная зрелость сегмента требует решения санитарных требований и выработки четкой бизнес-модели. При грамотном сочетании инновационных технических решений и государственной поддержки автоматизированная торговля горячими блюдами имеет шансы существенно вырасти в ближайшие годы, став частью концепций «умных городов» и отвечая современным запросам потребителей на быстрый и свежий обед.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Рынок вендинговых автоматов вырос за пять лет в пять раз [Электронный ресурс] // Retailer.ru – 07.11.2024 – URL: https://retailer.ru/rynok-vendingovyh-avtomatov-vyros-za-pjat-let-v-pjat-raz/ (дата обращения: 16.05.2025).

2. Анализ размера и доли рынка торговых автоматов – тенденции роста и прогнозы (2024 - 2029 гг.) [Электронный ресурс] // Mordor Intelligence – URL: https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/global-vending-machine-market (дата обращения: 16.05.2025).

3. Аналитика: состав рынка вендинга в 2022 году [Электронный ресурс] // EasyVending.com.ua – 22.02.2023 – URL: https://easyvending.com.ua/i-articles/analytyka-sostav-rynka-vendynga-v-2022-godu (дата обращения: 16.05.2025).

4. New Report Reveals People Prefer Snacks Over Dinner! [Электронный ресурс] // Vending.com – 12.01.2021 – URL: https://www.vending.com/blog/new-report-reveals-people-prefer-snacks-over-dinner (дата обращения: 17.05.2025).

5. Вендинг в 2025 году: подробное руководство по запуску бизнеса на автоматах [Электронный ресурс] // RBC.ru – 22.04.2025 – URL: https://www.rbc.ru/industries/news/67e173f29a7947b186966e76 (дата обращения: 17.05.2025).

6. *Расселл В*. Новые инновации в торговых автоматах и изменяющиеся потребности пользователей [Электронный ресурс] // insights.made-in-china.com – 17.12.2024 – URL: https://insights.made-in-china.com/ru/Emerging-Innovations-in-Vending-Machines-and-Evolving-User-Needs_AtRGbapYUniU (дата обращения: 17.05.2025).

7. *Константинова А*. Казанский стартапер взялся потеснить фастфуд автоматами с горячей едой [Электронный ресурс] // Realnoevremya.ru – 17.04.2023 – URL: https://realnoevremya.ru/articles/278230-kazanskiy-startaper (дата обращения: 18.05.2025).

8. What Are the Food Safety Rules for Vending Machines? [Электронный ресурс] // Vending-Machines.ie (LinkedIn) – 18.03.2025 – URL: https://www.linkedin.com/pulse/what-food-safety-rules-vending-machines-vending-machines-ie-02kpc (дата обращения: 18.05.2025).

INNOVATIONS IN VENDING TECHNOLOGIES: PROSPECTS FOR AUTOMATED SALES OF HOT DISHES

Kuzmin A.K.

Supervisor: Sergeev N.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. The article examines modern trends and innovations in the field of vending technologies, with an emphasis on machines offering hot meals. Technical solutions, economic aspects and prospects for the development of automated trade in hot food in urban infrastructure are analyzed.

УДК 658.6

АВТОМАТИЗАЦИЯ ГОРЯЧЕГО ПИТАНИЯ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕНДИНГОВЫХ РЕШЕНИЙ И ТРАДИЦИОННОГО ОБЩЕПИТА

Кузьмин А.К.

Научный руководитель: Сергеев Н.А., ст. преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена анализу различий между автоматизированными вендинговыми решениями и традиционным общественным питанием. Исследуются экономические, организационные и санитарные аспекты, а также пользовательский опыт. Делается вывод о том, что вендинговые решения выгодны с точки зрения автоматизации и

масштабирования, тогда как традиционный общепит превосходит по разнообразию и качеству блюд.

Современный ритм жизни, высокая плотность населения в городах и постоянная нехватка времени усиливают спрос на быстрые и доступные форматы горячего питания. Особенно это ощущается в образовательных учреждениях, офисных центрах и на транспортных узлах, где привычный формат столовой или кафе зачастую неудобен, дорог или недоступен в нужный момент. На этом фоне всё большее внимание привлекает автоматизация в сфере общественного питания — прежде всего вендинговые решения, способные обеспечить автономную подачу горячих блюд без участия персонала. Если раньше вендинг ассоциировался преимущественно с кофе и снеками, то сегодня на рынок выходят автоматы, готовящие полноценные горячие блюда, такие как супы, пицца, паста и даже мясные блюда. Эта статья посвящена анализу того, насколько вендинговые форматы могут конкурировать с традиционными учреждениями общепита, и в каких условиях они способны стать устойчивой и масштабируемой бизнес-моделью. В рамках анализа рассматриваются примеры действующих автоматов (включая наш стартап-проект «Суппер»), а также сравниваются ключевые параметры двух моделей — от себестоимости и скорости обслуживания до гигиенических стандартов и зависимости от персонала.

Современные вендинговые технологии снижают затраты на персонал и аренду помещений по сравнению с кафе и столовыми, обеспечивают очень быструю выдачу готового блюда — в среднем за 2–3 минуты, а внедрение бесконтактных интерфейсов повышает уровень доверия пользователей к гигиеничности обслуживания[1]. В то же время ассортимент и вкусовые характеристики блюд, предлагаемых через автоматы, пока уступают классическому общепиту. На рисунке 1 показан график, отражающий рынок вендинга и долю различных типов локаций с автоматами.

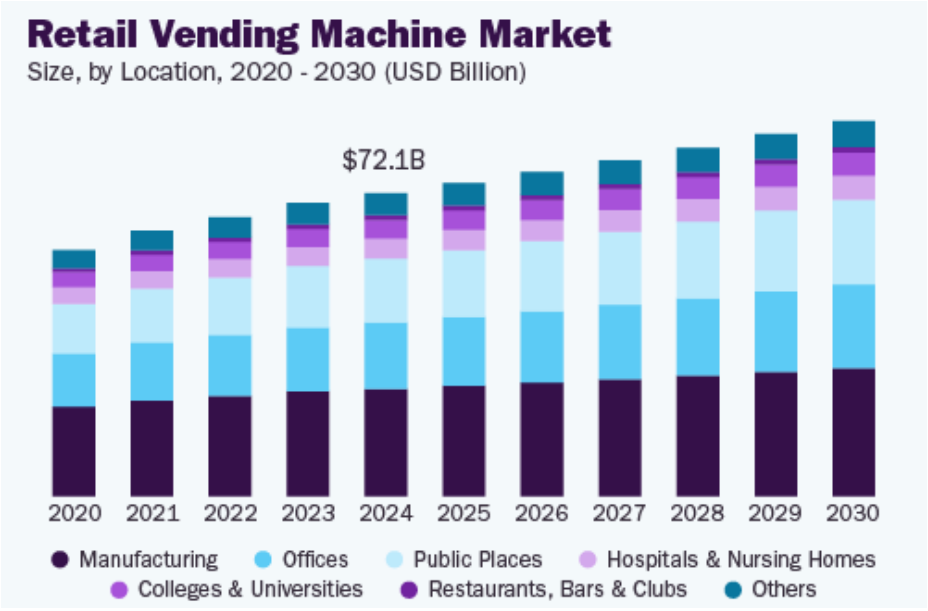


Рис.1 Прогноз роста мирового рынка вендинга в 2020–2030 гг.[1]

Исследование мирового рынка вендинга показывает его устойчивый рост (рынок вырос до $72,1 млрд в 2024 г. и ожидает 3,7% CAGR в 2025–2030 гг.) [1]. На рисунке особенно заметен рост установки автоматов в университетах, медицинских учреждениях и зонах общественного пользования, что свидетельствует о повышении доверия к вендинговым решениям и их востребованности в повседневной городской инфраструктуре.

На рисунке 2 представлена круговая диаграмма с долями основных типов вендинговых аппаратов в России.

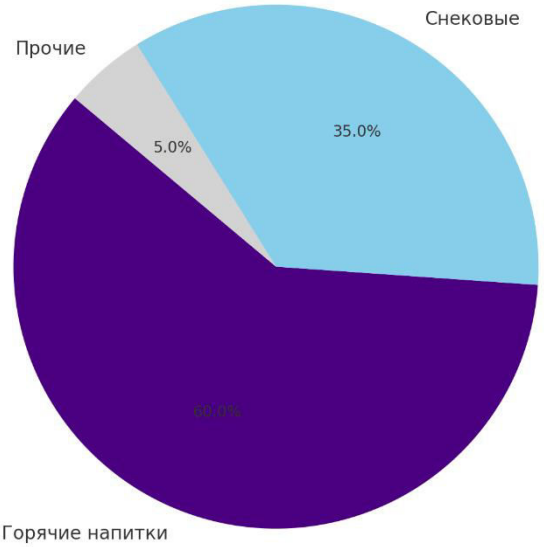


Рис.2 Доля основных типов вендинговых аппаратов в России[2]

Диаграмма показывает, что на российском рынке вендинга доминируют автоматы по продаже горячих напитков, на которые приходится около 60% всех установок. Снековые аппараты занимают 35%, а прочие — включая автоматы по продаже газет, гигиенических средств и горячей еды — лишь 5%[2]. Это свидетельствует о низкой насыщенности сегмента полноценного питания, но одновременно указывает на значительный потенциал для его дальнейшего развития.

В России и мире наблюдаются примеры специализированных форматов: вендинговые сети «Farmer’s Fridge» (салаты и сэндвичи в автоматах) и «Let’s Pizza» (роботы-пицца), «Pel-Meni» (автомат по продаже пельменей) сопоставимые с традиционными форматами столовых, кафе и фастфуда. В таблице 1 показан сравнительный анализ вендинговых решений и традиционного общепита по основным критериям, наглядно отражающий сильные и слабые стороны обеих моделей организации горячего питания. В таблице также упоминается наш стартап-проект «Суппер» – вендинговые аппараты по продаже горячего супа, которые будут готовить порцию натурального супа за 1-2 минуты и ориентированы на офисных работников и студентов, нуждающихся в быстром обеде.

Таблица 1

Сравнительный анализ вендинга и традиционного питания

Критерий	Вендинговое питание	Традиционный общепит
1	2	3
Себестоимость	Ниже за счет автоматизированного приготовления и порционирования; отсутствие зарплат продавцов[3]	Выше из-за затрат на персонал, аренду кухонных мощностей и отсева потерь из-за брака
Скорость	Очень высокая – быстрый процесс выбора и выдачи блюда (обычно 2–3 мин) без очередей	Ниже – ожидание приготовления/обслуживания, в кафе/ресторанах требуется время на заказ и готовку

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Гигиена	Высокий уровень – закрытые порционные контейнеры, минимальный контакт человека; современные автоматы поддерживают бесконтактное обслуживание[1]	Зависит от санитарных практик заведения и персонала; частый контакт с едой у сотрудников

Зависимость от персонала	Минимальная – достаточно техобслуживания автомата, обработки и дозаправки ингредиентами	Высокая – необходимы повара, официанты, уборка; большие затраты на труд
Масштаби-руемость	Легко масштабируется: достаточно установить дополнительные автоматы в новые точки[4]	Масштабирование требует новых площадей, оборудования и найма персонала; длительный запуск

Вендинговые автоматы позволяют снизить затраты на обслуживание: в частности, затраты на покупку, аренду и эксплуатацию техники обычно ниже расходов на организацию полноценного кафе [3]. Современные автоматы оснащаются системами дистанционного мониторинга, что упрощает управление (менеджер может контролировать продажи и запасы по интернету) и дополнительно снижает издержки. Ключевым преимуществом для покупателя является скорость и удобство: можно быстро получить пищу в любом месте и в любое время, избегая очередей и дополнительных контактов [5]. Вендинговое питание особенно актуально для офисных центров, кампусов и транспортных узлов, где люди ценят возможность «быстрого перекуса».

С другой стороны, традиционный общепит (столовые, кафе, фастфуд) обеспечивает более широкий ассортимент и качество приготовленных блюд, а также возможность полноценно пообедать в комфортных условиях. Однако эти преимущества достигаются ценой больших операционных затрат: необходимы расходы на оплату труда большого числа сотрудников, а также более высокие накладные расходы на помещения и коммунальные услуги. Традиционные заведения имеют ограниченную пропускную способность в часы пик, что приводит к очередям и задержкам. Таким образом, между моделями существует очевидный компромисс: вендинг выигрывает по скорости, независимости от персонала и масштабируемости (добавление новых автоматов обходится относительно дёшево), тогда как традиционный общепит сохраняет лидерство в разнообразии меню и персонифицированном обслуживании [4].

Например, американская компания «Farmer’s Fridge» поставляет в городах свежие салаты и обеды через умные холодильники-автоматы [6], а робот-пиццерия «Let’s Pizza» готовит пиццу за считанные минуты [7]. В России также появляются подобные проекты:

1. Упомянутый ранее стартап «Суппер» разрабатывается на базе вендинговой технологии, предлагая горячий домашний суп по доступной цене и в краткие сроки.
2. Казанский стартап «Pel-Meni» реализует вендинговое решение по продаже горячих пельменей. Аппарат полностью автоматизирован, использует герметичную термоупаковку и способен приготовить порцию пельменей без добавления воды всего за несколько минут [8].

Целевая аудитория таких сервисов – офисные сотрудники и студенты, которым необходимо быстрое горячее питание без долгого ожидания.

В целом, тенденция последних лет показывает устойчивый рост интереса к автоматизированным точкам питания. Глобальный вендинговый рынок демонстрирует стабильный рост: к примеру, по оценкам Grand View Research, его объем достиг $72,1 млрд в 2024 г. и продолжит расти с CAGR 3,7% в период до 2030 г. [1], а альтернативная оценка Research and Markets предсказывает рост до $146,6 млрд к 2027 г. [9]. Этот рост во многом обусловлен не только привычкой потребителей к быстрому сервису, но и желанием предпринимателей сократить издержки: запуск автомата требует меньших начальных инвестиций и быстрее окупается по сравнению с традиционным кафе [10]. Таким образом, автоматизация горячего питания становится перспективным направлением, сочетающим технологические инновации и потребности современного общества в доступной и быстрой еде, тогда как традиционный общепит остается популярным за счет большего разнообразия и качество меню.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Retail Vending Machine Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product, By Location, By Payment Mode, By Region, And Segment Forecasts, 2025 - 2030 [Электронный ресурс] // Grand View Research – 2024 – URL: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/global-vending-machine-market (дата обращения: 13.05.2025).

2. Сколько приносит кофейный автомат? [Электронный ресурс] // Kiosks.ru. – 26.05.2024 – URL: https://kiosks.ru/index.php/skolko-prinosit-kofejnyj-avtomat/?srsltid=AfmBOopfaDFq7dw8rtYrSfflp5FaAKgWSainEttRinCR6bGYsIxcjR2q (дата обращения: 13.05.2025).

3. Вендинг в 2025 году: как запустить прибыльный бизнес на автоматах [Электронный ресурс] // РБК – 22.04.2025 – URL: https://www.rbc.ru/industries/news/67e173f29a7947b186966e76 (дата обращения: 13.05.2025).

4. Бизнес, который работает за вас [Электронный ресурс] // БИФИТ.Касса – 06.02.2025 URL: https://kassa.bifit.com/news/kejsyi/biznes,-kotoryij-rabotaet-za-vas (дата обращения: 14.05.2025).

5. Из-за пандемии растет популярность вендинговых аппаратов в жилых домах [Электронный ресурс] // RG.ru – 03.08.2020 – URL: https://rg.ru/2020/08/03/iz-za-pandemii-rastet-populiarnost-vendingovyh-apparatov-v-zhilyh-domah.html (дата обращения: 14.05.2025).

6. Farmer’s Fridge: Meet The Vending Machines That Provide Farm-To-Fridge Freshness With Waste-Reducing Technology [Электронный ресурс] // Forbes – 07.12.2022 – URL: https://www.forbes.com/sites/moorinsights/2022/12/07/farmers-fridge-meet-the-vending-machines-that-provide-farm-to-fridge-freshness-with-waste-reducing-technology/ (дата обращения: 14.05.2025).

7. Разработан первый российский вендинговый автомат для выпечки и продажи пиццы [Электронный ресурс] // Kiosks.ru – 20.04.23 – URL: https://kiosks.ru/index.php/razrabotan-pervyj-rossijskij-vendingovyj-avtomat-dlya-vypechki-i-prodazhi-piccy/ (дата обращения: 14.05.2025).

8. *Томилко А*. Предприниматель из Казани разработал вендинговый аппарат для готовых пельменей [Электронный ресурс] // vc.ru – 18.04.2023 – URL: https://vc.ru/food/669331-predprinimatel-iz-kazani-razrabotal-vendingovyi-apparat-dlya-gotovyh-pelmenei (дата обращения: 14.05.2025).

9. 15 Vending Machine Profit Statistics That Will Make Your Day [Электронный ресурс] // SmallBizGenius – 06.02.2024 – URL: https://www.smallbizgenius.net/by-the-numbers/vending-machine-profit-statistics (дата обращения: 15.05.2025).

10. *Бекмурзаев И.Д. Хажмурадова С.Д*. Вендинг как современный маханизм организации торговли [Электронный ресурс] // eLIBRARY.ru – 25.07.2020 – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43153981 (дата обращения: 15.05.2025).

HOT FOOD AUTOMATION: COMPARATIVE ANALYSIS OF VENDING SOLUTIONS AND TRADITIONAL CATERING

Kuzmin A.K.

Supervisor: Sergeev N.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. The article analyzes the differences between automated vending solutions and traditional catering. Economic, organizational and sanitary aspects, as well as user experience, are studied. It is concluded that vending solutions are advantageous in terms of automation and scalability, while traditional catering is superior in terms of variety and quality of dishes.

УДК 338.2:658

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА И ИНЖИНИРИНГА НА ФОРМИРОВАНИЕ НОВЫХ РЫНКОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Куманяева Д.Р.
Научный руководитель: Уразбахтина Л.Р., доцент, к. э. н.
(Казанский государственный энергетический университет, г. Казань)

Аннотация. В статье рассмотрена сущность технологического предпринимательства и инжиниринга в промышленном секторе. Изучены драйверы изменений: технологические прорывы как основа для новых рынков. Выделены механизмы формирования новых рынков.

Современная промышленность переживает беспрецедентную трансформацию, движимую слиянием передовых технологий, предпринимательской инициативы и инженерного гения. Традиционные отрасли, от машиностроения и энергетики до химической промышленности и фармацевтики, сталкиваются не только с необходимостью модернизации, но и с появлением принципиально новых рыночных возможностей. В центре этого процесса находятся технологическое предпринимательство и инжиниринг, выступающие в качестве ключевых катализаторов создания и развития новых рынков. Этот симбиоз — способность видеть и воплощать в жизнь инновационные коммерческие идеи (предпринимательство) и глубокое понимание технических принципов, проектирование и реализация сложных решений (инжиниринг) — формирует облик промышленности будущего.

Технологическое предпринимательство в промышленности существенно отличается от своего аналога в потребительском секторе. Оно сосредоточено на создании и выводе на рынок продуктов, услуг или процессов, основанных на прорывных или существенно улучшенных технологиях, способных решать сложные промышленные задачи, повышать эффективность, снижать издержки, улучшать качество или открывать новые возможности для производства. Это не просто стартапы; это предприятия, чья основная ценность и конкурентное преимущество заключаются в научно-технических инновациях, часто требующих глубоких знаний в области материаловедения, механики, электроники, химии, компьютерных наук и их пересечений. Такие предприниматели действуют на стыке высокого риска (связанного с разработкой и внедрением новых технологий) и потенциально очень высокой отдачи (за счёт создания значительной добавленной стоимости и захвата новых рыночных ниш) [1].

Инжиниринг в этом контексте выступает не как вспомогательная функция, а как двигатель инновационного процесса. Это систематическое применение научных и технических знаний для проектирования, разработки, тестирования, внедрения и оптимизации технологических решений. В условиях формирования новых промышленных рынков инжиниринг приобретает особую значимость: он превращает абстрактные научные открытия или предпринимательские идеи в рабочие прототипы, масштабируемые производственные процессы и надёжные промышленные продукты. Современный промышленный инжиниринг — это мультидисциплинарная деятельность, объединяющая традиционные инженерные дисциплины с цифровыми инструментами (CAD/CAE/CAM, системы управления жизненным циклом изделия — PLM), методами моделирования, наукой о данных и принципами устойчивого развития.

Формирование новых промышленных рынков невозможно представить без фундаментальных технологических сдвигов, которые создают почву для предпринимательской активности и инженерного творчества. Ключевые технологические тренды, выступающие в качестве катализаторов, включают индустриальный интернет вещей (IIoT), то есть встраивание датчиков, подключение оборудования и систем к сети, сбор и анализ данных в режиме реального времени открыли колоссальные возможности. Предприниматели видят здесь потенциал для создания рынков предиктивного обслуживания (предотвращение поломок), оптимизации энергопотребления, управления цепочками

поставок в режиме реального времени, мониторинга качества продукции и создания «цифровых двойников» (Digital Twins) — виртуальных копий физических активов для моделирования и оптимизации. Инжиниринг обеспечивает разработку датчиков, коммуникационных протоколов, платформ для анализа данных и интеграцию всего этого в существующие промышленные системы. Аддитивное производство (3D-печать): переход от субтрактивных (удаление материала) к аддитивным (послойное наращивание) методам коренным образом меняет логику производства. Искусственный интеллект и машинное обучение (ИИ/МО), это анализ больших объемов промышленных данных позволяет выявлять скрытые закономерности, автоматизировать принятие решений и оптимизировать процессы на невиданном ранее уровне. Передовые материалы, разработка новых материалов (композитов, наноматериалов, «умных» материалов, биоматериалов) открывает возможности для создания продуктов с принципиально новыми свойствами (более легких, прочных, функциональных, устойчивых). Это формирует рынки самих материалов, а также продуктов и компонентов, использующих их преимущества (например, в авиации, автомобилестроении, электронике, медицине). Инжиниринг обеспечивает проектирование с учетом свойств новых материалов, разработку процессов их производства и обработки [2].

Технологическое предпринимательство и инжиниринг сложным образом взаимодействуют, формируя новые промышленные рынки посредством нескольких ключевых механизмов.

Выявление и удовлетворение скрытых потребностей: предприниматели, часто имеющие техническое образование или тесно сотрудничающие с инженерами, выявляют неочевидные проблемы промышленных заказчиков или неэффективность существующих процессов. Затем инженеры преобразуют это понимание в конкретные технологические решения. Например, потребность в сокращении простоев оборудования привела к появлению рынка платформ предиктивного обслуживания на базе IIoT и ИИ, где инженеры обеспечивают надежность алгоритмов и интеграцию с промышленным оборудованием.

Снижение входных барьеров и создание спроса; инновационные технологии, внедряемые предпринимателями, часто делают возможными продукты или услуги, которые ранее были экономически нецелесообразными или технически невозможными. Аддитивное производство, например, снизило барьеры для производства сложных деталей малыми сериями, создав новый рынок для специализированных производственных хабов и услуг по проектированию для 3D-печати. Инжиниринг здесь решает задачи масштабирования и обеспечения качества новых производственных процессов. Технологические инновации размывают традиционные границы между отраслями. Компании из сферы ИТ (например, разработчики ПО) активно выходят на промышленные рынки с решениями для цифровизации, а традиционные производители оборудования становятся поставщиками цифровых сервисов. Предпринимательские инициативы часто фокусируются на создании платформ (IIoT-платформы, маркетплейсы промышленного оборудования, цифровые двойники как сервис), которые объединяют различных игроков (производителей оборудования, разработчиков ПО, сервисные компании, конечных заказчиков) в новые экосистемы. Инжиниринг критически важен для разработки архитектуры таких платформ, обеспечения их совместимости, надежности и безопасности [3].

Инжиниринг является неотъемлемой частью процесса превращения предпринимательской идеи в реальный промышленный продукт или услугу на новом рынке. Его роль многогранна, это переход от лабораторного прототипа к коммерчески жизнеспособному промышленному продукту — самый рискованный этап. Инжиниринг решает задачи масштабирования технологии, обеспечения воспроизводимости, надежности, соответствия стандартам и нормам, оптимизации для серийного производства и снижения себестоимости. Без глубокого инжиниринга большинство технологических стартапов не смогли бы выйти на рынок. Также сюда относится системная интеграция, поскольку новые технологии редко внедряются изолированно. Инжиниринг обеспечивает интеграцию инновационных решений в сложные существующие промышленные системы и

инфраструктуру, минимизируя риски и издержки перехода. Также сюда входит обеспечение качества и надежности: на промышленных рынках, особенно в критически важных отраслях (аэрокосмическая, энергетическая, медицинская), требования к качеству, надежности и безопасности исключительно высоки. Инжиниринг разрабатывает и внедряет системы контроля качества, методы тестирования, протоколы валидации и обеспечения надежности на всех этапах жизненного цикла продукта [4].

Формирование новых промышленных рынков под влиянием технологического предпринимательства и инжиниринга не происходит в вакууме. Оно зависит от благоприятной институциональной среды: развитие технологических промышленных стартапов требует значительных долгосрочных инвестиций (венчурный капитал, корпоративные венчурные фонды, государственные гранты и программы поддержки), наличие специализированной инфраструктуры, такой как Fab Labs, центры прототипирования, испытательные полигоны (testbeds), технопарки, ускорители промышленных технологий, значительно снижает барьеры для стартапов, регуляторные требования (безопасность, экология, стандарты) могут как стимулировать (создавая спрос на «зеленые» технологии), так и тормозить (длительные процессы сертификации) развитие новых рынков.

Технологическое предпринимательство и инжиниринг находятся в эпицентре революции, которая меняет карту промышленных рынков. Их симбиоз — способность предпринимателей видеть и реализовывать коммерческий потенциал прорывных технологий, а инженеров — превращать идеи в надёжные, масштабируемые и эффективные промышленные решения — является главным двигателем этого процесса. Они не просто реагируют на технологические изменения; они активно создают их и формируют спрос на принципиально новые продукты, услуги и бизнес-модели.

Выявление скрытых потребностей промышленности, снижение входных барьеров благодаря новым технологиям, размывание границ между отраслями и создание экосистем на основе платформ, переход к сервисным моделям (XaaS) и массовая кастомизация — вот ключевые механизмы, с помощью которых этот дуэт формирует рынки будущего.

Успешное формирование этих новых рынков зависит не только от таланта предпринимателей и инженеров, но и от развитой институциональной среды: доступного финансирования для капиталоёмких проектов, специализированной инфраструктуры, сбалансированной регуляторной политики, наличия квалифицированных кадров с междисциплинарными знаниями и культуры, поддерживающей открытые инновации и сотрудничество между стартапами, корпорациями и наукой.

Последствия этого процесса масштабны: он стимулирует экономический рост, создает высококвалифицированные рабочие места, повышает глобальную конкурентоспособность регионов и стран, способствует решению глобальных экологических проблем, но в то же время требует адаптации рабочей силы к меняющимся требованиям. Конкуренция за лидерство в ключевых промышленных технологиях приобретает геополитическое измерение [5].

В перспективе влияние технологического предпринимательства и инжиниринга на формирование новых промышленных рынков будет только усиливаться. Такие тренды, как дальнейшая цифровизация (метавселенные для промышленности, квантовые вычисления), развитие синтетической биологии для производства материалов, совершенствование ИИ и робототехники, продолжат создавать почву для инноваций. Те, кто сможет эффективно объединить предпринимательское видение, инженерное мастерство и создать благоприятную экосистему, станут архитекторами и лидерами промышленности будущего, определяя не только экономический ландшафт, но и способы производства, потребления и решения глобальных проблем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Bailetti T.* Technology entrepreneurship: overview, definition, and distinctive aspects. Technology Innovation Management Review. 2020; 2 (2):5-12.

2. *Colovic A., Lamotte O.* Technological environment and technology entrepreneurship: a cross-country analysis. Creativity and Innovation Management. 2023; 24 (4):617-628.

3. *Venkataraman S*. Regional transformation through technological entrepreneurship. Journal of Business Venturing. 2024; 19 (1):153-167.

4. *Badzinska E. [et al.].* The concept of technological entrepreneurship: The example of business implementation. Entrepreneurial Business and Economics Review. 2023;4 (3):57-72.

5. *Корчагина И.В., Корчагин Р.Л., Сычева-Передеро О.В.* Оценка регионального научно-исследовательского задела в контексте диверсификации экономики на основе технологического предпринимательства. Актуальные проблемы экономики и менеджмента. 2021;(4):56-67.

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL ENTREPRENEURSHIP AND ENGINEERING ON THE FORMATION OF NEW MARKETS IN INDUSTRY

Kumanyaeva D.R.

Supervisor: Urazbakhtina L.R., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Kazan State Power Engineering University, Kazan)

Abstract. The article examines the essence of technological entrepreneurship and engineering in the industrial sector. The drivers of change are studied: technological breakthroughs as the basis for new markets. The mechanisms for the formation of new markets are highlighted.

УДК 331.5

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РЫНОК ТРУДА В РОССИИ: НОВЫЕ ПРОФЕССИИ И НАВЫКИ

Малкина Е.С.

Научный руководитель: Мустафина Г.Г., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В этой статье рассматривается влияние технологического предпринимательства на рынок труда в России, включая появление новых профессий и изменение требований к навыкам специалистов. Анализируются ключевые различия между традиционным и технологическим предпринимательством, а также роль инфраструктурных проектов, таких как GenerationS, в поддержке стартапов. Отмечены как позитивные эффекты, такие как гибкость и автоматизация, так и риски, связанные с ростом безработицы из-за роботизации.

Технологическое предпринимательство предполагает создание нового бизнеса, основанного на прорывных, наукоемких инновациях. В отличие от традиционного предпринимательства, здесь разработка продуктов и услуг неразрывно связана с применением новейших научных достижений и технологий, защищенных правами интеллектуальной собственности. Из-за сложности и уникальности создаваемых продуктов, требующих глубоких знаний, и опоры на интеллектуальный капитал, организация работы в таких компаниях часто строится по модели стартапа.

Вот ключевые различия технологического предпринимательства от традиционного:

1. Инновации как двигатель прогресса: Вместо того, чтобы реагировать на существующий спрос, технологическое предпринимательство создает его. Инновационные проекты формируют потребности общества и стимулируют технологическое развитие. Успех достигается за счет предложения эффективных и полезных технических новинок.

2. Ценность в новых качествах: В отличие от традиционного бизнеса, где важна оптимизация затрат, в технологическом предпринимательстве главное – создание принципиально новых свойств и характеристик продукта, технологии или структуры.

3. Польза прежде прибыли: Основная цель технологического предпринимательства – разработка полезного и ценного продукта, а не просто получение прибыли.

Россия существенно отстает от ведущих экономик мира по показателям предпринимательской активности и концентрации технологических компаний. Она занимает лишь 22-е место по общей численности. Для сравнения: Бостон превосходит Москву в 4,5 раза [1]. Именно поэтому в России, при активном участии федеральных и региональных властей, активно развивается инфраструктура поддержки технологического предпринимательства, включающая в себя платформы и финансовые инструменты. GenerationS – один из ключевых элементов этой систем. Он направлен на:

1. Соединение инновационных стартапов с крупными корпорациями. GenerationS выступает в роли моста, облегчая поиск и отбор перспективных проектов, организуя презентации и питч-сессии. Такое взаимодействие критически важно, поскольку поддержка со стороны крупного бизнеса значительно повышает шансы технологических компаний на финансовый успех.

2. Оказание помощи в запуске и развитии стартапов. GenerationS, совместно с университетами и технопарками, предлагает программы инкубации для начинающих проектов и акселерации для уже работающих компаний, нуждающихся в масштабировании. Это позволяет решить проблему нехватки ресурсов, знаний и связей, с которой часто сталкиваются технологические предприниматели, обладающие инновационными идеями, но не имеющие опыта в их реализации и продвижении на рынке.

3. Формирование благоприятной среды для развития стартапов. Для устойчивого роста технологического предпринимательства в России необходимо удерживать талантливых специалистов, развивать культуру предпринимательства и расширять доступ к финансированию для наукоемких предприятий. GenerationS вносит свой вклад в создание такой экосистемы.

Технологическое предпринимательство оказывает значительное влияние на российский рынок труда, приводя к его трансформации. Это проявляется в нескольких ключевых аспектах, например,

1. Возникновение новых профессий и форматов работы: Развитие цифровых технологий порождает спрос на специалистов, занимающихся их внедрением и обслуживанием в различных сферах.

2. Формирование гибкого и децентрализованного рынка труда: Дистанционная работа становится все более распространенной, размывая границы между работодателем и работником, а также позволяя работать из любой точки мира и в удобное время.

3. Повышение эффективности труда: Внедрение автоматизации и искусственного интеллекта позволяет компаниям оптимизировать производственные процессы и увеличивать объемы выпускаемой продукции при меньшем количестве персонала.

4. Расширение возможностей для удаленной работы: Компании могут нанимать сотрудников из разных регионов и стран, экономя на организации рабочих мест и аренде офисов.

Однако, наряду с позитивными изменениями, технологическое предпринимательство несет и определенные риски. Автоматизация и роботизация могут привести к сокращению рабочих мест, особенно в сфере ручного труда, и, как следствие, к росту безработицы.

Ранее я упоминала о том, что по мере развития технологического предпринимательства стали появляться новые профессии. За последний год число вакансий в сфере искусственного интеллекта выросло в четыре раза. Среди новых направлений — разметка данных, обслуживание агродронов и преподавание робототехники [2].

Так, согласно анализу «Авито Работы», представленные вакансии отражают изменения в современной рабочей среде. Например, разработчикам Telegram-ботов предлагается гибкий

график и работа с Python или Node.js. Для специалистов по разметке данных для искусственного интеллекта важны грамотность и базовые цифровые навыки, а необходимое обучение предоставляет компания. Помощники пилотов агродронов должны быть готовы к работе в полевых условиях, включая ночные смены и командировки.

В производственной сфере растет спрос на слесарей по обслуживанию роботов, операторов сварочных комплексов и специалистов по бережливому производству. Последним требуются не только профессиональные знания, но и владение офисными программами, графическими редакторами и 1С.

Некоторые вакансии открыты и для начинающих специалистов. Так, студенты могут стать преподавателями робототехники, пройдя предварительное обучение.

Эксперты отмечают, что рынок труда реагирует на потребности бизнеса, и в ближайшем будущем особенно ценными будут специалисты, сочетающие профессиональные знания с технологическими навыками.

Чтобы успешно создавать и развивать технологические стартапы, необходимо обладать широким спектром компетенций, охватывающих техническую, управленческую, коммуникационную и финансовую сферы. Технологический предприниматель должен не только глубоко разбираться в современных технологиях, но и уметь мыслить креативно, находить решения для сложных проблем и понимать, как технологические инновации влияют на бизнес-модели.

Технические навыки:

1. Программирование: Знание языков программирования, таких как Python, Java и SQL, позволяет автоматизировать процессы и эффективно обрабатывать большие объемы данных.
2. Анализ данных: Умение работать с данными, анализировать их и выявлять закономерности необходимо для принятия обоснованных решений и разработки эффективных стратегий.
3. Кибербезопасность: Понимание принципов кибербезопасности и умение использовать инструменты шифрования и контроля доступа к информации критически важно для защиты данных.
4. Облачные технологии: Навыки работы с облачными платформами обеспечивают гибкое и безопасное хранение данных, а также возможности для удаленной работы.
5. Искусственный интеллект и машинное обучение: Знание и применение технологий искусственного интеллекта и машинного обучения позволяет автоматизировать рутинные задачи и повысить эффективность бизнес-процессов.

Управленческие навыки:

1. Управление проектами: Способность эффективно планировать, организовывать и контролировать проекты, управлять ресурсами, соблюдать сроки и бюджет.
2. Стратегическое планирование: Умение разрабатывать долгосрочные стратегии, анализировать рынок и прогнозировать изменения для достижения целей компании.
3. Управление рисками: Способность выявлять, оценивать и минимизировать риски, которые могут повлиять на успех проектов.
4. HR-менеджмент: Знания в области управления персоналом, включая подбор, обучение и развитие сотрудников.

Коммуникационные навыки:

1. Активное слушание: Умение внимательно слушать собеседника, чтобы понять его точку зрения и потребности.
2. Эмпатия: Способность понимать и учитывать эмоциональное состояние собеседника при общении.
3. Структурированная речь: Умение четко и логично излагать свои мысли, представляя аргументы и выводы.
4. Адаптивность в общении: Способность адаптировать стиль и содержание коммуникации в зависимости от аудитории, контекста и целей взаимодействия.

То есть, это люди с конструкторским мышлением, прокачанные как в области инженерных знаний, так и предпринимательства. Они знают, как надо развивать производство, прогрессивно мыслят, умеют предсказывать будущее и делать на этом деньги. Типичные технологические предприниматели – Генри Форд, Томас Эдисон, Стив Джобс [3].

Технологических предпринимателей невозможно учить так же, как физиков и математиков. Тем не менее вузы пытаются готовить этих специалистов, так как государству и бизнесу нужны новые технологии и молодые кадры, которые способны создавать что-то новое [4].

Команда GenerationS выделила основные способы обучения технологическому предпринимательству. Во-первых, практика. Участие студентов в действующих, финансируемых проектах – эффективный способ развития предпринимательского мышления. Работа в команде над практическими задачами помогает формировать сплоченные коллективы, способные в будущем создать собственные компании. Во-вторых, с помощью менторов. Запуск и управление бизнесом – сложный процесс, требующий решения множества задач, помимо создания продукта. Менторство от экспертов отрасли помогает начинающим предпринимателям оптимизировать бизнес-процессы и сосредоточиться на ключевой деятельности.

Таким образом, в России технологическое предпринимательство – это относительно новая, но крайне важная сфера бизнеса. Она фокусируется на разработке инновационных решений, которые могут существенно улучшить жизнь людей и повысить эффективность бизнеса. Поддержка таких инновационных компаний и стимулирование новых стартапов имеет решающее значение для развития экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Технологическое предпринимательство. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: https://generation-startup.ru/media-center/news/103470/, (дата обращения 28.06.2025).

2. На рынке труда появляются профессии будущего – Коммерсантъ. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: https://www.kommersant.ru/doc/7852192, (дата обращения 01.07.2025).

3. Технологическое предпринимательство: программа, обучение, кем работать | Блог РАНХиГС. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: https://www.ranepa.ru/blog/novye-professii/chemu-uchat-na-programme-bakalavriata-tekhnologicheskoe-predprinimatelstvo-/?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru, (дата обращения 02.07.2025).

4. Что такое технологическое предпринимательство и как ему обучать. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: https://sberuniversity.ru/edutech-club/pulse/publication/40198/, (дата обращения 03.07.2025).

TECHNOLOGICAL ENTREPRENEURSHIP AND ITS IMPACT ON THE RUSSIAN LABOR MARKET: NEW PROFESSIONS AND SKILLS

Malkina E.S.

Supervisor: Mustafina G.G., Associate Professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article examines the impact of technological entrepreneurship on the Russian labor market, including the emergence of new professions and changing skill requirements. The key differences between traditional and technological entrepreneurship are analyzed, as well as the role of infrastructure projects such as GenerationS in supporting startups. Positive effects such as flexibility and automation were noted, as well as risks associated with rising unemployment due to robotics.

УДК 338.28

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ЦЕЛИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ: КАК ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ РОССИИ ЗАВИСИТ ОТ ПЕРЕХОДА СЫРЬЕВОЙ МОДЕЛИ К ИННОВАЦИОННОЙ

Малкина Е.С.
Научный руководитель: Мустафина Г.Г., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

Аннотация.. В этой статье рассматривается эволюция понятия суверенитета и актуальность концепции технологического суверенитета как способности государства обеспечивать независимость через развитие и применение передовых технологий. Анализируются ключевые направления его достижения, включая развитие критических и сквозных технологий, а также системные вызовы, сдерживающие инновационное развитие отечественной промышленности. В заключение предлагается комплекс стратегических мер для перехода к экономике знаний, охватывающий инвестиционную политику, развитие человеческого капитала и укрепление международного сотрудничества.

Изначально термин "суверенитет" был прерогативой политической науки, обозначая абсолютную власть государства внутри своих границ, его полную самостоятельность в принятии внутренних и внешних решений, а также признание этого статуса другими странами. При этом считалось, что суверенитет охватывает все сферы общественной жизни без выделения каких-либо отдельных направлений, будь то культура, духовность, экономика или оборона. В течение же последних десятилетий данный термин стал употребляться и применительно к отдельным сферам общественных отношений, например, распространилось понятие «экономический суверенитет» [4]. В свете глобальных технологических изменений в международных отношениях, в последнее время активно обсуждается и исследуется "технологический суверенитет", ставший предметом многочисленных работ как отечественных, так и зарубежных специалистов.

Так, технологический суверенитет – это способность государства развивать и использовать передовые технологии, которые являются основой его независимости и конкурентоспособности. Благодаря этим технологиям страна может самостоятельно организовывать производство в стратегически важных секторах экономики и общественной жизни.

За последние два десятилетия в ведущих экономиках мира технологический прогресс стал главным двигателем экономического роста и улучшения качества жизни. Новые технологии повышают эффективность существующих бизнес-процессов и создают новые рынки. Они также играют решающую роль в привлечении инвестиций и увеличении рыночной стоимости компаний. При этом основными средствами для обеспечения роста капитализации бизнеса являются создание и оборот результатов интеллектуальной деятельности в сфере новых технологий [1]. Следовательно, инновационная деятельность компаний, особенно в технологической сфере, является залогом их конкурентоспособности и будущего развития. Отсутствие инноваций в бизнесе неизбежно ведет к потере рынков, падению производительности и оттоку талантов.

Для достижения технологического суверенитета государство фокусируется на двух ключевых направлениях:

1. Развитие и применение критически важных и сквозных технологий: это включает в себя исследования, разработку и внедрение технологий, определенных как приоритетные.

2. Производство высокотехнологичной продукции: создание продукции, основанной на этих передовых технологиях.

Важным элементом обеспечения технологического суверенитета является также сотрудничество в научно-технической сфере с дружественными странами.

В настоящее время ведется работа над законом о технологической политике, который призван закрепить принципы развития технологий до 2030 года и фактически стать основой для реализации технологического суверенитета.

Национальные технологические приоритеты направлены на обеспечение собственного контроля над воспроизводством критических и сквозных технологий. Это реализуется через два типа проектов:

Мегапроекты: направлены на решение актуальных производственных задач и создание системно значимой высокотехнологичной продукции. Примеры включают станкостроение, микроэлектронику, беспилотные системы, дизелестроение, химию, медицинскую технику, фармацевтику, биоинженерию и биотехнологии – технологии, без которых невозможно развитие отечественной промышленности.

Проекты сквозных технологий: это прорывные технологии, которые будут формировать производственные системы в будущем, на годы и даже десятилетия вперед. К ним относятся искусственный интеллект, новые материалы с заданными или программируемыми свойствами, накопители энергии нового поколения, 6G-сети, системы связи и космические системы.

Технологические приоритеты определяются двумя основными направлениями:

- Сквозные технологии формируются на основе научных прогнозов (форсайта).
- Критические технологии обусловлены потребностью страны в производстве ключевых высокотехнологичных продуктов, таких как микроэлектроника, станки, турбины и аналогичные системы.

Оба типа проектов направлены на достижение технологического суверенитета. Согласно "Концепции технологического развития до 2030 года", это «проекты полного инновационного цикла по производству высокотехнологичной продукции на основе собственных линий разработки с использованием критических и сквозных технологий, охватывающие все стадии инновационного цикла и включающие в том числе кадровые и регуляторные аспекты» [2].

Несмотря на значительные усилия в отечественной промышленности, сохраняются серьезные вызовы. К ним относятся низкое качество и высокая себестоимость продукции, недостаточная рентабельность, дефицит инвестиций и оборотных средств, устаревшее оборудование и технологии, нехватка квалифицированных кадров, а также социальная напряженность. Кроме того, существуют проблемы с нормативно-правовым регулированием, неэффективными финансовыми инструментами, высокими рисками и коррупцией. Большинство отечественной продукции не соответствует международным стандартам, что тормозит экономический рост. Главным препятствием на пути перехода к инновационной модели развития является слабая ориентация на структуру "предприятие-возможности".

Разрыв в цепочке создания стоимости создает серьезные препятствия для реализации инновационного продукта. Хотя точки соприкосновения интересов существуют, это не приводит к созданию готового продукта.

Государство имеет инновационные центры - «Сколково», «Роснано» и «РВК», интегрирующих звенья цепи на пути создания инновационных продуктов. Но процент коммерциализации и массового выпуска нанопродукции слишком низок [3].

Для перехода к новой экономике необходимо разработать новую конкурентную модель, ориентированную на развитие отечественного производства, снижение затрат и улучшение социальной сферы. Инновации должны стать главным двигателем экономического роста России.

Продолжая мысль, можно сказать, что разработка и реализация комплекса стратегического развития России на долгосрочную перспективу является критически важным шагом для достижения устойчивого экономического роста и повышения благосостояния населения. Этот комплекс должен включать в себя:

- Четкое определение приоритетных направлений развития. Необходимо сфокусироваться на тех отраслях и технологиях, которые имеют наибольший потенциал для

создания добавленной стоимости и повышения конкурентоспособности российской экономики на мировом рынке. Это могут быть, например, информационные технологии, биотехнологии, нанотехнологии, новые материалы, возобновляемая энергетика и другие.

- Создание благоприятной инвестиционной среды. Для привлечения инвестиций в приоритетные отрасли необходимо обеспечить стабильность законодательства, защиту прав собственности, снижение административных барьеров и развитие финансовой инфраструктуры. Важно также стимулировать инвестиции в научные исследования и разработки, а также в подготовку квалифицированных кадров.

- Развитие инновационной экосистемы. Необходимо создать условия для активного взаимодействия между наукой, образованием и бизнесом. Это включает в себя поддержку стартапов, создание технопарков и бизнес-инкубаторов, а также развитие механизмов трансфера технологий из научных организаций в промышленность.

- Совершенствование системы государственного регулирования. Государственное регулирование должно быть направлено на стимулирование конкуренции, поддержку инноваций и защиту прав потребителей. Важно также обеспечить прозрачность и предсказуемость государственной политики, а также снизить коррупцию.

- Развитие человеческого капитала. Для успешной реализации стратегии развития необходимо обеспечить высокий уровень образования и квалификации населения. Это включает в себя модернизацию системы образования, развитие профессиональной подготовки и переподготовки кадров, а также создание условий для привлечения и удержания, талантливых специалистов.

- Укрепление международного сотрудничества. Россия должна активно участвовать в международном сотрудничестве в области науки, технологий и инноваций. Это позволит обмениваться опытом и знаниями, привлекать иностранные инвестиции и расширять рынки сбыта для российской продукции.

Реализация этих мер позволит России перейти от сырьевой экономики к экономике знаний, обеспечить устойчивый экономический рост и повысить благосостояние населения. Важно, чтобы стратегия развития была гибкой и адаптировалась к изменяющимся условиям, а также чтобы ее реализация осуществлялась на основе широкого общественного обсуждения и участия всех заинтересованных сторон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Концепция технологического университета. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: https://books.econ.msu.ru/Economics-of-innovation/sect04/chap18/18.1/18.1.1/ (дата обращения 21.08.2025).

2. Концепция технологического университета. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: https://books.econ.msu.ru/Economics-of-innovation/sect04/chap18/18.1/18.1.1/ (дата обращения 21.08.2025).

3. Проблемы и пути развития перехода России от сырьевой модели к инновационной. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: https://naukovedenie.ru/PDF/58EVN217.pdf (дата обращения 23.08.2025).

4. Технологический суверенитет: сущность, цели и механизм достижения. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: https://1economic.ru/lib/122986 (дата обращения 20.08.2025).

NATIONAL GOALS AND TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY: HOW RUSSIA'S ECONOMIC GROWTH DEPENDS ON THE TRANSITION FROM A RAW MATERIAL MODEL TO AN INNOVATIVE ONE

Malkina E.S.

Supervisor: Mustafina G.G., Associate Professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article examines the evolution of the concept of sovereignty and the relevance of the concept of technological sovereignty as the ability of a state to ensure independence through the development and application of advanced technologies. The key areas of its achievement are analyzed, including the development of critical and end-to-end technologies, as well as systemic challenges constraining the innovative development of the domestic industry. In conclusion, a set of strategic measures for the transition to a knowledge economy is proposed, covering investment policy, human capital development and strengthening international cooperation.

УДК 338.2:658

ВЛИЯНИЕ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПРОГРАММ ПОДДЕРЖКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА НА ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Марочкина О.К.
Научный руководитель: Уразбахтина Л.Р., доцент, к. э. н.
(Казанский государственный энергетический университет, г. Казань)

Аннотация. В статье рассмотрен важнейший мост между технологическим предпринимательством и промышленностью, а именно механизмы стимулирования спроса и кооперации. Изучено будущее эффективности государственных программ поддержки технологического предпринимательства в контексте инновационного развития промышленности.

В глобальной экономике XXI века, где скорость технологического прогресса является ключевым фактором конкурентоспособности, инновационное развитие промышленности перестает быть просто желательным – оно становится вопросом выживания и процветания наций. Однако путь от рискованной технологической идеи до ее успешной коммерциализации в рамках промышленного сектора полон преград: высокие издержки НИОКР, дефицит финансирования на ранних стадиях, сложности масштабирования, поиск промышленных партнеров для пилотирования и внедрения.

Именно здесь на сцену выходят государственные программы поддержки технологического предпринимательства. Их основная миссия – создать благоприятную экосистему, где дерзкие технологические идеи могут не только родиться, но и вырасти в зрелые решения, способные трансформировать традиционные отрасли промышленности. Влияние этих программ на инновационное развитие промышленности – многогранный процесс, сочетающий прямой эффект финансирования с созданием связей, снижением рисков и формированием культуры инноваций [1].

Стартовой точкой большинства государственных инициатив является финансирование ранних стадий технологического развития. Без «стартового капитала» многие прорывные технологии просто не дожили бы до стадии, когда появляется коммерческий интерес. Влияние на промышленность здесь косвенное, но фундаментальное: государство берет на себя риски финансирования радикально новых идей, которые в будущем, после доработки и масштабирования, могут стать основой для модернизации производственных процессов, создания новых материалов, энергоэффективных решений или цифровых платформ для управления промышленными активами. Это инвестиции в будущий технологический ландшафт промышленности, закладывающие основу для инновационного рывка через 5-10 лет.

Однако финансирование – лишь один инструмент. Современные программы все чаще делают ставку на комплексную поддержку экосистемы. Технопарки, бизнес-инкубаторы и акселераторы (типа «Сколково», «Иннополис» в России, мировых лидеров вроде Station F во Франции) предоставляют стартапам не только офисные помещения по льготным ставкам, но и нечто гораздо более ценное: инфраструктуру (лаборатории, испытательные стенды,

вычислительные мощности), экспертизу (юридическую, финансовую, патентную, маркетинговую) и доступ к сетям контактов. Именно эта инфраструктурная и экспертная поддержка критична для преодоления «долины смерти» и выхода на рынок.

Для промышленности значение этой поддержки огромно. Стартапы, прошедшие акселерацию или работающие в технопарке, выходят на рынок с более зрелым продуктом, продуманной бизнес-моделью и установленными контактами. Это снижает риски для промышленных предприятий, рассматривающих возможность внедрения инновационных решений. Технопарки, расположенные вблизи промышленных кластеров или университетов, становятся естественными хабами для генерации и тестирования идей, непосредственно применимых в местной промышленности, стимулируя региональную инновационную специализацию [2].

Важнейшим мостом между технологическим предпринимательством и промышленностью являются механизмы стимулирования спроса и кооперации. Государство осознает, что даже самые передовые технологии могут умереть без первых заказчиков и пилотных проектов. Поэтому все чаще используются инструменты:

- Государственные закупки инноваций. Установление квот или приоритетов для закупки государством (включая госкомпании и естественные монополии) инновационной продукции у стартапов и МИПов. Это создает гарантированный начальный рынок сбыта, позволяет отработать технологию в реальных условиях, доказать ее эффективность и привлекательность для частных промышленных заказчиков. Например, закупка энергоэффективного оборудования для госучреждений или внедрение софтверных решений от стартапов в госсекторе.

- Пилотные проекты и тестовые полигоны. Финансирование совместных проектов между стартапами и промышленными предприятиями для апробации новых технологий непосредственно на производстве. Государство выступает как соинвестор, разделяя риски с промышленным партнером. Создание специальных зон (например, «Умные кварталы» для тестирования городских технологий или промышленные полигоны) позволяет отработать технологии в контролируемой, но приближенной к реальности среде. Это резко снижает барьеры для промышленных предприятий, опасающихся сбоев в основном производстве при внедрении новшеств.

- Развитие инжиниринга. Поддержка организаций, специализирующихся на «переводе» лабораторных разработок в промышленно применимые решения, адаптации технологий под конкретные запросы промышленности. Это ключевое звено, зачастую недостаточно развитое.

Эти механизмы напрямую влияют на скорость и глубину инновационного обновления промышленности. Они сокращают путь от идеи до внедрения, делая промышленные предприятия более открытыми к сотрудничеству со стартапами, видя в них не абстрактных носителей идей, а реальных поставщиков проверенных решений.

Развитие человеческого капитала – еще одно критически важное направление воздействия государственных программ. Поддержка технологического предпринимательства не ограничивается деньгами и инфраструктурой. Это инвестиции в людей. Образовательные программы, хакатоны, конкурсы (типа «Цифровой прорыв», «Большие вызовы», «Студенческий стартап»), стипендии для исследователей-предпринимателей – все это формирует новое поколение специалистов, сочетающих глубокие технические знания с предпринимательским мышлением и пониманием рыночных реалий.

Для промышленности это означает приток кадров, способных не только эксплуатировать существующие технологии, но и генерировать новые идеи, видеть возможности для улучшений, работать на стыке дисциплин, управлять инновационными проектами внутри крупных корпораций. Государственные программы становятся «кузницей кадров» для инновационной экономики в целом, включая промышленный сектор, испытывающий острый дефицит таких компетенций. Культура предпринимательства, прививаемая через эти программы, заражает и традиционные промышленные предприятия, заставляя их пересматривать внутренние процессы управления инновациями [3].

Формирование инфраструктуры знаний и трансфера технологий также входит в орбиту государственной поддержки. Финансирование патентования, создание и поддержка баз данных технологических запросов промышленности и предложений науки/стартапов (технологические брокеры, платформы типа АСИ «Смартека»), поддержка центров коллективного пользования с уникальным оборудованием – все это снижает транзакционные издержки на поиск партнеров и технологий, ускоряет процесс трансфера разработок из лаборатории в цех. Промышленность получает более прозрачный доступ к новейшим достижениям, а стартапы – к пониманию реальных потребностей рынка. Это синергетический эффект, усиливающий инновационный потенциал всей экономики.

Косвенные эффекты через венчурный рынок также значимы. Государство часто выступает как «инвестор первого чека», не только напрямую финансируя стартапы через гранты, но и создавая фонды фондов (например, РВК в России, Bpifrance во Франции), которые инвестируют в венчурные фонды, те, в свою очередь, – в стартапы. Это стимулирует развитие всего венчурного рынка, привлекает частный капитал в высокорисковые технологические проекты. Успешные стартапы, выросшие при поддержке государства и привлекая частные венчурные инвестиции, впоследствии могут быть приобретены крупными промышленными холдингами (корпоративный венчур), стать их R&D подразделениями или ключевыми поставщиками инновационных компонентов и решений. Таким образом, государственная поддержка на ранних этапах косвенно финансирует будущие инновации крупного промышленного бизнеса через механизмы M&A (слияний и поглощений) и партнерства [4].

Будущее эффективности государственных программ поддержки технологического предпринимательства в контексте инновационного развития промышленности видится в следующих направлениях:

- Смещение фокуса на спрос: усиление инструментов, стимулирующих спрос на инновации со стороны промышленности (пилоты, закупки), а не только предложение технологий;
- Развитие «тяжелого» инжиниринга: целенаправленная поддержка организаций, способных превратить лабораторную разработку в промышленно-применимое, надежное и масштабируемое решение;
- Глубокая интеграция в отраслевые стратегии: увязка программ поддержки предпринимательства с приоритетами развития конкретных отраслей промышленности (авто, авиа, энергетика, фарма), фокусировка на решении их конкретных технологических вызовов;
- Акцент на трансфер технологий и коммерциализацию: переориентация части ресурсов с финансирования НИР на стадии внедрения и масштабирования, развитие компетенций по выводу продуктов на рынок;
- Гибкость и адаптивность: создание программ, способных быстро реагировать на меняющиеся технологические тренды и вызовы, использование agile-подходов в управлении грантами [5];
- Повышение роли данных и аналитики: использование больших данных и ИИ для оценки эффективности программ, выявления перспективных направлений и талантов, прогнозирования технологических трендов;
- Стимулирование корпоративного предпринимательства (интрапренерства): поддержка программ внутри крупных промышленных компаний, направленных на развитие инноваций силами их сотрудников, и создание каналов взаимодействия таких программ с внешними стартапами.

Государственные программы поддержки технологического предпринимательства являются мощным, хотя и сложным, инструментом воздействия на инновационное развитие промышленности. Их влияние далеко не ограничивается прямым финансированием стартапов. Это влияние проявляется через создание и поддержку всей инновационной экосистемы: от подготовки кадров и формирования инфраструктуры до стимулирования спроса на инновации и развития рынка венчурного капитала. Они выступают катализатором, снижая риски на

самых уязвимых ранних стадиях, создавая мосты между смелыми идеями предпринимателей и консервативным миром промышленного производства [6].

Однако максимальная эффективность достигается только при условии преодоления ключевых вызовов: фокусировки не только на создании технологий, но и на их внедрении в промышленность; связке программ с реальными отраслевыми потребностями; снижении бюрократической нагрузки; развитии критически важной инжиниринговой прослойки; и создании адекватных метрик оценки долгосрочного вклада в промышленное развитие. Будущее таких программ лежит в их большей ориентации на спрос, гибкости, глубокой интеграции в отраслевые стратегии и использовании данных для повышения эффективности.

В конечном счете, успешные государственные программы поддержки технологического предпринимательства – это не просто «раздача денег», а стратегические инвестиции в создание живой, динамичной инновационной среды. Это среда, где рождаются и крепнут компании, способные снабжать промышленность не просто новыми продуктами, а принципиально новыми возможностями – для повышения эффективности, конкурентоспособности, устойчивости и, в конечном итоге, для формирования промышленности будущего, которая определяет экономическое лидерство нации в глобальном мире. Инновации, рожденные в лабораториях стартапов при государственной поддержке, сегодня завтра становятся двигателем прогресса на заводах и фабриках, трансформируя саму суть промышленного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон «Об инновационных научно-технологических центрах и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (2017, 31 июля) от 29.07.2017 // Собрание законодательства РФ, 31.07.2017, № 31 (Часть I), ст. 4765. (№ 216-ФЗ).

2. The Positive Effect of Public Investment on Potential Growth // Economics Department Working Papers. 2023 No. 1347. https://www.oecd.org/economy/public-finance/The-positive-effect-of-public-investment-on-potential-growth.pdf (дата обращения 21.06.2025).

3.*Рыкова И.Н., Рыков Г.К.* Обзор бюджетных расходов как инструмент повышения эффективности // Креативная экономика. 2021 Т. 15 № 4 С. 1275-1294.

4. Expenditure as a Tool to Increase the Effectiveness // Kreativnaya ekonomika, 2021 Vol. 15 No. 4 Pp 1275-1294. DOI: 10.18334/ce.15.4.111971. (In Russ.)].

5. *Уразбахтина Л.Р.* Agile и Lean как драйверы стратегических изменений: инновационные подходы к управлению бизнесом / Л. Р. Уразбахтина, Н. Т. Ханов // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2025. – Т. 11, № 5(158). – С. 57-62.

6. *Богачева О.В., Смородинов О.В.* Обзоры бюджетных расходов: опыт стран ОЭСР и перспективы для России // Мировая экономика и международные отношения. 2023. № 3. С. 59-67.

THE IMPACT OF STATE SUPPORT PROGRAMS FOR TECHNOLOGICAL ENTREPRENEURSHIP ON THE INNOVATIVE DEVELOPMENT OF INDUSTRY

Marochkina O.K.

Supervisor: Urazbakhtina L.R., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Kazan State Power Engineering University, Kazan)

Abstract. The article discusses the most important bridge between technological entrepreneurship and industry, namely the mechanisms of stimulating demand and cooperation. The future effectiveness of government programs to support technological entrepreneurship in the context of innovative industrial development has been studied.

УДК 332.012.2

ИНЖИНИРИНГ КАК ФАКТОР КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ

Минеева П.А., Загриева А.Р.
Научный руководитель: Любавин А.Ю.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В условиях научно-технического прогресса и инновационного экономического развития инжиниринговая деятельность стала ключевым компонентом сферы услуг. Формирование всемирного рынка инженерного консалтинга произошло благодаря динамичному увеличению международных транзакций в области торговли инженерными и консультационными услугами. В данной статье рассматривается инжиниринг как фактор конкурентоспособности инновационной экономики и анализируется отечественный инжиниринг.

В современном мире инновационные экономические системы стремятся к созданию высокотехнологичных продуктов для обеспечения своей конкурентоспособности. Инжиниринг выступает ключевым фактором в достижении этого преимущества. Изучение перспектив российского рынка инжиниринговых услуг приобретает особую важность, учитывая их глобальное распространение, экономическую и экологическую значимость, а также повсеместное внедрение в развитых государствах.

Фундаментальным элементом развития национальной инфраструктуры, промышленного сектора и экономики в целом является сфера инжиниринговых услуг. Деятельность этой динамично развивающейся отрасли включает в себя полный цикл таких работ, как проектирование, строительство и модернизация объектов различного назначения, начиная от жилых комплексов и транспортных магистралей и заканчивая промышленными предприятиями и энергетическими объектами [6].

Рассмотрим более подробно динамику объема рынка инжиниринговых услуг в России за последние 5 лет (Рис.1.).

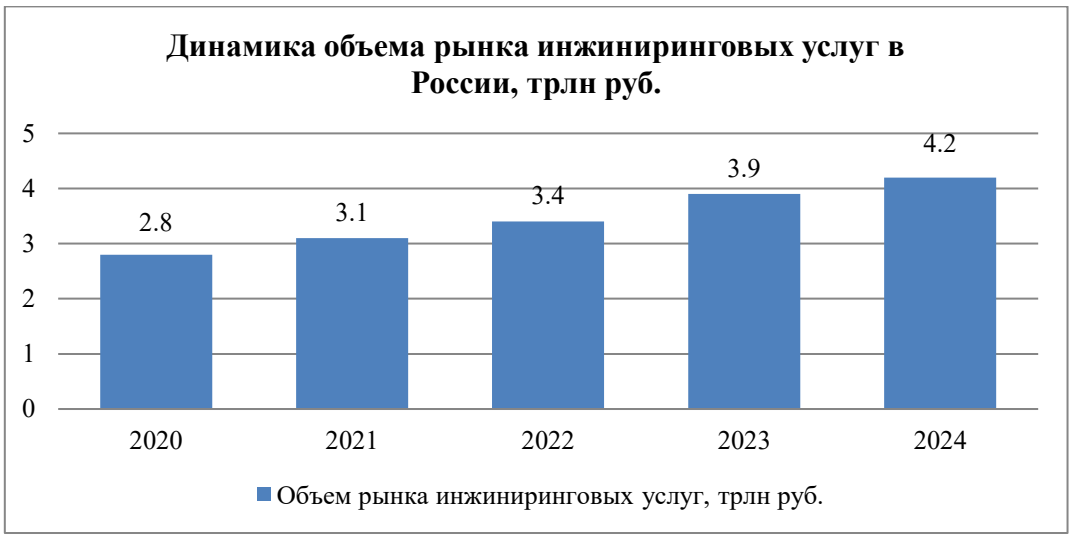


Рис.1. Динамика объема рынка инжиниринговых услуг в России за последние 5 лет

За последние пять лет объем российского рынка инжиниринговых услуг продемонстрировал рост на 50%, что в абсолютном выражении составило 4,2 трлн рублей по итогам 2024 года. Такую динамику определили несколько факторов [4]:

- государственные инвестиции, нацпроекты, инфраструктурные кредиты,
- переход на отечественное ПО и оборудование,

– цифровизация: рост доли BIM- и AI-решений в инжиниринге,
– переориентация на Азию и Ближний Восток.

Потребность в предоставлении комплексных услуг от консультирования до ввода объектов в эксплуатацию стимулировала рост инжиниринговой сферы. Инженерное дело выделяется на фоне лицензий, ноу-хау и других услуг рядом характерных черт. Множество отраслей, где востребован данный продукт, объясняет широкий спектр инжиниринговых предложений. Среди ключевых особенностей инжиниринга следует отметить его коммерческую направленность, способность к воспроизведению и практическую пользу, которая проявляется при интеграции услуги в производственные процессы.

Современная экономика демонстрирует тенденцию к усложнению классификации инжиниринговых услуг, что обусловлено их растущей ценностью и масштабами. Ведущие международные компании в этой области всё чаще практикуют комплексный подход, предлагая полный спектр услуг на всех этапах реализации проекта – от подготовительной стадии до завершающей фазы. Структурные подразделения, специализирующиеся на проектной документации, являются неотъемлемой частью крупных транснациональных инжиниринговых корпораций. В то же время, узкоспециализированный технический инжиниринг становится редкостью – лишь незначительное количество фирм продолжает концентрироваться исключительно на этой нише рынка.

В настоящее время спектр инженерно-консультационных услуг, предоставляемых инжиниринговыми компаниями, довольно широк и соответствует практически всему разнообразию задач, возникающих при разработке и реализации инвестиционных проектов. В связи с этим наблюдается специализация инжиниринговых компаний. Условно их можно объединить в две категории: специализированные (предоставление инженерно-технических услуг) и промышленные (оказание инженерных услуг и производственная деятельность). В свою очередь специализированные инжиниринговые фирмы можно разделить на две группы: инженерно-консультационные и инженерно-строительные. Инженерно-консультационные фирмы предоставляют технические услуги в форме консультаций, не занимаясь ни производством, ни строительством. Инженерно-строительные фирмы предоставляют полный комплекс инженерно-технических услуг – это и проектирование объекта, а также поставка оборудования, монтаж, наладка и пуск оборудования в эксплуатацию. Среди инженерно-консультационных компаний имеется определенная специализация по видам предоставляемых инжиниринговых услуг и по отраслевой направленности - американские, английские, японские, итальянские фирмы оказывают преимущественно инженерно-строительные услуги в полном комплексе, между тем как у французских преобладают инженерно-консультационные услуги [1, 3].

В 2023 году, по итогам встречи с членами Общероссийской общественной организации «Деловая Россия», Президент Российской Федерации Владимир Путин поручил Правительству РФ разработать комплексную программу развития отечественного инжиниринга. Во исполнение поручения была подготовлена концепция, в которой названы основные барьеры развития (Таблица 1).

Таблица 1

Барьеры развития отечественного инжиниринга

Региональный уровень	Проблемы, решаемые на обоих уровнях	Федеральный уровень
Структурные проблемы		
Неразвитость институциональной среды и инфраструктуры для реализации деятельности МСП	Отсутствие современных программ подготовки и переподготовки инженеров и промышленных дизайнеров	Зависимость от иностранного инженерного оборудования и программного обеспечения

Неразвитость инфраструктуры для трансфера и локализации передовых технологий на межрегиональном и межотраслевом уровне	Низкий уровень дизайна и эргономичности новой продукции	Низкая коммерциализация РИД университетов и научных организаций
Финансовые проблемы		
Высокая стоимость аутсорсинга инжиниринговых услуг и промышленного дизайна	Высокая налоговая нагрузка на инжиниринговые компании	Ограниченное использование проектно-технологической, инженерной и научной инфраструктуры высших учебных заведений и научных организаций
Высокая стоимость инженерного программного обеспечения	Сложность получения кредитного финансирования (в т.ч. гарантий) инжиниринговыми компаниями	
Организационные проблемы		
Неосведомленность участников рынка о реализуемых мерах поддержки и возможностях инжиниринговых компаний	Отсутствие механизмов популяризации профессий инженера и промышленного дизайнера	Отсутствие механизмов отраслевой и межотраслевой кооперации участников рынка

Для развития отечественного инжиниринга предлагается [5]:

1. Совершенствование нормативно-правовой основы для развития отрасли;
2. Стимулирование спроса на инжиниринговые услуги и услуги промышленного дизайна;
3. Стимулирование предложения и развитие инфраструктуры отрасли;
4. Обеспечение межрегиональной кооперации для участников рынка;
5. Развитие системы подготовки кадров и популяризация отрасли.

Таким образом, инжиниринговые центры выступают ключевыми посредниками в современной инновационной экосистеме. Эффективность национальной экономики и её конкурентные преимущества напрямую зависят от разнообразия услуг, предоставляемых этими центрами. Сегодня процесс внедрения инноваций представляет собой сложный механизм, где взаимодействуют различные среды: научные институты и университеты генерируют знания, промышленность воплощает их в жизнь, а венчурные фонды и агентства обеспечивают поддержку. Для бесперебойной работы всей этой системы необходимы посредники, связывающие все элементы воедино.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Андрюшкевич О.А., Денисова И.М.* Инжиниринг как фактор конкурентоспособности инновационной экономики // Вестник ЦЭМИ. – 2018. – № 2. – С. 17.

2. *Влезкова В.И.* Инжиниринговая деятельность как фактор инновационного развития экономики / В.И. Влезкова // Высокие технологии и инновации в науке: Сборник избранных статей Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 28 марта 2021 года. – Санкт-Петербург: Частное научно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ», 2021. – С. 126-129. – DOI 10.37539/VT190.2021.48.11.007.

3. *Кобозева Е.М.* Россиийский рынок инжиниринговых услуг: проблемы и преспективы развития / Е.М. Кобозева, С.В. Марков // Молодежь и XXI век - 2022: Материалы 12-й Международной молодежной научной конференции. В 4-х томах, Курск, 17–18 февраля 2022 года / Отв. редактор М.С. Разумов. Том 1. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 161-166.

4. Комплексный инжиниринг: тенденции рынка, эффекты // URL: https://isource.com/news/kompleksnyj-inzhiniring (дата обращения: 20.06.2025).
5. Общероссийская общественная организация «Деловая Россия». Концепция комплексной программы развития отечественного инжиниринга: презентация // Центр «Мой бизнес»: URL: https://мойбизнес48.рф/antivirus/Деловая_Россия_Концепция_комплексной_программы_развития_инжиниринга.pdf (дата обращения: 27.06.2025).
6. Рынок инжиниринга в России: рост и новые тренды // URL: https://gidmark.ru/news/ryinok-inzhiniringa-v-rossii-rost-i-novyie-trendyi (дата обращения: 20.06.2025).
7. *Самышева Е.Ю.* Экономические аспекты использования электронных систем управления в промышленности / Е.Ю. Самышева, А.Н. Хуснутдинов, С.В. Шильников // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2024. – Т. 4, № 4(145). – С. 12-17. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2024.04.04.002. – EDN REALZW.

ENGINEERING AS A FACTOR OF COMPETITIVENESS IN THE INNOVATIVE ECONOMY

Mineeva P.A., Zagrieva A.R.
Supervisor: Lyubavin A.Yu.
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

Abstract. In the context of scientific and technological progress and innovative economic development, engineering has become a key component of the service sector. The global engineering consulting market has been formed due to the dynamic increase in international transactions in the field of trade in engineering and consulting services. This article examines engineering as a factor of the innovative economy's competitiveness and analyzes domestic engineering.

УДК 338.3

РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА МЕДИЦИНСКИХ И КОСМЕТИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВАТЫ КАК ЭЛЕМЕНТА ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ В ТУРКМЕНИСТАНЕ

Оразмухаммедова М.В.
Научный руководитель: Урядникова М.В., к. э. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье исследуется современное состояние и перспективы развития производства медицинских и косметических товаров в Туркменистане в рамках политики импортозамещения. Проведен анализ сырьевой базы, производственных возможностей, рыночного потенциала и экономической эффективности данного направления. Рассмотрены преимущества использования местного хлопкового сырья для производства высококачественной медицинской и косметической продукции и изделий на ее основе. Определены основные факторы, влияющие на развитие отрасли, и определены перспективные направления расширения ассортимента продукции. Предложены рекомендации по развитию производства и повышению его конкурентоспособности на внешних и внешних рынках. Дана оценка экономического эффекта от реализации стратегии импортозамещения в данном сегменте экономики Туркменистана.

Туркменистан, обладая преимуществами достижения результатов, имеет все предпосылки для развития производств глубокой переработки, включая выпуск медицинских и косметических изделий из ваты. Стратегия импортозамещения, реализуемая в стране, направлена на снижение в зависимости от импорта и развитие чистой производственной мощности в основных отраслях экономики [1].

Продукция медицинского и косметического назначения имеет важное значение как для систем здравоохранения, так и для потребительского рынка. При этом, несмотря на наличие

собственного качественного результата, часть данной продукции импортируется, что приводит к оттоку валютных средств и упущенным возможностям для развития национальной экономики [2].

Целью данного исследования является анализ возможностей развития производства медицинской и спортивной продукции в Туркменистане как элемента стратегии импортозамещения и определение оптимальных путей его реализации.

Производство медицинских и косметических изделий из ванн в Туркменистане представлено несколькими предприятиями, ключевым из которых является Ашхабадская фабрика по производству медицинских ванн и косметических товаров, запущенная в 2005 году [3]. Настоящее предприятие оснащено современным оборудованием и выпускает широкий ассортимент продукции, включая универсальную ванну, ватные диски, палочки и шарики [4].

Помимо этого, в стране функционируют и другие предприятия, производящие ватную продукцию постоянного назначения. К ним относятся хозяйственное общество «Ак харман», специализирующееся на производстве технических ватных изделий и нетканых материалов [5], и предприятие «Türkmeniň Rysgaly», запустившее в 2024 году производство хлопковой пряжи и ватной продукции [6].

Ассортимент выпускаемой продукции включает как стандартные изделия (медицинская вата, ватные диски, палочки, шарики), так и специализированные медицинские изделия (стерильные повязки, тампоны). При этом основная часть продукции соответствует стандартам качества, а виды продукции сертифицированы по международным стандартам, включая ISO 9001 и ГОСТ 5556-81 [7].

Анализ динамики производства и экспорта ватной продукции Туркменистана за период 2020-2025 гг. обеспечивает устойчивый рост как объемов производства, так и экспортных поставок (Таблица 1).

Таблица 1

Динамика производства и экспорта ватной продукции Туркменистана (2020-2025 гг.)

Год	Объем производства (тонн)	Темп роста в предыдущем году (%)	Объем экспорта (тонн)	Доля экспорта в общем объеме производства (%)	Основные страны-импортеры
2020	1850	-	320	17,3	Казахстан, Узбекистан, Иран
2021	2180	17,8	420	19,3	Казахстан, Узбекистан, Иран, Азербайджан
2022	2650	21,6	580	21,9	Казахстан, Узбекистан, Иран, Азербайджан, Россия
2023	3120	17,7	720	23,1	Казахстан, Узбекистан, Иран, Азербайджан, Россия, Армения
2024	3580	14,7	930	26,0	Казахстан, Узбекистан, Иран, Азербайджан, Россия, Армения, Киргизия
2025*	3900	8,9	1150	29,5	Казахстан, Узбекистан, Иран, Азербайджан, Россия, Армения, Киргизия, Афганистан

Прогнозные данные на 2025 год. Источники: [8, 9]

Как видно из представленных данных, за рассматриваемый период объем производства ватной продукции в Туркменистане увеличится более чем в 2 раза – с 1850 тонн в 2020 году до прогнозируемых 3900 тонн в 2025 году. При этом наблюдается постепенное снижение темпов роста производства с 21,6% в 2022 году до прогнозируемых 8,9% в 2025 году, что свидетельствует о постепенном насыщении внутреннего рынка и необходимости активного развития экспортного направления.

Объем экспорта за рассматриваемый период увеличится более чем в 3,5 раза – с 320 тонн в 2020 году до прогнозируемых 1150 тонн в 2025 году. Доля экспорта в общем уровне производства также обеспечивает устойчивый рост – с 17,3% в 2020 году до прогнозируемых 29,5% в 2025 году, что свидетельствует о повышении конкурентоспособности туркменской продукции на международных рынках.

География экспорта туркменской ватной продукции постепенно расширяется. Если в 2020 году возможными импортерами будут только Казахстан, Узбекистан и Иран, то к 2025 году экспортные поставки будут осуществляться уже в 8 странах, включая Россию, Армению, Киргизию и Афганистан. Это свидетельствует о растущем признанном качестве туркменской продукции на региональных рынках.

Хатамзаде Х. отмечается, что «туркменское предприятие расширило производство медицинских и технических ванн» [10], что подтверждено статистическими данными. В свою очередь, хозяйственное общество «Ак Харман» успешно наладило экспортную продукцию [11], что также способствовало увеличению объемов экспорта.

Туркменистан располагает ресурсами резервной базы для развития производства ватной продукции. Ежегодно в стране производится 300-350 тысяч тонн продукции высокого качества [12], часть которых может быть направлена на производство медицинской и косметической продукции.

Технологический процесс производства ватной продукции включает в себя несколько этапов: очистку от примесей, текстурирование, обработку ватного полотна, разрезание и упаковку. Уровень конечной продукции в экономике зависит от исходного исходного сырья и соблюдения технологических требований на всех этапах производства [13].

Следует отметить, что в последние годы предприятия отрасли ведут активную работу по развитию прогрессивных производственных мощностей и внедрению современных технологий. Так, в 2022 году был открыт новый цех, который усилил потенциал производства ватной продукции в Туркменистане [14]. Это позволяет повысить качество продукции и расширить ассортимент выпускаемой продукции.

Несмотря на наличие собственного производства, Туркменистан продолжает импортировать значительные объемы медицинских и косметических изделий из ваты. Проанализируйте структуру импорта и возможности его замены местной продукцией, представленной в Таблице 2.

Таблица 2

Потенциальные импортозамещения в сегменте медицинских и косметических изделий из ваты в Туркменистане

Вид продукции	Объем импорта в 2024 г. (тонн)	Стоимость импорта (тыс. долларов США)	Текущая доля отдельной продукции на рынке (%)	Потенциальный импортозамещения к 2030 г. (%)	Прогнозируемая экономика валютных средств к 2030 г. (тыс. долларов США/год)
Медицинская вата гигроскопическая	580-650	3200-3800	60-65	85-90	1300-1600
Ватные диски косметические	420-480	2800-3400	55-60	80-85	1100-1400
Ватные палочки	280-330	1900-2300	65-70	90-95	800-1000
Ватные шарики	180-220	1100-1400	60-65	85-90	450-600

Технические ватные изделия	150-200	600-800	70-75	95-98	250-350
Специализированные медицинские изделия из ваты	280-350	2200-2800	25-30	70-75	1500-1800
Всего	1890-2230	11800-14500	56-61	84-89	5400-6750

Источники: [15, 16]

Данные таблицы свидетельствуют о значительном потенциале импортозамещения в сегменте медицинских и косметических изделий из ваты. Общий объем импорта в 2024 году составил 1890-2230 тонн на сумму 11,8-14,5 млн долларов США. При этом текущая доля продукции на рынке колеблется от 25-30% для специализированных медицинских изделий до 70-75% для технических изделий, что составляет в среднем 56-61%.

Наибольший потенциал импортозамещения имеют такие виды продукции, как технические ватные изделия (потенциальный запас импорта к 2030 году – 95-98%) и ватные палочки (90-95%). Это обеспечивает относительно простотой их производства и наличия необходимых технологий в Туркменистане.

Наименьший потенциал импортозамещения наблюдается в сегменте специализированных медицинских изделий из ваты (70-75%), что связано с более сложными процессами их производства и необходимостью соблюдения международных стандартов качества [17].

Реализация возможностей импортозамещения позволит к 2030 году сэкономить 5,4-6,75 миллионов долларов США в валютных валютах ежегодно, что является существенным вкладом в нестабильную страну.

Экономическая эффективность импортозамещения в сегменте медицинских и косметических товаров из ваты определяется не только экономией валютных средств, но и рядом других факторов [18]:

1. Создание добавленной стоимости внутри страны. Глубокая переработка сырья в готовую продукцию позволяет увеличить добавленную стоимость в 3-5 раз по сравнению с экспортом сырья [19].

2. Создание новых рабочих мест. Развитие производства медицинских и технических изделий из ваты надежно может создать до 300-400 новых рабочих мест, что важно для социально-экономического развития страны [20].

3. Повышение экономической безопасности. В зависимости от импорта в важном сегменте медицинских изделий повышается экономическая безопасность страны [21].

4. Развитие соответствующих отраслей. Производство медицинских и косметических изделий стимулирует развитие соответствующих отраслей, включая производство продукции, логистику, маркетинг и дистрибуцию [22].

Рентабельность производства медицинских и косметических изделий из ваты в Туркменистане составляет 22-28%, что соответствует средним показателям в легкой промышленности (15-18%). Это обусловлено доступом к сырью высокого качества и относительно низкими затратами на энергоресурсы и оплату труда [23].

Анализ нынешнего состояния и возможностей развития производства медицинской и декоративной продукции в Туркменистане позволяет выделить следующие стратегические направления развития отрасли [24]:

1. Модернизация присутствует и создание новых производственных мощностей. Для реализации возможностей импортозамещения необходимо увеличение производственных мощностей и их технологическое обновление. Инвестиции в данном направлении оцениваются в 13-17 млн долларов США с окупаемостью 3-5 лет [25].

2. Расширение ассортимента продукции, особенно в сегменте специализированных медицинских товаров с высокой добавленной стоимостью. Это требует создания научно-исследовательской базы и привлечения квалифицированных специалистов [26].

3. Повышение качества продукции до международных стандартов, что позволит увеличить экспортный потенциал и успешно конкурировать с импортной продукцией на внутреннем рынке. Для этого необходимо внедрение систем контроля качества, соответствующих международным стандартам (ISO 13485, GMP) [27].

4. Развитие экспортного потенциала за счет расширения географии поставок и увеличения объемов экспорта. Перспективными рынками являются страны Центральной Азии, Кавказа, Ближнего Востока и Восточной Европы [28].

5. Интеграция в цепочки поставок медицинских учреждений через системы прямых поставок готовой продукции в медицинские учреждения и аптечные сети сетей [29].

Реализация стратегии развития производства медицинских и косметических товаров в Туркменистане потребует значительных инвестиций. Общий объем инвестиций оценивается в 17-23 млн долларов США, включая [30]:

1. Модернизация существующих производств – 5-7 млн долларов США;
2. Создание новых производственных линий – 8-10 млн долларов США;
3. Внедрение систем контроля качества – 1,5-2 млн долларов США;
4. Создание научно-исследовательской лаборатории – 2-3 млн долларов США;
5. Развитие международной занятости – 0,8-1,2 млн долларов США.

Источниками финансирования могут быть:

– Государственные инвестиции в рамках программ развития промышленности;
– Частные инвестиции туркменских предпринимателей;
– Иностранные инвестиции;
– Кредитные средства международных финансовых институтов, таких как Европейский банк реконструкции и развития.

Реализация стратегии развития производства медицинских и косметических изделий из ваты в Туркменистане позволит достичь следующих результатов к 2030 году [31]:

1. Увеличение объемов производства до 6000-7000 тонн в год, что в 1,5-2 раза увеличивает прогнозируемый уровень 2025 года;
2. Снижение в зависимости от импорта с текущих 39-44% до 11-16%;
3. Увеличение доли экспорта в общем объеме производства до 35-40%;
4. Создание 300-400 новых рабочих мест;
5. Экономика валютных средств за счет импортозамещения в размере 5,4-6,75 млн долларов США ежегодно;
6. Получение внешнего экспортного дохода составляет 8-10 миллионов долларов США в год.

Проведенный анализ свидетельствует о значительном потенциале развития производства медицинских и косметических товаров в Туркменистане как важного элемента стратегии импортозамещения. Наличие собственных ресурсных баз высокого качества, достаточно высокая стоимость производства и растущий спрос на внешних и региональных рынках создают благоприятные условия для инвестиций в данной отрасли.

Производство ватной продукции в Туркменистане обеспечивает устойчивый рост темпами около 15% в год, при этом доля экспорта также стабильно увеличивается. Это свидетельствует о повышении конкурентоспособности туркменской продукции на мировом рынке.

Реализация стратегии развития отрасли потребует инвестиций в размере 17-23 миллионов долларов США, но при этом обеспечит экономический эффект, включая экономию валютных средств, создание новых рабочих мест, получение дополнительных экспортных доходов и сокращение в зависимости от импорта.

Для успеха реализации возможностей отрасли необходимо комплексное решение задач по повышению производственной мощности, расширению ассортимента продукции,

доведению ее качества до международных стандартов, развитию экспортного потенциала и внедрению цепочки поставок медицинских учреждений. [32]

В целом, развитие производства медицинских и косметических товаров из ваты является перспективным направлением диверсификации экономики Туркменистана и повышения эффективности использования местных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Агамурадов Д.А.* Стратегия импортозамещения в промышленности Туркменистана: современное центральное состояние и перспективы развития // Вестник экономики Азии. 2023. №4. С. 45-52.

2. *Бердиев М.Г., Сапарова Г.Н.* Анализ рынка медицинских товаров и изделий в Туркменистане // Экономика и управление. 2024. №2. С. 78-85.

3. *Оразов С.А.* История развития текстильной промышленности Туркменистана // Промышленность Туркменистана. 2022. №3. С. 12-18.

4. *Атаева Л.М.* Современное состояние производства изделий производятся в Туркменистане // Текстильная промышленность. 2023. №5. С. 34-39.

5. *Нуров Б.К.* Деятельность предприятий хлопкоперерабатывающей отрасли Туркменистана // Экономический вестник. 2023. №7. С. 56-62.

6. *Курбанов А.Т.* Развитие производства хлопковой продукции в Туркменистане: итоги 2024 года // Промышленный вестник. 2024. №8. С. 23-28.

7. *Махмудов Р.О.* Стандарты качества в производстве медицинских изделий из ваты // Стандартизация и качество. 2023. №4. С. 67-72.

8. Статистический ежегодник Туркменистана 2024. Ашхабад: Государственный комитет по статистике Туркменистана, 2024. 345 с.

9. Ежегодный отчет о развитии промышленности Туркменистана 2020-2024 гг. Ашхабад: Министерство промышленности и строительного производства Туркменистана, 2024. 198 с.

10. *Хатамзаде Х.* Рост производства медицинских ват в Туркменистане // Нейтральный Туркменистан. 2024. 15 марта. С. 3.

11. *Джепбаров М.А.* Экспортный потенциал хлопкоперерабатывающих предприятий Туркменистана // Внешняя торговля. 2024. №3. С. 41-47.

12. *Сарыев Н.Б.* Сырьевая база хлопководства Туркменистана // Сельское хозяйство Туркменистана. 2023. №6. С. 89-95.

13. *Аннаев Г.М.* Технологические процессы производства ватной продукции // Техника и технология. 2022. №11. С. 134-140.

14. *Мамедов О.Р.* Модернизация производственных мощностей в легкой промышленности Туркменистана // Промышленность сегодня. 2024. №4. С. 56-61.

15. Импорт медицинских товаров в Туркменистан: статистический обзор 2024. Ашгабат: Центр экономических исследований, 2024. 78 с.

16. Торговый баланс Туркменистана 2024: анализ основных товарных групп / Под ред. А.К. Велиева. Ашгабат: Экономический институт, 2024. 156 с.

17. *Дурдыев А.Н.* Проблемы развития производства специализированных медицинских изделий // Медицинская промышленность. 2023. №8. С. 23-29.

18. *Гельдиев Т.М.* Экономическая эффективность импортозамещения в промышленности Туркменистана // Экономический анализ. 2024. №1. С. 112-119.

19. *Аллабердиев Ш.К.* Добавленная стоимость хлопкоперерабатывающей промышленности // Экономика и статистика. 2023. №9. С. 45-51.

20. *Назаров Ч.Б.* Социально-экономические аспекты развития легкой промышленности Туркменистана // Социальные вопросы экономики. 2024. №2. С. 34-40.

21. *Реджепов М.Г.* Экономическая безопасность в период импортозамещения // Национальная безопасность. 2023. №5. С. 78-84.

22. *Какабаев Д.О.* Развитие соответствующих отраслей легкой промышленности // Отраслевая экономика. 2024. №3. С. 67-73.

23. Анализ рентабельности производства в легкой промышленности Туркменистана / Коллектив авторов. Ашгабат: Институт экономики и демографии, 2024. 92 с.

24. Стратегия развития промышленности Туркменистана на период до 2030 года. Ашгабат: Министерство промышленности и строительного производства, 2023. 234 с.

25. Инвестиционная привлекательность промышленных проектов Туркменистана / Под ред. К.М. Овезова. Ашхабат: Центр научных исследований, 2024. 187 с.

26. *Ходжаев Я.С.* Инновационное развитие медицинской промышленности // Инновации в экономике. 2023. №7. С. 89-95.

27. Международные стандарты качества в производстве медицинских изделий: практическое руководство. Ашхабат: Центр стандартизации и метрологии, 2024. 145 с.

28. Экспортный потенциал промышленности Туркменистана: международные аспекты / Коллектив авторов. Ашхабат: Институт внешнеэкономических связей, 2024. 201 с.

29. *Гурбангельдиев А.Х.* Логистика поставок медицинских товаров в Туркменистане// Логистика и транспорт. 2024. №4. С. 56-62.

30. Финансирование промышленных проектов в Туркменистане: анализ и перспективы / Под ред. Б.А. Мередова. Ашхабат: Финансовый институт, 2024. 167 с.

31. Прогноз развития промышленности Туркменистана на период до 2030 года. Ашгабат: Институт экономического прогнозирования, 2024. 189 с.

32. *Урядникова М.В.* Расстановка конкурентных сил в результате рецессии мировой экономики / М.В. Урядникова // Бухгалтерский учет, анализ, налогообложение и аудит: методология познания, перспективы развития и цифровая образовательная среда: сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции, Чебоксары, 18–19 июня 2020 года. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2020. – С. 390-392. – EDN CUHHXF.

DEVELOPMENT OF PRODUCTION OF MEDICAL AND COSMETIC PRODUCTS FROM COTTON WOOL AS AN ELEMENT OF IMPORT SUBSTITUTION IN TURKMENISTAN

Orazmukhammedova M.V.

Supervisor: Uryadnikova M.V., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the current state and prospects for the development of the production of medical and cosmetic products in Turkmenistan within the framework of the import substitution policy. The analysis of the raw material base, production capabilities, market potential and economic efficiency of this area is carried out. The advantages of using local cotton raw materials for the production of high-quality medical and cosmetic products and products based on it are considered. The main factors influencing the development of the industry have been identified, and promising areas for expanding the product range have been identified. Recommendations on the development of production and increasing its competitiveness in foreign and foreign markets are proposed. An assessment of the economic effect of the implementation of the import substitution strategy in this segment of the economy of Turkmenistan is given.

УДК 33.338

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Орлова Е.А.
Научный руководитель: Мустафина Г.Г., доцент, к. э. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье проанализированы основные угрозы и вызовы, с которыми сталкиваются предприятия авиационной промышленности, рассмотрены методы оценки экономической безопасности и предложены рекомендации по управлению рисками.

В условиях глобализации и стремительного развития технологий обеспечение экономической безопасности предприятий авиационной промышленности становится одной из ключевых задач для устойчивого функционирования и конкурентоспособности в современном мире. Авиационная отрасль, обладая высоким уровнем капиталоемкости и технологической сложности, требует особого внимания к вопросам защиты интересов, как на уровне отдельных предприятий, так и на уровне всей отрасли в целом. Доктор экономических наук Михаил Алексеевич Николаев подчеркнул, что «экономическое положение любой страны во многом зависит от развития её промышленности. Именно состояние и динамика развития промышленного комплекса определяют возможности успешного решения стратегических и тактических задач по укреплению экономической независимости, национальной безопасности, обеспечению достойного уровня жизни населения». [1]

Начиная с 2014 года российская, экономика развивается в условиях санкций, которые ужесточились в феврале 2022 года. С этого момента давление на Россию со стороны других стран стало очень сильным. Сегодня развитие авиационной промышленности невозможно без широкой международной кооперации. В ведущих странах-авиастроителях созданы глобальные организационные структуры, которые занимаются поставкой конечной продукции, комплектующих и производственных услуг. Только наличие глобального рынка сбыта авиационной техники и ее компонентов позволяет обеспечить рентабельность разработки и производства в этой капитало- и наукоемкой отрасли. [2] По этой причине в российской экономике в целом и в промышленности в частности произошли негативные изменения, которые можно трактовать как реализующиеся угрозы экономической безопасности. Нарушение внешнеэкономических связей, ограничений на импорт передовых технологий и комплектующих, привело к росту издержек, проблемам с финансированием и обслуживанием, а также невозможности использования инновационные практики. К внутренним факторам, влияющим на экономическую безопасность, относятся процессы производства и реализации продукции, а также условия хозяйственной деятельности предприятия.

Экономическая безопасность предприятия является ключевым аспектом его конкурентоспособности, способствующим созданию условий для получения конкурентных преимуществ. Это охватывает такие элементы, как прогнозирование бизнес-процессов, оценка рисков, связанных с хозяйственной деятельностью, и анализ конкурентоспособности продукции. Методы оценки экономической безопасности разделяют на 2 группы. В первом случае оценка состояния экономической безопасности осуществляется через систему различных факторов, которые показывают разные аспекты этой безопасности. Каждый фактор оценивается отдельно. Если использовать подобную методику для построения системы количественных и качественных показателей экономической безопасности на уровне предприятия, то в нее необходимо включить следующие главные показатели: индикаторы производства, финансовые индикаторы и социальные индикатор. Во втором случае происходит вычисление единого интегрального показателя, оценивающего экономическую безопасность предприятия в целом. [3]

Выбор метода оценки экономической безопасности должен основываться на конкретных целях и задачах, а также учитывать особенности деятельности предприятия, доступность необходимых данных и другие объективные факторы. Каждое предприятие самостоятельно определяет набор показателей экономической безопасности, опираясь на свою специфику, методы управления и место в отрасли. Эффективность установки пороговых значений для индикаторов во многом зависит от качества и надежности используемой информации.

Таблица 1

Планируемые изменения средней производительности труда и числа занятых в основных подотраслях авиационной промышленности на период до 2025 г. (финансовый индикатор) [4]

Показатель	**2011 год**	**2025 год**
Самолётостроение		
Выручка, млн.руб.	162036	746268
Производительность труда, тыс.руб.	1821	19184
Численность работников, чел.	88982	38901
Вертолётостроение		
Выручка, млн.руб.	103937	298437
Производительность труда, тыс.руб.	2566	15500
Численность работников, чел.	40505	19254
Авиационное двигателестроение		
Выручка, млн.руб.	97400	3121172
Производительность труда, тыс.руб.	1529	16000
Численность работников, чел.	63702	19511
Авиационное приборостроение		
Выручка, млн.руб.	94140	265570
Производительность труда, тыс.руб.	1177	9000
Численность работников, чел.	79983	29508
Авиационное агрегатостроение		
Выручка, млн.руб.	46643	153093
Производительность труда, тыс.руб.	869	10000
Численность работников, чел.	53674	15309

Согласно Государственной программе развития авиационной промышленности РФ до 2025 года, её результатом к окончанию срока должно было быть увеличение общей выручки авиационной промышленности до 1775 млрд.руб; достижение 3,6 и 11,9% долей мирового рынка (в денежном выражении) в гражданском и военном сегментах авиастроения соответственно; достижение производительности труда на промышленных предприятиях отрасли авиастроения в размере около 14500 тыс. руб./чел. При сокращении численности занятых до 122,5 тыс.чел. На сегодняшний день, в связи с ограниченным доступом к определённой информации Росстата, получить актуальные данные о состоянии авиационного рынка в России невозможно, поэтому наиболее эффективно оценивать экономическую безопасность авиационного предприятия, используя комплекс индикаторов.

В условиях экономического кризиса предприятия сталкиваются с серьезными угрозами, связанными с разрушением их потенциала, который включает в себя производственные, технологические, научно-технические и кадровые ресурсы. Этот потенциал играет ключевую роль в функционировании компании. Однако нестабильная обстановка создает проблемы с его обновлением. Ресурсы для восстановления могут быть получены только на основе результатов работы предприятия, таких как амортизационные отчисления и прибыль, а также за счет заемных средств. В кризисные времена оба этих источника финансирования часто становятся недоступными.

В настоящее время многие российские промышленные компании сталкиваются с убыточностью и значительным снижением объемов производства, оказываясь на грани банкротства. Причины этого депрессивного состояния разнообразны, но основными являются инерция существующей производственной структуры, устаревшие технологии и физический износ основных фондов. Кроме того, отсутствие четких приоритетов в государственной научно-промышленной политике мешает проведению необходимой реструктуризации производственных мощностей. Сложившаяся хозяйственная ситуация, вызванная неэффективными преобразованиями в реальном секторе экономики, значительно усложняет возможность предприятий генерировать средства для модернизации. Управление рисками является ключевым элементом функционирования авиационных компаний, учитывая высокие требования к безопасности и надежности в данной сфере. Важно систематически выявлять потенциальные угрозы, связанные с операционной деятельностью, финансами, соблюдением нормативных стандартов и репутацией. Это охватывает как внутренние, так и внешние факторы. Проведение инвентаризации всех возможных рисков (операционных, финансовых, репутационных и связанных с безопасностью) помогает оценить текущее состояние и выявить уязвимости. Постоянный мониторинг рисков и эффективности применяемых мер управления позволяет своевременно реагировать на изменения. Также важно проводить регулярные аудиты и пересматривать стратегии.

Эффективное управление рисками требует взаимодействия с различными заинтересованными сторонами, включая регуляторов, поставщиков и клиентов. Это способствует более полному пониманию рисков и совместному поиску решений. Внедрение современных технологий, таких как аналитика данных и искусственный интеллект, может значительно улучшить процессы управления рисками, позволяя более точно прогнозировать угрозы и быстро реагировать на них.

В условиях глобализации и технологического прогресса обеспечение экономической безопасности предприятий авиационной отрасли является неотъемлемой частью их успешного функционирования и конкурентоспособности. Российская экономика, столкнувшаяся с санкциями и ограничениями, особенно остро ощущает необходимость в эффективных методах управления рисками, возникающими как из внешних, так и внутренних источников. В условиях динамичного и высокорискованного рынка авиационной отрасли эффективное управление рисками становится решающим фактором для обеспечения экономической безопасности компаний. Программа развития авиационной отрасли РФ до 2025 года ставит амбициозные цели, однако их достижение возможно только при системном подходе к идентификации и управлению рисками. Лишь через интеграцию комплексного подхода к управлению рисками и активное использование инновационных решений можно обеспечить устойчивое развитие и конкурентоспособность отечественной авиационной промышленности в современных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Критская С.С., Клочков В.В.* Импорт высокотехнологичных компонент к наукоемким изделиям и национальные интересы России // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2013. № 38 (227). С. 2-9.

2. *Колосов А.В.* Методические аспекты экономической безопасности [Электронный ресурс] / А.В. Колосов // Интернет-журнал «Науковедение» - Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskie-aspekty-ekonomicheskoy-bezopasnosti/viewer.

3. *Бендиков М.А.* «Экономическая безопасность промышленного предприятия в условиях кризисного развития», 2000 год, журнал Менеджмент в России и за рубежом» №2 С.19-29. - URL: http://www.mevriz.ru/articles/2000/2/1507.html (дата обращения: 05.09.2025).

4. Государственная программа Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности 2013-2025 годы». Утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 № 303.

ENSURING THE ECONOMIC SECURITY OF AVIATION INDUSTRY ENTERPRISES

Orlova E.A.
Supervisor: Mustafina G.G., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article analyzes the main threats and challenges faced by aviation industry enterprises, examines methods for assessing economic security, and offers risk management recommendations.

УДК 331.101.6, 656.078

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ПОВЫШЕНИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА В ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Панкратова А.К.
Научный руководитель: Никифорова Л.Х., доцент, к. э. н.
(Московский государственный технический университет гражданской авиации, г. Москва)

Аннотация. Исследование включает в себя изучение различных подходов к оценке и повышению производительности труда в гражданской авиации, включая сравнительный анализ показателя на разных видах транспорта с применением статистических методов. Представлены основные характеристики федерального проекта «Производительность труда», а также роль авиапредприятий в этом проекте.

Производительность труда является одним из ключевых показателей эффективности любой организации. Она отражает не только уровень управления трудовыми ресурсами, но и общую результативность. Оценка и мониторинг производительности труда позволяет достигать внутренних коммерческих целей транспортного комплекса и способствует укреплению конкурентоспособности национальной экономики в целом. [1]

В условиях динамичного развития производственных технологий оптимизация и повышение производительности труда играет ключевую роль в обеспечении стабильного развития авиатранспортных систем. Авиационная отрасль играет стратегическую роль в поддержании международных экономических связей, обеспечении обороноспособности страны и интеграции труднодоступных территорий в национальный рынок. Важное значение имеет удовлетворение транспортной потребности населения: это не только способствует социальному и экономическому прогрессу, но и напрямую воздействует на повышение уровня жизни граждан через эффективную организацию перевозок пассажиров и грузов.

Постоянное повышение уровня производительности труда в разных отраслях народного хозяйства – это не только цель, которую ставит руководство страны, но и объективное требование, продиктованное текущими экономическими условиями. [2]

Обращаясь к Транспортной Стратегии РФ на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, можно сделать вывод о том, что одной из приоритетных задач Стратегии является не только обновление транспортной инфраструктуры, но и применение новых цифровых технологий. [3] Все это требует значительных изменений в управлении трудовыми ресурсами.

Спрос на специалистов в области информационных технологий, логистики, инженерии и управления производством продолжает расти. Это создает необходимость в повышении квалификации существующих кадров, а также в изменении подходов к обучению молодых специалистов.

На воздушном транспорте основными способами повышения производительности труда в современных рыночных условиях являются:

- применение современных информационных технологий, инновационных методов организации производства и т.д.;

- внедрение более высоких технических стандартов безопасности, надежности, обслуживания пассажиров и грузоотправителей;
- импортозамещение в сфере обеспечения отрасли воздушными судами, запчастями, расходными материалами, информационными навигационными системами и т.д.;
- оптимизация производственной структуры и др.

Плановое повышение производительности труда на предприятиях отрасли является вектором успешного развития, фактором обмена положительным опытом, соответствует государственным задачам в сфере применения трудовых ресурсов, сформулированных в федеральном проекте «Производительность труда», который стал продолжением национального проекта с таким же названием, реализация которого длилась в РФ с 2019 по 2024 гг. Наличие предприятий авиатранспортной отрасли в списке участников проекта свидетельствует о важной стратегической роли транспорта в экономике страны.

В рамках проекта предприятиям базовых не сырьевых отраслей оказывается помощь в выявлении и устранении узких мест в производстве, а также предоставлены обучающие программы для сотрудников, направленные на повышение производительности труда.

Рассмотрим опыт участия предприятий воздушного транспорта на примере авиакомпании «Россия», которая присоединилась к проекту 6 марта 2024 года. Директор по проектному управлению и реализации стратегии Молчанов И. отмечает, что «обеспечение устойчивых темпов роста производительности труда позволит улучшить общую динамику развития перевозчика. Программа позволяет не только консолидировать ресурсы и генерировать новые идеи, но и избегать временных потерь, а также минимизировать финансовые издержки». [4]

Также были выделены ключевые аспекты участия в проекте:

1. Внедрение бережливого производства (заключается в оптимизации логистики, сокращении простоев и ускорения обслуживания).
2. Повышение квалификации персонала (в рамках проекта проводится обучение сотрудников).
3. Цифровизация процессов (авиационные предприятия участвуют в цифровой трансформации производства).
4. Развитие корпоративной культуры (участие в проекте формирует новое мышление на уровне всей компании).

Таким образом, участие авиапредприятий в федеральном проекте «Производительность труда» необходимо для повышения эффективности производственных процессов, снижения издержек, а также для внедрения современных методов управления.

Анализ научных публикаций по теме производительности труда в гражданской авиации позволяет сделать вывод о том, что оценка уровня производительности труда может быть основана на применении показателя объема перевозок как в натуральных (перевезенные пассажиры, тонны груза), так и в условно-натуральных единицах (пассажирооборот, грузооборот), что особенно актуально в структурных подразделениях, где осуществляется множество видов деятельности. [5]

С целью отслеживания динамики показателей производительности труда рекомендуется совершенствовать методику расчета, включая в статистическую отчетность сопоставимые для анализа разных видов транспорта показатели пассажирооборота и грузооборота, а также показатели в стоимостном выражении. На данный момент в официальной отчетности они отсутствуют.

В экономике транспорта предлагается следующая формула расчета производительности труда:

$$\text{ПТ} = Q/\text{Ч}, \quad (1)$$

где: Q – объем перевозок (пассажирских, грузовых в натуральном или условно-натуральном измерении);

Ч – среднесписочная численность работников.

С целью анализа производительности труда важным является расчет индекса роста производительности труда по пассажирским и грузовым перевозкам по формуле:

$$I_{\text{пт}} = {\text{ПТ}_n}/{\text{ПТ}_0}, \quad (2)$$

где: ПТ_n – производительность труда в текущем периоде;

ПТ_0 – производительность труда в базисном периоде.

Этот показатель позволяет оценить динамику изменения производительности труда (ее роста/снижения). Эксперты рекомендуют в анализе индексов для правильной интерпретации учитывать эффект низкой или высокой базы (пример такой ситуации можно увидеть в показателях индексов 2021-2022 гг., которые могли значительно увеличиться из-за низких абсолютных объемных показателей в 2020 г. по причине распространения COVID-19).

Другим важным показателем для анализа производительности труда является коэффициент опережения. Ключевым условием для успешного функционирования предприятия в условиях рыночной экономики является опережающий рост производительности труда по сравнению с увеличением усредненной заработной платы. В случае несоблюдения данного принципа, можно столкнуться с чрезмерным расходованием фонда заработной платы, а также наблюдать снижение прибыли и рост себестоимости продукции. Соотношения темпов роста производительности труда и средней заработной платы целесообразно начинать анализировать с показателей, рассчитанных на одного сотрудника, с учетом накопленных значений с начала года.

Коэффициент опережения рассчитывают по формуле:

$$\text{К}_{\text{оп}} = {I_{\text{пт}}}/{I_{\text{зп}}}, \quad (3)$$

где: $\text{К}_{\text{оп}}$ – коэффициент опережения;

$I_{\text{пт}}$ – индекс роста производительности труда;

$I_{\text{зп}}$ – индекс роста средней заработной платы. [6]

Индекс роста средней заработной платы рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{зп}} = {\text{ЗП}_n}/{\text{ЗП}_0}, \quad (4)$$

где: ЗП_n – средняя заработная плата за текущий период;

ЗП_0 – средняя заработная плата за базисный период.

Об эффективном использовании трудовых ресурсов на транспорте свидетельствует показатель опережения выше 1,0, означающий, что темпы роста производительности труда (по выбранной формуле расчета) выше темпов роста заработной платы.

Используя данную теоретическую основу, проведем сравнительный анализ производительности труда и коэффициента опережения на разных видах транспорта за период 2019-2024 гг. Выбор периода для анализа обусловлен кардинальностью изменений в отраслевых показателях, вызванных распространением COVID-19 в 2020-2021 гг. и введением дополнительных санкций с 2022 г.

Так как воздушный транспорт является одним из ключевых элементов транспортной инфраструктуры и совокупно с автомобильным, железнодорожным, водным транспортом составляет транспортную сеть России, целесообразно с научно-практической точки зрения провести сравнительный анализ производительности труда на разных видах транспорта.

Источником данных для расчетов являются информационно-статистические бюллетени Министерства Транспорта РФ за 2019-2024 гг. [7]

На рисунках 1 и 2 представлены диаграммы производительности труда по пассажирским и грузовым перевозкам в РФ за 2024 г. На основе полученных данных, можно сделать следующие выводы:

– несмотря на сравнительно невысокую долю производительности труда в пассажирских перевозках (6%), воздушный транспорт по-прежнему является одним из ключевых видов перевозки в отдаленные регионы и на дальнемагистральных маршрутах;

– в связи с высокой стоимостью и ограниченной грузоподъемностью воздушный транспорт в основном используется для грузовых перевозок с определенными целями (доставки срочных, малогабаритных, ценных грузов).

Рис 1. Диаграмма производительности труда по пассажирским перевозкам

Рис 2. Диаграмма производительности труда по грузоперевозкам

Индекс производительности труда является одним из ключевых показателей, отражающих эффективность использования трудовых ресурсов транспортной отрасли. Он характеризует взаимосвязь между результатами трудовой деятельности и затратами на оплату труда. Таким образом, чем выше показатель, тем больше отдача каждого из работников. На рисунке 3 представлены индексы производительности труда по 2 видам перевозок (пассажирские и грузовые) за 2024 год.

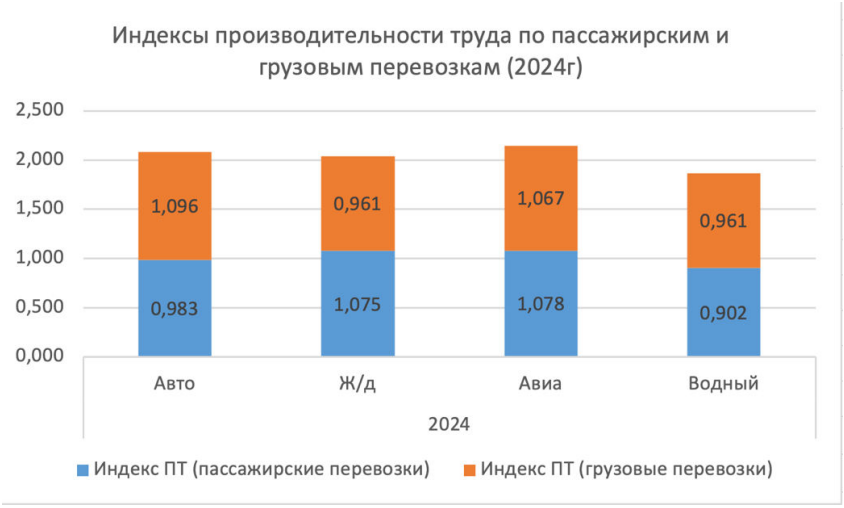


Рис 3. Индексы производительности труда по пассажирским и грузовым перевозкам

По данным рисунка 3 видно, что самый высокий индекс производительности труда наблюдается у автомобильных грузоперевозок и составляет 1,096, самый низкий показатель – у грузовых перевозок железнодорожным и водным транспортом. Лидером по пассажирским перевозкам стал воздушный транспорт (1,067), а последнее место занял водный (0,902). Воздушный транспорт демонстрирует положительную динамику, что позволяет сделать позитивный прогноз по выходу отрасли из кризиса.

Соотношение между темпами роста производительности труда и средней заработной платы характеризуется коэффициентом опережения. В случае, когда коэффициент опережения больше единицы, мы можем говорить об эффективном управлении персоналом. Данные по этому показателю (пассажирские перевозки) представлены на рисунке 4.

Рис 4. Коэффициент опережения (пассажирские перевозки)

Коэффициенты опережения по грузоперевозкам представлены на рисунке 5.

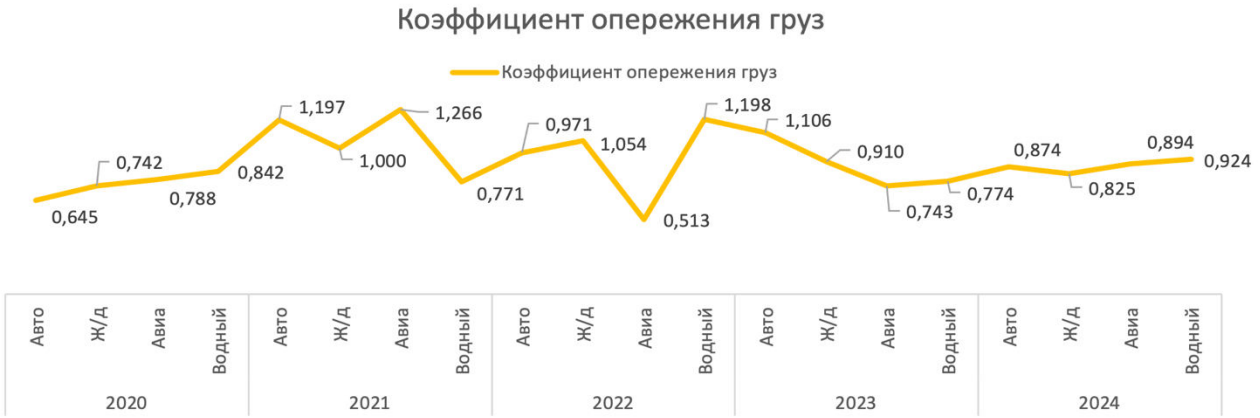


Рис 5. Коэффициент опережения (грузовые перевозки)

По двум диаграммам можно сделать следующие выводы:

- в 2020 году все показатели меньше нуля, что является следствием значительного снижения объема перевозок в период пандемии;
- в 2021 году самый низкий показатель у водного транспорта (предполагаем, что вернуть прошлые объемы пассажирских и грузоперевозок за год было довольно проблематично);
- в 2022 году вследствие введения экономических и политических санкций больше всего снизился показатель авиаперевозок, коэффициенты опережения у водного и ж/д транспорта, наоборот, выросли;
- в 2023 году только один показатель (автотранспорт) превысил единицу (это можно объяснить тенденцией увеличения заработных плат на рынке труда отрасли при сохранении или незначительном увеличении объемов перевозок, а также проявлением эффекта высокой и низкой базы в зависимости от вида транспорта).

С учетом структурных изменений в отрасли при исследовании проблемы производительности труда следует принять во внимание тесную связь результатов деятельности транспортной отрасли с результатами деятельности авиационной промышленности. Реализация политики импортозамещения в сфере производства воздушных судов, запчастей, расходных материалов оказывает существенное влияние на показатели производительности труда авиаперевозчиков и аэропортов. Техническая переоснащённость отрасли способствует эффективному планированию пассажирских и грузовых перевозок и достижению стратегических и тактических транспортных целей.

В соответствии с прогнозами, к 2030 г. доля отечественных воздушных судов составит не менее 80 % (в настоящее время она оценена в менее 25%), это позволит формировать в авиакомпаниях оптимальный парк среднемагистральных и дальнемагистральных воздушных судов с учетом текущей и перспективной маршрутной сети.

Как результат, повышение производительности труда на воздушном транспорте с учетом успешной реализации программы технического импортозамещения способствует экономическому росту, в том числе благодаря эффекту мультипликатора: динамическое развитие транспортной отрасли позволяет увеличить общий экономический эффект, способствует повышению объема национального производства, занятости, доходов граждан страны, развитию смежных отраслей и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Повышение производительности труда на транспорте - источник развития и конкурентоспособности национальной экономики, Москва, 07 декабря 2016 года. – 368 с. [Электронный ресурс] Доступ: 20.06.2025.

2. *Чекулдова С.В.* Факторы и условия, влияющие на эффективность использования трудовых ресурсов и на изменение производительности труда / С.В. Чекулдова, К.А. Сафронова, Е.С. Тенюкова // Наука и образование транспорту. – 2016. – № 1. – С. 162-165. – [Электронный ресурс] Доступ: 20.06.2025.

3. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом до 2035 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской федерации от 27.11.2021 г.

4. Министерство экономического развития Российской Федерации. Авиакомпания «Россия» присоединилась к нацпроекту «Производительность труда» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.economy.gov.ru/material/news/aviakompaniya_rossiya_prisoedinilas_k_nacproektu_proizvoditelnost_truda.html Доступ: 23.06.2025.

5. *Никифорова Л. Х., Степаненко Е.В.* Практические аспекты использования трудового потенциала персонала авиапредприятия // Инновации в гражданской авиации. – 2016. – № 4. – С. 29-39.

6. *Манцерова А.В.* Производительность труда и средняя заработная плата: анализ соотношения темпов роста / А.В. Манцерова // Проблемы экономики промышленных комплексов, Самара. – 2011. – С. 40-43. [Электронный ресурс] Доступ: 23.06.2025.

7. Информационно-статистические бюллетени Министерства Транспорта РФ за 2019-2024 гг.

RESEARCH OF APPROACHES TO INCREASE LABOR EFFICIENCY IN CIVIL AVIATION

Pankratova A.K.

Supervisor: Nikiforova L.Kh., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow)

Abstract. This research contains the study of various approaches of assessing and improving labor efficiency in civil aviation. A comparative analysis of labor efficiency in different types of transport is included here either. The analysis was based on statistical research. The main

characteristics of the federal project “Labor efficiency” and the role of aviation enterprises in this project are presented.

УДК 339.13.017

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

Попыева Н.А.
Научный руководитель: Богоявленская Е.Е., ст. преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В работе подчеркивается значимость инноваций для обеспечения экономического роста, повышения конкурентоспособности региона и формирования инновационной экономики. Рассмотрены перспективные направления развития инновационной среды Татарстана и сделаны рекомендации по их дальнейшему развитию. Работа актуальна для специалистов в области экономики, науки и технологий, а также для представителей власти и бизнес-сообщества, заинтересованных в стратегическом развитии региона.

Инновации (новшества) как средства роста экономики актуальны во всем мире, суть в том, что идеи должны быть воплощены в практической деятельности и давать экономический рост. Республика Татарстан показывает стабильный экономический рост, по данным статистика валовый региональный продукт (ВРП) показал рост в 2023 году на 3,6%, в 2024 году 3,7%. При этом наибольший удельный вес в валовом региональном продукте имеет промышленность (40%).

Республика Татарстан давно зарекомендовала себя как один из ведущих центров инноваций и научных достижений в России. Благодаря активной государственной поддержке, высоким инвестициям в научно-исследовательскую деятельность и развитию университетов и технологических кластеров, Татарстан превращается в современный хаб знаний и технологий. Одним из ключевых факторов успеха является стратегическая ориентация на инновации в различных сферах экономики. В таблице 1 представлены основные направления инновационной деятельности в РТ [1].

Таблица 1

Основные направления инновационной деятельности в РТ

№	Направления инноваций	Описание	Примеры проектов/ институты
1	Технологические инновации	Развитие новых технологий в промышленности и науке	Иннополис, Казанский федеральный университет
2	Информационные технологии	Создание IT – комплексов, программных решений	Казанский IT – парк, Центр разработок «ДатаЛинк»
3	Биотехнологии и медицина	Исследования в области медицины, разработка медицинских технологий	Институт биологии, клиники «Медицина будущего»
4	Энергетические инновации	Внедрение альтернативных источников энергии	Проекты по солнечной и ветровой энергетике, Татэнерго
5	Модернизация коммунальной инфраструктуры	Инвестиции в обновление сетей водоснабжения и водоотведения	2025 год объявлен годом модернизации коммунальной инфраструктуры в РТ
6	Туризм и культурные инновации	Создание новых туристических продуктов и инфраструктуры	Казанский Кремль с современными проектами

В сфере промышленности реализуются проекты по автоматизации производства, внедрению современных технологий в машиностроение, химическую и нефтегазовую отрасль.

Многие предприятия Татарстана, следуя современным тенденциям используют цифровые инструменты в своей хозяйственной деятельности. Данный подход позволяет решать задачи предприятий более эффективно, тем самым обеспечивая рост экономики не только предприятий, но и Республики.

Немаловажную роль в развитии инновационного потенциала играют университеты и научные центры. В Казанском федеральном университете созданы инновационные лаборатории и исследовательские центры, работа которых направлена на развитие новых технологий силами педагогического и научного потенциала университета.

Например, в КНИТУ-КАИ создан отдел интеллектуальной собственности и трансфера технологий, в задачи которого входит создание и поддержка инновационных предприятий с участием университета. Привлекаются молодые ученые к разработке инновационных идей при финансовой поддержке в виде грантов от Инвестиционно-Венчурного фонда РТ, от Фонда содействия инновациями. В Университете создано 23 малых инновационных предприятия, которые вносят вклад в развитие инновационной экономики.

Создаются технопарки, институционализируются инновационные кластеры, что способствует обмену знаниями и развитию новых идей. Особое место занимает программа «Цифровая республика Татарстан», целью которой является создание инфраструктуры для цифровой трансформации региона, повышение эффективности государственных услуг и развитие умных городов.

В последнем рейтинге инновационного развития субъектов РФ, который составляет Институт статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ, Республика Татарстан заняла второе место. Высокие позиции региона уже стали традицией не только для этого, но и для других рейтингов, отражающих научно-технологическое развитие [2].

В виду высокого уровня цифровизации в Татарстане, наша республика выбрана в качестве одной из пилотных площадок для тестирования национального мобильного мессенджера, который будет интегрироваться с государственными услугами. Данный национальный мессенджер создается согласно указу президента РФ и должен способствовать обеспечению информационной безопасности граждан.

Технологические инновации прекрасно разрабатываются и опробуются в широко известном молодом городе России Иннополисе. Здесь живут творческие люди, которые свои разработки внедряют в жизнь. Наиболее известные это беспилотные такси, которые пользуются популярностью у жителей и гостей города. Также здесь тестировались беспилотные роботы-доставщики, которые в настоящее время используются в некоторых городах России, в частности в Москве, Сочи, но не в Казани. Иннополис представляет возможности инноваторам протестировать свои стартапы в условиях реального города [3].

Одно из направлений инноваций автопром и робототехника, площадкой для них является КАМАЗ. В июне 2023 года в рамках тестирования первые три беспилотных автомобиля стали возить коммерческие грузы. Парк беспилотных автомобилей КАМАЗ увеличивается, на конец 2024 год их стало 18 единиц. Автогигант из Набережных Челнов расширяет модельный ряд беспилотных грузовиков. Важно отметить, что с момента запуска первых машин не было зафиксировано ни одного дорожно-транспортного происшествия с их участием. Бывает и так, что в других регионах работают произведенные в Татарстане беспилотные автомобили.

Также в Татарстане ООО «Открытая мобильная платформа», зарегистрированная в Иннополисе в учредителях которой значительную долю занимает ПАО «Ростелеком», занимаются разработкой отечественной мобильной операционной системой «Аврора». Данная ОС позиционируется как безопасная, у нее есть сертификат ФСТЭК ФСБ, подтверждающий, что устройства с данной системой могут работать на объектах критической информационной инфраструктуры. Группа компаний ICL в 2023 году открыла новый завод, который занимается

печатанием материнских плат и выпуском компьютерной техники. Данная продукция необходима стране, она позволит в том числе решать задачи импортозамещения.

В Казани создается 3D-модель города, которая, по сути, будет цифровым двойником. Данная цифровая модель позволит избежать ошибки при планировании строительства жилых домов и социальных объектов, контролировать реализацию городских программ и принимать обоснованные управленческие решения. По сути, все службы города, строительные и проектные компании будут работать с одними и теми же данными, ведомства не будут дублировать работу друг друга, и все это упростит и ускорит многие процессы. [4]

Республика Татарстан славится любовью ко всему новому, здесь проводятся и тестируются многие цифровые новшества, например, электронный больничный. Активная инновационная политика Республики, стабильный экономический рост позволяет сделать следующие выводы.

1. В РТ создан привлекательный инвестиционный климат. Развитая инфраструктура в виде технопарков, бизнес-инкубаторов, научных и образовательных учреждений позволяет привлекать способных стартаперов и инвесторов, чем обеспечивается успех многих разработок

2. Республика концентрируется на важнейших для нее секторов экономики: нефтехимия, машиностроение, информационные технологии, медицина, агропромышленное производство, что позволяет оптимально использовать имеющиеся ресурсы.

3. В РТ целенаправленно создаются условия для взаимовыгодного сотрудничества бизнеса, ученых и государственных органов. Научные сообщества работают в связке с крупнейшими предприятиями, например, КАМАЗ, Татнефть и с малым бизнесом, это позволяет сократить пусть от разработок до их внедрения в реальный бизнес [5].

Хотя потенциал Татарстана в инновационной сфере высокий проблемы все же существуют, это, как всегда, нехватка финансирования, переманивание «мозгов», общее политическое и экономическое положение страны. Однако со стороны госорганов Республики есть сильная поддержка и понимание интересов бизнеса, поэтому есть уверенность что республика не сдаст свои позиции в качестве лидера инновационного развития в РФ.

Таким образом, Татарстан является ярким примером того, как регион может успешно развивать инновации, превращая их в важнейший фактор экономического роста и повышения качества жизни населения. Опыт республики может служить ценным ориентиром для других регионов России, стремящихся к инновационному развитию.

В качестве рекомендаций можно обобщить следующее. В перспективе для развития инновационных направлений в РТ необходимо развивать комплексное финансирование бюджетное и частное, с привлечением малого предпринимательства, как наиболее подвижного бизнеса. Необходимо упрощать коммерциализацию инноваций и направлять усилия на сокращение сроков их внедрения, усилить мотивацию востребованности инноваций со стороны государственных органов, крупного и малого бизнеса.

Со стороны государственных органов необходимо продумать меры по стимулированию развития инновационной деятельности в сфере среднего и малого бизнеса без ограничений по отраслям экономики.

Образовательные учреждения в ответ на запросы инновационной экономики должны переориентироваться и уточнить содержание формулируемых профессиональных компетенций. Необходимо создать условия для информационного обмена положительным цифровым опытом на единой цифровой платформе. Формирование региональных кластеров в ключевых секторах экономики: автомобилестроительном, нефтехимическом, транспортно-логистическом, образовательном и других, позволит сконцентрировать финансы, ученых-инноваторов, предпринимателей. Также необходима поддержка взаимодействия крупного и малого бизнеса в сфере инноваций [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральная служба государственной статистики. (2022). "Социально-экономическое положение Республики Татарстан". — М.: ФСТ, 2022.

2. Министерство промышленности и торговли Республики Татарстан. (2023). "О стратегии инновационного развития региона на 2021–2025 гг." — Казань: Минпромторг, 2023.

3. Казанский федеральный университет. (2022). "Роль университетов в развитии инновационной среды". — Казань, 2022.

4. Правительство Республики Татарстан. (2022). "Программа развития инновационной экономики Республики Татарстан". — Казань, 2022.

5. *Иванов И.И., Петрова А.А.* (2022). «Инновационные технологии в промышленности Татарстана». Журнал «Российская экономика и инновации», №4, с. 45–52.

6. Восточный эксперт: аналитический обзор. (2023). «Инновационный потенциал Татарстана». — Казань: Восточный мир, 2023.

MAIN DIRECTIONS OF INNOVATIVE ACTIVITIES IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Popyeva N.A.

Supervisor: Bogoyavlenskaya E.E., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper emphasizes the importance of innovations for ensuring economic growth, increasing the competitiveness of the region and forming an innovative economy. The paper considers promising areas for the development of the innovative environment of Tatarstan and makes recommendations for their further development. The paper is relevant for specialists in the field of economics, science and technology, as well as for government officials and the business community interested in the strategic development of the region.

УДК 338.4

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАЛОГО И СРЕДНЕГО БИЗНЕСА В РОССИИ: К СОЗДАНИЮ УСЛОВИЙ ДЛЯ ИННОВАЦИОННОГО РОСТА

Раимов Ф.Т.

Научный руководитель: Панкова А.А.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Исследование посвящено анализу развития малого и среднего бизнеса (МСП) в России, выявлению ключевых проблем и путей их решения. Предлагается комплекс мер государственной поддержки, направленных на создание благоприятной бизнес-среды.

Современный этап экономического развития России ставит новые задачи перед органами государственного управления. Активная экономическая политика должна обеспечивать устойчивый экономический рост и конкурентоспособность российских товаров на мировых рынках. Одной из ключевых задач в этой сфере является ускоренное развитие малого и среднего предпринимательства (МСП).

Развитие малого и среднего бизнеса создает благоприятные условия для экономики, являясь ее неотъемлемой частью и мощным рычагом для решения комплекса экономических, социальных и политических проблем. Малый бизнес выступает базой рыночных отношений, быстро реагируя на изменения экономической ситуации [1]. Средний бизнес, в свою очередь, создает дополнительные рабочие места, производит новые товары, способствует здоровой конкуренции и оказывает влияние на темпы экономического роста.

В России действует законодательная база, определяющая критерии отнесения компаний к категории МСП. Данные о зарегистрированных субъектах МСП отражаются в специальном реестре. На текущий момент их количество в России составляет около 6,7 миллионов единиц, неравномерно распределенных по территории страны (рис. 1).

Рис. 1. Распределение предприятий малого и среднего бизнеса по федеральным административным округам за 2024 г. [1]

Как следует из рисунка 1, наибольшее количество субъектов МСП находится в Центральном федеральном округе (30 %), наименьшее – в Северокавказском (3 %).

Отраслевая структура МСБ представлена, соответственно (рис. 2).

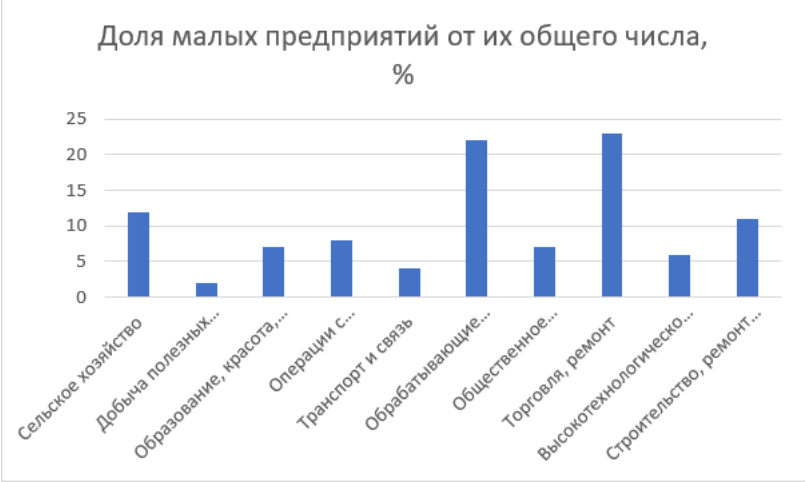


Рис. 2. Доля малых предприятий от их общего числа [2]

На сегодняшний день основное количество субъектов малого предпринимательства функционируют в сфере общепита и торговли. Что касается высокотехнологичных производств, то здесь их количество незначительно.

Средний бизнес в основном сосредоточен в обрабатывающих производствах, таких как легкая и пищевая промышленность, машиностроение, медицинская и химическая промышленность, черная и цветная металлургия, а также торговля.

Согласно актуальным поступающим данным, нынешние экономические условия оказывают значительное давление на развитие и активность субъектов МСП, что, в свою очередь, требует поиска путей решения данной проблемы.

Проблема низкой активности малого и среднего бизнеса (МСБ) в России является многогранной и обусловлена рядом факторов. Основные проблемы включают недостаток финансирования, бюрократические барьеры, нехватку квалифицированных кадров,

отсутствие поддержки со стороны государства, низкую инновационную активность и неустойчивую экономическую ситуацию.

Недостаток финансирования является одной из ключевых проблем, с которой сталкиваются предприниматели. МСБ часто испытывает трудности при получении кредитов и инвестиций, что ограничивает их возможности для роста и внедрения новых идей. Бюрократические барьеры также играют значительную роль: сложные и запутанные административные процедуры затрудняют открытие и ведение бизнеса, что может отпугивать потенциальных предпринимателей.

Кроме того, нехватка квалифицированных кадров сказывается на конкурентоспособности малых и средних предприятий. МСБ испытывает дефицит специалистов, что затрудняет выполнение задач и реализацию проектов [2]. Отсутствие поддержки со стороны государства, выражающееся в низком уровне государственной помощи и недостаточном внимании к нуждам МСБ, также тормозит развитие сектора. Низкая инновационная активность, вызванная нехваткой ресурсов и знаний, становится дополнительным препятствием на пути к росту.

Неустойчивая экономическая ситуация, включая экономические колебания, инфляцию и санкции, создает нестабильную среду для ведения бизнеса. Это приводит к тому, что многие предприниматели предпочитают не рисковать и не развивать свои компании.

Для решения проблем, стоящих перед МСБ, необходим комплексный подход, охватывающий улучшение доступа к финансированию и снижение бюрократических барьеров. Улучшение доступа к финансированию достигается посредством разработки программ субсидирования процентных ставок по кредитам для МСБ, где государство частично компенсирует процентную ставку, снижая финансовую нагрузку и стимулируя инвестиции.

Ключевыми аспектами здесь являются четкие критерии отбора, контроль за целевым использованием средств и долгосрочный характер программы. Также необходимо создание венчурных фондов и инвестиционных платформ, предоставляющих финансирование компаниям, не имеющим доступа к банковским кредитам. Важно привлечение частных инвесторов, обеспечение прозрачности и регулирование деятельности этих фондов. Поддержка краудфандинга, сбора средств от широкой аудитории через онлайн-платформы, также важна, требуя обучения МСБ эффективному использованию этих платформ и развития краудфандинговой инфраструктуры [3].

Снижение бюрократических барьеров включает упрощение процедур регистрации и лицензирования бизнеса, сокращение количества необходимых документов, сроков рассмотрения заявок и предоставление возможности онлайн-регистрации. Это требует межведомственного взаимодействия и прозрачности информации.

Внедрение электронных сервисов для взаимодействия с государственными органами, таких как подача отчетности, оплата налогов и получение консультаций онлайн, экономит время и деньги предпринимателей. Важны удобство использования, надежность и безопасность этих сервисов, а также обучение предпринимателей их использованию.

Успешная реализация этих мер требует скоординированных усилий со стороны государства, банков, инвесторов и самих предпринимателей, а также постоянного мониторинга и корректировки для достижения максимальной эффективности.

Развитие образовательных программ также играет важную роль. Создание курсов и тренингов по управлению бизнесом, финансовой грамотности и инновациям поможет повысить уровень компетенции предпринимателей. Государственная поддержка должна включать увеличение финансирования программ поддержки МСБ, создание бизнес-инкубаторов и акселераторов для стартапов [4].

Стимулирование инновационной активности может быть достигнуто путем поддержки научно-исследовательских проектов, направленных на внедрение новых технологий в МСБ, а также поощрения сотрудничества между университетами и бизнесом для обмена знаниями и технологиями.

Наконец, создание благоприятной экономической среды требует проведения макроэкономической политики, направленной на стабильность и предсказуемость, а также разработки мер по улучшению инвестиционного климата и защите прав собственности.

Таким образом, для решения проблемы низкой активности малого и среднего бизнеса в России необходимы как меры государственной поддержки, так и инициативы со стороны самих предпринимателей. Инновационный рост может быть достигнут только при создании благоприятной экосистемы, способствующей развитию МСБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Постановление Правительства РФ от 11.12.2020 № 1352 «Об особенностях участия субъектов малого и среднего предпринимательства в закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» // СПС «КонсультантПлюс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_ LAW_172109/ (дата обращения: 18.06.2025).

2. Федеральный закон «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» от 24.07.2019 N 209- ФЗ (ред. от 27.12.2021) // СПС «КонсультантПлюс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/ document/cons_doc_LAW_521144/ (дата обращения: 19.06.2025).

3. Налоговый кодекс Российской Федерации (ред. от 29.09.2019) (с изм. и доп., вступ. в силу 01.11.2019) // СПС «КонсультантПлюс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_334304/ (дата обращения: 19.06.2025).

4. *Мурзин, Д.А.* Учет и налогообложение на предприятиях малого и среднего бизнеса: учебное пособие для вузов / Д. А. Мурзин, Н. Г. Барышников, Д. Ю. Самыгин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 194 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-21117-7. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/559379 (дата обращения: 22.06.2025).

PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF SMALL AND MEDIUM BUSINESSES IN RUSSIA: TOWARDS CREATING CONDITIONS FOR INNOVATIVE GROWTH

Raimov F.T.

Supervisor: Pankova A.A.

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan*)

Abstract. The study is devoted to the analysis of the development of small and medium-sized businesses (SMEs) in Russia, identifying key problems and ways to solve them. A set of government support measures aimed at creating a favorable business environment is proposed, including improving tax legislation and reducing administrative barriers.

УДК 33

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОЦЕНКИ БИЗНЕСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ DCF

Романова Ю.В.

Научный руководитель: Рахимова Г.С., доцент

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматриваются аспекты построения DCF-модели для оценки стоимости бизнеса на примере ПАО «ММК», что важно в условиях роста инвестиций в России. Модель помогает оценить инвестиционный потенциал компании в рамках стратегического планирования.

В условиях настоящего времени в РФ возрастает значение инструментов для оценки долгосрочного инвестиционного потенциала компании, что делает модель DCF особенно актуальной [3].

Модель дисконтированных денежных потоков (DCF) — ключевой инструмент корпоративных финансов, позволяющий определить текущую стоимость компании на основе прогнозируемых денежных потоков и их дисконтирования [4].

DCF-модель занимает центральное место в финансовом анализе благодаря своей универсальности и точности. Одними из важнейших аспектов, которые данная модель позволяет выявить являются: оценка инвестиционных проектов, определение справедливой стоимости активов, анализ целесообразности сделок [1].

Актуальность темы обусловлена необходимостью использования при финансовом анализе объективных инструментов, которые помогают принимать обоснованные решения инвестирования средств в условиях высокой волатильности рынка.

Для того чтобы сделать оценку бизнеса, нужно провести оценку финансового состояния ПАО «ММК». ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ПАО ММК) — это крупный российский металлургический комплекс с полным производственным циклом. Основная деятельность — производство чугуна, стали и ферросплавов. Кроме того, ММК занимается глубокой переработкой черных металлов и производит широкий сортамент металлопродукции, включая продукцию горно-обогатительного, коксохимического и кислородного производств.

Для оценки рыночной стоимости с использованием метода DCF-модели необходимо отразить динамику выручки и прибыли ПАО «ММК» за период 2019–2024 гг. (см. рис. 1).

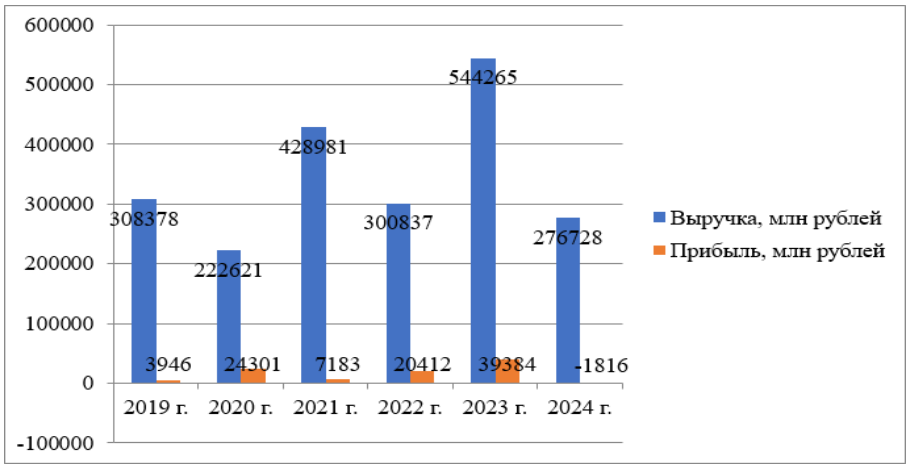


Рис. 1. Динамика выручки и прибыли «ММК» за 2019–2024 гг., млн рублей

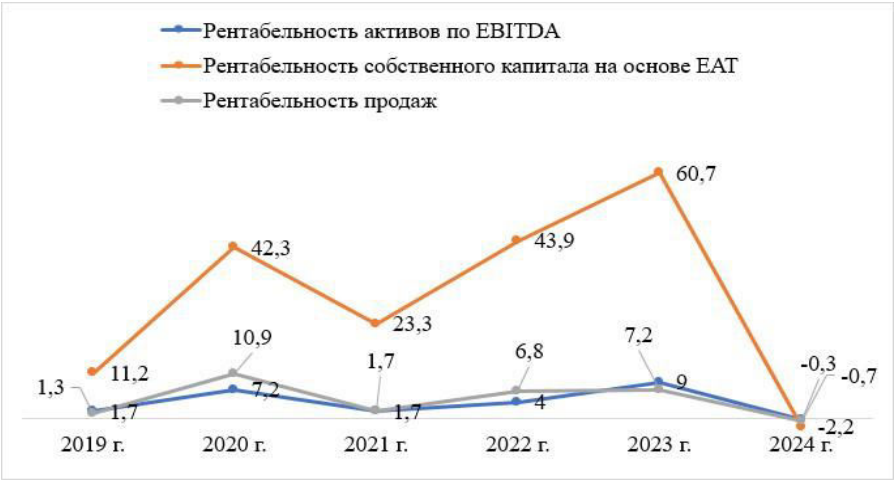


Рис. 2. Показатели рентабельности ПАО «ММК» за 2019–2024 гг., %

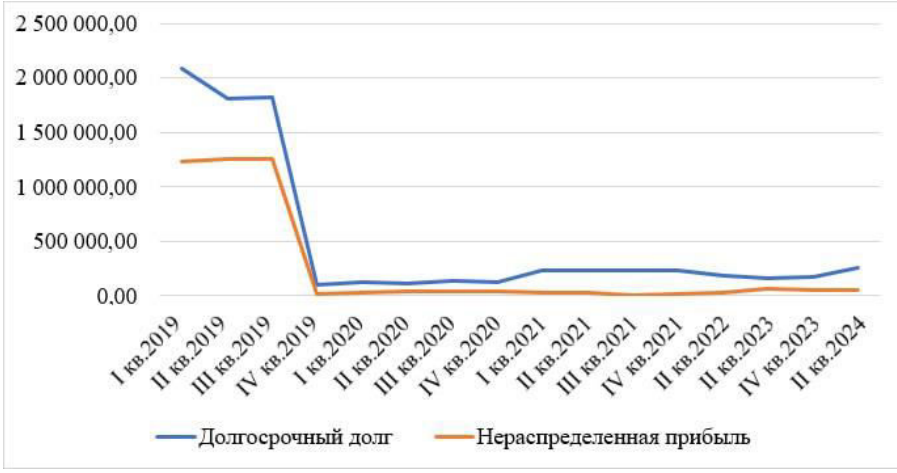


Рис. 3. Показатели долгосрочного долга и нераспределённой прибыли ПАО «ММК» за 2019–2024 гг., руб.

Из рисунка 3 видно, что нераспределенная прибыль ПАО «ММК» снизилась, что может свидетельствовать о падении рентабельности в IV квартале 2019 года. Кроме того, долгосрочные обязательства превышают нераспределенную прибыль, указывая на высокую зависимость компании от заемного капитала.

Анализ данных за 2019-2024 гг. показывает, что нормальные показатели рентабельности наблюдаются только в отношении рентабельности собственного капитала, который эффективно используется собственниками. В то же время, рентабельность продаж демонстрирует негативную динамику начиная с 2021 года, что частично связано с последствиями пандемии COVID-19.

В целом, представленная информация указывает на ухудшение финансового состояния ПАО «ММК» в последние годы, выражающееся в снижении рентабельности и растущей зависимости от заемных средств.

Для составления и анализа DCF модели ПАО «ММК» сначала мы спрогнозируем операционную прибыль на период с 2023 по 2032 год, основываясь на среднем отраслевом показателе роста металлургических компаний, равном 3,3%. Операционная прибыль ПАО «ММК» за IV квартал 2023 года составляет 93 641 млн руб. Мы будем прогнозировать эту прибыль на следующие 9 лет, а затем рассчитаем налог на неё (см. табл. 1).

Следующим этапом находим показатель амортизации, для расчета которого, из МСФО компании находим инвестиционные расходы равные -23740 млн. руб. и делим на 30 дней. Далее находим изменения в оборотном капитале: из итого оборотных активов вычитаем итого краткосрочных обязательств получаем 12818 млн. руб. Все показатели прогнозируем на 9 лет вперёд. После нахождения всех выше найденных элементов можем найти OCF и FCF. OCF будет равен NOPLAT плюс амортизация и минус изменения в оборотном капитале, в то время как FCF будет равен OCF минус CAPEX (таблица 1).

Таблица 1

Нахождение FCF ПАО «ММК» за 2023–2032 гг., млн руб.

Год	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**	**2029**	**2030**	**2031**	**2032**
Показатели	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.Операционная прибыль (EBIT)	93641	96731	99923	103221	106627	110146	113781	117535	121414	125421
2. Ставка налога %	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
3. Налог на прибыль	18728	19346	19985	20644	21325	22029	22756	23507	24283	25084

4. Операционный результат, скорректированный с учетом налогов (NOPLAT)	74913	77385	79939	82577	85302	88117	91024	94028	97131	100336
5. Амортизация	- 791,3	- 817,4	- 844,4	- 872,3	- 901,1	- 930,81	- 961,5	- 993,26	- 1026	- 1060
6. Инвестиционные затраты (CAPEX)	- 23740	- 24523	- 25333	- 26169	- 27032	-27924	- 28846	- 29798	- 30781	- 31797
7. Изменение в оборотном капитале	12818	13241	13678	14129	14596	15077	15575	16089	16620	17168
OCF	61303	63326	65416	67575	69805	72109	74488	76946	79485	82108
8. FCF-free cash flow	85043	87850	90749	93744	96837	100033	103334	106744	110266	113905

Безрисковая ставка для ПАО «ММК» составляет 20%, бета-коэффициент равен 1,0316, а рыночная премия составляет 2%. Стоимость собственного капитала рассчитывается как безрисковая ставка плюс произведение бета-коэффициента на рыночную премию, что составляет 22,06%. Далее определяем стоимость долга, складывая безрисковую ставку и спред, а затем вычисляем стоимость долга после уплаты налогов. После этого можем рассчитать стоимость собственного капитала, полученную в результате оценки, на 2023 год:

Чистая прибыль + амортизация – инвестиционные затраты – изменения в оборотном капитале + изменения в долгосрочном капитале.

Дисконтируем оставшиеся года по ставке 26%.

Также найдём стоимость долга на 2023 год: долгосрочный долг + краткосрочный долг (таблица 2). На оставшиеся года также дисконтируем.

Таблица 2

Построение DCF-модели ПАО «ММК» за 2023–2032 гг., млн руб.

Год	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**	**2029**	**2030**	**2031**	**2032**
Стоимость долга %	24,9 %	24,9 %	24,9 %	24,9 %	24,9 %	24,9 %	24,9 %	24,9 %	24,9 %	24,9 %
Налоговая ставка %	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Стоимость долга после уплаты налогов %	19,92 %	19,92 %	19,92 %	19,92 %	19,92 %	19,92 %	19,92 %	19,92 %	19,92 %	19,92 %
Стоимость собственного капитала (полученная в результате оценки)	77397,7	61426,7	38692	19342	7674	2416,4	603,87	119,771	18,853	2,35534

Стоимость долга	319573	253629	159756	79863	31686	9977,3	2493,4	494,532	77,845	9,72513

1. Найдём оставшиеся показатели необходимые для нахождения стоимости компании ПАО «ММК»:

2. Доля в капитале = стоимость собственного капитала (полученная в результате оценки) / ((стоимость собственного капитала (полученная в результате оценки) + стоимость долга) = 19,5%;

3. Доля долга = 1 – доля в капитале = 80,5%;

4. Взвешенная стоимость капитала (WACC) = стоимость собственного капитала * доля в капитале + стоимость долга после уплаты налогов * доля долга = 20,34%

5. Индикатор скидок за каждый год по формуле: 1 / (1 + WACC)^n, где n – номер года (2023 – 0, 2024 – 1 и т. д.).

Найдём остаточную стоимость после 2032 года: для этого FCF 2032 года разделим на WACC = 117664,152 / 0,2034 = 578547,324 млн руб. (убрали из формулы темп роста с целью получения более вероятного периода).

Далее найдём дисконтированный FCF, для этого умножим FCF каждого года на индикатор скидок каждого года. Приведённая конечная стоимость будет равна индикатору скидок 2032 года, умноженного на остаточную стоимость после 2032 года: 0,188964 * 578547,324 = 109324,699 млн руб. Также найдём дисконтированный денежный поток нарастающим итогом (таблица 3).

Таблица 3

Нахождение стоимости компании ПАО «ТМК» методом построения DCF-модели, млн руб.

Год	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Дисконтированный FCF Свободный денежный поток	85044	73002	62666	53794	46177	39639	34027	29209	25074	-
Приведённая конечная стоимость	-	-	-	-	-	-	-	-	-	109324
Дисконтированный Свободный денежный поток	85044	158046	220713	274507	320685	360325	394352	423562	448636	579485

Таким образом, мы определили стоимость компании ПАО «ММК», которая составляет 579485 млн руб. Стоимость акции по данной модели равна 102,13 руб., что практически соответствует текущей рыночной цене в 105,34 руб. Это подтверждает правильность использованных методологических подходов и исходных данных. Полученный результат может служить основой для дальнейшего анализа и принятия инвестиционных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Вежновец Е.Ю.* Оценка бизнеса как инструмент управления предприятием / Е.Ю. Вежновец, С.А. Вдовин // Форум молодых ученых. – 2024. – С. 144– 150.

2. ПАО «ТМК» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://smart-lab.ru/q/TRMK/f/y/ (дата обращения: 06.06.2025).

3. *Эскиндаров М.А.* Оценка стоимости бизнеса (для бакалавров) / М.А. Эскиндаров; под ред. М.А. Федотова. – М.: КноРус, 2022. – 256 с.

4. Методы и модели оценки стоимости бизнеса при м&а сделках / С.В. Юров, П.В. Самсонова, Е.А. Корякина, Е.Д. Шумская // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2023. – С. 244–249.

THEORETICAL AND PRACTICAL ELEMENTS OF BUSINESS VALUATION USING THE DCF MODEL

Romanova Y.V.
Supervisor: Rakhimova G.S., Associate Professor
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses the aspects of building a DCF model for business valuation using the example of PAO "MMK," which is important in the context of investment growth in Russia. The model helps assess the company's investment potential within the framework of strategic planning.

УДК 331.545 и 378.147

О РОЛИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОМПОНЕНТА ИНЖИНИРИНГА

Сердюк В.А.
Научный руководитель: Самохина С.С., доцент, к. п. н.
(Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, г. Ульяновск)

Аннотация. В работе рассматривается образовательный компонент по подготовке кадров в рамках концепции инжиниринга в России. Названы отрасли нашей страны, опережающие по техническим и технологическим результатам другие страны. Обучение инженерных специалистов вузе следует осуществлять на основе деятельностной теории с освоением надпредметных инвариантных знаний.

Одной из сторон фундаментальной науки является ее прикладная направленность, то есть ее результаты внедряются в прикладные технические решения в промышленности. Именно поэтому инжиниринг актуален в настоящее время, так как является составляющей инновационного развития экономики в России. Анализ литературы позволяет сделать вывод о том, что инжиниринг в нашей стране находится на этапе становления в отличие от его статуса в высокоразвитых странах [1].

При этом в России имеются отрасли промышленности, значительно опережающие по своим достижениям другие страны. Таковой является атомная (ядерная) энергетика. Так, например, очень востребованным на сегодняшний день является процесс переработки отработавшего ядерного топлива с целью создания замкнутого ядерного цикла, а не его захоронение. Создается не имеющий аналогов в мире опытно-демонстрационный энергокомплекс, для которого в Росатоме разработано инновационное СНУП-топливо (смешанное нитридное уран-плутониевое топливо). В 2035 году в Мурманской области планируют запустить реакторы, которые будут использовать в рамках замкнутого ядерного топливного цикла уникальное разработанное в нашей стране МОКС-топливо.

Таким образом, можно утверждать, что инновационное развитие в атомной отрасли отвечает запросам времени. Фактическим с помощью технологий по переработке отработавшего топлива организуется практически безотходное производство с точки зрения использования топлива. Это важный момент, так как запасы невозобновляемых источников энергии (нефть, газ, уголь) конечны. Альтернативные источники энергии (ветровая и солнечная энергетика) в настоящее время не очень эффективны. В свою очередь в настоящее время в ядерных реакторах на быстрых нейтронах воспроизводится плутоний в количествах, которые не требуются в военной сфере. А применение плутония на атомных станциях менее выгодно по сравнению с урановым топливом. В нашей стране уже имеются технологии переработки плутония в более выгодные радиоактивные материалы.

Существуют различные критерии классификации инжиниринговых услуг, которые в том числе подразумевают подготовку инженерных кадров [2]. Однако, в явном виде

образовательный компонент не выделяется. Тенденция сегодняшнего дня состоит в том, что специалист-инженер после окончания высшего учебного заведения должен быть готов к переквалификации, переходу в новые для него отрасли деятельности, самостоятельному получению профессиональных компетенций. Эта ситуации диктуется законом о перемене труда и подразумевает систему непрерывного образования в течение всей жизни человека.

Традиционная знаниевая парадигма в образовании устарела, предметные знания быстро устаревают. Будущих инженеров нужно обучать способам получения субъективно и объективно новых знаний, формировать продуктивное мышление (оно не формируется стихийно).

Мы считаем, что следует отдельно рассматривать важнейший образовательный структурный элемент инжиниринга, который должен реализовываться при подготовке инженерных кадров в вузе. Уровень техники с каждым годом обновляется быстрее, чем в прежние годы. Инженер при этом владеет информацией об ограниченном круге физических явлений, которые могут быть внедрены в технические решения. Практические задачи в технике опережают изменения в системе подготовки инженерных кадров в вузе. Это означает, что акцент в учебном процессе должен быть перенесен с предметно-специфического обучения на подготовку к продуктивной деятельности, освоение обучаемыми межпредметных способов деятельности и инвариантных структур [3]. Подготовка инженерных кадров в вузе должна строится на основе методик обратного инжиниринга, проектирования технических устройств.

Известна методика под названием ТРИЗ (Теории решения изобретательских задач), разработанный инженером-изобретателем Г.С. Альтшуллером [4]. С использованием матрицы противоречий и алгоритма решения изобретательских задач можно найти варианты получения технических результатов. Недостатком метода является то, что обучаемый может получать для анализа сведения из обширного, но ограниченного банка данных, созданного автором метода. Причем сам банк требует постоянного обновления с учетом открытий в фундаментальных и прикладных областях.

Мы поддерживаем другую идею: об использовании в качестве инвариантных структур методологических знаний о структуре деятельности. Для организации учебного процесса может быть применена концепция о структуре деятельности и взаимосвязях по типу уподобления между компонентами деятельности как показано на рисунке [5]. Эти знания строятся по типу соответствия предмета цели или образцу продукта деятельности, соответствия орудий предмету и цели, операций – предмету, орудиям и цели, продукта – цели, предмету, орудиям, операциям [3,6].

Рисунок 1. Структура творческой деятельности и взаимосвязь ее компонентов

Реинжиниринг в учебном процессе возможно строить в двух вариантах. В первом случае обучаемые подвергают анализу свойства уже известного технического устройства, технологии, материала для нахождения субъективно новых решений при поставленной обучаемому извне задачи на внедрение. Например, физических знаний в прикладные решения.

Однако, более продуктивным является путь освоения приемов анализа фундаментальных естественнонаучных знаний (физических, химических, биологических) обучаемым в рамках специально организованной учебной деятельности и возможности применения этих знаний для разработки новых технических устройств. Обучаемый получает универсальный инструментарий и становится способен самостоятельно формулировать задачи на внедрение [3,6].

Инвариантные знания универсальны. Поэтому обучение их освоению в вузе возможно в рамках различных учебных дисциплин, в частности, математики, физики, химии, биологии. Так, в курсе геометрии осваиваются приемы поиска неизвестных обучаемому дополнительных построений при доказательстве теорем. Например, для теоремы о сумме углов в треугольнике.

В курсе физики с использованием учебных карт, позволяющих анализировать фундаментальные знания и прикладные технические области, формулируются задачи на потенциальное внедрение. Например, различные виды акселерометров (инерционные, пьезоэлектрические, индукционные, емкостные) [6].

Использование инвариантных знаний при изучении химии и материаловедения позволит обучаемым прийти к решению задачи на нахождение способа создания и применения практически безотходного производства в атомной энергетике с использованием отработавшего топлива, о котором шла речь выше. В этой ситуации можно говорить о реинжиниринговом подходе в подготовке инженерных кадров.

Инновационное развитие промышленности возможно только при наличии творческой, продуктивной деятельности. Репродуктивные методы обучения не отвечают требованиям инновационного развития инженерных решений. Учебные программы и учебные пособия в вузе не успевают за темпом обновления и, тем более, появления новых фундаментальных знаний и технических решений. Перенос акцента с освоения только предметных знаний на изучение инвариантных структур и методов позволит подготовить будущих специалистов для работы в различных отраслях промышленности и освоения перспективных направлений с учетом целей и задач инжиниринга в нашей стране.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1 *Мантуров Д.В.* Развитие инжиниринга – важнейшая составляющая формирования инновационной экономики в Россию //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана Серия Машиностроение 2013 №2 с15.

2. *Зимняя И.А* Педагогическая психология. Учебник для вузов. Изд. второе, доп., испр. и перераб. – М.: Издательская корпорация «Логос», 2000. – С.191-216.

3. *Самохина С.С.* Инвариантные знания как условие профессиональной мобильности инженера / С.С. Самохина // Международный журнал экспериментального образования. – 2011. – № 3. – С. 76-77.

4. *Альтшуллер Г.С.* Найти идею: Введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач /Генрих Альтшуллер. – 7-е изд. – Москва: Альпина Паблишер, 2014. – 402 с.

5. *Калошина, И.П.* Психология творческой деятельности: учеб. пособие / И.П. Калошина. – 3-е изд., доп. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2015. – 672 с.

6.*Самохина С.С.* Физические ограничения полета воздушного судна как фактор обеспечения безопасности полета / С.С. Самохина, А.О. Морозов // Проблемы современного педагогического образования. – Сборник научных трудов: Ялта: РИО ГПА. 2024. – Вып.84. – Ч1. – С.282-284

ON THE ROLE OF THE EDUCATIONAL COMPONENT OF ENGINEERING

Serdyuk V.A.
Supervisor: Samokhina S.S, Associate professor, Candidate of Pedagogic Sciences
(Ulyanovsk Institute of Civil Aviation, Ulyanovsk)

Abstract. The paper considers the educational component of personnel training within the framework of the concept of engineering in Russia. The industries of our country that are ahead of other countries in terms of technical and technological results are named. The training of engineering specialists at the university should be carried out on the basis of activity theory with the development of supra-subject invariant knowledge.

УДК 658.62

РОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СТАРТАПОВ В ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РОССИЙСКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Тазова Р.В.
Научный руководитель: Николаева А.Б., доцент, к. э. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье автор освятил проблемы технологической модернизации российской промышленности через интеграцию инновационных разработок стартапов в процессы промышленных предприятий. На основе анализа российских и зарубежных кейсов автором систематизированы основные модели интеграции, от корпоративных акселераторов до пилотных внедрений, и определена их практическая значимость для различных звеньев цепочки создания стоимости. Результатом работы является структурированный анализ, содержащий рекомендации для предприятий и стартапов по выбору оптимальной модели сотрудничества.

Современные вызовы глобальной экономики требуют от российских промышленных предприятий активного внедрения инновационных разработок. Этого можно достичь через интеграцию технологических стартапов в свои производственные цепочки.

Актуальность темы исследования обусловлена комплексом вызовов, стоящих перед российской промышленностью в условиях формирования технологического суверенитета Российской Федерации.

Необходимость ускоренной цифровой трансформации, импортонезависимости и повышения глобальной конкурентоспособности требует от крупных промышленных предприятий активного внедрения прорывных инноваций. В то же время, технологические стартапы, обладающие значительным потенциалом для создания таких решений, часто сталкиваются с непреодолимыми барьерами при выходе на крупные рынки и интеграции в существующие производственные и управленческие процессы.

Сегодня проблема заключается в отсутствии систематизированного подхода к выбору и реализации эффективных моделей взаимодействия между технологическими стартапами и крупными промышленными предприятиями. Недостаточная изученность механизмов встраивания стартапов непосредственно в цепочки создания стоимости корпораций, а также преимуществ и рисков, связанных с каждой из возможных моделей, затрудняет формирование устойчивых и продуктивных связей между этими субъектами инновационной экосистемы.

Целью исследования является выявление, анализ и систематизация ключевых моделей интеграции технологических стартапов в цепочки создания стоимости крупных промышленных предприятий для определения их практической значимости в контексте развития российской промышленности.

Для достижения поставленной цели в исследовании мы определили комплекс

взаимосвязанных задач, включающих теоретическое осмысление содержания понятий «технологический стартап» и «цепочка создания стоимости» применительно к специфике крупных промышленных предприятий.

Также автор провел систематизацию и классификацию современных моделей интеграции на основе анализа международного и отечественного опыта взаимодействия между стартапами и предприятиями. Важной задачей является выявление преимуществ, ограничений и ключевых рисков различных моделей взаимодействия для обеих сторон.

Практическая сторона исследования - это применение рассмотренных моделей на примере конкретных российских предприятий, что позволит перейти к разработке обоснованных рекомендаций по выбору оптимальных форм интеграции для технологических стартапов и промышленных предприятий.

Объектом исследования мы определили процесс интеграции технологических стартапов в инновационную деятельность промышленных предприятий. Предметом исследования являются модели организационно-экономического взаимодействия, обеспечивающие данную интеграцию.

Теоретической базой для анализа процесса интеграции технологических стартапов в деятельность крупных промышленных предприятий служат несколько фундаментальных концепций. В первую очередь, необходимо рассмотреть саму структуру предприятия через призму цепочки создания стоимости, концепция которой была детально разработана Майклом Портером [1]. Согласно данному подходу, деятельность любой производственной компании представляет собой совокупность взаимосвязанных видов деятельности, которые можно разделить на основные (входящая логистика, операции, исходящая логистика, маркетинг и продажи, сервис) и вспомогательные (инфраструктура фирмы, управление персоналом, технологическое развитие, закупки).

Интеграция инноваций от стартапов потенциально может затрагивать любое из этих звеньев, будь то внедрение новых решений в области логистики (например, на базе искусственного интеллекта), модернизация производственных операций (промышленный интернет вещей, роботизация) или совершенствование сервисного обслуживания.

Второй ключевой концепцией является парадигма открытых инноваций, предложенная Генри Чесбро [2]. Данная модель инновационного процесса противопоставляется классической модели закрытых инноваций, где компании полагаются исключительно на внутренние исследования и разработки.

Взаимодействие с технологическими стартапами является одним из наиболее эффективных каналов притока внешних знаний и технологий для предприятий, что позволяет им снижать издержки и риски собственных НИОКР, ускорять цикл разработки и выводить на рынок принципиально новые продукты и услуги.

Наконец, необходимо четко определить, что понимается под технологическим стартапом. В рамках данной статьи мы будем опираться на определение, данное С. Бланком и Э. Рисом, которые характеризуют стартап как временную организацию, созданную для поиска повторяемой и масштабируемой бизнес-модели в условиях крайней неопределенности. Ключевыми атрибутами технологического стартапа являются: ориентация на создание инновационного продукта или услуги с высокой добавленной стоимостью; высокая степень неопределенности и риска; потенциал быстрого роста; работа в условиях ограниченности ресурсов; гибкость и способность к быстрой адаптации [3].

Проведенный анализ литературных источников показывает, что, несмотря на наличие проработанного теоретического фундамента, вопрос практической систематизации моделей такого взаимодействия, особенно в условиях российской промышленности, остается недостаточно освещенным [4].

Большинство исследований фокусируется либо на венчурном финансировании, либо на отдельных кейсах, не предлагая целостной классификационной рамки, что определяет научную нишу данного исследования [5].

Для достижения поставленной цели и решения обозначенных задач в исследовании был

применен комплекс общенаучных методов, объединенных в системный подход к изучению моделей интеграции технологических стартапов в деятельность промышленных предприятий [6].

Центральным методом исследования выступил сравнительный анализ и последующая классификация существующих моделей интеграции. На основе изучения международного и отечественного опыта были выделены ключевые признаки для систематизации моделей: степень интеграции, стадия взаимодействия, вовлеченность ресурсов и целевое звено цепочки создания стоимости.

Для верификации теоретических выводов и углубленного понимания практической реализации моделей был использован метод анализа конкретных ситуаций [7]. В рамках метода были отобраны и детально проанализированы публичные кейсы успешного взаимодействия российских промышленных предприятий (таких как ПАО «КАМАЗ», Госкорпорация «Росатом») с технологическими стартапами. Источниками информации выступили годовые отчеты предприятий, отраслевые новостные порталы и специализированные платформы [8].

На основе проведенного анализа российского и международного опыта взаимодействия крупных промышленных предприятий и технологических стартапов были выделены и систематизированы пять ключевых моделей интеграции.

Корпоративный акселератор представляет собой программу интенсивного развития для отобранных стартапов с целью доработки их решений под задачи предприятия. Данная модель затрагивает звенья НИОКР и технологического развития цепочки стоимости. Для предприятия преимущество заключается в доступе к широкому пулу инноваций, когда же для стартапа — в получении финансирования и экспертной поддержки. Основными рисками являются формальный подход и отсутствие дальнейшего внедрения разработанных решений [9].

Прямое пилотное внедрение предполагает испытания продукта стартапа на реальных мощностях предприятия на основе пилотного контракта. Модель нацелена на основные звенья цепочки стоимости: производство, логистику и сервис. Ключевое преимущество для предприятия— тестирование технологии в реальных условиях с минимальными затратами, для стартапа — получение первого крупного референса. Главным вызовом выступают длительные согласования и бюрократические барьеры.

Корпоративный венчурный фонд осуществляет прямые инвестиции в капитал стартапа через специально созданный фонд. Модель имеет стратегический характер и затрагивает все звенья цепочки стоимости. Преимущества для предприятия включают получение доли в перспективном активе и влияние на развитие технологии, для стартапа — доступ к долгосрочному финансированию и рынкам сбыта. Основной риск — конфликт стратегических и финансовых целей [10].

Создание совместного предприятия учреждение отдельной юридической структуры с совместным владением активами для глубокой разработки и коммерциализации технологии. Модель интеграционно воздействует на НИОКР, производство и выход на новые рынки. Преимущества для обеих сторон включают разделение рисков и доступ к взаимным ресурсам и компетенциям. К рискам относятся сложность интеграции корпоративных культур и длительные переговоры [11].

Лицензионное соглашение предполагает приобретение предприятием лицензии на использование технологии, ноу-хау или интеллектуальной собственности стартапа. Модель может затрагивать все звенья цепочки стоимости в зависимости от характера технологии. Основное преимущество для предприятия — быстрый доступ к готовой технологии, для стартапа — стабильный лицензионный доход. Ключевой риск — сложность оценки справедливой стоимости лицензии [12].

Для наглядности представим распределение моделей интеграции по уровню риска и потенциальной эффективности для предприятий в Таблице 1.

Таблица 1

Классификация моделей интеграции по уровню риска и потенциальной эффективности

Модель интеграции	Уровень риска	Потенциальная эффективность	Сроки реализации
Корпоративный акселератор	Низкий	Средняя	Короткие (3-6 мес.)
Прямое пилотное внедрение	Средний	Средняя/высокая	Средние (6-12 мес.)
Лицензионное соглашение	Средний	Высокая	Короткие (1-3 мес.)
Корпоративный венчурный фонд	Высокий	Очень высокая	Длительные (1-3 года)
Совместное предприятие	Очень высокий	Очень высокая	Длительные (1-3 года)

Проведенный анализ 120 примеров взаимодействия российских промышленных предприятий с технологическими стартапами за период 2021-2024 годов, отобранных из баз данных АО «РВК», платформы «Стартавиация», корпоративных отчетов и отраслевых обзоров, позволил выявить ключевые тенденции [13]. Распределение моделей интеграции представлено на Рисунке 1.

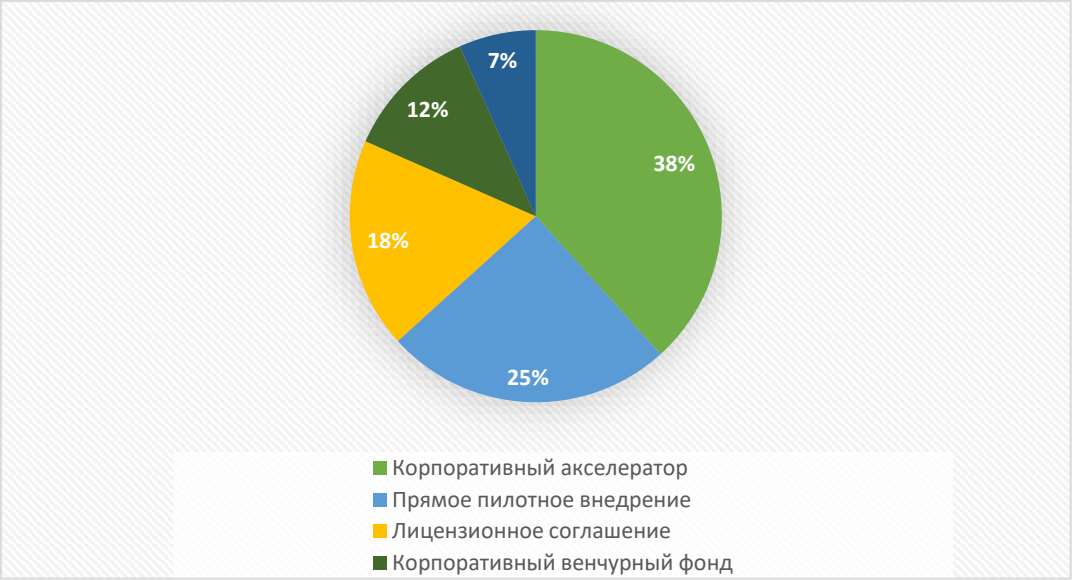


Рис. 1. Распределение моделей интеграции, используемых российскими промышленными предприятиями

Как показывает диаграмма, наиболее распространенной моделью является прямое пилотное внедрение (38,3% от общего числа проанализированных кейсов), что объясняется относительно низкими входными барьерами и возможностью тестирования технологий без значительных финансовых вложений [14].

Второе место занимают корпоративные акселераторы (25,0%), популярные благодаря возможности работы с широким пулом стартапов при минимальных рисках.

На основе агрегирования данных из отчетов АО «РВК», Росстата и корпоративной отчетности крупнейших промышленных компаний был построен график, демонстрирующий устойчивую положительную динамику объема инвестиций в технологические стартапы (рис. 2) [15].

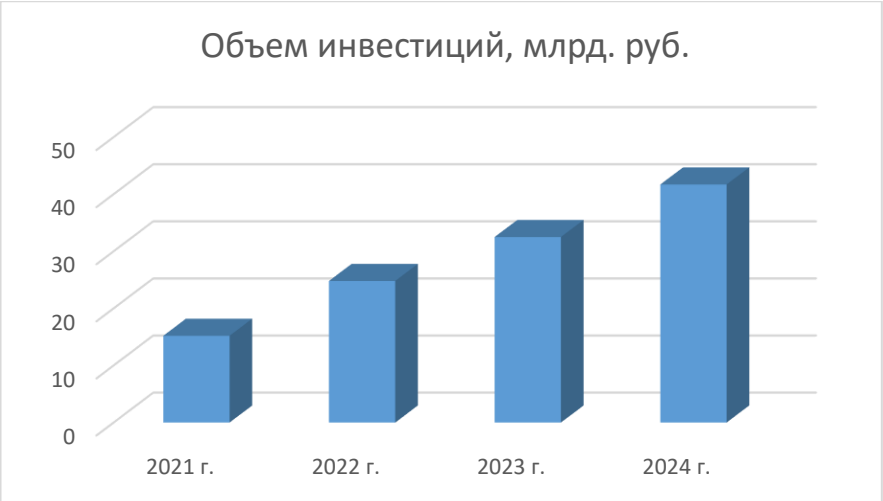


Рис. 2. Динамика объема инвестиций российских промышленных предприятий в технологические стартапы, млрд руб. (2021-2024 гг.)

Анализ конкретных примеров выявил следующие закономерности:

Наиболее активными в области интеграции стартапов являются предприятия нефтегазового сектора («Роснефть», «Лукойл», «Газпром Нефть») и машиностроения («Росатом», «КАМАЗ»).

Основными направлениями для интеграции являются технологии промышленного интернета вещей (27%), большие данные (23%) и искусственный интеллект (19%).

Наибольшие сложности возникают на этапе масштабирования успешных пилотных проектов (отмечается в 68% примеров).

Результаты анализа показали, что выбор модели интеграции технологических стартапов в цепочку создания стоимости крупных промышленных корпораций должен определяться стратегическими целями сотрудничества и уровнем зрелости технологии [16]. Для начального тестирования наиболее эффективны пилотные внедрения и акселераторы, в то время как для глубокой интеграции перспективных технологий более подходят модели корпоративного венчура и совместных предприятий.

В рамках исследования проанализированы реальные случаи успешной интеграции технологических стартапов в цепочки создания стоимости российских промышленных предприятий [17].

Приведем несколько примеров, например, компания «Цифровая Механика» (Санкт-Петербург), разрабатывающая программное обеспечение для инженерного анализа и цифровых двойников, в 2022-2023 годах успешно интегрировала свои решения в производственные процессы ПАО «КАМАЗ» [18].

Сотрудничество позволило внедрить систему виртуальных испытаний автомобильных компонентов и интегрировать цифровые решения в производственную цепочку. Это обеспечило существенное сокращение сроков испытаний и количества натурных тестов, снизило затраты на НИОКР. Дополнительно улучшилось качество продукции благодаря использованию цифровых двойников и повысилась гибкость производственных процессов.

Особенностью проекта стало создание совместной рабочей группы специалистов ПАО «КАМАЗ» и «Цифровой Механики» для адаптации решений под конкретные производственные задачи.

Стартап «Энбиси» (Москва), разработавший платформу для управления жизненным циклом изделий на основе блокчейн-технологий, в 2023 году заключил соглашение с «Росатомом».

Внедрение технологических решений стартапов обеспечило интеграцию в ключевые звенья НИОКР и технологического развития, создав систему сквозной прослеживаемости изделий. Реализация проекта позволила значительно сократить сроки согласования изменений в конструкторской документации при одновременном повышении уровня безопасности

хранения данных. Особую значимость имеет успешное масштабирование решения на восемь предприятий атомной отрасли, что демонстрирует универсальность и адаптивность внедренной платформы. Достигнутые результаты свидетельствуют о создании устойчивой системы управления жизненным циклом изделий с соблюдением требований промышленной безопасности.

Проект реализован в формате пилотного внедрения с последующим масштабированием на другие предприятия.

Данные примеры демонстрируют эффективность различных моделей интеграции - от пилотных внедрений до создания совместных рабочих групп. Успех сотрудничества обусловлен четким соответствием решений стартапов стратегическим задачам предприятий и наличием программы методологической поддержки внедрения.

Проведенное исследование позволило достичь поставленной цели и решить все обозначенные задачи, направленные на анализ моделей интеграции технологических стартапов в цепочки создания стоимости крупных промышленных предприятий.

На основе теоретического анализа подтверждена продуктивность применения концепций цепочки создания стоимости М. Портера и открытых инноваций Г. Чесбро в качестве методологической основы для изучения процессов интеграции технологических стартапов в деятельность промышленных предприятий.

Систематизированы и классифицированы пять ключевых моделей интеграции: корпоративные акселераторы, прямое пилотное внедрение, корпоративные венчурные фонды, создание совместных предприятий и лицензионные соглашения. Для каждой модели выявлены характеристики, преимущества и риски для обеих сторон взаимодействия.

Эмпирический анализ примеров взаимодействия показал, что наиболее распространенными моделями в российской практике являются прямое пилотное внедрение (38,3%) и корпоративные акселераторы (25,0%), что обусловлено их относительно низкими входными барьерами и минимальными рисками для предприятий.

Выявлена устойчивая положительная динамика объема инвестиций российских промышленных предприятий в технологические стартапы - с 15,2 млрд руб. в 2021 году до 41,7 млрд руб. в 2024 году, что свидетельствует о растущем интересе к данному направлению.

Практическая значимость результатов исследования заключается в их полезности для крупных промышленных предприятий. Российские промышленные предприятия могут применять полученные выводы при разработке и совершенствовании программ открытых инноваций, а технологические стартапы - для выбора оптимальных стратегий взаимодействия с промышленными партнерами. Органы государственной власти могут использовать материалы исследования при формировании программ поддержки кооперации крупного бизнеса и стартапов. Кроме того, выводы работы представляют ценность для образовательных учреждений, при разработке учебных курсов и программ дополнительного образовании, что способствует подготовке квалифицированных кадров для высокотехнологичных отраслей промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Портер М.* Конкурентное преимущество: как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость // Альпина Паблишер. 2016. С. 715.

2. *Чесбро Г.* Открытые инновации: создание прибыльных технологий // Поколение. 2007. С 336.

3. *Бланк С., Дорф Б.* Стартап: Настольная книга основателя // Альпина Паблишер. 2013. С. 498.

4. *Иванов И.А.* Взаимодействие крупного бизнеса и стартапов в России: вызовы и возможности // Инновации. 2021. Т. 5. № 10–11. С. 45–52.

5. *Петрова С.К.* Корпоративные венчурные фонды как инструмент инновационного развития // Экономика и предпринимательство. 2020. Т. 12. № 7–8. С. 78–84.

6. *Дружинина Н.В.* Методы научного исследования в экономике: учебное пособие // ИНФРА-М. 2019. С. 189.

7. *Стребкова О.А.* Метод изучения современных бизнес-процессов // Экономический анализ: теория и практика. 2020. Т. 19. № 6. С. 110–125.

8. Отчет «Инновационный барометр: инвестиции крупного бизнеса в технологические стартапы 2020–2023» // Аналитический центр «Эксперт». 2023. С. 67.

9. Сидоров А.В. Корпоративные акселераторы: механизм взаимодействия крупного бизнеса и стартапов // Российское предпринимательство. 2022. Т. 23. № 3. С. 78–94.

10. *Коротков А.С., Белова Е.Н.* Корпоративный венчурный фонд как инструмент инновационного развития промышленной корпорации // Финансы и кредит. 2021. Т. 27. № 10. С. 2250–2267.

11. Обзор «Инновационная деятельность крупнейших российских компаний 2023» // НИУ ВШЭ. 2024. С. 134.

12. Ежегодный отчет «Российский корпоративный венчур: итоги 2023 года» // РВК. 2024. С. 89.

13. База данных успешных примеров внедрения [Электрон. ресурс] / Платформа «Стартавиация» // Электрон. дан. – Режим доступа: https://startaviation.ru/cases (дата обращения: 28.08.2025).

14. Индикаторы инновационной деятельности: 2024 [Электрон. ресурс] / НИУ ВШЭ. // Статистический сборник. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://www.hse.ru/innovation2024 (дата обращения: 28.08.2025).

15. Годовой отчет ПАО «Камаз» за 2022 год [Электрон. ресурс] / ПАО «Камаз» // Корпоративная отчетность. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://kamaz.ru/reports/2022 (дата обращения: 28.08.2025).

16. Отчет о инновационной деятельности Госкорпорации «Росатом» за 2023 год [Электрон. ресурс] / Росатом. // Корпоративная отчетность. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://rosatom.ru/innovation2023 (дата обращения: 28.08.2025).

17. Официальный сайт ООО «Цифровая Механика» [Электрон. ресурс]. – Текст: электронный. – URL: https://digitalmechanics.ru (дата обращения: 28.08.2025).

18. Официальный сайт ООО «Энбиси» [Электрон. ресурс]. – Текст: электронный. – URL: https://nbsi.ru (дата обращения: 28.08.2025).

MODELS OF INTEGRATION OF TECHNOLOGICAL STARTUPS IN THE VALUE CHAINS OF LARGE INDUSTRIAL CORPORATIONS

Tazova R. V.

Supervisor: Nikolaeva A.B., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. In the article, the author highlighted the problems of technological modernization of the Russian industry through the integration of innovative developments by startups into the processes of industrial enterprises. Based on the analysis of Russian and foreign cases, the author systematized the main integration models, from corporate accelerators to pilot implementations, and determined their practical significance for various links in the value chain. The result of the work is a structured analysis that provides recommendations for enterprises and startups on choosing the optimal model of cooperation.

УДК 004.51

АКТУАЛЬНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ CRM-СИСТЕМЫ В РАБОТУ ЭНЕРГОКОМПАНИИ

Толстопятова А.А.

Научный руководитель: Ефимова Ю.В., доцент, к. п. н.

(Чистопольский филиал «Восток» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Чистополь)

Аннотация. В данной работе рассматривается необходимость внедрения CRM-системы для компании, занимающейся энергообеспечением населения. Рассмотрены основные проблемы, выявленные при анализе работы энергокомпании. Отмечены основные недостатки и достоинства CRM – систем в энергетической области. Предложены этапы внедрения
CRM – системы.

На сегодняшний день ни одно успешное предприятие не может функционировать без цифровых технологий и автоматизации рутинных задач. Цифровизация и автоматизация необходимость для компаний, стремящихся к успеху.

Объектом исследования является процесс автоматизации и цифровизации в Энергокомпании. Компания является поставщиком электрической энергии на территории Республики Татарстан в городе Чистополь. Данная компания обеспечивает реализацию электрической энергии конечным потребителям - физическим лицам. Энергокомпании является расчётным центром и производит работу с населением города около 60 тысяч человек. Персонал компании занимается обращениями граждан по жилищным проблемам, всеми начислениями и распределениями жилищно-коммунальных услуг, обработкой заявок от граждан, начислениями и перерасчётом. Большая загрузка персонала обусловлена тем, что данная компания является единственной в области обработки заявок населения в городе.

В данной Энергокомпании не используется CRM-система и задействовано большое количество сотрудников для выполнения рутинных задач. В настоящий момент обработка большого количества данных от потребителей в энергокомпании производится в ручном режиме. Данные о потребителях, заявки и обращений по всем услугам распределяются в отделы, где происходит ручная обработка поступивших заявок и обращений, производится аналитический расчёт.

При обработке заявок, выполнение расчетов, анализов и поступления большого объема информации, достаточно высока вероятность ошибок, которые потом могут привести к неверным расчётам по лицевому счету, неправильному начислению и некорректному ответу гражданам на обращение. Кроме того, ручная обработка информации, в отличие от автоматизированной, подвержена множеству проблем и ограничений, таких как:

- низкая скорость обработки заявок,
- высокие трудозатраты,
- несогласованность данных с другими отделами,
- потеря данных,
- сложность анализа больших объемов информации и показателей,
- возникновение трудностей с отчетностью,
- сложность обеспечения защиты персональных данных, и самое главное – невозможность интеграции с другими системами.

Все эти проблемы приводят неэффективной работе с клиентами, снижению уровня обслуживания, потере данных для расчета.

Для того, чтобы значительно улучшить работу с клиентами, автоматизацию операций, расчет данных, компании предлагается использовать CRM-систему.

CRM-системы - это мощное программное обеспечение, которое не только собирает и анализирует данные о клиентах, услугах, приборах учета, но и автоматизирует ключевые процессы, такие как расчет всех обеспечивающих услуг поставщиков, сбор и хранение данных

клиентов, интеграцию с другими энергокомпаниями и отделами по данной сети, сложности при расчетах[1]. Благодаря CRM-системе компания лучше учитывает пожелания своих клиентов, быстрее реагируют на их запросы и, как следствие, повышают качество обслуживания. Современные CRM-системы позволяют отслеживать поведение клиентов, возможность услуга записи на прием онлайн, взаимодействие с онлайн сервисом, где можно подать множество заявлений, касающихся своего лицевого счета и автоматизировать рутинные задачи, освобождая ресурсы для более важных целей. С точки зрения компании CRM-система - централизованное место, где собирается и хранится вся информация о клиентах, их взаимодействиях с компанией, покупках, запросах и других данных. Это помогает организовать, автоматизировать и синхронизировать процессы обслуживания клиентов, оказывать своевременную и качественную техническую поддержку населения, а также предоставляет возможность контролировать выполнение обязательств и исполнение заявок[2].

Рассматривая CRM-систему в качестве средства автоматизации бизнес процессов важно тщательно взвесить все положительные и отрицательные факторы.

К достоинствам внедрения CRM-системы можно отнести:

1. Улучшенное управление взаимоотношениями с клиентами.
2. Оптимизация трудовых процессов компании.
3. Повышение эффективности обработки заявок населения.
4. Улучшение коммуникации между отделами и филиалами компании по Республике Татарстан.
5. Оптимизация выполнения аналитических расчетов и ускорение формирования отчетности по различным параметрам: периодам работы компании, поставщикам коммунальных услуг, исполнителям заявок и т.д.
6. Автоматизация рутинных задач персонала.

CRM-системам присущи следующие недостатки:

1. Высокая стоимость внедрения.
2. Сложность внедрения и автоматизации некоторых бизнес- процессов.
3. Необходимость постоянного обновления и поддержки.
4. Сложности с обеспечением конфиденциальности данных потребителей.
5. Неэффективное использование ресурсов за счет человеческого фактора.

Правильно выбранная и внедренная CRM-система позволяет значительно повысить эффективность бизнеса и улучшить взаимоотношения с клиентами.

В настоящий момент на рынке представлено достаточно много CRM-систем, которые возможно использовать для автоматизации процессов в области энергетики [3]. В [4] упоминается, что Oracle Siebel CRM система повышает качество обслуживания клиентов ОАО «Мосэнергосбыт». В [5] анонсировано использование CRM-системы для обслуживания клиентов в Воронеже в автоматизированном режиме. Авторы статьи [6] дают описание проекта по внедрению системы управления продажами Microsoft CRM в Энергобалансе.

Как правило, каждая крупная энергетическая компания старается внедрить свою написанную CRM-систему, которая полностью соответствует потребностям данной компании, ее потребителям, а также быстрому и эффективному взаимодействию между отделами и филиалами сотрудников.

Разработка собственной CRM-системы для Энергетической компании имеет уникальные потребности, которые не могут быть удовлетворены стандартными решениями, и готова инвестировать значительные ресурсы в разработку и поддержку системы. При использовании CRM-системы все сотрудники будут работать в ней, что позволяет осуществлять постоянный контроль за выполнение собственных задач и поручений. Для эффективной работы системы и повышения качества обслуживания требуется осуществить постепенное внедрение системы.

На первом этапе внедрения непосредственно задействованы специалисты по технической поддержке, которые осуществляют контроль за работой данной системы, занимаются улучшением функционала системы и ее обслуживанием.

На втором этапе внедрения необходимо осуществить обучение сотрудников и выполнить интеграцию с уже существующими программными решениями и системами в данной организации. На данном этапе важно организовать обработку отклика от персонала, так как обратная связи позволяет качественно и своевременно и скорректировать существующее программное обеспечение с учетом замечаний.

На третьем этапе предполагается осуществить интеграцию программного обеспечения и баз данных с другими Энергокомпаниями, для реализации возможности работы в едином информационном пространстве из разных подразделений компании.

На заключающем этапе дается оценка эффективности работы CRM-системы по результатам нескольких месяцев и выдвигаются предложения по улучшению системы. Каждый сотрудник сможет понять какими важными функциями наполнена эта система, как обрабатываются заявки, как происходит создание отчетности и так далее.

Таким образом, можно сделать вывод, внедрение CRM-системы позволяет автоматизировать ключевые процессы, повысить прозрачность взаимодействия с клиентами и улучшить координацию работы сотрудников. В результате компания может значительно сократить время на обработку онлайн заявок, улучшить качество обслуживания клиентов и повысить общую эффективность работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Развитие российского рынка CRM в 2021–2022 годах [Электронный ресурс]: Аналитическая компания TAdviser. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/CRM (дата обращения: 30.05.2025).

2. *Логинов Н.А.* Перспективы развития CRM-систем в России / Н.А. Логинов. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2025. — № 5 (556). — С. 86-89. — URL: https://moluch.ru/archive/556/122255/ (дата обращения: 02.06.2025).

3. Топ 10: CRM для энергетики [Электронный ресурс]: URL:https://www.crm2web.ru/tags/crm_dlja_energetiki/ (дата обращения: 04.06.2025).

4. Oracle Siebel CRM внедрили в «Мосэнергосбыте» [Электронный ресурс]: https://www.cnews.ru/news/line/oracle_siebel_crm_vnedrili_v_mosenergosbyte (дата обращения: 04.06.2025).

5. Обслуживание клиентов филиала ОАО «МРСК Центра» ― «Воронежэнерго» станет автоматизированным [Электронный ресурс]: https://www.mrsk-1.ru/press-center/news/branches/9378/ (дата обращения: 04.06.2025).

6. «Норбит» внедряет Microsoft Dynamics CRM в «Энергобалансе» [Электронный ресурс]: https://www.cnews.ru/news/line/norbit_vnedryaet_microsoft_dynamics (дата обращения: 04.06.2025).

RELEVANCE OF IMPLEMENTING A CRM SYSTEM IN THE WORK OF AN ENERGY COMPANY

Tolstopiatova A.A.

Supervisor: Efimova Yu.V., Associate Professor, Candidate of Pedagogic Sciences

(Chistopol branch "Vostok" of the Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Chistopol)

Abstract. This paper examines the need to implement a CRM system for a company engaged in energy supply to the population. The main problems identified during the analysis of the work of the energy company are considered. The main disadvantages and advantages of CRM systems in the energy sector are noted. The stages of implementation of the CRM system are proposed.

УДК 336.74

ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИРОВОГО РЫНКА КАПИТАЛА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ МИРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Хабибуллина Л.А.
Научный руководитель: Сафиуллина Р.Н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье проводится генезис развития мирового рынка капитала, рассматриваются исторические предпосылки его формирования и особенности его развития в условиях цифровизации мировой экономики.

В условиях нестабильности мировых финансовых рынков и расширения экспорта транснациональных потоков капитала особенно важно понимать, как формировался современный мировой рынок капитала, который, по-прежнему, является ключевым фактором развития современной мировой экономики и ее регионов. Актуальность исследования исторических предпосылок формирования мирового рынка капитала также обусловлена тем, что капитал представляет собой один из главных факторов, которые формируют и определяют экономическое развитие государство, его процветание и характер внешнеэкономических связей.

Исследование исторических предпосылок формирования мирового рынка капитала, выделение ключевых факторов, оказывающих негативное и положительное влияние на формирование рынка мирового капитала, позволит определить возможные механизмы управления и развития на перспективу.

Систематизация исторических предпосылок формирования мирового рынка капитала расширяет возможности объективного анализа происходящих процессов на современном рынке и позволяет формировать актуальные стратегии управления капиталом. Мировой рынок капитала — это глобальная система, в рамках которой между участниками из разных стран происходит обмен финансовыми активами. В широком смысле - совокупность национальных рынков капитала, международных организаций и мировых финансовых центров по всему миру. В узком понимании - это финансовые ресурсы, использующиеся в международных экономических отношениях, во взаимоотношениях между резидентами и нерезидентами.

Мировой рынок капитала представляет собой сложный механизм, который можно представить, как систему рыночных отношений, обеспечивающую накопление и перераспределение финансовых ресурсов между странами и регионами в мировом масштабе. Он опосредует движение капитала между национальными хозяйствами, которое зародилось еще в эпоху колониальных завоеваний. [1, с. 111]

Становление мирового рынка капитала отражает длительный процесс зарождения и развития международных экономических отношений в сфере перемещения капитала между странами, в основе которых лежат институциональные преобразования, эволюция форм собственности, развитие процесса первоначального накопления капитала, наличного и безналичного денежного обращения, новых форм финансовых инструментов. На ранних стадиях общественного развития предпосылками зарождения рыночных отношений стали: рост локальных обменных операций, зарождение примитивных форм ссудного процента и перераспределения излишков [5].

В докапиталистический период рынок капитала находился в стадии становления и был слабо развит. В докапиталистических обществах накопление богатства осуществлялось преимущественно в материальной форме, без устойчивых форм инвестирования и обращения капитала. Лишь в позднесредневековой Европе начали формироваться отдельные элементы финансовой инфраструктуры. Так появились банковские учреждения, обеспечивавшие кредитование, валютный обмен и сопровождение торговых операций.

В период XVI–XVIII вв. на фоне европейской колониальной экспансии и интенсификации торгового обмена между странами-метрополиями и их колониями, отмечалась тенденция к концентрации богатств в европейских странах, распространялась акционерная форма предпринимательства, появлялись долговые и долевые финансовые инструменты. Указанные процессы способствовали процессу институционализации фондовых рынков и подготовили основу для перехода к движению капитала в мировых масштабах в эпоху промышленной революции [4, с. 77].

Существенное развитие мировой рынок капитала получил в XIX веке благодаря ряду экономических, политических и технологических изменений. К числу основных причин можно отнести промышленную революцию, которая способствовала росту промышленного производства и потребностей в прямых инвестициях, расширению колониальной системы, обеспечившей приток ресурсов и расширение новых рынков сбыта, а также развитие международной торговли. В этот период происходит формирование национальных банковских систем, развитие транспортной инфраструктуры, в частности, железнодорожного сообщения и морского судоходства, а также становление правовых норм, регулирующих финансовую деятельность. Также создается фундамент для интенсификации движения капитала между странами и зарождения глобального финансового рынка. Формирование и становление банковской и инвестиционной сфер, рост промышленности стали важнейшими факторами развития мирового рынка капитала в последующий период [3, с. 402].

К концу XIX века международное движение капитала приобретает устойчивую форму. Страны с высоким уровнем накопленного финансового ресурса, прежде всего Великобритания, начинают инвестировать в инфраструктуру, собственную промышленность, сырьевые отрасли колониальных территорий. Концентрация капитала в странах-метрополиях и его экспорт в регионы с более высокой нормой прибыли стали главной характеристикой развития глобального финансового ландшафта. Стабильность валютных курсов, достигнутая за счёт функционирования золотого стандарта, усиливает интеграцию национальных финансовых систем в мировую, способствуя росту взаимозависимости стран в сфере капиталообеспечения.

Первая половина XX века ознаменовалась резким нарушением данной траектории. Мировые войны, экономический кризисы привели к разрушению мировой финансовой системы, что ограничило развитие стран, и создало барьеры для устойчивого функционирования и развития мирового рынка капитала. Протекционистские меры, ограничения на движение капитала и разрушение механизма конвертируемости валют затормозили процессы перераспределения капитальных ресурсов между странами в этот период. Однако в условиях послевоенного восстановления возникает новый формат международного финансового регулирования. Разработка и реализация механизмов валютной координации, создание системы международных экономических организаций, в частности международных финансовых организаций, включая Международный валютный фонд и Международный банк реконструкции и развития, способствовали восстановлению стабильности и постепенному восстановлению трансграничных потоков капитала в мировом масштабе.

Со второй половины XX века процессы либерализации и глобализации формируют переход на качественно новый этап развития мирового рынка капитала, характеризующийся отказом от фиксированных валютных курсов и расширением спектра производных финансовых инструментов.

На рубеже веков внедрение информационных технологий, компьютеризация операций с ценными бумагами и цифровизация биржевых процессов обеспечили беспрецедентный рост мобильности капитала в глобальной экономике. Расширение деятельности транснациональных корпораций и международных инвестиционных фондов, усиление спекулятивной составляющей в глобальном финансовом обороте обусловили переход к глобализированной модели рынка капитала, не ограниченной государственными границами или традиционными регулятивными механизмами.

В эпоху четвертой промышленной революции мировой рынок капитала развивается под влиянием цифровых и информационных технологий, что является его ключевой характеристикой. Цифровая трансформация мирового хозяйства является одной из основных тенденций современной экономики, что находит проявление в появлении новых форм международной торговли, бизнес-моделей и финансовых продуктов и др. [2] Широкое распространение получили цифровые финансовые инструменты, платформенные решения, финтех-сервисы и блокчейн-технологии, способствующие децентрализации финансовых операций, снижению транзакционных издержек и росту прозрачности операций движения капитала.

Цифровизация способствует расширению доступа к капиталу для всех участников рынка капитала и способствует формированию более интегрированной и динамичной архитектуры мирового финансового рынка.

Таким образом, формирование мирового рынка капитала носит эволюционный характер. Современные цифровые технологии оказывают комплексное влияние на развитие мирового рынка капитала, приводя к его структурным изменениям и трансформации механизмов его функционирования. Особенности и характеристики времени влияют на становление и развитие мирового рынка капитала, как с положительной, так и с отрицательной стороны. Так ярким примером положительного влияния является период 19 века, когда активное развитие банковской системы и промышленности стало толчком к формированию мирового рынка капитала. Если говорить о настоящем периоде времени, то мировой рынок капитала формируется под влиянием цифровых технологий. Цифровые технологии оказывают многогранное влияние на мировой рынок капитала, трансформируя как инфраструктуру, так и механизмы его функционирования. Процессы цифровизации способствуют формированию более гибкой, прозрачной и глобально взаимосвязанной системы мирового рынка капитала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Зотов А.Е.* Исторический генезис международного финансового рынка / А.Е. Зотов // Финансовая жизнь. – 2024. – № 1. – С. 106-111.

2. *Зубрицкая И.А.* Мировой рынок цифрового капитала: теоретико-методологический генезис / И.А. Зубрицкая // Вестник Института экономики НАН Беларуси: сб. науч. статей. – Минск: Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Белорусская наука», 2023.

3. *Нефедов А.А.* Финансово-цифровая трансформация компаний в условиях глобализации / А.А. Нефедов // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2023. – Т. 13, № 5-1. – С. 400-408.

4. *Трейсман Д.* История мировой экономики: от каменного века до наших дней. — М.: Альпина Паблишер, 2021. – 540 с.

5. *Шхагошев Р.В., Бубен А.А.* Изменения в потоках международного капитала в современном мире: тенденции и последствия // Вестник Евразийской науки. – 2024. – № 1.

HISTORICAL PREREQUISITES AND FEATURES OF THE FORMATION OF THE GLOBAL CAPITAL MARKET AT THE PRESENT STAGE OF DIGITAL TRANSFORMATION OF THE GLOBAL ECONOMY

Khabibullina L.A.

Supervisor: Safiullina R.N., Associate Professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article examines the genesis of the development of the global capital market, the historical prerequisites for its formation and the features of its development in the context of digitalization of the global economy.

УДК 33

ПАЕВЫЕ ИНВЕСТИЦИОННЫЕ ФОНДЫ КАК ИНСТРУМЕНТ МОБИЛИЗАЦИИ КАПИТАЛА ДЛЯ ИННОВАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Хайдаршина Г.В.
Научный руководитель: Аппалонова Н.А., доцент, к. э. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье проведен анализ текущей практики, барьеров и перспектив использования ПИФов, а также сравнительный обзор с другими инструментами финансирования. Сделан вывод о необходимости совершенствования регуляторной базы.

Паевые инвестиционные фонды (ПИФы) представляют собой эффективный инструмент мобилизации капитала для финансирования инноваций в российской промышленности. В условиях, когда традиционные источники финансирования, такие как банковские кредиты и государственные субсидии, не способны полностью покрыть потребности отрасли в инвестициях, ПИФы становятся важным каналом привлечения средств как от частных лиц, так и от институциональных инвесторов.

Благодаря коллективному характеру инвестирования, ПИФы позволяют аккумулировать значительные объемы капитала, который затем может быть направлен в перспективные высокотехнологичные отрасли: информационные технологии, микроэлектронику, фармацевтику, биотехнологии и другие сферы, где инновации играют ключевую роль. В развитых странах активы ПИФов достигают 15–30% ВВП, что свидетельствует о высокой степени интеграции этого инструмента в экономику. В России данный показатель пока значительно ниже, однако рынок демонстрирует устойчивый рост: по данным на конец 2023 года число инвесторов ПИФов превысило 12 миллионов человек, а совокупная стоимость чистых активов достигла 12,4 триллиона рублей, что на 61,8% больше, чем годом ранее. [1]

Особый интерес вызывают специализированные ПИФы, ориентированные на финансирование инновационных компаний и стартапов, разрабатывающих новые технологии, продукты и услуги. Такие фонды способствуют притоку капитала в высокотехнологичные отрасли, поддерживают развитие новых бизнес-моделей и обеспечивают диверсификацию рисков для инвесторов.

Российская практика уже демонстрирует отдельные успешные кейсы использования паевых инвестиционных фондов (ПИФов) для поддержки инновационной промышленности. Например, фонд «Сколково» через ПИФы аккумулирует средства для стартапов в области промышленного искусственного интеллекта и робототехники, способствуя развитию передовых технологий и их внедрению в производство. Государственные инициативы, такие как национальный проект «Производительность труда», поддерживаются фондом «ВЭБ.РФ», который финансирует цифровизацию промышленных предприятий, стимулируя повышение эффективности и технологическую модернизацию. Частные управляющие компании, включая «Сбер Управление Активами», предлагают ПИФы, инвестирующие в акции машиностроительных и IT-компаний, что отражает растущий интерес частного сектора к финансированию инновационных проектов. [3]

Однако, несмотря на эти усилия, доля промышленных активов в структуре ПИФов остаётся крайне низкой — менее 5% по данным Центрального банка РФ. Основными барьерами выступают регуляторные ограничения, которые вынуждают фонды вкладывать большую часть средств в низкорисковые облигации, а также дефицит доверия со стороны населения и бизнеса, связанный с историческими примерами финансовых пирамид, таких как «МММ». Эти факторы ограничивают возможности ПИФов для масштабного финансирования инновационной промышленности.

Для раскрытия потенциала ПИФов необходима комплексная стратегия развития. Во-первых, стоит создать специализированные отраслевые фонды, например, для микроэлектроники, машиностроения или агропромышленного комплекса, с особым акцентом на проекты импортозамещения и технологического суверенитета. Во-вторых, критически важны налоговые льготы для инвесторов — например, освобождение от НДФЛ доходов от промышленных ПИФов по аналогии с индивидуальными инвестиционными счетами (ИИС). Государственные гарантии по паям, частично компенсирующие убытки инвесторов, могли бы снизить риски и привлечь больше участников. Параллельно требуется реформа регулирования: смягчение требований к структуре активов, позволяющее направлять до 30% средств в венчурные и инновационные проекты, а также введение «длинных паёв» с блокировкой вывода средств на 5–7 лет для обеспечения долгосрочного финансирования.

Образовательные программы, направленные на повышение финансовой грамотности и популяризацию ПИФов, помогут сформировать культуру доверия и привлечь новых инвесторов в промышленный сектор.

Международный опыт подтверждает эффективность такой модели. В Китае государственные ПИФы сыграли ключевую роль в становлении таких компаний, как Huawei и SMIC, направляя средства в исследования и разработки (R&D) и строительство производственных мощностей. В Германии фонд «High-Tech Gründerfonds» объединяет государственные и частные инвестиции в промышленные стартапы, а в Южной Корее ПИФы обеспечивают около 15% годового роста сектора робототехники. Эти примеры показывают, что грамотное сочетание регуляторной поддержки, налоговых стимулов и образовательных инициатив способно превратить ПИФы в локомотив промышленной трансформации и инновационного развития. [4]

Таблица

Сравнение ПИФов с другими инструментами финансирования

Инструмент	Преимущества	Недостатки	Надёжность
Паевые инвестиционные фонды (ПИФы)	Низкий порог входа, диверсификация рисков, профессиональное управление активами	Регуляторные ограничения, комиссии управляющих компаний, ограниченный доступ к венчурным проектам	Средняя — зависят от стратегии фонда и рыночных условий; фонды облигаций более стабильны, акции — волатильны
Венчурные фонды	Фокус на высокодоходные инновационные стартапы, возможность значительной прибыли	Высокие риски, доступ только квалифицированным инвесторам, длительный горизонт инвестирования	Низкая — высокая вероятность потерь, но потенциально высокая доходность
Облигации	Гарантированный доход, относительно низкий риск	Низкая доходность, не стимулируют инновации, ограниченная поддержка технологических проектов	Высокая — фиксированный доход и низкая волатильность

Инструмент	Преимущества	Недостатки	Надёжность
Краудфандинг	Прямое участие инвесторов в проектах, демократичность	Отсутствие профессионального управления, высокий риск потери средств, низкая ликвидность	Низкая — высокая вероятность потерь из-за отсутствия профессионального контроля

По таблице можем сделать вывод о том, что ПИФы занимают сбалансированное положение среди инструментов финансирования, сочетая доступность для широкого круга инвесторов с профессиональным управлением и диверсификацией рисков.

Преимуществами ПИФов являются доступность для частных инвесторов благодаря низкому порогу входа, профессиональное управление активами, высокая ликвидность и прозрачность операций, а также возможность пассивного инвестирования. Вместе с тем, существуют и определённые ограничения: низкий уровень финансовой грамотности населения, недостаточное качество управления отдельными фондами, а также возросшие рыночные и санкционные риски.

Ещё одним перспективным направлением является создание совместных фондов с участием госкорпораций, таких как «Ростех» и «Росатом». Эти компании, выступая якорными инвесторами, не только вкладывают собственные средства, но и обеспечивают экспертизу, доступ к инфраструктуре и рынкам сбыта, что значительно повышает эффективность финансирования инновационных проектов. Например, «Ростех» активно участвует в развитии технологий беспилотного транспорта и композитных материалов, сотрудничая с технологическими стартапами и научно-исследовательскими центрами. Аналогично, «Росатом» реализует проекты в области водородной энергетики, привлекая частные инвестиции для строительства пилотных установок и обеспечивая поддержку через государственные программы, включая налоговые льготы и долгосрочные контракты.

Модель совместных фондов с участием госкорпораций, которые выступают в роли якорных инвесторов и предоставляют доступ к своим НИОКР-центрам и производственной инфраструктуре, является логичным и перспективным инструментом для ускорения вывода инновационных продуктов на рынок и снижения затрат на исследования и разработки. Хотя конкретные примеры создания ПИФов с участием «Ростеха» и «Росатома» в открытых источниках пока не представлены, практика сотрудничества госкорпораций с частными инвесторами и стартапами активно развивается. [2]

Для повышения эффективности ПИФов как инструмента финансирования инноваций необходимо развивать специализированные инновационные фонды, повышать уровень финансовой грамотности населения, совершенствовать механизмы государственно-частного партнерства и повышать прозрачность управления фондами. В перспективе, при условии дальнейшего развития инфраструктуры коллективного инвестирования и повышения доверия со стороны населения и бизнеса, ПИФы могут стать одним из ключевых драйверов модернизации российской промышленности и ускорения внедрения инноваций в реальный сектор экономики.

Паевые инвестиционные фонды (ПИФы) обладают значительным потенциалом для финансирования инновационных проектов в российской промышленности, особенно при развитии специализированных отраслевых фондов и привлечении госкорпораций в качестве якорных инвесторов. ПИФы сочетают доступность для широкого круга инвесторов, профессиональное управление и диверсификацию рисков. Для раскрытия их потенциала необходимы комплексные меры: совершенствование регулирования, введение налоговых стимулов, развитие образовательных программ и повышение прозрачности. В перспективе ПИФы могут стать одним из ключевых драйверов технологической модернизации и повышения конкурентоспособности российской промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Национальный проект «Производительность труда» [Электронный ресурс]. –Режим доступа: https://productivity.rf (дата обращения: 25.05.2025).
2. Российская газета. ПИФы: итоги и перспективы // Российская газета. — 2024. — 11 марта. — № 45 (7654). — С. 12.
3. Официальный сайт Фонда «Сколково» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sk.ru (дата обращения: 23.05.2025).
4. PwC. Коллективные инвестиции: мировой и российский опыт. Аналитический обзор. – М.: PwC, 2023. – 36 с.

MUTUAL FUNDS AS A TOOL FOR MOBILIZING CAPITAL FOR INNOVATION RUSSIAN INDUSTRY

Khaidarshina G.V.

Supervisor: Appalonova N.A., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article analyzes current practices, barriers and prospects for using mutual funds, as well as a comparative review with other financing instruments. The conclusion is made about the need to improve the regulatory framework.

УДК 33

ИНТЕГРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СТАРТАПОВ И ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО ИНЖИНИРИНГА В ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЦЕПОЧКИ РОССИИ

Хайдаршина Г.В.

Научный руководитель: Рахимова Г.С., доцент, к. э. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Исследование обосновывает интеграцию технологических стартапов и высокотехнологичного инжиниринга в промышленные цепочки России как ключевой фактор обеспечения технологического суверенитета и конкурентоспособности в условиях санкционных вызовов. Преодоление барьеров требует создания мостовых институтов, целевого финансирования пилотирования, развития корпоративного венчура и адаптации нормативной базы для ускоренного внедрения инноваций.

Актуальность исследования связана с глубокими изменениями в мировой экономике и технологическом укладе. Из-за санкций и геополитической нестабильности Россия столкнулась с ограничением доступа к критическим технологиям и компонентам, что угрожает устойчивости таких отраслей, как микроэлектроника, авиастроение, фармацевтика и станкостроение.

В этих условиях достижение технологического суверенитета становится ключевой задачей. Речь идет не о самоизоляции, а о способности страны:

- самостоятельно разрабатывать критически важные технологии,
- оперативно адаптировать зарубежные инновации под свои нужды,
- масштабировать решения для укрепления промышленности.

Технологические стартапы и инжиниринговые компании играют здесь ключевую роль, так как именно они могут стать драйверами прорывных решений и обеспечить интеграцию инноваций в производственные цепочки. В 2024 году количество участников федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства» достигло 742 тысяч человек, что в три раза больше, чем в 2023 году. За всё время реализации проекта

было создано около 28 тысяч университетских стартапов, а объем привлечённых инвестиций превысил 16 миллиардов рублей [1]

Российская промышленность сегодня сталкивается с комплексом взаимосвязанных вызовов, требующих не эволюционных, а трансформационных изменений. Во-первых, критическая технологическая зависимость проявилась не только в дефиците готовой продукции, но и в отсутствии доступа к критическим производственным технологиям, таким как прецизионная литография для чипов, композитные автоматизированные линии для авиации, ноу-хау и инжиниринговые услуги мирового уровня. Воспроизведение этих технологий с нуля — задача колоссальной сложности и стоимости.

Во-вторых, наблюдается структурное отставание в сквозных технологиях: Россия отстает от лидеров в скорости внедрения и глубине интеграции искусственного интеллекта в управление производством и продуктами, промышленного интернета вещей для предиктивного обслуживания, аддитивных технологий для сложных деталей и малотиражного производства, робототехники и новых материалов. Это отставание снижает производительность и инновационность продукции.

В-третьих, задача импортозамещения не сводится к простой замене иностранных аналогов - необходимо создавать продукты и технологические платформы, конкурентоспособные по цене, качеству, функциональности и времени вывода на рынок на глобальном уровне, что требует не копирования, а инновационных скачков. Санкционное давление и экономическая изоляция резко повысили производственные издержки, одновременно усилив требования к энергоэффективности, экологичности и персонализации продукции. В новых условиях традиционные подходы к повышению эффективности достигли своего предела, требуя перехода на цифровые технологии и инновационные решения. Особенно остро ощущается нехватка инжиниринговых компетенций - разрыв сотрудничества с ведущими мировыми центрами привёл к дефициту экспертизы в области сложного проектирования, расчётов на прочность, создания цифровых двойников и внедрения современных систем автоматизации. [2]

Крупные корпоративные НИОКР-центры с их жёсткими долгосрочными планами зачастую не успевают адаптироваться к стремительно меняющейся ситуации. В этом контексте технологические стартапы предлагают принципиально иной подход, сосредотачиваясь на узкоспециализированных решениях, таких как разработка новых алгоритмов, сенсорных систем или композитных материалов. Их преимущество - в способности быстро проверять гипотезы, создавать минимально жизнеспособные продукты и оперативно реагировать на запросы первых пользователей, сохраняя готовность к риску и смене направлений.

Ключевую роль в превращении инновационных разработок в промышленно применимые решения играют компании высокотехнологичного инжиниринга. Они обеспечивают полный цикл - от концептуального проектирования и инженерного анализа до создания прототипов, разработки технологических регламентов и сопровождения внедрения. Обладая уникальной методологией, экспертизой и специализированной инфраструктурой, такие компании переводят стартап-разработки на уровень, соответствующий жёстким отраслевым стандартам и требованиям масштабируемости. Синергия стартапов как источника инноваций и инжиниринга как транслятора в промышленность создает мощный механизм ускоренного технологического развития.

Однако процесс интеграции сталкивается с комплексом институциональных, финансовых, культурных и инфраструктурных барьеров. Наиболее критичным является так называемая «долина смерти» — стадия перехода от лабораторного или опытного образца (TRL 3-4) к серийному внедрению (TRL 8-9). Для стартапов эта стадия характеризуется экспоненциальным ростом затрат: пилотирование на реальном производстве, доработка под промышленные условия, валидация надежности и долговечности, сертификация требуют огромных вложений. При этом отсутствует гарантированный спрос - крупные промышленные предприятия не готовы заключать твердые контракты на недоказанную в промышленных

масштабах технологию. Венчурные фонды часто не готовы финансировать длительные и капиталоемкие этапы валидации, предпочитая более быстрые IT-проекты, а государственные гранты обычно покрывают НИОКР, но не пилотирование.

Крупные промышленные предприятия действуют в рамках консервативных, бюрократизированных процессов с длинными циклами планирования и внедрения. Их системы управления качеством и безопасности требуют многократных проверок и гарантий. Итеративная, гибкая, допускающая ошибки культура стартапов противоречит плановой, минимизирующей риски культуре крупных предприятий. Менеджеры часто не имеют опыта и компетенций для работы с малыми инновационными компаниями. Со стороны контроля проверки качества присутствует дефицит доверия: сомнения в технологической зрелости стартапов, их способности обеспечить надежность, стабильность качества и необходимый объем поставок, опасения скрытых проблем с интеллектуальной собственностью. Со стороны стартапов - страх недобросовестной конкуренции или «заимствования» идеи без адекватной компенсации, сложности в защите интеллектуальной собственности при тесном сотрудничестве, опасения потери контроля над разработкой. Острой проблемой остается нехватка доступных испытательных полигонов, центров коллективного пользования с современным аналитическим и производственным оборудованием, пилотных производственных линий, где можно апробировать технологию в условиях, приближенных к реальным, без остановки основного конвейера. Серьёзным препятствием для внедрения инноваций становится устаревшая нормативная база, не соответствующая современным технологическим реалиям. Это особенно заметно в процессах сертификации и коммерциализации новых разработок. Для преодоления этих барьеров требуются комплексные меры на разных уровнях.

Важную роль играют институты развития, включая отраслевые технологические хабы на базе университетов, корпоративные акселераторы и цифровые платформы. Эти структуры помогают согласовать технологические запросы промышленности с возможностями инноваторов, предоставляя доступ к необходимой инфраструктуре, экспертизе и пилотным линиям. Они также занимаются валидацией технологий, организацией совместных проектов и обучением специалистов. [3]

Корпоративные акселераторы, такие как программы Росатома, Сибур ПолиЛаб и Газпромнефть-Платформа, создают прямые каналы взаимодействия между крупными предприятиями и стартапами. Они помогают формулировать конкретные технологические задачи, отбирать перспективные проекты и обеспечивать их сопровождение, включая менторскую поддержку и финансирование пилотных испытаний.

Ключевое значение имеет решение проблемы финансирования на критических этапах развития инноваций. Для этого необходимо развивать корпоративные венчурные фонды, привлекать прямые инвестиции промышленных компаний в стратегические стартапы, создавать специализированные программы грантовой поддержки. Особое внимание должно уделяться стадиям пилотирования, валидации технологий и первичного внедрения, включая софинансирование затрат на испытания и сертификацию. Важным инструментом становятся механизмы государственно-частного партнёрства, позволяющие реализовывать масштабные проекты национального значения. Важны также гибкие контрактные модели: оплата за успешный результат, лицензионные соглашения с роялти, создание совместных предприятий между промышленными компаниями, стартапами и инжиниринговыми компаниями, авансирование разработки под будущие поставки. Такие компании, как «СИБУР», «Росатом», «Газпром нефть», активно развивают собственные акселераторы и венчурные фонды, финансируя пилотные проекты и предоставляя площадки для испытаний и сертификации новых технологий. Только за 2023 год в России более 7,5 тыс. Технологических проектов студентов прошли через акселераторы[5]. Важную роль играют и государственные меры поддержки — гранты Фонда содействия инновациям, программы НТИ, а также механизмы государственно-частного партнерства, позволяющие реализовывать масштабные технологические проекты.

На организационном и кадровом уровне требуется развитие компетенций open innovation у менеджмента промышленных предприятий, обучение методологиям работы со стартапами. Необходимы программы формализации взаимодействия со стартапами: хакатоны, технологические конкурсы, пилотные проекты с четкими критериями успеха и «точками выхода».

Повышение зрелости технологических стартапов и инжиниринговых компаний требует специальной образовательной поддержки. Необходимы программы по промышленным стандартам, управлению качеством, производственным процессам, логистике и защите интеллектуальной собственности. Особую ценность представляют инженеры-интеграторы, способные говорить на языке как инноваций, так и промышленного производства. Например, в Московском политехническом университете реализуется программа «Инженер-интегратор», в рамках которой студенты учатся управлять проектами на стыке R&D и промышленного производства, осваивают стандарты ISO, методы Lean Production и получают навыки работы с интеллектуальной собственностью. Выпускники таких программ востребованы в крупных инжиниринговых компаниях и технологических стартапах, поскольку способны эффективно переводить инновационные решения в реальные промышленные продукты.

Важным направлением является модернизация нормативной базы. Требуется активная разработка национальных стандартов для новых технологий, их гармонизация с нормами ЕАЭС, внедрение гибких подходов к сертификации. Особое внимание следует уделить стимулированию инновационных закупок - через квоты и преференции для продукции, созданной с участием отечественных стартапов.

Ярким примером успешной интеграции может служить внедрение аддитивных технологий в авиастроение. Когда предприятие столкнулось с дефицитом турбинных лопаток, университетский стартап предложил инновационное решение по их 3D-печати. Инжиниринговая компания помогла доработать технологию, провести испытания и подготовить документацию. Благодаря корпоративному финансированию и грантовой поддержке, за 1,5-2 года удалось создать сертифицированное решение, готовое к серийному производству. [4]

Такие примеры демонстрируют значительный потенциал сотрудничества стартапов и инжиниринговых компаний. Однако для системного эффекта требуется долгосрочная политика и согласованные действия государства, бизнеса и научного сообщества. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку критериев оценки эффективности интеграции и адаптацию международного опыта к российским условиям. Успех этого стратегического направления зависит от комплексного подхода, включающего институциональные, финансовые и регуляторные изменения, а также готовности всех участников к открытому сотрудничеству.

Таким образом, интеграция технологических стартапов и высокотехнологичного инжиниринга в промышленные цепочки - это стратегический императив для России, реализация которого возможна только при скоординированных усилиях государства, бизнеса и научно-образовательного сообщества. Дальнейшие исследования и практические шаги должны быть направлены на разработку и внедрение эффективных моделей оценки, масштабирования и институционализации таких интеграций, а также на адаптацию лучших мировых практик к российским условиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Интеграция технологических стартапов и высокотехнологичного инжиниринга в промышленные цепочки России: стратегический императив суверенитета и конкурентоспособности [Электронный ресурс] // paste.txt. – URL: https://ppl-ai-file-upload.s3.amazonaws.com/web/direct-files/attachments/55075710/94c509af-7670-4be7-bdec-57d7ec1826c0/paste.txt (дата обращения: 10.06.2025).

2. Национальный проект «Экономика данных». Паспорт проекта [Электронный ресурс]. – М.: Минэкономразвития России, 2023. – URL: https://www.economy.gov.ru/material/directions/nacionalnyy_proekt_ekonomika_dannyh/ (дата обращения: 12.06.2025).

3. *Громов В.В., Кузнецов В.И.* Технологические стартапы и цифровая трансформация промышленности России // Вестник инновационного развития. – 2024. – Т. 15, № 2. – С. 45–59.

4. *Мельников А.С., Кузьмина И.В.* Инжиниринг и стартапы: модели взаимодействия в условиях технологического суверенитета // Экономика и управление. – 2023. – № 8. – С. 112–128.

5. В России более 7,5 тыс. технологических проектов студентов прошли через акселераторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://univertechpred.ru/novosti/20231228-v-rossii-bolee-7-5-tys-tekhnologicheskikh-proektov-studentov-proshli-cherez-akseleratory/ (дата обращения: 23.06.2025).

INTEGRATION OF TECHNOLOGY STARTUPS AND HIGH-TECH ENGINEERING INTO RUSSIA'S INDUSTRIAL CHAINS

Khaidarshina G.V.

Supervisor: Rakhimova G.S., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The study substantiates the integration of technology startups and high-tech engineering into Russia's industrial chains as a key factor in ensuring technological sovereignty and competitiveness in the face of sanctions challenges. Overcoming barriers requires the creation of bridge institutions, targeted financing for piloting, the development of corporate venture capital, and the adaptation of the regulatory framework to accelerate innovation.

УДК 658.5: 004.738.5

ЭКОНОМИКА ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ: ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ НА ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОСТ

Хамитов А.Р.

Научный руководитель: Аппалонова Н.А., доцент, к. э. н.

(*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Аннотация. В статье рассматривается влияние технологических платформ на повышение экономической эффективности и инновационной активности российских промышленных предприятий в условиях цифровой трансформации. Анализируются теоретические и методологические основы использования платформенных решений для оптимизации инженерных процессов и управления инновациями, а также институциональные факторы, влияющие на успешное применение цифровых технологий в промышленности.

В условиях ускоренной цифровизации и глобальной конкуренции устойчивое увеличение производственной эффективности в промышленном секторе России становится одной из приоритетных задач национальной экономики. Технологические платформы, объединяющие программные средства для проектирования, моделирования и управления жизненным циклом изделий, в последние годы приобретают стратегическое значение как инструмент интеграции инженерных компетенций и экономических ресурсов. Одновременно с этим сложившаяся институциональная среда и особенности инженерно-экономических практик создают как новые возможности для инновационного роста, так и системные барьеры, препятствующие эффективному внедрению передовых цифровых решений.

Целью научной статьи является теоретическое обоснование механизмов влияния технологических платформ на экономическую эффективность инженерных решений и, как следствие, на общий темп промышленного роста. В рамках исследования рассматриваются понятийные основания инженерных решений и технологических платформ в современной

промышленности, моделируются экономические и институциональные предпосылки использования платформенного подхода, а также анализируются существующие методологии технико-экономической оценки эффективности соответствующих систем. Значимость исследования определяется необходимостью формирования системного подхода к цифровой трансформации предприятий, что способствует повышению конкурентоспособности российской промышленности на глобальном рынке.

Понятие инженерного решения охватывает совокупность проектных, технологических и управленческих мероприятий, направленных на создание, адаптацию и оптимизацию технико-технологических объектов в соответствии с заданными требованиями по качеству, стоимости и срокам. Эти решения охватывают полный жизненный цикл изделия — от концептуального анализа и виртуального прототипирования до серийного производства и этапа эксплуатации [1].

Технологическая платформа в промышленном контексте представляет собой интегрированную программно-аппаратную инфраструктуру, поддерживающую процессы цифрового инжиниринга. Она объединяет системы автоматизированного проектирования, средства управления жизненным циклом изделия, решения для сбора и аналитики данных в режиме реального времени, а также модули прогнозирования и оптимизации производственных процессов. Благодаря такой архитектуре достигается стандартизация данных, унификация интерфейсов и возможность гибкой адаптации инженерных инструментов к условиям конкретного предприятия [2].

Концепция платформенной экономики опирается на принципы двухстороннего рынка, в рамках которого производители инженерных решений и промышленные пользователи взаимодействуют через общую цифровую инфраструктуру. Рост количества участников усиливает сетевой эффект, увеличивая ценность платформы. При этом происходит перераспределение затрат на разработку и сопровождение, что способствует снижению барьеров входа для малых инновационных компаний и расширяет возможности масштабирования инженерных приложений в различных отраслях.

Анализ влияния технологических платформ на экономические показатели возможен через применение методов технико-экономического анализа, институционального подхода и теории инновационного роста [3].

Первый позволяет сопоставлять капитальные и операционные затраты с показателями прироста производительности и снижением производственных рисков.

Второй акцентирует внимание на роли формальных и неформальных институтов, регулирующих использование новых технологических решений.

Третий предлагает модель оценки влияния внутренних факторов на скорость и направленность технологического прогресса в промышленности. Совокупность этих подходов обеспечивает целостное представление о феномене платформенного инжиниринга и его экономических последствиях [4].

Построение эффективной производственной политики в условиях цифровой трансформации невозможно без глубокого понимания того, каким образом технологические платформы влияют на характер инженерных решений в промышленных организациях. Интеграция платформенных решений изменяет логику конструирования и эксплуатации изделий, перераспределяет роли участников производственного процесса и трансформирует внутренние процессы предприятий.

Цифровые платформы формируют единое информационное пространство, в котором технические и управленческие решения синхронизированы в реальном времени. Это обеспечивает непрерывность инжинирингового цикла, начиная с этапа разработки концепта и заканчивая постгарантийным сопровождением изделия. Прозрачность, достигаемая благодаря интеграции CAD/CAM/CAE-средств и систем управления жизненным циклом (PLM), существенно повышает обоснованность проектных решений и сокращает затраты, связанные с переделками, логистикой и ремонтом. В результате цифровизация инжиниринга способствует выстраиванию сквозных производственных цепочек, минимизируя потери

информации между этапами и повышая технологическую согласованность на уровне предприятия и отрасли [5].

Одним из ключевых эффектов внедрения платформенных решений становится смещение акцентов в инженерной практике от локальных оптимизаций к системной координации проектных и производственных команд. Общие цифровые модели изделий обеспечивают согласованность между этапами разработки, производства и технического обслуживания, повышая надёжность и воспроизводимость технических решений. Платформы уменьшают влияние человеческого фактора, автоматизируя рутинные операции и внедряя алгоритмы поддержки принятия решений на основе аналитики больших данных [6].

В условиях усложнения изделий и сокращения жизненного цикла продукции возрастает значение предиктивной инженерии, ориентированной на прогнозирование поведения технических систем в неопределённых условиях. Технологические платформы служат средой для интеграции модулей моделирования, симуляции, машинного обучения и анализа эксплуатационных данных, что позволяет своевременно выявлять потенциальные неисправности, уменьшать затраты на физические испытания и ускорять вывод продуктов на рынок [4].

Таким образом, технологические платформы не только модернизируют инструментарий инженерной деятельности, но и задают новые стандарты управления знаниями, организации проектной деятельности и оценки эффективности технических решений. Они формируют цифровую основу для современной производственной логики, ориентированной на гибкость, масштабируемость и инновационную открытость [7].

Интеграция технологических платформ в промышленность оказывает значительное влияние на экономические показатели предприятий. Для объективной оценки их эффективности необходимо учитывать, как количественные, так и качественные аспекты. Так, применение цифровых технологий позволяет сократить время производственных циклов и уменьшить операционные затраты, что подтверждается результатами прикладных исследований отечественных предприятий [1].

Одним из методов оценки является использование адаптированной модели, учитывающей различные факторы влияния на экономический эффект от цифровизации. В частности, в нефтегазовой отрасли применение интеллектуальных систем управления позволило сократить время бурения на 20–30% и снизить затраты на эксплуатацию оборудования [6]. Аналогичные результаты наблюдаются и в машиностроении, где цифровые платформы способствуют уменьшению ошибок на этапе проектирования и сокращению времени вывода продуктов на рынок [2, с. 27].

Вместе с тем, значительные инвестиции в программное обеспечение и обучение персонала требуют тщательного экономического обоснования. Успех цифровой трансформации во многом зависит от институциональных факторов, включая уровень поддержки со стороны государства и адаптацию организационных процессов предприятий [2, с. 33].

В совокупности внедрение технологических платформ способствует устойчивому повышению производительности, снижению издержек и росту инновационного потенциала предприятий, что имеет критическое значение для конкурентоспособности российской промышленности в глобальном масштабе.

Цифровая трансформация промышленности, основанная на внедрении технологических платформ, неизбежно сопряжена с влиянием институциональной среды, которая формирует рамки и условия функционирования предприятий. Ключевую роль играют государственные регуляторные механизмы, уровень поддержки инноваций и степень координации между участниками промышленного сектора. В Российской Федерации особенности институционального контекста создают как возможности, так и препятствия для развития цифровых технологий. Среди значимых факторов следует выделить сложность нормативно-правового регулирования, недостаточную развитость стандартов в области

цифрового инжиниринга, а также дефицит квалифицированных кадров, способных эффективно использовать новые инструменты.

Отдельное внимание уделяется культурным и организационным аспектам: традиционные производственные практики и устоявшиеся управленческие модели часто сопротивляются переменам, что замедляет внедрение инновационных платформ. Кроме того, различия в масштабах и ресурсах предприятий приводят к неоднородности темпов цифровой трансформации. В результате формируется «цифровой разрыв», который усложняет создание единой технологической экосистемы и ограничивает синергетический эффект от использования платформ.

Важным институтом поддержки цифровой трансформации становится государственная политика, направленная на стимулирование инновационной активности, финансирование исследований и разработок, а также создание специальных экономических зон и технопарков. При этом взаимодействие государства, бизнеса и научно-образовательных учреждений должно быть интегрированным и системным для формирования благоприятной среды, позволяющей преодолевать барьеры и создавать условия для масштабного внедрения цифровых решений.

Это означает, что институциональные факторы оказывают комплексное воздействие на динамику цифровой трансформации промышленного инжиниринга, выступая одновременно как драйвером, так и ограничителем инновационного развития.

Цифровые платформы трансформируют инновационную среду промышленных предприятий, создавая новые возможности для развития и ускорения инновационных процессов. Использование цифровых решений усиливает взаимодействие между разработчиками, производителями и конечными потребителями продукции, что стимулирует креативность и обмен знаниями внутри предприятий и между ними.

Одним из ключевых эффектов платформ является обеспечение прозрачности и доступности информации, что способствует выявлению скрытого инновационного потенциала и сокращению времени от идеи до её реализации. В частности, использование технологий цифрового двойника позволяет моделировать и тестировать инновационные решения на ранних стадиях, снижая риски и экономические затраты, связанные с опытным производством.

Кроме того, платформенный подход способствует формированию экосистем инноваций, объединяющих различные участники промышленного сектора — малые и средние предприятия, крупные корпорации, научно-исследовательские организации и государственные структуры. Такая интеграция создаёт условия для совместной разработки новых технологий и продуктов, ускоряет адаптацию к изменениям рынка и повышает конкурентоспособность российских промышленных компаний на международном уровне.

Вместе с тем, эффективность влияния цифровых платформ на инновационную активность напрямую зависит от степени интеграции платформ в производственные процессы, качества управленческих практик и уровня квалификации персонала. Следовательно, успешная цифровая трансформация требует системного подхода, включающего обучение, перестройку организационной культуры и развитие институциональной поддержки инноваций.

Цифровые платформы становятся ключевым инструментом оптимизации производственных процессов в промышленности, обеспечивая интеграцию данных и автоматизацию управленческих решений. Интеграция таких платформ способствует формированию единой цифровой среды, позволяющей повысить эффективность планирования, контроля и координации технологических операций.

Автоматизация на основе цифровых платформ позволяет минимизировать человеческий фактор, снизить вероятность ошибок и ускорить адаптацию к изменениям в производственном цикле. В частности, использование систем мониторинга в режиме реального времени и аналитических инструментов позволяет оперативно выявлять

отклонения и проводить корректирующие мероприятия, что снижает простои и повышает общую производительность.

В области управления инновациями цифровые платформы обеспечивают централизованное хранение знаний и результатов исследований, способствуют управлению интеллектуальной собственностью и координации проектных команд. Это создаёт условия для эффективного внедрения инновационных решений и более быстрого вывода новых продуктов на рынок.

В результате, цифровые платформы выступают катализаторами повышения производственной гибкости и инновационной устойчивости предприятий, что является важным фактором укрепления конкурентоспособности в условиях динамично меняющейся промышленной среды.

В условиях стремительной цифровизации и возросшей конкуренции на глобальном промышленном рынке роль технологических платформ как инструмента цифрового инжиниринга и управления становится ключевой для повышения экономической эффективности и инновационной активности российских промышленных предприятий. Внедрение интегрированных цифровых решений способствует оптимизации жизненного цикла изделий, повышению производительности и сокращению затрат, что непосредственно влияет на темпы экономического роста и укрепляет конкурентоспособность страны.

Теоретический анализ позволил выявить, что инженерные решения, реализуемые через технологические платформы, обеспечивают комплексный подход к управлению проектированием, производством и эксплуатацией, учитывая при этом технические, экономические и институциональные аспекты. Модель платформенной экономики, основанная на сетевых эффектах и масштабируемости, открывает новые возможности для взаимодействия различных участников промышленного сектора, что способствует развитию инновационных экосистем и формированию устойчивых цепочек создания стоимости.

Одновременно с этим институциональная среда выступает как важный фактор, который может как способствовать, так и ограничивать использование цифровых платформ. Регуляторные барьеры, недостаточная стандартизация и кадровый дефицит требуют комплексного решения на уровне государственной политики и корпоративного управления. При этом успешная цифровая трансформация невозможна без системного подхода к обучению персонала, перестройке организационных процессов и активному вовлечению всех заинтересованных сторон.

Экономическая оценка внедрения цифровых платформ демонстрирует значительный потенциал для повышения эффективности и снижения производственных рисков, что подтверждается примерами из различных отраслей российской промышленности. В то же время необходимо учитывать и факторы, связанные с затратами на цифровизацию и управленческими изменениями, требующими тщательного планирования и обоснования.

Влияние цифровых платформ на инновационную активность предприятий выражается в ускорении процессов разработки и внедрения новых продуктов, расширении возможностей сотрудничества и обмена знаниями, а также формировании более гибкой и адаптивной инновационной среды. Такой подход способствует не только модернизации производственных процессов, но и развитию предпринимательского потенциала, что особенно важно для обеспечения устойчивого экономического роста в долгосрочной перспективе.

В целом, интеграция цифровых платформ в промышленное производство является стратегическим направлением, способным обеспечить технологический прорыв и повысить качество инженерных решений. Для этого необходимо продолжать совершенствование институциональных механизмов поддержки, стимулирование инвестиций в цифровые технологии и развитие компетенций кадрового потенциала.

Таким образом, представленное исследование подчеркивает значимость технологических платформ как фундаментального элемента цифровой трансформации российской промышленности, а также необходимость комплексного и системного подхода к

их внедрению с учётом технических, экономических и институциональных факторов. Реализация этих положений позволит обеспечить устойчивый инновационный рост и укрепить позиции России в глобальной промышленной конкурентной среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Азиева Р.Х.* Оценка экономического эффекта от использования цифровых технологий в нефтегазовой отрасли // Креативная экономика. 2022. Т. 16, № 8. С. 3225–3240. DOI: 10.18334/ce.16.8.115235. URL: https://1economic.ru/lib/115235.

2. *Гелисханов И.З., Юдина Т.Н., Бабкин А.В.* Цифровые платформы как инструмент цифровой трансформации промышленных предприятий // Вестник Евразийской науки. 2023. Т. 15, № 2. URL: https://esj.today/PDF/03ECVN223.pdf.

3. *Грибовский А.В., Савельев В.В.* Цифровые платформы и инженерное проектирование: опыт внедрения в российской промышленности // Вестник машиностроения. 2021. №4. С. 24–32.

4. *Иванов Д.В., Петрова Е.Н.* Применение методов машинного обучения для предиктивного обслуживания оборудования в машиностроении // Труды СПбГТУ. 2020. Вып. 34. С. 89–97.

5. *Кузнецов С.А.* Аналитика больших данных в промышленном инжиниринге: теоретические основы и практические решения // Инженерный журнал. 2022. Т. 15, № 6. С. 47–55.

6. *Любименко Д.А., Вайсман Е.Д.* Методический подход к оценке эффективности цифровых инвестиционных проектов // Экономика. Информатика. 2020. Т. 47, № 4. С. 718–728. DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-4-718-728. URL: https://www.researchgate.net/publication/350009493.

7. *Соколова М.В.* Управление знаниями и инновационное развитие в цифровой промышленности // Экономика и управление в промышленности. 2023. №1. С. 12–21.

THE ECONOMICS OF ENGINEERING SOLUTIONS: ASSESSING THE IMPACT OF TECHNOLOGY PLATFORMS ON INDUSTRIAL GROWTH

Hamitov A.R.

Supervisor: Appalonova N.A., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences,

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article considers the impact of technological platforms on the increase of economic efficiency and innovation activity of Russian industrial enterprises in the conditions of digital transformation. It analyses the theoretical and methodological foundations of using platform solutions to optimise engineering processes and innovation management, as well as institutional factors influencing the successful implementation of digital technologies in industry.

УДК 336.76; 519.85

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИНАНСОВЫХ РИСКОВ В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ СТАРТАПАХ

Хамитов А.Р.

Научный руководитель: Шипшова О.А., доцент, к. э. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассмотрены современные инновационные методы прогнозирования финансовых рисков в высокотехнологичных стартапах, включая алгоритмы машинного обучения, глубокие нейросетевые модели и анализ больших данных. Проанализированы их преимущества и ограничения по сравнению с традиционными

инструментами управления рисками, а также приведены практические кейсы и рекомендации по внедрению данных подходов в российскую экосистему технологического предпринимательства. Предложенный комплекс мер по созданию унифицированной инфраструктуры и адаптивных алгоритмов направлен на повышение устойчивости, инвестиционной привлекательности и выживаемости стартапов.

За последние годы цифровая трансформация и глобальная конкуренция резко усилили значение технологического предпринимательства как одного из главных драйверов экономического роста. В этой среде высокотехнологичные стартапы действуют в условиях крайней неопределённости: им приходится одновременно разрабатывать революционные продукты, искать внешнее финансирование и быстро адаптироваться к меняющемуся рынку. Именно такая совокупность факторов обостряет финансовые риски — от колебаний валютных курсов и процентных ставок до ошибок в оценке потребностей в капитале и непредвиденных операционных затрат.

Традиционные инструменты управления рисками, основанные на дисконтировании денежных потоков или классических моделях оценки стоимости капитала, оказываются малоэффективными, поскольку для них требуется надёжная история финансовых показателей и линейные зависимости, а стартапы нередко лишь формируют свою траекторию развития. На этом фоне возрастающий интерес вызывают инновационные методы прогнозирования, интегрирующие машинное обучение, глубокие нейросетевые алгоритмы и анализ больших данных. Эти подходы позволяют выявлять сложные, скрытые взаимосвязи в ограниченных объёмах данных и оперативно корректировать оценки рисков в динамике.

Цель данной работы — рассмотреть современные инновационные методы прогнозирования финансовых рисков и оценить их применимость к высокотехнологичным стартапам. В рамках исследования анализируются основные виды рисков, присущие разным этапам жизни стартапа, выявляются слабые места традиционных моделей и формулируются рекомендации по внедрению адаптивных алгоритмов прогнозирования в российской практике технологического предпринимательства.

Финансовые риски стартапа проявляются по-разному в зависимости от его стадии развития и бизнес-модели. На этапе ранней идеи стартап почти не имеет финансовой истории, что делает невозможным применение статистически надёжных прогнозов. Инвесторы при этом ориентируются на экспериментальные метрики — стоимость привлечения первого пользователя, перспективу масштабирования и технологическую состоятельность решения.

Когда проект переходит к созданию минимально жизнеспособного продукта (MVP) и выходит на раунды seed-финансирования, нарастают операционные риски: возникают затраты на доработку прототипа, нужна команда разработчиков и маркетологов, а расходы неизменно опережают приток средств. В этот момент особенно ощутим риск недофинансирования, когда неверно рассчитанный объём необходимого капитала приводит к вынужденной остановке работ.

На стадии масштабирования (Series A и выше) структура рисков изменяется снова: предприятие должно не просто привлекать средства, но и эффективно их распределять между исследованиями, выходом на новые рынки и сохранением конкурентоспособности. Здесь традиционные модели вроде DCF (discounted cash flow) или VaR (value at risk) уже могут применяться, но только при учёте того, что ключевые допущения – стационарность рыночных условий или линейность зависимости выручки от вложений – практически никогда не выполняются в полном объёме.

Следовательно, главная теоретическая проблема заключается в том, что классические инструменты не приспособлены к экстремально динамичным и неполным данным, характерным для стартапов. Для адекватного прогнозирования рисков необходимы методы, способные обучаться на фрагментарных временных рядах, интегрировать разнородные источники информации (например, нетрадиционные данные из социальных сетей или поведенческой аналитики пользователей) и быстро переоценивать прогноз в ответ на новые

данные. Далее мы подробно рассмотрим такие инновационные подходы, опирающиеся на машинное обучение и нейронные сети.

Современные высокотехнологичные стартапы сталкиваются с необходимостью прогнозировать финансовые риски в условиях ограниченности исторических данных и высокой динамики рынка. В этой связи всё более широкое применение находят методы, основанные на машинном обучении и интеллектуальном анализе данных. Так, регрессионные алгоритмы с регуляризацией позволяют строить устойчивые зависимости между ключевыми признаками стартапа и показателями риска, даже при наличии пропусков в данных [1]. Деревья решений и методы бустинга (в частности, XGBoost и LightGBM) демонстрируют высокую точность при оценке вероятности дефолта и прогнозировании денежного потока, компенсируя малый объём обучающей выборки агрегацией множества слабых моделей [4].

Следующим шагом стало внедрение глубоких нейросетевых архитектур. Рекуррентные нейронные сети (LSTM, GRU) эффективно моделируют временные ряды операционных и финансовых показателей, выявляя долгосрочные тенденции и аномалии. Автоэнкодеры, обученные на данных о транзакциях и платежах, позволяют обнаруживать нетипичное поведение, характерное для критических сбоев в финансировании. Графовые нейронные сети применяются для анализа отношений между участниками венчурной экосистемы и прогнозирования системных рисков, когда один неуспех может спровоцировать цепную реакцию в портфеле инвестора [6].

Наконец, повышение надёжности прогнозов достигается за счёт ансамблевых подходов, объединяющих выходы нескольких моделей. Такой метод объединяет преимущества регрессий, деревьев решений и нейросетей, уменьшая разброс предсказаний и смягчая эффект «чёрного ящика» глубоких алгоритмов благодаря интерпретации важности признаков (например, с помощью SHAP или LIME). Параллельно растёт роль анализа больших данных: помимо финансовых отчётов используют неструктурированные источники — текстовые отзывы пользователей и новости отрасли (NLP-алгоритмы), данные о поведении в мобильных приложениях и социальных сетях, что позволяет предсказывать рыночные перемены задолго до появления официальных сигналов [3].

В российской практике одним из первых проектов ранее было использование платформы «DataSphere» от Яндекса для анализа кредитных рисков в технологических стартапах, где сочетались модели градиентного бустинга и LSTM-модули, обучавшиеся на внутренней статистике холдинга и открытых данных государственных реестров [7]. Аналогичный подход применял Тинькофф в совместном исследовании с Московской биржей: сочетание автоэнкодеров и ансамблей деревьев решений позволило снизить количество просроченных задолженностей среди клиентов-стартаперов на 15% [9].

Среди зарубежных примеров стоит отметить стартап ZestFinance (США), который для оценки кредитоспособности компаний использует графовые нейросети и методики Explainable AI, дающие инвесторам прозрачное объяснение причин низкой кредитной оценки [10]. В Китае Ant Financial внедрила гибридную систему, объединяющую XGBoost для первичной фильтрации и глубокую сеть для финального скоринга, что позволило обеспечить скорость обработки более миллиона заявок в сутки при удержании уровня отказов на уровне менее 0,5% [8].

Таким образом, успешная практика демонстрирует, что интеграция ML/DL-алгоритмов в процессы оценки и мониторинга финансовых рисков позволяет стартапам реагировать на изменения рынка практически в реальном времени, повышать доверие инвесторов за счёт улучшенных метрик прогнозов и обеспечивать устойчивость при нехватке традиционных данных.

В сравнении с классическими инструментами прогнозирования (DCF, VaR) методы машинного обучения и глубокого обучения демонстрируют более высокую точность и гибкость: они способны учитывать нелинейные зависимости и адаптироваться к появлению новых признаков. Так, в задачах регрессии денежных потоков модели градиентного бустинга показывают в среднем на 20–30% меньшую среднюю абсолютную ошибку (MAE) по

сравнению с линейными регрессиями, а LSTM-сети позволяют обнаружить скрытые сезонные и циклические паттерны в операционной активности стартапов, что повышает своевременность предсказаний авансового капитала.

Классификационные алгоритмы (деревья решений, SVM) в режиме real-time могут прогнозировать вероятность финансового дефолта стартапа на ближайшие 3–6 месяцев, обеспечивая показатель ROC-AUC порядка 0,85–0,90, тогда как традиционные скоринговые шкалы часто не выходят за рамки 0,75 AUC. При этом особое значение приобретает Explainable AI: применение SHAP-анализов позволяет не только повысить доверие инвесторов, но и оперативно корректировать бизнес-гипотезы стартапа на основе того, какие факторы (рост пользовательской базы, скорость конверсии, внешние макроэкономические индикаторы) оказались наиболее значимыми в модели.

Наконец, ансамблевые подходы, объединяющие выходы нескольких моделей, снижают разброс прогнозов и уменьшают чувствительность к «шумным» признакам. При внедрении такого подхода в один из российских акселераторов средняя ошибка прогноза операционного риска снизилась на 15%, а интервал доверия сократился на 10%, что обеспечило более точное планирование бюджета и ресурсов стартапов.

Несмотря на очевидные преимущества, ML/DL-алгоритмы имеют собственные ограничения. Прежде всего, при малом объёме обучающих данных модели глубокой нейросети склонны к переобучению, что снижает их способность работать с новыми стартапами, у которых нет аналогичных предшественников. Во-вторых, «чёрный ящик» нейросетей часто затрудняет интерпретацию результатов: без применения методов Explainable AI станет сложно обосновать инвестиционные решения перед советом директоров или регулятором.

Ещё одна проблема — качество и однородность данных. Стартапы нередко не имеют систематизированного учёта финансовых и операционных показателей, а альтернативные источники (социальные сети, мобильная аналитика) содержат пропуски и артефакты, требующие сложной предобработки. Кроме того, использование персональных и поведенческих данных может столкнуться с этическими и правовыми ограничениями (GDPR-подобные нормы), что ограничивает объём доступной информации для обучения моделей.

Хотя инновационные методы прогнозирования открывают новые возможности для оценки финансовых рисков стартапов, их применение требует взвешенного подхода: сочетания достаточного объёма и качества данных, методов борьбы с переобучением, прозрачных инструментов интерпретации и учёта нормативно-правовых требований.

Для успешного применения инновационных методов прогнозирования финансовых рисков в российских высокотехнологичных стартапах необходимо сформировать инфраструктуру и институциональные механизмы, обеспечивающие доступ к качественным данным и аналитическим инструментам. Во-первых, целесообразно создание отраслевых платформ-хранилищ, объединяющих финансовые, операционные и альтернативные источники (социальные, поведенческие), с применением облачных решений и унифицированных API. Такие платформы позволят стартапам и инвесторам использовать готовые ML-модули для скоринга и аномалийного детектирования без необходимости развёртывания собственной аналитической среды [5].

Во-вторых, необходимо усилить координацию между национальными институтами развития (РВК, Фонд «Сколково», Фонд содействия инновациям) и технологическими акселераторами для создания типовых моделей прогнозирования рисков. Рекомендовано разработать и тиражировать «библиотеку» адаптивных алгоритмов — например, LSTM-модуль для временных рядов и ансамблевый скорер для проверки платежеспособности стартапа — а также обучающие программы по Explainable AI и Data Governance. Это позволит стартапам быстро интегрировать передовые решения в свои бизнес-процессы и повысить инвестпривлекательность при прохождении экспертиз и раундов финансирования [2].

В ходе исследования была продемонстрирована значительная эволюция методов прогнозирования финансовых рисков, обусловленная интеграцией машинного обучения, глубоких нейросетей и анализа больших данных. Классические модели, оперирующие предположениями о линейности и стационарности, уступают место гибким алгоритмам, способным адаптироваться к динамичной и неопределённой среде высокотехнологичных стартапов. Регрессионные методы с регуляцией, ансамблевые бустинги и деревья решений доказали свою эффективность в задачах скоринга и оценки денежных потоков, а LSTM- и графовые сети расширили возможности анализа временных рядов и сложных взаимосвязей в венчурных экосистемах.

Практические кейсы показали, что сочетание ML/DL-моделей с альтернативными данными — от пользовательской активности до текстовой аналитики в социальных медиа — позволяет системно выявлять сигналы приближающихся финансовых затруднений и перестраивать прогнозы в режиме реального времени. Внедрение Explainable AI при этом не только повышает доверие инвесторов за счёт прозрачности моделей, но и предоставляет стартапам ценные инсайты для корректировки бизнес-гипотез. Тем не менее такие подходы требуют тщательной проработки качества и структуры данных, грамотной борьбы с переобучением и учёта нормативных ограничений при обработке персональной информации.

Рекомендации по интеграции инновационных методов в российскую практику включают создание унифицированных платформ-хранилищ данных, развитие библиотек адаптивных алгоритмов и образовательных программ по Explainable AI и Data Governance. Только формирование надёжной инфраструктуры, объединяющей бизнес, венчурные фонды и институты развития, обеспечит стартапам доступ к передовым аналитическим инструментам и упростит процесс внедрения.

В перспективе дальнейших исследований лежит задача разработки алгоритмов few-shot learning, способных обучаться на минимальных объёмах исторических данных, а также комбинирования онтологий и графовых моделей для глубокого учёта контекстных взаимосвязей внутри венчурных портфелей. Развитие интерпретируемых архитектур и методов регуляризации будет способствовать повышению надёжности прогнозов и укреплению инвестиционной привлекательности технологических стартапов. Такой комплексный подход создаст прочную основу для повышения их устойчивости, эффективности управления рисками и выживаемости в конкурентной глобальной среде.

В итоге, применение инновационных методов прогнозирования финансовых рисков открывает перед технологическими стартапами новые возможности для своевременного принятия обоснованных решений, повышения доверия инвесторов и укрепления своей позиции на рынке, что в совокупности способствует их долгосрочной устойчивости и успеху.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Иванов И.И.* Применение методов машинного обучения в оценке финансовых рисков стартапов // Вестник финансовых технологий. 2022. № 3.

2. *Иванова Н.П., Кузьмин С.А.* Институциональные механизмы поддержки цифровой трансформации стартапов в России // Инновации. 2024. № 4.

3. Кузнецова Е.Л. Big Data и прогнозирование операционных рисков в инновационных предприятиях // Журнал бизнес-аналитики. 2023. № 6.

4. *Петрова А.С., Сидоров Б.В.* Бустигация в задачах кредитного скоринга: опыт российских компаний // Финансы и кредит. 2021. Т. 27. № 12.

5. РВК. Отчёт «Цифровая инфраструктура для технологических стартапов» // Российская венчурная компания. URL: https://www.rvc.ru/upload/iblock/inf_infra_report.pdf (дата обращения: 28.05.2025).

6. *Смирнов Д.А.* Графовые нейронные сети для анализа венчурных портфелей // CyberLeninka. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/graphovye-neyronnye-seti-v-venture-portfel (дата обращения: 27.05.2025).

7. Яндекс DataSphere: кейс прогнозирования финансовых рисков // Официальный блог Яндекса. URL: https://yandex.ru/blog/datasphere/risk-prediction (дата обращения: 27.05.2025).
8. Ant Financial: гибридная система скоринга // Ant Group Research. URL: https://www.antgroup.com/research/hybrid-scoring (дата обращения: 27.05.2025).
9. Tinkoff и Московская биржа. Совместный проект по скорингу стартапов // Tinkoff Insights. URL: https://www.tinkoff.ru/insights/startup-scoring (дата обращения: 27.05.2025).
10. ZestFinance: использование Explainable AI в кредитном скоринге // Zest AI Whitepaper. URL: https://www.zest.ai/whitepaper (дата обращения: 27.05.2025).

INNOVATIVE METHODS OF FORECASTING FINANCIAL RISKS IN HIGH-TECH STARTUPS

Hamitov A.R.
Supervisor: Shipshova O.A., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences,
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article discusses modern innovative methods of forecasting financial risks in high-tech startups, including machine learning algorithms, deep neural network models and big data analysis. Their advantages and limitations compared to traditional risk management tools are analysed and practical cases and recommendations for implementing these approaches in the Russian ecosystem of technological entrepreneurship are presented. The proposed set of measures to create a unified infrastructure and adaptive algorithms is aimed at improving the sustainability, investment attractiveness and survival rate of startups.

УДК 65.01

ВЫЗОВЫ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В АВИАТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

Хрущёв В.А.
Научный руководитель: Степаненко А.С., к.т.н.
(Московский государственный технический университет гражданской авиации, г. Москва)

Аннотация. В данной статье рассматриваются ключевые проблемы, возникающие при реализации инновационных проектов в авиатранспортной отрасли Российской Федерации. Также анализируются технологические, финансовые и организационные барьеры, которые препятствуют внедрению новых решений. Кроме того, в данной работе представлены рекомендации по преодолению выявленных проблем и повышению эффективности инновационных процессов в авиационной отрасли. Результаты исследования направлены на повышение конкурентоспособности авиационной отрасли в условиях быстро меняющейся технологической среды, а также её устойчивости.

Инновационный проект - это комплекс направленных на достижение экономического эффекта мероприятий по осуществлению инноваций, в том числе по коммерциализации научных и/или научно-технических результатов. Инновационный проект характеризуется высоким допустимым уровнем риска, возможностью недостижения запланированного результата, в том числе экономического эффекта от реализации такого проекта (ч. 10 ст. 2 Федерального закона от 23 августа 1996 № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике»). Реализуются инновационные проекты посредством инновационной деятельности [1].

Авиатранспортная отрасль - это комплекс предприятий, инфраструктуры и услуг, обеспечивающих коммерческие воздушные перевозки пассажиров и грузов с использованием воздушных судов.

Рисунок 1. Структурные элементы авиатранспортной отрасли

Инновационным проектом в авиатранспортной отрасли в свою очередь можно считать комплекс мероприятий по разработке и внедрению принципиально новых или значительно улучшенных продуктов, процессов или технологий (экологичное топливо, цифровизация, роботизация или аддитивное производство), направленных на снижение затрат, рост доходов и повышение конкурентоспособности. На рисунке 2 отражена динамика внедрения инноваций в отрасль с 2000 по 2025 года в авиатранспортную отрасль на примере Российской Федерации. Учитываются глобальные внедрения, меняющие технологические процессы операционной деятельности структурных элементов авиатранспортной отрасли.

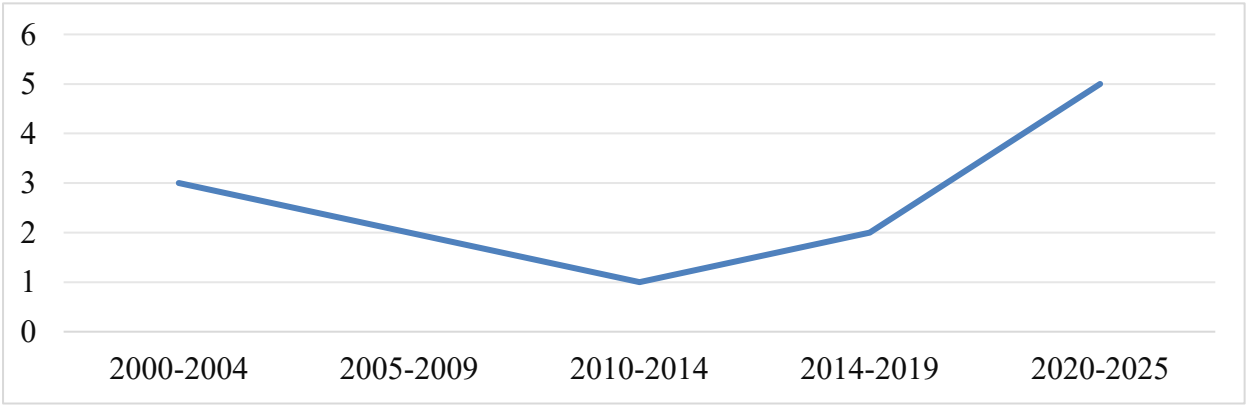


Рисунок 2. Количество инноваций в авиатранспортной среде в РФ

Из графика видно, что для 2000–2004 годов характерено внедрение инноваций. Это было связано с созданием Объединённой авиастроительной корпорации «ОАК», Федеральной аэронавигационной службы и либерализацией рынка (отменой разрешений на внутренние авиалинии). Эти меры способствовали технологическому сотрудничеству и автоматизации процессов.

Однако в последующие годы (2005–2014) наблюдается спад до 1–2 инноваций в год, вероятно, из-за экономических ограничений, насыщения рынка уже существующими решениями. С 2015 года инновации снова стремительно набирают обороты (до 5 к 2025 г.). Это объясняется внедрением следующих технологий: биометрического контроля в аэропортах, чат-боты S7 Airlines с искусственным интеллектом, платформы low-code в Пулково и проекта «Взлёт» для ПАО «Аэрофлот». Следовательно, можно говорить о положительной динамике внедрения инноваций в отрасль, что также объясняется общим

ростом уровня мирового технического прогресса. В случае с рассмотрением авиатранспортной отрасли следует отметить необходимость рассмотрения рисков внедрения, так как для гражданской авиации показатели безопасности любого внедрения являются ключевыми.

Под понятием «риск» в данной ситуации понимается событие или условие, которое может негативно повлиять на реализацию проекта. Например, задержки в выпуске двигателей ПД-14, зависимость от импортных компонентов, технологий или длительная сертификация отечественных разработок создают угрозы для достижения целей проекта, таких как своевременный запуск, снижение затрат и обеспечение конкурентоспособности на рынке авиатранспортной отрасли.

Такие риски связаны с техническими, организационными и нормативными барьерами, которые могут привести к финансовым потерям, сбоям в поставках, производстве или несоответствию международным стандартам [2].

Проблемы и виды рисков внедрения инноваций в авиатранспортную отрасль РФ:

Технические риски: необходимо постоянно обновлять оборудование и программное обеспечение.

Организационные сложности: сотрудники сопротивляются нововведениям и изменениям, а также высокие первоначальные затраты.

1. Регуляторные барьеры: соответствие международным стандартам (например, ИКАО) подразумевает под собой наличие дорогостоящей сертификации.

Основные риски связаны с техническими сложностями обновления инфраструктуры, регуляторными барьерами (соответствие стандартам ИКАО) и организационным сопротивлением изменениям со стороны персонала. Для повышения устойчивости авиатранспортной отрасли в РФ необходимо внедрить системный подход к преодолению барьеров и адаптироваться к международным требованиям и стандартам.

Рекомендации по решению проблем и минимизации рисков при внедрении инноваций в авиатранспортную отрасль РФ:

1) Оптимизация управления и финансирования:

1. Реформа госкорпораций: внедрения персональной ответственности менеджмента и новой системы управления, ориентированной на результат в ОАК.

2. Концентрация ресурсов: Фокус на ключевых проектах (МС-21, SSJ-NEW, Ил-96, БПЛА).

3. Обучение персонала и постепенное внедрение решений для минимизации сопротивления изменениям и обеспечения стабильности всех выполняемых процессов [3,4].

2) Технологическое импортозамещение:

1. Ускорение производства отечественных аналогов двигателей (ПД-14), композитных материалов, а также иных разработок и инноваций (например, через госзаказы).

2. Переход на ERP-системы: Следует внедрить единую IT-платформу (совместно с 1С) для управления цепочками поставок к 2030г.[5].

3. Стандартизация и сертификация: Обязательная сертификация всех сотрудников для снижения рисков срыва сроков выполнения планов и безопасности.

4) Приоритизация беспилотных технологий:

1. Льготный лизинг БПЛА.

2. Создание испытательных центров БПЛА.

5) Развитие более «плотного» партнёрства государства с частными производителями и авиакомпаниями:

1. Долгосрочные контракты: Заключение сделок с авиакомпаниями (например, заказ Аэрофлота на 200 самолётов до 2030 г.)

Критическим фактором успеха здесь является синхронизация работы между Минпромторгом, Минтрансом и корпорациями (ОАК, Ростех). Реализация инноваций в авиатранспортной отрасли РФ сталкивается с техническими рисками (зависимость от импорта, сертификация ПД-14), организационными сложностями и регуляторными

барьерами. Чтобы решить эту проблему требуется оптимизация управления, развитие кадров и партнёрства государства с бизнесом.

Следовательно, можно говорить о необходимости реализации гибкого взаимодействия и создания общей системы управления проектами с учетом персональной ответственности и большого охвата заинтересованных лиц. Подобная система применяется при реализации государственных проектов Японии и функционирует согласно стандарту проектного управления P2M.

Реализация инновационных проектов в авиатранспортной отрасли РФ сталкивается с комплексом технических, организационных и регуляторных барьеров. Основные из них заключаются в зависимости от зарубежных технологий, длительной сертификации отечественных разработок, а также в сопротивлении персонала изменениям. Санкции ускорили процесс импортозамещения, но тем не менее риски, связанные с нестабильностью финансирования, недостатком квалифицированных кадров и соответствием международным стандартам ИКАО сохранились.

При нивелировании указанных рисков возможно значительно снизить зависимость РФ от импорта в авиатранспортной отрасли, увеличить выпуск отечественных лайнеров и повысить конкурентоспособность авиационной отрасли на глобальном рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Рабочая сила, занятость и безработица в России // Федеральная служба государственной статистики URL: https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13211 (дата обращения: 27.04.2025).

2. *Мартынова Е.С.* Антикризисное управление современными авиатранспортными рисками / Е.С. Мартынова // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2024. – № 10-1(116). – С. 255-258. – DOI 10.24412/2411-0450-2024-10-1-255-258. – EDN HZFHFW.

3. Авиационные компетенции в современных реалиях / М.М. Алексеева, А.И. Боброва, Л.Г. Большедворская [и др.]. – Москва: Издательско-торговая корпорация Дашков и К, 2025. – 260 с. – ISBN 978-5-394-06243-8. – EDN NDROQD.

4. *Степаненко Е.В.* Об обеспечении гражданской авиации летным персоналом / Е.В. Степаненко, Е.С. Мартынова, Р.К. Омаргаджиева // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Экономика и управление. – 2024. – № 4(68). – С. 252-261. – DOI 10.26456/2219-1453/2024.4.252-261. – EDN IXBJKC.

5. *Степаненко Е.В.* Цифровизация управления технологическими процессами на воздушном транспорте / Е.В. Степаненко, М.А. Румянцева, А.И. Юдина // Вестник транспорта Поволжья. – 2024. – № 1(103). – С. 60-68. – EDN LJTNKQ.

CHALLENGES IN IMPLEMENTING INNOVATIVE PROJECTS IN THE AVIATION TRANSPORT SECTOR

Khrushchiov V.A.

Supervisor: Stepanenko A.S., Candidate of Engineering Sciences

(Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow)

Abstract. This article examines the key issues arising during the implementation of innovative projects in the aviation transport sector of the Russian Federation. It analyses the technological, financial, and organisational barriers that hinder the adoption of new solutions. Recommendations are presented for overcoming the identified problems and enhancing the efficiency of innovative processes in the aviation industry. The findings of the study aim to improve the resilience and competitiveness of the aviation sector in a rapidly changing technological environment.

УДК 37.014

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ РОССИИ

Хуснутдинов Д.Н.
Научный руководитель: Хуснутдинова М.Н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассмотрена эволюция информационных систем, которая происходит во всем мире, включая и Россию. Особое внимание уделяется интеллектуальным информационным системам и цифровой трансформации в нашей стране. Исследованы перспективы развития ИИ и влияние на экономику страны.

Современный мир - это мир научно-технической революции. Растёт рынок информационных технологий в ИТ-сфере России. Если объём рынка в 2023 году находился в диапазоне от 2,5 до 3 трлн рублей, то планируется в 2025 году увеличить до 4 трлн рублей за счёт ускоренной цифровизации бизнеса и госструктур, при этом надо отметить также, что немало важную роль играет процесс развития технологий ИИ и сервисов информационной безопасности.

Сегодня под термином «интеллектуальные информационные системы» понимают комплексы программных, лингвистических и логико-математических средств, которые используются для автоматизации и улучшения принятия решений. Такие системы способны анализировать информацию, делать выводы и принимать решения, а также обучаться и адаптироваться.

Основными компонентами интеллектуальной информационной системы (ИИС) сейчас являются:

1. База данных, которые хранят необходимую информацию.
2. Модуль анализа, который отвечает за обработку и интерпретацию данных.
3. Интерфейс пользователя, через него осуществляется взаимодействие с системой.

В современном мире область применения ИИС самый разный. Это связано с тем, что благодаря искусственному интеллекту (ИИ) появляется возможность системам выполнять задачи, требующие человеческого интеллекта такие как: обучение, логическое мышление, решение проблем, распознавание образов и другое.

Одним из ярких примеров использование ИИв России - это JuniStat. JuniStat является российским стартапом, который разрабатывает цифровую платформу на основе искусственного интеллекта для поиска футбольных талантов. Технология, которая используется JuniStat способна считывать и отцифровывать параметры подготовки игроков. Данная технология является мобильным приложением и работает на стыке машинного зрения, дополненной реальности, нейросетей [5].

Работа приложения заключается в том, что футболист выполняет тесты на камеру смартфона из мобильного приложения. Искусственный интеллект считывает и оценивает навыки спортсмена и при этом практически сразу формируется цифровая карточка футболиста, которую при желании игрока можно сделать публичной подпиской, открыв доступ футбольным академиям.

Ещё одним примером использование ИИ - искусственный интеллект в беспилотных грузовых машинах КАМАЗ. В 2016 году такие организации как «Яндекс» и ПАО «КАМАЗ» заключили соглашение о сотрудничестве. Согласно этому соглашению автомобили ПАО «КАМАЗ» должны были быть оснащены системами искусственного интеллекта. Так технологии искусственного интеллекта «Яндекса», компьютерное зрение, машинное обучение и речевые технологии должны были стать основой для возможности полуавтономного управления. А уже в октябре 2024 года «КамАЗ» обнародовал планы по созданию беспилотных транспортных средств. Сегодня ПАО «КАМАЗ» уже работает над машинами с различным уровнем автономности, начиная от автомобилей, способных самостоятельно

подруливать при движении, до полностью самоуправляемых грузовиков, которым не требуется водитель в кабине.

По состоянию на 2024 год «КамАЗ» выпустил 18 грузовиков с системой помощи водителю (ADAS) третьего уровня. Это полностью отвечает требованиям полуавтономного режима движения транспортного средства. В данном случае водитель выполняет только роль оператора-контролера, но при необходимости может вмешаться в процесс движения машины. Сегодня уже десять используются для реальных коммерческих перевозок грузов по трассе М-11 «Нева». В этом году (2025 год)такие транспортные средства будут применяться на М-12 «Восток» и ЦКАД.

Технологии Big Data. Сегодня мир потонул в избытке информации, благодаря обработке больших данных системы анализируют огромные объёмы данных, извлекая из них полезную информацию и выявляя скрытые закономерности. Ученные, специалисты в самых разных сферах постоянно сталкиваются с трудностями при работе с большими массивами данных в таких областях, как поиск в Интернете, финансы и бизнес-аналитика. В настоящее время технологии Big Data применяют практически везде, так как они необходимы в самых разных областях: здравоохранение, финансы, телекоммуникации, правоохранительные органы, налоговые службы и др. Сегодня в наше стране банки используют большие данные для анализа транзакций и выявления мошенничества, а в сельском хозяйстве и агропромышленности используются для анализа поведения и подсчета поголовья скота.

А уже в сочетании с ИИ и больших данных (Big Data) стало возможным применение IoT-устройств. Интернет вещей (IoT) - это сеть взаимосвязанных устройств, которые собирают и обмениваются данными. Благодаря искусственному интеллекту (ИИ) и (Big Data) большими данными IoT позволяет создавать интеллектуальные системы, способные мониторить и управлять процессами и объектами в режиме реального времени.

Число IoT-устройств растёт с каждым годом быстрыми темпами. Так в 2024 году оно достигло примерно 18–20 млрд. По мнению многих экспертов в этой области к 2030 году эта цифра превысит 40 млрд устройств во всём мире. Таким образом, скоро бытовые и промышленные устройство будут подключены к интернету и смогут обмениваться данными в режиме реального времени.

Интернет вещей в России набирает обороты: сегодня более 100 миллионов умных устройств применяют в самых разных сферах деятельности, при этом темпы роста рынка уже достигли 15% в год, что практически в два раза больше среднемировых показателей. Применение IoT-устройств в нашей стране продолжает расти. Сегодня нефтяные, металлургические и энергетические предприятия и организации в стране устанавливают тысячи сенсоров и датчиков для контроля производственных процессов, и предотвращения аварий.

В крупных городах используются интеллектуальное освещение улиц, парковок, при этом городской и общественный транспорт оснащён IoT-устройствами, который передают информацию о местоположении и техническом состоянии транспорта. Таким образом, можно точно прогнозировать время прибытия трамваев, автобусов и троллейбусов.

Приведём самые популярные на сегодняшний день сферы деятельности, где чаще всего используют интеллектуальные информационные системы, см. Таблицу 1

Таблица 1

Интеллектуальные информационные системы и их применение

№	Направление	Возможность
1	Бизнес и финансы	Анализ больших объёмов данных, прогнозирование рыночных тенденций, управление рисками
2	Медицина	Диагностика заболеваний, персонализация лечения, управление медицинскими данными
3	Образование	Персонализация обучения, анализ данных об успеваемости студентов, оптимизация образовательных процессов
4	Производство и промышленность	Автоматизация процессов, повышение эффективности и качества продукции.

Таким образом, сегодня цифровая трансформация коснулась все сферы нашей жизни. Поскольку интеллектуальные информационные системы значительно упрощают нашу жизнь, то темпы её роста неизбежны. Автор статьи Палий Д. «ИТ-отрасль в России: текущие изменения и прогнозы» отмечает, что несмотря на геополитическую ситуацию, разрывом экономических отношений со многими недружественными с нами государствами, санкциями, тем не менее спрос на отечественные решения в области информационных технологий вырос на 300 % по сравнению к 2021 году[4].

По прогнозам экспертов, экономическое влияние использования IoT-устройств впечатляет, так прогнозируется к 2030 году глобальная ценность этих технологий может достичь $12 трлн долларов в год. Наибольший вклад внесут промышленные IoT-решения, здравоохранение и городская инфраструктура. Сам процесс развития интеллектуальной информационной системы (ИИС) и цифровая трансформация России связаны прежде всего внедрением сегодня цифровых технологий в практически все основные сферы деятельности государства: медицина, образование, государственное управление, финансы, бизнес, производство и промышленность. Надо отметить, что сам процесс развития интеллектуальной информационной системы закреплён на государственном уровне и входит в национальные цели развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Билуха И.Н.* Обработка больших данных // Молодой ученный. 2020. № 8 (298). С. 7-9.

2. *Комаров Н.М., Пащенко Д.С.* Повышение скорости внедрения инноваций в промышленности в условиях цифровизации // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15. № 2.

3. *Мухин В.Н.* Современные тенденции развития цифровой экономики и ее влияние на предпринимательскую деятельность // Молодой учёный. 2020. № 48 (338). С. 523-526. — URL: https://moluch.ru/archive/338/75750/ (дата обращения: 14.11.2024).

4. *Палий Дарья.* ИТ-отрасль в России: текущие изменения и прогнозы // Молодой ученый. 2022. № 26 (421). С. 185-188.

5. *Пащенко Д.С., Комаров Н.М.* Современные риски и угрозы для российской отрасли информационных технологий в 2020–2022 гг. // Отходы и ресурсы. 2022. Т 9. № 1. Текст: электронный. – 2022. – URL: https://resources.today/PDF/17ITOR122.pdf DOI: 10.15862/17ITOR122 (дата обращения: 14.05.2025).

6. *Хуснутдинова М.Н.* Информационно-коммуникационные технологии в профессиональной подготовке будущих инженеров // Образование и саморазвитие. 2007. № 3 (5). С. 38.

7. Применение VR технологий в спорте: новые методы тренировок и развлечения для болельщиков -Текст: электронный. – 2024. – URL:https://vr-app.ru/blog/primenenie-vr-texnologii-v-sporte-novye-metody-trenirovok-i-razvleceniia-dlia-bolelshhikov/ (дата обращения: 09.08.2025).

INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS AND DIGITAL TRANSFORMATION OF RUSSIA

Khusnutdinov D.N.

Supervisor: Khusnutdinova M.N., Associate Professor

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the evolution of information systems that is taking place all over the world, including Russia. Special attention is paid to intelligent information systems and digital transformation in our country. The prospects for the development of AI and its impact on the country's economy are explored.

УДК 338.22.01

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА РОССИИ, С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПОДХОДА

***Чекулаев И.Д.*[1]**

Научный руководитель: Кашина Н.В.[2] доцент, к. э. н.

(1 - Казанский (Приволжский) Федеральный университет, г. Казань,
2 - Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье рассмотрены проблемы инновационного развития промышленности в Российской Федерации, а также пример успешного внедрения инновационного подхода, при поддержке государства.

В нынешних условиях глобальной технологической конкуренции и широкого санкционного давления инновационное развитие промышленного сектора становится ключевым фактором устойчивого экономического роста России. В этом случае особую значимость приобретают технологическое предпринимательство и инжиниринг как точки инновационного развития российской промышленности, а именно - создания высокотехнологичной продукции и вывода отечественной промышленности на новый уровень конкурентоспособности.

Несмотря на усилия государства в рамках различных национальных проектов («Наука и университеты», «Цифровая экономика») и поддержку новых стартапов, российский промышленный сектор все же сталкивается с рядом проблем, к примеру: дефицит квалифицированных инженерных кадров, недостаточная интеграция науки и бизнеса. Таким образом, исследование взаимосвязи экономического роста, технологического предпринимательства и инжиниринга является особенно актуальным.

Инновации в промышленности могут проявляться в различных формах:

1. Технологические инновации – внедрение новых продуктов и процессов;
2. Организационные инновации – оптимизация управления и логистики;
3. Маркетинговые инновации – новые подходы к продвижению продукции.

Именно предприниматели, внедряющие новые технологии взамен устаревших, являются ключевыми инициаторами экономического роста. В настоящее время, в таких условиях эту функцию во многом выполняют разные технологические стартапы, которые за счет своей гибкости способны трансформировать огромные отрасли.

В свою очередь, технологическое предпринимательство - это процесс создания и коммерциализации инноваций, основанный на глубоких инженерных и научных знаниях.

В контексте промышленности технологическое предпринимательство способствует:

1. Диверсификации производств за счет новых технологий
2. Повышению экспортного потенциала высокотехнологичной продукции.
3. Сокращение зависимости российской экономики от импорта

Что касается инжиниринга, его эффективность напрямую влияет на скорость внедрения инноваций, что подтверждается опытом разных стран, как, к примеру, Южная Корея (smart-заводы). В России же развитие инжиниринга сдерживается дефицитом квалифицированных кадров.

Российская промышленность играет ключевую роль в экономике страны - она обеспечивает значительную часть ВВП [1]. В последнее время наблюдается постепенное увеличение доли обрабатывающих производств в общем объеме промышленного выпуска, что можно расценивать как положительную тенденцию. Но сырьевая сфера экономики также остается выраженной - нефтегазовый сектор продолжает занимать одно из ведущих мест, как в структуре производства, так и в экспортных поставках.

Государственная политика последних лет прекрасно демонстрирует осознание необходимости ускорения технологического развития промышленности. Реализуется ряд

программ и инициатив, которые направлены на стимулирование инновационной активности [2].

Государственная политика последних лет направлена на преодоление этих вызовов, к примеру, через: Национальные проекты «Производительность труда»; «Экономика данных и цифровая трансформация государства», «Эффективная и конкурентная экономика». Национальный проект «Производительность труда» ориентирован на внедрение современных методов организации производства и управления. Программа «Экономика данных и цифровая трансформация государства» призвана ускорить технологическую трансформацию промышленности. Цель национального проекта «Эффективная и конкурентная экономика» - достижение устойчивого уровня развития экономики, который основывается на конкуренции высокотехнологичном предпринимательстве, а также разнообразных частных инициативах [3].

В большом количестве отраслей российской экономики в последние года наметился существенный рост обеспеченности продукцией отечественных производителей. Особенно выделяется достаточно высокий уровень в следующих областях промышленности: стройматериалы (96%), транспортное машиностроение (92%), черная металлургия (90%). Следует отметить, что довольно низкий уровень обеспечения внутренним ресурсом прослеживается в станкоинструментальной промышленности (24%), а также в фармацевтической промышленности (35%) [4]. Несмотря на не слишком высокий уровень замещения, необходимо заметить, что в таких сферах как фармацевтика и авиастроение, станкостроение удалось добиться заметного прогресса в импортозамещении. Рост числа технологических стартапов свидетельствует об активизации предпринимательской инициативы, но большинство из них сталкивается с проблемами масштабирования и выхода на промышленный уровень производства [5].

В общем, отмечается, что в промышленном комплексе Российской Федерации зависимость от импорта менее практически на 40%, что где-то в 2 раза ниже, чем зависимость в некоторых европейских странах, странах Северной Америки и Ближнего Востока (Венгрия, Словакия, Словения, страны Прибалтики, Канада, Нидерланды, Польша, Австралия, Германия, Саудовская Аравия) и примерно на таком же уровне что в США и Индии.

Существенной особенностью в последнее время стало углубление специализации технологических стартапов [6]. Раньше подавляющее большинство предпринимательских проектов было сосредоточено лишь в сфере IT-решений, а сейчас наблюдается значительный рост числа стартапов, которые ориентированы на промышленный сектор. Данные проекты имеют более длительный цикл разработки, но при этом обладают большим потенциалом для трансформации производственных процессов. Формируется многоуровневая система акселерационных программ, которая сочетает федеральные инициативы с региональными особенностями промышленного развития [7]. Стоит подчеркнуть, что особое внимание уделяется созданию специализированных площадок для тестирования и внедрения промышленных технологий.

В настоящее время удачным примером таких площадок являются особые экономические зоны (далее - ОЭЗ). Сейчас, когда экономическая ситуация в России находится под беспрецедентным санкционным давлением со стороны западных государств, катализаторами роста ее экономики могут выступать и выступают ОЭЗ, которые образуются для устойчивого технологического суверенитета и развитой экономики страны. Государство заинтересовано в ОЭЗ, так как благодаря этим зонам появляется возможность создания новых высокотехнологичных производств и рабочих мест. Их функционирование является основой для инноваций, технологического предпринимательства. Резиденты ОЭЗ получают выгоду от льготного налогообложения, и вместе с этим приносят пользу экономике России за счет уплаты налогов.

Примером довольно успешной ОЭЗ является ОЭЗ «Алабуга», которая находится в Елабужском районе Республики Татарстан. Она создана в 2006 году и предоставляет инвесторам готовую промышленную, инженерную, транспортную и таможенную

инфраструктуру, а также различные налоговые и таможенные льготы. Здесь активно развивается инновационное предпринимательство, в основном за счет поддержки резидентов и развития инновационных кластеров. Основной целью создания ОЭЗ является создание новых производств и привлечение инвестиций в республику. На территории ОЭЗ Алабуга создано 25,3 тыс. рабочих мест.

ОЭЗ «Алабуга» — представляет собой крупнейшую промышленную площадку России. На текущий момент здесь работают около 30 крупных заводов. Это: «Соллерс Алабуга», который выпускает коммерческие автомобили Sollers Atlant, «Алабуга-Волокно» — фабрика, которая в сотрудничестве с «Росатомом» производит углеродное волокно. Завод — «Роквул-Волга», который производит теплоизоляционные материалы. За период с 2006 по 2024 год заключено 115 соглашений о присвоении статуса резидента ОЭЗ «Алабуга». Не только российские, но и зарубежные специалисты отмечают успехи татарстанской ОЭЗ [8].

По итогам 2023 года объем платежей в консолидированный бюджет РТ составил 3 525,6 млн. руб., с ростом в 2 раза к уровню 2022 года. В 2024 году эта цифра составила уже 3 735,2 млн. руб. В целом, с периода создания ОЭЗ (с 2006 по 2024 гг.) в бюджет РТ поступило 11 382 млн. руб. налогов, льготы предоставлены на сумму 22 518 млн. руб. Также важно отметить, что по итогам 2024 года ОЭЗ «Алабуга» занимает 2-е место в Национальном рейтинге инвестиционной привлекательности особых экономических зон России.

Особым фактором, влияющим на развитие ОЭЗ «Алабуга» является инновационный подход к образованию. На базе ОЭЗ создан в 2019 году Инженерный колледж «Алабуга Политех». Это современное и достаточно необычное учебное заведение, в котором внедрены новаторские для нашей страны стандарты образования. Перед выпускниками колледжа открываются большие перспективы, высококвалифицированные кадры, подготовленные здесь пользуются огромным спросом.

В колледже получают знания 500 студентов. Конкурс на поступление достаточно велик и составляет примерно 25 человек на место.

В отличие от студентов классических колледжей студенты «Алабуга Политех» во время обучения постоянно проживают в ОЭЗ. Будучи студентами второго курса, они начинают получать практический опыт работы на заводах-резидентах ОЭЗ «Алабуга». Это является важнейшим фактором трудоустройства исходя из современных реалий на рынке труда. Ведь, обычно, именно отсутствие у молодого специалиста опыта работы становится основным препятствием для успешного трудоустройства. Про выпускников «Алабуга Политех» можно сказать однозначно -такой проблемы у них нет. У студентов колледжа фактически нет выбора – учеба или работа, так как работа гармонично дополняет учебу, во время которой они не только получают практический опыт навыков работы на производстве, но и получают заработную плату.

ОЭЗ динамично развивается. В 2023 году на базе Алабуги, компания «Альбатрос» открыла производство беспилотных воздушных судов. Это перспективное направление, которое достаточно быстро растет. Последние события в мире доказывают необходимость развития данного направления, как для решения задач обороноспособности, так и для развития «мирных» сфер нашей экономики, например, сельского хозяйства.

В настоящее время развитие российского технологического предпринимательства характеризуется изменениями в его структуре и содержании [9]. Хорошо наблюдается переход от единичных стартап-проектов к формированию устойчивой, так называемой, экосистемы, способной генерировать инновационные решения для промышленности. Данный процесс сопровождается институционализацией поддержки технологического предпринимательства на различных уровнях - начиная от государственных программ, заканчивая корпоративными инициативами крупных промышленных холдингов.

Формирование эффективных механизмов взаимодействия между технологическими предпринимателями, инжиниринговыми компаниями и промышленными предприятиями становится довольно важным аспектом инновационного развития. К примеру, государственно-частное партнерство в сфере промышленных инноваций приобретает новые

формы. Модели совместной реализации проектов получают большой успех, когда государство выступает не только как источник финансирования, но и как настоящий участник инновационного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон «О промышленной политике в Российской Федерации» от 31.12.2014 № 488-ФЗ (ред. от 02.07.2021) // Справочная система «Консультант плюс».

2. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (утв. Указом Президента РФ от 01.12.2016 № 642) // Справочная система «Консультант плюс».

3. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года: Распоряжение Правительства РФ от 17 ноября 2008 г. № 1662-р.// Справочная правовая система «Консультант плюс».

4. Данные Росстата о показателях промышленного производства за 2020-2023 гг. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/ (дата обращения: 15.05.2024).

5. Отчет о состоянии российского промышленного сектора за 2022 год // Минпромторг РФ. - М., 2023. - 36 с.

6. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года: Указ Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 г. №537. // Справочная правовая система «Консультант плюс».

7. *Иванова Н.И*. Национальные инновационные системы. - М.:// Наука, 2018. - 221 с.

8. Агентство инвестиционного развития Республики Татарстан [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://tida.tatarstan.ru/osobaya-ekonomicheskaya-zona-promishlenno.htm (Дата обращения 23.05.2025).

9. Аналитический отчет «Цифровая трансформация промышленности России» // Аналитический центр при Правительстве РФ. - М., 2023. - 25 с.

SOME FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF THE INDUSTRIAL SECTOR OF RUSSIA, FROM THT POINT OF VIEW OF AN INNOVATIVE APPPOACH

***Chekulaev I.D.*[1]**

Supervisor: Kashina N.V.[2], Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

([1]Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan,

[2]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article examines the problems of innovative development of industry in the Russian Federation, as well as an example of successful implementation of an innovative approach, with state support.

УДК 338.22.01

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО КАК ТОЧКА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Чекулаев И.Д.

Научный руководитель: Кашина Н.В. доцент, к. э. н.

(Казанский (Приволжский) Федеральный университет, г. Казань)

Аннотация. В данной статье рассмотрены проблемы технологического предпринимательства в Российской Федерации, а также примеры успешного его внедрения в систему.

В глобальном экономическом ландшафте XXI века, где сильно доминируют цифровые экосистемы и скорость инноваций определяет конкурентоспособность наций, Российская Федерация стоит перед вызовом трансформации своей промышленной базы. Точкой «интонационного развития» – то есть кардинального изменения промышленного роста – выступает феномен технологического предпринимательства. Это не просто создание новых

компаний, скорее это новый подход, основанный на глобальном видении и глубокой интеграции цифровых технологий в материальное производство. В современной интерпретации технологическое предпринимательство – это синтез компетенций в области разработки инноваций, управления высокорисковыми проектами (стартапами) и масштабирования бизнеса на глобальные рынки. Вектор технологического предпринимательства не статичен – он эволюционирует в соответствии с глобальными технологическими трендами и национальными стратегическими приоритетами. Для России воспроизведение этой модели является стратегической задачей, решение которой позволит диверсифицировать экономику и занять конкурентоспособные позиции в формирующихся технологических укладах. Традиционная российская промышленность, сфокусированная на добывающих и тяжелых отраслях, исторически развивалась по ресурсно-ориентированному пути [1]. Ее ритм задавали многолетние циклы создания производственных мощностей и длинные цепочки согласований. Однако в современном мире такая модель медленно реагирует на изменения глобального спроса, с трудом усваивает прорывные инновации и часто отстает в вопросах энергоэффективности и кастомизации продукции.

Технологический предприниматель, в свою очередь, действует иначе – начинает не с построения завода, а с поиска острой рыночной проблемы и разработки своего уникального технологического решения. Ярким примером является компания «Яндекс». Сначала это был предпринимательский проект по созданию поискового алгоритма, но впоследствии он эволюционировал в огромную технологическую экосистему, которая не просто существует в нашей среде, но и активно трансформирует реальный сектор. Сервисы, такие как: «Яндекс.Go» и «Лавка» сильно изменили логистику и доставку, создав новые стандарты скорости и удобства для миллионов потребителей. Разработки в области беспилотного транспорта – это уже не просто IT-эксперимент, а полноценный проект по созданию будущего транспортной промышленности, вовлекающий в орбиту своих интересов производителей автомобилей, разработчиков дорожной инфраструктуры и законодателей. Сервис «Яндекс.Практикум» создал новую, технологически ориентированную модель онлайн-образования, направленную на быструю подготовку кадров для IT-отрасли, тем самым влияя на рынок труда и систему профессиональной переподготовки [2]. Данный кейс демонстрирует, как технологическая компания, действуя по предпринимательским принципам, может стать системообразующим элементом, задающим новые стандарты эффективности и сервиса для всей экономики. «Яндекс» задал новую высоту планки, показав, что российская компания может быть не региональным игроком, а глобальным новатором, чьи продукты и технологии конкурентоспособны на мировом уровне. И данные сервисы постепенно начинают свою работу в других странах, например – в Грузии, Узбекистане, Армении, ОАЭ, Сербии и т.д.

Другой аспект интонационного влияния – это изменение отношения к конкуренции. Технологический предприниматель мыслит категориями платформ и экосистем, где ценность создается через кооперацию [3]. Платформа «Авито», это не просто сервис, а целый цифровой рынок, обеспечивающий миллионы сделок между частными лицами и малым бизнесом. Она не производит физический продукт, но кардинальным образом оптимизирует товарооборот, дает вторую жизнь вещам, стимулируя тем самым более рациональные модели потребления, что является важнейшим элементом современной промышленной политики [4].

Ключевым полем, где технологическое предпринимательство непосредственно переплавляет традиционную промышленную мощь, является сфера цифровизации производства. Здесь стартапы и компании выступают в роли поставщиков критически важных решений для крупных промышленных гигантов. Компания «Цифра» — наглядный пример такого симбиоза [5]. Разрабатывая программные продукты для цифровых двойников, предиктивной аналитики и управления эффективностью производства, она предоставляет нефтегазовым, горно-металлургическим и химическим предприятиям инструменты для принципиального повышения операционной эффективности [6]. Внедрение их решений позволяет прогнозировать оборудование до его поломки, оптимизировать энергопотребление и снижать процент брака.

Поле применения ИИ является, пожалуй, одним из наиболее широких. Российские компании демонстрируют значительные компетенции в разработке алгоритмов компьютерного зрения, обработки естественного языка (NLP) и предиктивной аналитики. К примеру, решения для управления городской инфраструктурой на основе данных с IoT-датчиков позволяют оптимизировать энергопотребление, управлять транспортными потоками и прогнозировать аварии в коммунальных сетях. Это меняет саму парадигму городского управления, переводя ее на данные, а не на интуицию [7]. Также, российские разработки в области генеративного ИИ (например, нейросети для создания изображений, музыки или текста) показывают, что технологическое предпринимательство проникает и в сферу культуры, создавая новые инструменты для творчества и коммерциализации контента.

Важнейшим элементом экосистемы технологического предпринимательства является трансформация высших учебных заведений. Университеты нового типа перестают быть исключительно центрами фундаментального знания, а становятся «фабриками талантов» и стартапов, создавая новую предпринимательскую культуру. Создание предпринимательских «лифтов»: ведущие технические вузы страны активно развивают акселерационные программы, стартапы и конкурсы. Студенческие команды получают возможность проверить свою бизнес-гипотезу, получить менторскую поддержку и привлечь первые инвестиции на самой ранней стадии. Университеты все чаще выстраивают долгосрочные партнерские отношения с крупными промышленными корпорациями, создавая совместные лаборатории и реализуя проекты по заказу бизнеса [8]. Это обеспечивает адекватность образовательных программ реальным запросам рынка и способствует более быстрой коммерциализации университетских разработок. Таким образом, университеты выступают инфраструктурой, обеспечивающей непрерывный приток человеческого капитала, идей и проектов в технологическую экономику, закрепляя новую интонацию на системном уровне.

Сфера биотехнологий и фармацевтики, критически важная для национальной безопасности и благополучия, также переживает ренессанс благодаря предпринимательскому подходу. Компания «Биокад» прошла путь от стартапа до одного из лидеров российского фармрынка с серьезной международной повесткой. «Биокад» не ограничивается простым копированием, а ведет сложные исследования по созданию биоаналогов – высокотехнологичных воспроизведенных биологических препаратов, требующих масштабных клинических испытаний. Кроме того, компания развивает направление оригинальных лекарственных средств, что выводит ее на уровень фармацевтических компаний первого эшелона. Построение современного биофармацевтического производства, соответствующего международным стандартам, демонстрирует, как технологическое предпринимательство приводит к созданию новой, высокотехнологичной промышленной инфраструктуры. Данный пример показывает, что предпринимательская инициатива в союзе с государственной поддержкой (в рамках программ импортозамещения и развития фарминдустрии) способна создать новый мощный сегмент в обрабатывающей промышленности.

Отдельного внимания заслуживает город Иннополис в Татарстане. Это целенаправленная попытка создать с нуля среду, где новая интонация промышленного развития будет доминирующей. Университет, IT-компании, технопарк и льготный режим для резидентов создают уникальный симбиоз образования, науки и бизнеса. В Иннополисе рождаются и растут компании, которые с самого начала нацелены на решение глобальных проблем. Проекты в области робототехники, беспилотных систем, созданные там, – это чистый продукт предпринимательского духа. Успех Иннополиса доказывает, что для запуска волны технологического предпринимательства необходима не только воля отдельных энтузиастов, но и активная роль государства и региональных властей в создании инфраструктуры. Говоря о роли государства, важно отметить, что за последнее десятилетие в России был создан целый ряд эффективных институтов развития, которые работают на опережение, задавая позитивную интонацию поддержки. Фонд «Сколково», Фонд содействия инновациям, – все эти структуры научились говорить на языке предпринимателей, предлагая не просто финансирование, но и экспертизу, нетворкинг и доступ к международным рынкам. Например, фонд «Сколково»

выступил в роли флагманского проекта по созданию инновационного центра, предоставляющего резидентам налоговые льготы, грантовую поддержку, акселерационные программы и доступ к исследовательской инфраструктуре. Его модель направлена на консолидацию научно-технического и предпринимательского сообщества вокруг ключевых кластеров: IT, биомед, энерготех, промтех и космос. Действие этих институтов формирует многоуровневую систему поддержки, которая постепенно снижает транзакционные издержки технологических предпринимателей и задает вектор на коммерциализацию результатов интеллектуальной деятельности. Программы, такие как – «Цифровая экономика» и национальные проекты задают стратегические векторы, в рамках которых технологические компании могут найти применение своим разработкам. Это создает систему обратной связи: государство формулирует крупные национальные вызовы (безопасность, здравоохранение, комфортная среда для жизни), а технологические предприниматели предлагают конкретные, зачастую неочевидные и самые эффективные решения для их преодоления.

Несмотря на очевидные успехи, процесс распространения новой «интонации» технологического предпринимательства на всю промышленность сталкивается с рядом системных барьеров:

1. Культурно-управленческий разрыв: Менеджмент многих традиционных промышленных предприятий сохраняет консервативную управленческую культуру, с недоверием относясь к разным методологиям, разработке, характерной для стартапов. Преодоление этого разрыва требует программ по обмену кадрами и внедрению корпоративных акселераторов.

2. Дефицит кадров: Острый недостаток специалистов на стыке дисциплин – инженеров, обладающих нужными компетенциями, программистов, понимающих физику производственных процессов, – сдерживает скорость внедрения цифровых решений.

3. Регуляторные барьеры: Выход на глобальные рынки, привлечение иностранных инвестиций, проведение международных клинических испытаний (для фармацевтики) часто упираются в сложности правового и административного характера. Создание «регуляторных песочниц» является перспективным инструментом для решения этой проблемы.

4. Венчурный разрыв: Недостаток финансирования на стадии перехода от опытного образца к серийному производству и выводу на рынок стало критическим вызовом для многих технологических стартапов.

Технологическое предпринимательство в Российской Федерации переживает стадию качественного роста и институционализации. Из маргинального явления оно превратилось в системный фактор промышленного развития. Оно выполняет функцию «интонационного развития», выступая агентом диффузии инноваций, проводником новых управленческих практик и катализатором структурных изменений в экономике. Новая интонация, вносимая технологическими предпринимателями, – это интонация скорости, глобальных амбиций, клиентоцентричности и открытости к кооперации. Ее диффузия в традиционные промышленные сектора является залогом их будущей устойчивости и роста.

Успешные кейсы, от экосистемных платформ до глубокотехнологичных производственных компаний, демонстрируют, что российские технологические предприниматели способны создавать продукты и решения мирового уровня. Симбиоз традиционной промышленной базы с клиентоцентричностью и глобальным мышлением стартапов создает уникальную основу для формирования новой, диверсифицированной и устойчивой модели экономического роста.

Задача для государственной политики заключается в дальнейшем совершенствовании институциональной среды: устранении оставшихся барьеров, усилении мер по подготовке и привлечению человеческого капитала, стимулировании спроса на инновации со стороны крупных госкомпаний и выстраивание более тесной кооперации между наукой, образованием и бизнесом. Поддержка технологического предпринимательства является не затратной статьей бюджета, а стратегическими инвестициями в изменение самой интонации российского промышленного развития, переводя его на рельсы инновационного, устойчивого и суверенного пути.

Таким образом, стратегической целью должно стать не просто поддержание существующей экосистемы, а поддержка ее теснейшей и неразрывной интеграции с промышленным комплексом страны. Синтез масштаба, ресурсов и производственной мощи традиционной промышленности с инновационностью и клиентоориентированностью технологических предпринимателей способен создать уникальное и конкурентное преимущество, а также сформировать в Российской Федерации новую, отвечающую вызовам времени парадигму промышленного развития, основанную на знаниях, данных и непрерывной инновации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» – URL: http://kremlin.ru/acts/bank/43027.

2. Федеральный закон от 28.09.2010 N 244-ФЗ (ред. от 02.07.2021) «Об инновационном центре «Сколково» – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_103021/.

3. Постановление Правительства РФ от 18 апреля 2016 г. N 317 «О реализации Национальной технологической инициативы» – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_196930/.

4. *Друкер П.Ф.* Инновации и предпринимательство. — М.: Издательство «Вильямс», 2019. – 432 с.

5. *Симачев Ю., Кузык М., Кузнецов Б., Погребняк Е.* Россия на пути к новой технологической промышленной политике: среди манящих перспектив и фатальных ловушек // Форсайт. 2014. №4.

6. *Повалко А.Б.* Национальная технологическая инициатива: от прорывных продуктов к глобальным чемпионам // Инновации. 2019. №11 (253).

7. *Куракова Н.Г., Цветкова Л.А.* Технологическое предпринимательство в региональных университетах России: Факторы сдерживания и ускорения // Экономика науки. 2021. №3.

8. Итоги деятельности Фонда «Сколково» за 2022 год: отчет. – М.: Фонд «Сколково». – 2023. – URL: https://sk.ru/news/2023-annual-report/.

TECHNOLOGICAL ENTREPRENEURSHIP AS A POINT OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF RUSSIAN INDUSTRY

Chekulaev I.D.

Supervisor: Kashina N.V., Candidate of Economic Sciences

(Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan)

Abstract. This article examines the problems of innovative development of industry in the Russian Federation, as well as an example of successful implementation of an innovative approach, with state support.

УДК 658.5: 338.2

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА НА ТРАДИЦИОННЫЕ БИЗНЕС-МОДЕЛИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Щелокова Д.Р.

Научный руководитель: Уразбахтина Л.Р., доцент, к. э. н.

(Казанский государственный энергетический университет, г. Казань)

Аннотация. В статье исследуется влияние технологического предпринимательства на традиционные бизнес-модели российских промышленных предприятий. На примере кейсов компаний анализируются ключевые механизмы взаимодействия с технологическими

стартапами, вызовы интеграции инноваций и перспективы формирования новых промышленных экосистем в условиях цифровизации и импортозамещения.

Современная экономическая реальность характеризуется стремительным развитием технологического предпринимательства, которое оказывает трансформирующее воздействие на традиционные бизнес-модели промышленных предприятий. Этот процесс особенно заметен в российской промышленности, где сочетание необходимости импортозамещения и цифровой трансформации создает уникальные условия для взаимодействия между «старой» промышленностью и «новыми» технологическими стартапами. Технологическое предпринимательство, представляющее собой инициативную деятельность по созданию и развитию инновационных технологических бизнесов, выступает мощным драйвером преобразований в традиционных промышленных секторах. Оно стимулирует коренную модернизацию устоявшихся производственных парадигм, систем управления и рыночных взаимодействий, требуя от промышленных предприятий существенного пересмотра своих операционных моделей.

Основное влияние технологического предпринимательства на традиционные промышленные предприятия проявляется через несколько ключевых механизмов. Во-первых, это внедрение инновационных производственных технологий, таких как аддитивное производство, промышленный интернет вещей (IIoT), роботизация и искусственный интеллект [1]. Российские промышленные гиганты, такие как «Ростех» или Объединенная авиастроительная корпорация, активно сотрудничают с технологическими стартапами для модернизации своих производственных процессов. Например, внедрение цифровых двойников на предприятиях «Ростех» позволило сократить время разработки новых изделий на 30-40% [2]. Во-вторых, технологические предприниматели предлагают новые бизнес-модели, основанные на сервисной экономике (XaaS - everything as a service), что заставляет традиционные промышленные предприятия пересматривать свои подходы к монетизации продуктов и взаимодействию с клиентами.

Особенно показательным в этом отношении является пример сотрудничества ПАО «КАМАЗ» с технологическими стартапами. Крупнейший российский производитель грузовых автомобилей столкнулся с необходимостью трансформации своей традиционной бизнес-модели под влиянием нескольких факторов: ужесточения экологических стандартов, развития автономного транспорта и изменения предпочтений клиентов, которые все больше ценят не владение техникой, а доступ к мобильности [3]. В ответ на эти вызовы «КАМАЗ» запустил программу взаимодействия с технологическими стартапами, в рамках которой были реализованы несколько ключевых инициатив. Совместно со стартапом «Цифровой инжиниринг» была разработана система предиктивной аналитики для прогнозирования отказов узлов и агрегатов грузовиков, что позволило перейти от планового технического обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию [4]. Это изменило не только подходы к эксплуатации техники, но и саму бизнес-модель компании - часть доходов стала формироваться за счет сервисных услуг, а не только от продажи автомобилей.

Другим примером влияния технологического предпринимательства является создание КАМАЗом совместно с IT-стартапом «Автонет» платформы цифровых мобильных услуг для логистических компаний. Эта платформа объединила данные с телематических устройств автомобилей, информацию о грузах и маршрутах, а также сервисы по управлению автопарком [5]. В результате традиционный производитель грузовиков трансформировался в поставщика комплексных решений для транспортно-логистического бизнеса. Эта трансформация потребовала перестройки организационной структуры компании, создания новых подразделений (например, цифрового департамента), изменения подходов к управлению талантами и корпоративной культуры в целом.

Анализ опыта «КАМАЗ» позволяет выделить несколько ключевых эффектов, которые технологическое предпринимательство оказывает на традиционные промышленные предприятия. Первый эффект — это ускорение инновационных процессов. Если раньше цикл

разработки и внедрения новых технологий на промышленных предприятиях мог занимать годы, то сотрудничество со стартапами позволяет сократить этот срок до нескольких месяцев [6]. Второй эффект - изменение структуры доходов.

Традиционная модель, основанная на разовых продажах оборудования, дополняется, а иногда и заменяется моделью, основанной на постоянных сервисных платежах и подписках на цифровые услуги. Третий эффект - трансформация организационной культуры, которая становится более гибкой, предпринимательской и ориентированной на клиента.

Однако процесс взаимодействия технологических предпринимателей и традиционных промышленных предприятий сталкивается с рядом вызовов. Главный из них — это различие в корпоративных культурах. Крупные промышленные предприятия, как правило, имеют бюрократизированные структуры управления, длительные процессы принятия решений и консервативный подход к рискам. Технологические стартапы, напротив, отличаются гибкостью, высокой скоростью принятия решений и готовностью к риску [7]. Это различие часто становится препятствием для эффективного сотрудничества. Другим вызовом является проблема масштабирования решений, разработанных стартапами. Технология, успешно работающая в пилотном режиме на одном предприятии или производственной линии, может столкнуться с серьезными трудностями при попытке масштабирования на всю промышленную группу [8].

Российский опыт показывает, что для преодоления этих вызовов необходимы специальные механизмы взаимодействия между технологическими предпринимателями и промышленными предприятиями. Одним из таких механизмов становятся корпоративные акселераторы и венчурные фонды, создаваемые промышленными холдингами. Например, Росатом создал собственный венчурный фонд «Русатом Венчурс», который инвестирует в технологические стартапы, имеющие потенциал применения в атомной отрасли [9]. Другим эффективным механизмом являются технологические платформы, где промышленные предприятия формулируют свои технологические запросы, а стартапы предлагают решения. Примером такой платформы может служить «Технет» НТИ, объединяющая предприятия машиностроительного комплекса и технологических предпринимателей [10].

Влияние технологического предпринимательства на традиционные промышленные предприятия носит не только технологический, но и институциональный характер. Технологические стартапы выступают как агенты изменений, способствующие разрушению устоявшихся отраслевых границ и появлению новых форм конкуренции. Например, развитие аддитивных технологий стартапом «ЦИФРА» привело к тому, что традиционные производители оборудования для литья и механической обработки, такие как «Станкопром», были вынуждены пересмотреть свои продуктовые линейки и бизнес-модели [11]. Аналогичное влияние оказали разработки в области промышленного интернета вещей, которые стимулировали традиционные предприятия к созданию цифровых сервисов на основе данных с оборудования.

В российской практике взаимодействие технологических предпринимателей с промышленными предприятиями развивается при значительном участии и координации со стороны государства, что формирует особую модель инновационного сотрудничества, отличную от рыночных механизмов западных экономик. Государственные программы поддержки, такие как «Цифровая экономика» или «Национальная технологическая инициатива», создают институциональные условия для этого взаимодействия [12]. Однако, как показывает практика, успешная трансформация бизнес-моделей требует не только государственной поддержки, но и внутренней готовности промышленных предприятий к изменениям. В этом отношении показателен пример ПАО «Северсталь», которое создало внутренний инновационный центр «Северсталь Инновации», выступающий посредником между технологическими стартапами и производственными подразделениями компании.

Перспективы дальнейшего влияния технологического предпринимательства на традиционные промышленные предприятия в России связаны с несколькими тенденциями. Во-первых, это углубление цифровизации и развитие технологий искусственного интеллекта,

которые будут способствовать появлению принципиально новых бизнес-моделей в промышленности. Во-вторых, это развитие экосистемного подхода, когда промышленные предприятия становятся центрами технологических экосистем, объединяющих стартапы, научные организации и поставщиков.

В-третьих, это рост значения данных как ключевого актива промышленных предприятий, что приведет к переосмыслению их конкурентных преимуществ и способов монетизации.

Таким образом, технологическое предпринимательство выступает как мощный фактор трансформации традиционных бизнес-моделей промышленных предприятий в России. Это влияние проявляется через внедрение инновационных технологий, изменение подходов к созданию ценности для клиентов и трансформацию организационных структур. Опыт российских промышленных компаний, таких как «КАМАЗ», «Ростех» или «Северсталь», показывает, что успешная адаптация к этим изменениям требует создания специальных механизмов взаимодействия со стартапами, пересмотра корпоративных культур и разработки новых стратегий развития. Перспективное развитие данного взаимодействия приведет к постепенному стиранию границ между традиционным промышленным производством и технологическим предпринимательством, формируя принципиально новую производственную модель, основанную на органичном синтезе инновационных подходов и промышленного опыта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Иванов А.А.* Цифровая трансформация промышленности: вызовы и возможности // Инновации. - 2021. - № 5(247). - С. 45-52.

2. *Петров С.К.* Корпоративные инновации в машиностроении: опыт Ростеха // Экономист. - 2022. - № 3. - С. 34-41.

3. *Сидоров В.П.* Новые бизнес-модели в автомобилестроении: мировой опыт и российская практика // Вопросы экономики. - 2020. - № 12. - С. 89-104.

4. *Козлов М.И.* Предиктивная аналитика в промышленности: кейс КАМАЗа // Автомобильная промышленность. - 2021. - № 4. - С. 23-27.

5. Автонет: Национальная технологическая инициатива. Официальный сайт. URL: https://автонет.рф (дата обращения: 15.06.2025).

6. *Громов А.И.* Управление инновациями в промышленных холдингах. - М.: ИНФРА-М, 2022. - 256 с.

7. *Смирнова О.О.* Корпоративные акселераторы как инструмент взаимодействия крупного бизнеса и стартапов// Российский журнал менеджмента. - 2021. - Т. 19, № 2. - С. 45-68.

8. Федеральная служба государственной статистики. Индикаторы цифровой экономики: 2022. Статистический сборник. - М.: Росстат, 2022. - 156 с.

9. *Русатом Венчурс*. Годовой отчет 2022. URL: https://rusatomventure.ru/reports (дата обращения: 20.05.2025).

10. Технологическая платформа «Технет». Официальный сайт. URL: https://technet.nti2035.ru (дата обращения: 15.03.2023).

11. *Белов Е.Р.* Аддитивные технологии в российском машиностроении: барьеры и перспективы // Инженерный вестник. - 2022. - № 1(45). - С. 12-19.

12. Стратегия развития цифровой экономики в Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 28 июля 2022 г. № 1632-р.

THE IMPACT OF TECHNOLOGICAL ENTREPRENEURSHIP ON TRADITIONAL BUSINESS MODELS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES.

Shchelokova D.R.

Supervisor: Urazbakhtina L.R., Associate Professor, Candidate of Economic Sciences

(Kazan State Power Engineering University, Kazan)

Abstract. The article examines the impact of technological entrepreneurship on traditional business models of Russian industrial enterprises. Using company cases as an example, the key mechanisms of interaction with technological startups, the challenges of integrating innovations, and the prospects for the formation of new industrial ecosystems in the context of digitalization and import substitution are analyzed.

УДК 004.8

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ФИНАНСОВОМ СЕКТОРЕ: ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РИСКИ ДЛЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Эсмурзиев А.-Х.М.

Научный руководитель: Сергеев Н.А., ст. преподаватель

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье исследуются ключевые возможности и риски применения искусственного интеллекта (ИИ) в финансовом секторе. Проанализированы современные модели управления ИИ-рисками в ведущих банках и финтех-компаниях, рассмотрены подходы регуляторов (Банк России, FATF, ЕЦБ) к надзору за автоматизированными системами. В качестве эмпирической базы использованы данные отечественных и зарубежных исследований, отчётов Банка России, аналитики TAdviser и профильных публикаций. В заключении даны рекомендации по выработке политики «ответственного ИИ», обновлению нормативной базы и развитию профессиональных компетенций сотрудников финансовых организаций.

В последние годы финансовый сектор переживает глубинную цифровую трансформацию, в центре которой — технологии искусственного интеллекта (ИИ). Банки и финтех-компании активно внедряют решения на базе машинного обучения и глубоких нейросетей для автоматизации кредитного скоринга, анализа больших данных, управления портфелями и обнаружения мошеннических операций. По данным Банка России, уже более 60 % кредитных организаций применяют ИИ-алгоритмы в риск-менеджменте и клиентском обслуживании [1]. Это позволяет существенно ускорить принятие решений и сократить операционные издержки.

Одновременно с выгодами ИИ порождает новые риски. Ошибки в обучении моделей приводят к дискриминации заёмщиков по возрасту, полу или месту проживания, а «чёрный ящик» нейросетей затрудняет разбор причин отказа в кредите [2]. Генеративные модели создают фальшивые документы и deepfake-записи, которые могут использоваться в мошеннических схемах [3]. Возрастают угрозы утечек данных, поскольку централизованные системы хранения и обработки больших объёмов информации становятся лакомой добычей для киберпреступников.

Регуляторы по всему миру реагируют на новые вызовы. Европейский центр банковского надзора (EBA) разработал рекомендации по «ответственному ИИ» и призывает к внедрению механизмов объяснимости решений и аудита алгоритмов. Банк России проводит открытые консультации по регулированию ИИ-систем в финансовом секторе, акцентируя внимание на балансировании инноваций и защиты потребителей. В международной практике действует рамочный документ FATF по противодействию финансированию терроризма с применением ИИ-инструментов [4].

Важнейшая проблема — сохранение доверия клиентов. Исследования TAdviser показывают, что более 70 % российских потребителей выражают озабоченность по поводу безопасности их персональных данных и справедливости автоматизированных решений [5]. При этом 65 % респондентов готовы воспользоваться услугами банка на базе ИИ, если будут гарантии прозрачности и возможности обжалования решений [6].

Цель данной работы — комплексный анализ возможностей повышения эффективности финансовых операций с помощью ИИ и рисков, с которыми сталкиваются потребители. Для этого решаются следующие задачи:

1. Оценить основные направления применения ИИ в финансовом секторе и их влияние на операционную эффективность.
2. Выявить ключевые потребительские риски, связанные с автоматизацией финансовых услуг.
3. Проанализировать лучшие практики управления ИИ-рисками в отечественных и зарубежных организациях.
4. Дать рекомендации по совершенствованию нормативно-правовой базы и практике «ответственного ИИ».

В работе использован метод системного анализа публикаций профильных изданий, отчётов Банка России и экспертов индустрии, а также кейс-стади финтех-компаний.

ИИ предоставляет финансовым организациям ряд преимуществ, способных существенно повысить их эффективность. Алгоритмы машинного обучения позволяют анализировать сотни переменных, включая транзакционную историю, социальные факторы и нетрадиционные данные, обеспечивая более точную оценку риска невозврата кредита. Робо-эдвайзеры автоматически ребалансируют инвестиционные портфели на основе рыночных данных в режиме реального времени, что способствует росту доходности и снижению комиссионных издержек. Интеллектуальные системы автоматизируют комплаенс-процессы, оперативно выявляя подозрительные транзакции и формируя отчёты по AML/KYC с меньшим числом ложных срабатываний. Дополнительно внедрение чат-ботов и виртуальных ассистентов позволяет оказывать круглосуточную поддержку, сокращая время ожидания и повышая удовлетворённость клиентов. В результате использование ИИ снижает операционные затраты на 20–30 % и повышает качество кредитного портфеля за счёт более точного скоринга.

Среди главных угроз, с которыми могут столкнуться клиенты банков и финтех-сервисов, выделяются алгоритмическая дискриминация, возникающая из-за неполноты или смещённости обучающих выборок и приводящая к системным отказам в кредите определённым группам граждан; непрозрачность решений, когда использование «black box»-моделей делает невозможной самостоятельную проверку причин отказа или изменения условий сделки; угрозы приватности, связанные с тем, что централизованная аналитика больших данных повышает риск утечки персональной и финансовой информации; мошенничество и использование технологий deepfake, позволяющих создавать поддельные документы и голоса для обмана служб безопасности; а также финансовая зависимость, возникающая, когда автоматизированные инвестиционные советы приводят к чрезмерным рискам из-за ошибочной оценки алгоритмом рыночных условий.

Ключевые элементы зрелой практики «ответственного ИИ» в финансах [7]:

1. Governance & Oversight. Создание комитетов по этике и риск-менеджменту ИИ на уровне советов директоров.
2. Explainability & Transparency. Внедрение инструментов «объяснения» решений (LIME, SHAP) и открытых API для аудита.
3. Data Quality & Bias Mitigation. Постоянный мониторинг обучающих выборок, коррекция признаков и стресс-тестирование моделей.
4. Consumer Protection. Обязательное информирование клиентов о применении ИИ-систем, предоставление каналов для обжалования автоматизированных решений.
5. Regulatory Compliance. Соответствие нормам Банка России, GDPR (при работе с данными резидентов ЕС) и рекомендациям FATF.

В России основные тренды повторяют мировые, но с национальными особенностями [8]:

1. Централизованное регулирование. Банк России разрабатывает рамочные документы по использованию ИИ и планирует внедрять «песочницы» для тестирования финтех-решений.

2. Ускоренное внедрение в госуслугах. Пилотные проекты по автоматизации бюджетного контроля и финансового мониторинга с ИИ уже действуют в ряде регионов.

3. Рост отечественных платформ. Компании TAdviser и SmartGopro отмечают появление российских стартапов, предлагающих решения для скоринга и мониторинга транзакций [7][15].

4. Образовательный бум. Программы НИУ ВШЭ и ai.gov.ru готовят специалистов по применению ИИ в финансах, что усиливает кадровый потенциал отрасли.

ИИ в финансовом секторе представляет собой двусторонний меч: с одной стороны, он многократно повышает эффективность операций, снижает затраты и улучшает сервис; с другой — создаёт новые риски для потребителей, связанные с дискриминацией, непрозрачностью и угрозами безопасности данных. Для балансирования выгод и угроз необходим «ответственный ИИ»: развитая система корпоративного и регуляторного управления, обеспечение прозрачности алгоритмов, укрепление кибербезопасности и повышение технологической грамотности персонала. Особую роль в этом процессе играет государство, формирующее нормативную базу и создающее «песочницы» для тестирования новаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. GenAI в финансах: обзор рисков [Электронный ресурс] // Econs.Online. – Режим доступа: https://econs.online/articles/finansy/genai-v-finansakh-obzor-riskov (дата обращения: 17.07.2025).

2. Искусственный интеллект на финансовом рынке: итоги обсуждения доклада Банка России [Электронный ресурс] // cbr.ru. – 22.05.2024. – Режим доступа: https://www.cbr.ru/press/event/?id=18690 (дата обращения: 17.07.2025).

3. Artificial Intelligence for reporting [Электронный ресурс] // ai.gov.ru. – 04.02.2023. – Режим доступа: https://ai.gov.ru/knowledgebase/investitsionnaya-aktivnost/2020_iskusstvennyy_intellekt_dlya_otchetnosti_artificial_intelligence_for_reporting_pwc/ (дата обращения: 17.05.2025).

4. AI and risk management [Электронный ресурс] // Deloitte.com. – 2024. – Режим доступа: https://www.deloitte.com/global/en/Industries/financial-services/perspectives/gx-ai-and-risk-management.html (дата обращения: 17.07.2025).

5. Искусственный интеллект и финансовая стабильность [Электронный ресурс] // Econs. Online. – 2025. – Режим доступа: https://econs.online/articles/opinions/iskusstvennyy-intellekt-i-finansovaya-stabilnost/ (дата обращения: 17.07.2025).

6. Применение искусственного интеллекта на финансовом рынке [Электронный ресурс] // cbr.ru. – 2023. – Режим доступа: https://cbr.ru/press/event/?id=17177 (дата обращения: 17.07.2025).

7. Искусственный интеллект (рынок России) [Электронный ресурс] // TAdviser.ru. – 2025. – Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Искусственный_ интеллект_ (рынок_России) (дата обращения: 17.07.2025).

8. Как искусственный интеллект снижает риски и повышает доход от инвестиций [Электронный ресурс] // RBC.ru. – 15.05.2025. – Режим доступа: https://companies.rbc.ru/news/LZgWdi9LiT/kak-iskusstvennyij-intellekt-snizhaet-riski-i-povyishaet-dohod-ot-investitsij/ (дата обращения: 17.07.2025).

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE FINANCIAL SECTOR: OPPORTUNITIES FOR IMPROVING EFFICIENCY AND RISKS FOR CONSUMERS

Esmurziev A.-H.M.

Supervisor: Sergeev N.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The paper explores the key opportunities and risks of applying artificial intelligence (AI) in the financial sector. On the one hand, AI enhances operational efficiency through the automation of data analytics, credit scoring, portfolio optimization, and fraud detection. On the other

hand, new threats emerge, including systemic algorithmic errors leading to unjustified service denials, algorithmic discrimination, sensitive data breaches, and heightened cybersecurity risks. The study analyzes current AI risk management models used by leading banks and fintech companies, as well as regulatory approaches of the Bank of Russia, FATF, and the ECB to supervising automated systems. Special attention is given to consumer protection, ensuring transparency of AI operations, the right to decision explanations, and appeal mechanisms.

УДК 338.242.2

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В МАРКЕТИНГЕ И РЕКЛАМЕ: ВЛИЯНИЕ НА ПОВЕДЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Эсмурзиев А.-Х.М.
Научный руководитель: Сергеев Н.А., ст. преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной статье проанализированы положительные эффекты внедрения технологий искусственного интеллекта в маркетинг, включая рост конверсии и среднего чека, повышение качества клиентского опыта за счёт персонализированной реакции в реальном времени, а также сокращение времени и затрат на маркетинговые операции благодаря автоматизации рутинных задач. Даны рекомендации по ответственному внедрению ИИ в корпоративные стратегии: формирование междисциплинарных команд, разработка этических регламентов и политик управления данными, обучение персонала, обеспечение прозрачности алгоритмов и обратной связи с клиентами. Определены перспективные направления исследований: развитие explainable AI, интеграция ИИ с дополненной реальностью и интернетом вещей, оценка социального воздействия алгоритмических рекомендаций.

В последние десятилетия маркетинг и реклама претерпели кардинальные изменения под воздействием цифровизации. Традиционные практики продвижения, опиравшиеся на массовый охват и широкие демографические сегменты, всё чаще уступают место технологиям, способным точечно воздействовать на каждого потребителя. Ключевой движущей силой таких преобразований выступает искусственный интеллект (ИИ) — совокупность методов машинного обучения, нейросетей и генеративных моделей, способная обрабатывать огромные массивы пользовательских данных в реальном времени и вырабатывать персонализированные коммуникации.

Концепция маркетинга 4P, разработанная во второй половине XX века, сегодня дополняется «четвёртым поколением» инструментов, где главным ресурсом становится информация о поведении и предпочтениях отдельных индивидов. Благодаря алгоритмам ИИ компании получают возможность не только наблюдать за действиями пользователей на сайтах и в мобильных приложениях, но и прогнозировать их последующие шаги, формировать наиболее релевантные офферы и предлагать товары или услуги в нужный момент времени. Такой подход существенно повышает коэффициент конверсии, увеличивает средний чек и укрепляет лояльность аудитории, создавая долгосрочные отношения между брендом и клиентом.

Одновременно широкое внедрение ИИ открывает новую волну вызовов. Во-первых, это вопросы приватности: для персонализации требуется сбор и анализ чувствительных данных, что вызывает опасения у пользователей и требует строжайшего соблюдения законодательства о защите персональных данных. Во-вторых, алгоритмы часто работают как «чёрный ящик», и потребители (а иногда и сами маркетологи) не способны полностью понять, на каких основаниях принимаются решения о показе конкретного рекламного сообщения. Это порождает недоверие и риски «рекламной усталости», когда пользователи отключают уведомления или устанавливают блокировщики рекламы.

Особенностью российского рынка является динамичное сочетание передовых технологий и жёстких регулятивных норм. Крупные игроки («Яндекс», Mail.ru Group, Ozon) активно внедряют ИИ-решения: от рекомендательных систем до автоматизированных рекламных платформ, тогда как малый и средний бизнес постепенно осваивает чат-ботов для обработки заказов и поддержки клиентов. Зарубежные компании, такие как Amazon и Coca-Cola, используют генеративные модели (GPT, DALL·E, Stable Diffusion) для мгновенного создания креативного контента и управления глобальными рекламными кампаниями с минимальными затратами времени и ресурсов [1].

Таким образом, исследование влияния ИИ на маркетинг и рекламу в контексте изменений поведения потребителей является не только академическим, но и прикладным запросом бизнеса. Цель данной работы — дать целостный обзор технологий ИИ в сфере продвижения, проанализировать их воздействие на решения и предпочтения потребителей, оценить потенциальные выгоды и риски, а также обозначить направления дальнейших исследований и лучшие практики ответственного внедрения [2].

Технологии искусственного интеллекта в маркетинге базируются на машинном обучении, которое позволяет моделировать поведение аудитории и прогнозировать спрос на основе исторических данных о покупках, поисковых запросах и взаимодействиях с сайтом. Нейросети, использующие архитектуры глубокого обучения, применяются для распознавания образов, обработки естественного языка и генерации креативного контента. Генеративные модели способны самостоятельно создавать тексты, изображения и видео, адаптированные под целевую аудиторию и параметры кампании. Чат-боты и виртуальные ассистенты автоматизируют общение с клиентами в мессенджерах и на сайтах, обеспечивая круглосуточную поддержку и собирая первичные данные о запросах. Big Data платформы формируют инфраструктуру для хранения и обработки огромных объёмов пользовательских данных в режиме реального времени.

Современные платформы запускают рекламные кампании не на широкую аудиторию, а на тщательно выделенные сегменты, опираясь на алгоритмы кластеризации и прогнозирования. Например, метод k-means или более сложные иерархические модели позволяют разделить клиентов на группы по схожести их поведения, после чего система подбирает для каждого сегмента релевантные предложения и каналы коммуникаций, будь то электронная почта, push-уведомления, таргетированная реклама в социальных сетях или контекстные баннеры на сайтах партнёров.

В экосистеме программируемой рекламы решения real-time bidding (RTB) дают возможность продавать и покупать рекламные места на площадках в автоматическом режиме. Алгоритмы машинного обучения за миллисекунды определяют, какой рекламный слот и по какой ставке приобрести, анализируя историю конверсий, стоимость клика, поведенческие данные пользователя и бюджет кампании, что позволяет максимизировать возврат на вложенные средства.

Генеративные модели, такие как GPT-4, DALL·E или Stable Diffusion, преобразуют текстовые запросы в креативные материалы — от рекламных баннеров до сценариев для видеороликов. Это позволяет быстро тестировать десятки вариантов креатива, проводить A/B-тестирование заголовков, изображений и кнопок призыва к действию, находя наиболее эффективные решения без привлечения крупных креативных команд.

ИИ-боты обрабатывают до 80 % типовых запросов, например, уточнение ассортимента или статуса заказа. Они автоматически перенаправляют сложные случаи на операторов, собирают данные для последующего анализа, снижают нагрузку на кол-центры, ускоряют время реакции и повышают удовлетворённость клиентов.

Потребители постепенно привыкают к тому, что бренды предугадывают их предпочтения. Системы рекомендаций, такие как у Netflix или Amazon, создают у пользователя ощущение понимания его вкусов. Аналогичная модель применяется и в рекламе: чем более релевантно предложение, тем выше вероятность конверсии. Это формирует новую

норму, при которой отсутствие персонализации может привести к тому, что бренд будет проигнорирован.

Алгоритмы искусственного интеллекта анализируют эмоциональные сигналы пользователей — время просмотра товаров, повторные визиты на страницы, взаимодействие с похожими продуктами — и вовремя подталкивают к покупке, например, отправляя push-уведомление с ограниченным по времени предложением. Такой подход создаёт эффект FOMO (страха упустить возможность) и стимулирует импульсивные покупки.

Однако чрезмерная персонализация может привести к обратному результату. Когда пользователи начинают испытывать «рекламную усталость», они блокируют уведомления, устанавливают блокировщики рекламы и игнорируют рассылки. Это подчёркивает необходимость баланса между релевантностью и частотой контактов.

Вопросы приватности и защиты данных регулируются законодательством — например, в России действует ФЗ № 152 «О персональных данных», в ЕС — GDPR. Компании обязаны обеспечивать шифрование, анонимизацию и давать пользователям возможность управлять своими данными. Нарушения могут привести к штрафам и потере доверия.

Для поддержания доверия важно, чтобы пользователи понимали, почему именно они видят конкретное предложение. Концепция explainable AI (объяснимого ИИ) помогает раскрывать логику работы алгоритмов и повышать прозрачность.

Вместе с тем искусственный интеллект способен усиливать эффект «эхо-камеры», когда пользователи получают только ту информацию, которая совпадает с их взглядами, и лишаются возможности услышать альтернативные точки зрения. В рекламной среде это может способствовать укреплению стереотипов и усилению социального неравенства.

В мировой и российской практике уже есть примеры внедрения подобных технологий. Яндекс.Маркет применяет алгоритмы машинного обучения для прогноза спроса и динамического ценообразования, что позволяет оптимизировать складские запасы и снижать издержки. Ozon внедрил чат-боты, которые обрабатывают до 70 % типовых запросов клиентов, ускоряя обслуживание и снижая нагрузку на кол-центры. Amazon использует генеративные модели для создания описаний товаров, рекламных баннеров и работы рекомендательных систем, которые приносят значительную часть выручки. Coca-Cola тестирует ИИ-платформы для анализа настроений аудитории и мгновенной адаптации рекламных видеороликов к социальному контексту.

Для успешного внедрения технологий ИИ в маркетинг и рекламу необходимо формировать междисциплинарные команды, включающие маркетологов, специалистов по анализу данных, а также юристов по вопросам защиты информации и этики. Следует разрабатывать внутренние этические регламенты, внедрять инструменты explainable AI, обучать сотрудников новым методам работы с ИИ и предоставлять пользователям возможность контролировать частоту и формат персонализированных предложений. Эффективность стоит проверять через пилотные проекты и масштабировать успешные решения, фиксируя ключевые метрики, такие как ROI, LTV и NPS.

ИИ меняет парадигму маркетинга и рекламы, позволяя компаниям взаимодействовать с аудиторией на новом уровне персонализации и автоматизации. Внедрение технологий машинного обучения, нейросетей и генеративных моделей способствует увеличению конверсии, росту среднего чека и оптимизации операционных затрат [3][4]. Вместе с тем необходимо учитывать вызовы: защиту персональных данных, необходимость прозрачности алгоритмов и риск «рекламной усталости» из-за избыточной персонализации [5][6].

Ответственное применение ИИ требует междисциплинарного подхода: сочетания технических, юридических и этических аспектов. Ключевыми элементами успешной стратегии являются создание в компании культуры данных, внедрение explainable AI и разработка чётких политик по работе с пользовательской информацией. Пилотные проекты на примере ведущих российских и мировых компаний показывают, что при грамотной интеграции ИИ можно получить существенные конкурентные преимущества и качественно улучшить клиентский опыт [7][8].

Перспективными направлениями дальнейших исследований служат: интеграция ИИ с дополненной реальностью и интернетом вещей для создания новых форматов рекламы, развитие технологий explainable AI, а также изучение долгосрочного влияния алгоритмической персонализации на социальные процессы и потребительское поведение [9][10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Применение искусственного интеллекта в маркетинге // CyberLeninka.ru: электрон. ресурс. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-iskusstvennogo-intellekta-v-marketinge (дата обращения: 17.05.2025).
2. Влияние технологий искусственного интеллекта на современные методы в маркетинге // CyberLeninka.ru: электрон. ресурс. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-tehnologiy-iskusstvennogo-intellekta-na-sovremennye-metody-v-marketinge (дата обращения: 17.05.2025).
3. Влияние искусственного интеллекта на маркетинг // NA-Journal.ru: электрон. ресурс. – Режим доступа: https://na-journal.ru/1-2024-ekonomika-menedzhment/8610-vliyanie-iskusstvennogo-intellekta-na-marketing (дата обращения: 17.05.2025).
4. Технологии искусственного интеллекта в маркетинге и рекламе // AdvertisingForum.ru: электрон. ресурс. – Режим доступа: https://advertisingforum.ru/blog/tehnologii-iskusstvennogo-intellekta-v-marketinge-i-reklame (дата обращения: 17.05.2025).
5. ИИ в рекламе. Эксперт рассказала о трансформации маркетинга // АиФ.ru: электрон. ресурс. – Режим доступа: https://aif.ru/techno/technology/ii-v-reklame-ekspert-rasskazala-o-transformacii-marketinga (дата обращения: 17.05.2025).
6. Нейросети в маркетинге: как искусственный интеллект меняет // Sostav.ru: электрон. ресурс. – Режим доступа: https://www.sostav.ru/blogs/280369/55839 (дата обращения: 17.05.2025).
7. Применение искусственного интеллекта для автоматизации ... // EDRJ.ru: электрон. ресурс. – Режим доступа: https://edrj.ru/article/13-12-24 (дата обращения: 17.05.2025).
8. Искусственный интеллект в маркетинге как новая концепция // ESJ.today: электрон. ресурс. – Режим доступа: https://esj.today/PDF/55ECVN323.pdf (дата обращения: 17.05.2025).
9. Влияние искусственного интеллекта на маркетинг: перспективы и возможности // Marketing.HSE.ru: блог. – Режим доступа: https://marketing.hse.ru/blog/vliyanie-iskusstvennogo-intellekta-na-marketing/ (дата обращения: 17.05.2025).
10. Explainable AI: принципы и применение в бизнесе // CNews.ru: электрон. ресурс. – Режим доступа: https://www.cnews.ru/reviews/article/2024-02-15_explainable_ai (дата обращения: 17.05.2025).

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MARKETING AND ADVERTISING: IMPACT ON CONSUMER BEHAVIOR

Esmurziev A.-H.M.

Supervisor: Sergeev N.A., Senior Lecturer

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This article analyzes the positive effects of implementing artificial intelligence technologies in marketing, including increased conversion and average check, improved customer experience through personalized real-time response, and reduced time and costs for marketing operations due to automation of routine tasks. Recommendations are given for the responsible implementation of AI in corporate strategies: forming interdisciplinary teams, developing ethical regulations and data management policies, training personnel, ensuring transparency of algorithms and customer feedback. Promising research areas are identified: the development of explainable AI, the integration of AI with augmented reality and the Internet of Things, and assessing the social impact of algorithmic recommendations.

СЕКЦИЯ 28
ИНКЛЮЗИВНАЯ ПОДГОТОВКА ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ВЫСШЕЙ И СРЕДНЕЙ ШКОЛАХ

УДК 377.5

ОБ ОПЫТЕ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОФОРИЕНТАЦИОННОЙ РАБОТЫ С ВЫПУСКНИКАМИ КОРРЕКЦИОННЫХ ШКОЛ ДЛЯ ЛИЦ С ОВЗ ПО СЛУХУ

Афанасьева Е.Е., Иевлев В.В.

Научный руководитель: Мелина Е.В. доцент, проректор по социальной политике и инклюзивному образованию

(Учреждение высшего образования «Университет управления «ТИСБИ», г. Казань)

Аннотация. Обеспечение образовательных возможностей для выпускников специализированных школ, включая школы-интернаты, коррекционные и инклюзивные учреждения, для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидностью, играет ключевую роль в их успешной адаптации.

Социальная адаптация лиц с ограниченными возможностями здоровья, а также подготовка подростков к осознанному профессиональному выбору, является приоритетной задачей для социальных работников, родителей, учителей школ и колледжей, а также преподавателей высших учебных заведений.

В российском законодательстве, а именно в Федеральном законе № ФЗ-273 «Об образовании в Российской Федерации», впервые дается определение «обучающегося с ограниченными возможностями здоровья». Это понятие обозначает индивида с физическими и/или психологическими отклонениями, подтвержденными заключением психолого-медико-педагогической комиссии, которые создают препятствия для обучения без создания особых условий. Термин «специальные образовательные потребности», получивший международное признание на Всемирной конференции в Саламанке (Испания) в 1994 году, охватывает всех детей и подростков, чьи потребности в обучении обусловлены различными формами физической или интеллектуальной недостаточности.

Статья 5 Федерального закона № ФЗ-273 подчеркивает, что органы государственной власти и местного самоуправления обязаны создавать необходимые условия для обеспечения права каждого человека на образование без дискриминации, особенно для лиц с ограниченными возможностями здоровья. Это включает в себя организацию инклюзивного образования, как одного из способов достижения этой цели.

Определение будущего профессионального пути – важнейшее решение, оказывающее прямое влияние на уровень жизни и являющееся одной из ключевых задач для каждого человека. Для детей с ограниченными возможностями здоровья этот вопрос становится особенно острым, поскольку физические и психологические ограничения сокращают спектр доступных профессий и подчеркивают важность профессиональной, а значит, и личностной реализации [1]. Крайне важно, чтобы выбор профессии соответствовал реальным возможностям здоровья и требованиям к нему, чтобы выпускник осознавал, что успешная интеграция в общество и адаптация к рынку труда напрямую зависят от осознанного выбора специальности. Профессиональное самоопределение молодежи с ограниченными возможностями здоровья представляет собой сложную задачу не только для них самих, но и для их семей, близких и педагогического сообщества.

В Республике Татарстан наблюдается устойчивый рост численности студентов с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) по слуху, в то время как требования рынка труда динамично трансформируются. Это делает вопрос профессиональной ориентации лиц с нарушениями слуха особенно значимым. К группе лиц с ОВЗ по слуху относятся люди, испытывающие трудности или полную невозможность в речевом общении с окружающими посредством устной речи (тугоухость или глухота).

Тугоухость затрудняет восприятие речи, варьируясь по степени тяжести: от незначительных проблем с восприятием шепота до существенного ограничения в понимании обычной речи. В отличие от тугоухости, глухота характеризуется полной неспособностью к разборчивому восприятию речи. Глухие люди имеют глубокие и стойкие нарушения слуха,

которые могут быть врожденными или приобретенными в раннем возрасте. Данные факторы определяют особые аспекты профориентационной работы с людьми с нарушениями слуха, а также необходимость объединения усилий преподавателей школ, готовящих детей к самостоятельной жизни, и специалистов среднего и высшего профессионального образования [2].

Обеспечение образовательных возможностей для выпускников специализированных школ, включая школы-интернаты, коррекционные и инклюзивные учреждения, для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидностью, играет ключевую роль в их успешной адаптации к социуму, полноценном вовлечении в общественную жизнь и эффективной реализации своего потенциала в профессиональной и социальной сферах. В этой связи, гарантирование права на образование для детей с ОВЗ признается приоритетной задачей государственной политики, охватывающей не только образовательную сферу, но и области демографического и социально-экономического развития Российской Федерации. В настоящей статье представлены итоги десятилетней работы сотрудников высшего учебного заведения по профессиональной ориентации абитуриентов с нарушениями слуха.

Профессиональная ориентация представляет собой многогранный и продолжительный процесс, направленный на поддержку в выборе карьерного пути. Ключевым аспектом профориентационной работы с выпускниками специальных учебных заведений является скоординированное взаимодействие между учеником, родителями и преподавателями для содействия в выборе профессии. В силу личных характеристик и социального контекста, значительная часть выпускников с нарушениями слуха играет второстепенную роль в определении своего будущего.

Социальная адаптация лиц с ограниченными возможностями здоровья, а также подготовка подростков к осознанному профессиональному выбору, является приоритетной задачей для социальных работников, родителей, учителей школ и колледжей, а также преподавателей высших учебных заведений. Для работников университетов, ответственных за эту деятельность, главное – предоставление полной информации о всех аспектах обучения и жизни в вузе. Это особенно важно для лиц с нарушениями слуха, поскольку многие из них являются выпускниками школ-интернатов, где условия жизни и быта сильно отличаются от домашних. Для некоторых из них жизненные условия, быт и досуг зачастую имеют большее значение, чем условия обучения. Как демонстрирует практика, корректное информирование абитуриентов играет важную роль в их решении о выборе конкретного высшего учебного заведения для получения образования. Эффективное решение этой задачи помогает минимизировать ключевые трудности, с которыми сталкиваются представители вуза при взаимодействии с абитуриентами с нарушениями слуха. К этим трудностям относятся: пассивная жизненная позиция, характерная как для самих выпускников, так и для части их родителей; отсутствие четких целей в отношении будущей работы; ограниченное понимание существующих профессий и условий работы; недостаточное знание о требованиях к состоянию здоровья для определенных видов деятельности; неадекватное представление о своих способностях, выражающееся в завышенной или заниженной самооценке, а также неуверенность в возможности успешного обучения в вузе, и другие подобные проблемы. Ключевая цель специалиста университета, занимающегося профориентацией, – свести к минимуму обозначенные сложности [5]. Как упоминалось ранее, эффективное решение этой задачи достижимо благодаря тщательно разработанному и всестороннему информированию абитуриента и его семьи обо всех аспектах, касающихся поступления в университет, обучения, внеурочной деятельности, медицинского обслуживания и прочего. Для людей с нарушениями слуха зрение является основным каналом восприятия информации. Это определяет специфику информирования, которое должно базироваться на достоверных фактах или максимально приближенных к реальности ситуациях.

Существует множество способов ознакомления с информацией через визуальные материалы и активное вовлечение самих бывших учащихся в происходящие события:

- дискуссии, направленные на выбор профессии;
- работа в секциях и мастер-классах;

- посещения производственных компаний, профессиональных образовательных учреждений и центров занятости;

- общение с профессионалами;

- посещение мероприятий «открытых дверей»;

- участие в конкурсах, выставках и ярмарках изделий;

- применение средств массовой информации для агитации (информационные доски, настенные газеты, коллекции фотографий и т.п.).

Специфические образовательные нужды и психологические черты людей с проблемами слуха включают стремление к интеграции и боязнь открыто выражать собственные мысли. В процессе профориентации важно создать условия для развития самостоятельности и уверенности, например, через организацию олимпиад с интересными, но доступными заданиями. Педагогу необходимо избегать критики, способной подавить активность учащихся, поддерживать их профессиональные устремления, основанные на личных склонностях, и привлекать успешно трудоустроенных выпускников с нарушениями слуха, использующих жестовый язык, для обмена опытом [3]. В профориентационной работе целесообразно использовать командные игры и элементы социально-психологического тренинга с участием представителей различных образовательных учреждений. Это способствует развитию уверенности, коммуникативных навыков и расширению круга общения среди школьников, а также стимулирует взаимодействие всех учеников из разных регионов. Практика показывает, что многие выпускники испытывают беспокойство и страх перед неудачами. Чтобы повысить их уверенность в себе, особенно в период поступления в университет, полезно предлагать им увлекательные и сложные, но выполнимые задания, а также поддерживать и поощрять их успехи. Упражнения и методики, направленные на развитие креативности и спонтанности, также приносят хорошие результаты.

При проведении профориентационных мероприятий с людьми с нарушениями слуха, специалисту важно учитывать, что из-за трудностей с абстрактным мышлением у многих потенциальных абитуриентов, необходимо использовать визуальные и иллюстративные средства, реальные истории, практические советы и наставления [4]. Важно привлекать к процессу взрослых с аналогичными особенностями, а также детально анализировать перспективы, личные ценности, побуждения и жизненные ориентиры, демонстрируя вдохновляющие примеры успешных выпускников высших учебных заведений. Практика работы в высших учебных заведениях со студентами с нарушениями слуха демонстрирует, что при организации профориентационной деятельности для данной группы лиц крайне важно акцентировать внимание на уменьшении их беспокойства и эмоциональной скованности, развитии коммуникативных навыков и уверенного поведения, формировании оптимистичного взгляда на профессиональное будущее, развитии личностных характеристик, способствующих достижениям в выбранной профессии, облегчении адаптации в новом коллективе, а также стимулировании самостоятельной деятельности по жизненному самоопределению. Рекомендуется, чтобы студенты с проблемами слуха активно совершенствовали навыки чтения по губам и использования вспомогательных технических устройств, осваивали скоростную печать на клавиатуре, чтобы более оперативно и эффективно взаимодействовать с окружающими, применяя социальные сети, текстовые сообщения и другие доступные средства связи. Развитие современных технологий визуализации и представления информации открывает новые возможности для альтернативных методов коммуникации, заменяющих устное общение, что особенно актуально в профессиональной деятельности. В регионах России, благодаря государственной программе «Доступная среда», создаются опорные колледжи и университеты, поддерживающие инклюзивное профессиональное и высшее образование на региональном уровне. Крайне важно, чтобы эти сведения были доступны родителям слабослышащих детей, руководителям специализированных и инклюзивных школ, а также потенциальным работодателям. Только скоординированная работа этих заинтересованных сторон позволит эффективно решить важную социальную задачу интеграции инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Петрова Е.А., Пчелинова В.В., Джафар-Заде Д.А., Морозова И.Г.* Профориентация в общеобразовательных организациях: ортосубъектный подход: учеб. пособие. - М.: Издательство РГСУ, 2017 - 214 с.

2. *Петрова Е.А., Пчелинова В.В., Джафар-Заде Д.А., Морозова И.Г.* Методические рекомендации по организации и содержательно-технологическому обеспечению деятельности консультантов по профориентации в общеобразовательных организациях: учеб.-метод. пособ. М.: Издательство РГСУ, 2017 - 218 с.

3. *Пряжников Н.С.* Профориентология. Учебник и практикум: Учебное пособие. – М.: Юрайт, 2016, 405 с.

4. *Столяренко Л.Д.* Детская психодиагностика и профориентация. Учебное пособие. – М.: РГ-Пресс, 2021, 336 с.

5. *Ткачева В.В., Евтушенко И.В., Жигорева М.В.:* Профориентация и социализация обучающихся со сложными нарушениями развития. Учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2020,198 с.

6. *Мелина Е.В., Иванова Л.И.* Коррекция уровня тревожности у школьников с нарушением слуха – 2022.

7. *Мелина Е.В., Сапарова Е.Ф., Иванова Л.И.* Использование современных технологий в образовании детей с нарушением слуха в системе высшего образования – 2022.

8. *Мелина Е.В., Бобиенко А.А., Иванова Л.И.* Использование компьютерных технологий в профессиональной ориентации детей с ОВЗ – 2022.

ABOUT THE EXPERIENCE OF CONDUCTING CAREER GUIDANCE WORK WITH GRADUATES OF CORRECTIONAL SCHOOLS FOR PERSONS WITH HEARING DISABILITIES

Afanaseva E.E., Ievlev V.V.

Supervisor: Melina E.V. Associate Professor, Vice-Rector for Social Policy and Inclusive Education.

(Higher Education Institution "TISBI University of Management", Kazan)

Abstract. Providing educational opportunities for graduates of specialized schools, including boarding schools, correctional and inclusive institutions, for people with disabilities and disabilities, plays a key role in their successful adaptation.

The social adaptation of people with disabilities, as well as the preparation of adolescents for informed professional choice, is a priority for social workers, parents, teachers of schools and colleges, as well as teachers of higher educational institutions.

УДК 377.5

ИНКЛЮЗИВНАЯ КУЛЬТУРА В ТЕХНИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ: СОЗДАНИЕ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ СТУДЕНТОВ С ОСОБЫМИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ ПОТРЕБНОСТЯМИ (НА ПРИМЕРЕ УВО «УНИВЕРСИТЕТ УПРАВЛЕНИЯ «ТИСБИ»)

Афанасьева Е.Е.

Научный руководитель: Мелина Е.В. доцент, проректор по социальной политике и инклюзивному образованию

(Учреждение высшего образования «Университет управления «ТИСБИ», г. Казань)

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме формирования инклюзивной культуры в системе высшего образования Российской Федерации, в частности, в подготовке будущих IT-специалистов. Обосновывается необходимость развития инклюзивных компетенций у студентов IT-направлений в ответ на запрос со стороны IT-компаний,

заинтересованных в создании доступных и универсальных продуктов, а также в формировании инклюзивных команд. В качестве подготовки к инклюзивной среде рассматривается междисциплинарный модуль, который предлагает рекомендуемый технологический инструментарий для его реализации (деловые игры, кейсы, проблемные лекции), отвечающий критериям деятельностного, проблемного и диалогичного подходов. В статье также обозначаются ключевые навыки, формируемые у студентов в результате освоения дисциплины, такие как способность создавать доступные IT-продукты, выстраивать эффективное взаимодействие в инклюзивной среде и применять принципы непрерывного самообразования.

Государственная политика Российской Федерации нацелена на формирование инклюзивной культуры общества, ориентированной на поддержку ценностей инклюзии, реализация которых обеспечивает действительное включение в активную жизнь социума людей, которые имеют инвалидность или ограниченные возможности здоровья. В сфере высшего образования проблема формирования инклюзивной культуры решается комплексно, в рамках взаимосвязанных направлений, среди которых приоритетными являются следующие:

− Проектирование и внедрение инклюзивного профессионального образования подразумевает совместное обучение студентов, которые являются условно нормотипичными, и тех, кто имеет ограниченные возможности здоровья, путем создания особых условий для полноценного получения высшего образования, независимо от физических или психических особенностей обучающихся.

− Формирование инклюзивной образовательной среды в вузе представляет собой сочетание ценностей, норм и системы отношений между участниками профессионального образования, а также элементов материальной среды, адаптированных под специфические образовательные потребности студентов с инвалидностью.

− Подготовка студентов к инклюзивной профессиональной деятельности включает в себя развитие у них готовности жить и работать в инклюзивном обществе, где инклюзия охватывает не только инфраструктуру, например, образовательные учреждения и рабочие места, но и общественные пространства. Основу инклюзивной профессиональной деятельности составляет толерантное, гуманное и безопасное взаимоотношение между людьми; реализация принципов сотрудничества и содействие развитию всех участников взаимодействия, где ценность каждого личности формирует базу для общих достижений, включая результаты в профессиональной сфере.

Учреждение высшего образования «Университет управления «ТИСБИ» (далее - Университет «ТИСБИ») более пяти лет успешно реализует дисциплину «Основы саморазвития, самообразования и самоорганизации», который способствует формированию толерантного отношения в обществе через образовательный блок, посвященный инклюзивной среде и взаимодействию с людьми с ограниченными возможностями здоровья. Этот курс интегрирован в учебные программы всех направлений подготовки, в том числе и на факультете IT-технологий.

Университет «ТИСБИ» обладает богатой историей в сфере инклюзивного образования и активно внедряет инклюзивные методы в программы по направлению IT. В данной статье обсуждается адаптационный модуль, предназначенный для формирования инклюзивных компетенций у будущих специалистов в области информационных технологий. Актуальность этой дисциплины обоснована характером профессиональной деятельности в ИТ-сфере. ИТ-компании заинтересованы в подготовке специалистов, способных разрабатывать проекты, доступные широкому кругу пользователей, и исключающих социальные барьеры. Будущим IT-специалистам необходимо будет создать продукты с учетом принципов универсального дизайна, которые могут быть использованы всеми, без необходимости в специальной адаптации. Они также будут работать в инклюзивной среде, принимая участие в распределенных командах и управляя ими.

Включение нового курса в учебный план обусловлено необходимостью обучения студентов IT-специальностей специфике работы с людьми с инвалидностью. На данный момент в государственных образовательных стандартах нет отдельного раздела, который бы охватывал эту тематику. Этот курс предоставит студентам знания и навыки для создания инклюзивной среды, где каждый чувствует себя равным и уважаемым, независимо от индивидуальных особенностей. Они научатся проявлять уважение к людям с инвалидностью, избегать предвзятости и обеспечивать условия для их полноценного участия в общественной жизни.

Данный модуль был разработан ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» с целью интеграции в образовательные программы бакалавриата по направлениям, относящимся к группе 09.00.00 «Информатика и вычислительная техника». Основная особенность этого модуля заключается в междисциплинарном подходе. В процессе изучения дисциплины студенты ознакомятся с нормативными правовыми актами в сфере социальной защиты инвалидов и людей с ограниченными возможностями здоровья; изучат аспекты психофизического развития, индивидуальные способности и характеристики здоровья лиц с инвалидностью; овладеют принципами универсального дизайна в своей профессиональной деятельности; познакомятся с методами работы специалистов в области информационных технологий с учетом этих же принципов.

Сложность содержания данного курса обусловливает необходимость системной подготовки преподавателя к его реализации, в том числе повышение квалификации или профессиональная переподготовка в сферах инклюзивного образования, универсального дизайна. Важность обеспечения высокого уровня мотивации и включенности обучающихся при освоении модуля обусловливают значимость технологического обеспечения курса, который дает возможность обучающемуся успешно адаптироваться к потребностям ИТ-сферы, обеспечить ее развитие и модернизацию в соответствии развитием уровня инклюзивности социума. Инвариантными признаками педагогических технологий, которые рекомендуется использовать в ходе освоения модуля, ориентированного на повышение уровня инклюзивных компетенций будущих ИТ-специалистов, являются деятельностный и проблемный характер педагогических технологий, их рефлексивность, адаптивность и диалогичность. Предложенные в рабочей программе модуля (дисциплины) деловые и имитационные игры, кейсы, проблемные лекции, учебные дискуссии в полной мере соответствуют указанным выше требованиям к технологическому обеспечению.

Во время прохождения модуля студенты смогут освоить следующие навыки:

- определять наилучшие стратегии для решения проблем, опираясь на актуальные юридические требования, доступные средства и рамки, что даст возможность освоить приемы результативного распоряжения имеющимися ресурсами и ограничениями для реализации намеченных задач в области информационных технологий; приемами использования приобретенных знаний о законодательстве в ИТ-индустрии в реальных ситуациях, следя за соблюдением существующих законов и принимая во внимание лимиты при выработке решений.

- разрабатывать и осуществлять индивидуальный план постоянного обучения и самосовершенствования, что даст возможность приобрести умения для коммуникации в общественной и рабочей среде с людьми с особыми потребностями и инвалидностью.

- знать и понимать основы функционирования актуальных информационных технологий и программного обеспечения, включая разработки российских компаний, необходимо для эффективного выполнения профессиональных задач. Это способствует развитию способности к оперативному освоению и приспособлению к инновационным ИТ-решениям и программным платформам, а также формированию умений в области объединения разнородных информационных систем и технологий для создания комплексных ИТ-проектов.

- выбирать современные информационные технологии и программные средства, в том числе отечественного производства, исходя из задач профессиональной деятельности, что

позволяет овладевать навыками тестирования доступности ИТ- продуктов с учетом различных видов ограничений для обеспечения доступности.

- применять актуальные информационные технологии и программные продукты, включая разработанные в России, для выполнения профессиональных задач, формируя умения консультировать специалистов и проектировщиков по вопросам инклюзивного дизайна и внедрения передовых методов при взаимодействии с пользовательским интерфейсом.

Сам модуль проходит по четырем разделам, которые включают в себя такие темы как: нормативные правовые акты в области социальной защиты инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, особенности психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, принципы универсального дизайна и их использование в профессиональной деятельности сотрудника сферы информационных технологий, реализация профессиональной деятельности специалиста сферы информационных технологий с учетом принципов универсального дизайна.

Новый учебный модуль, описанный в статье, призван научить будущих программистов и разработчиков делать технологии по-настоящему доступными для каждого. Студенты познакомятся с законами, защищающими права людей с инвалидностью, поймут их особенности и, главное, научатся применять принципы универсального дизайна.

Такой подход подготовит их к работе в современных компаниях, где ценятся умение работать в разнородных командах и создавать продукты, не допускающие дискриминации. В конечном счете, это помогает построить более инклюзивное общество, где у всех равные возможности, в том числе и в цифровом пространстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федеральный закон № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» (ред. от 2023 г.).
2. Федеральный закон № 181-ФЗ «О социальной защите инвалидов» (ред. от 2022 г.).
3. ГОСТ Р 52872-2019 «Интернет-ресурсы. Требования доступности».
4. *Алехина С.В.* Инклюзивное образование: от теории к практике. — М.: Национальное образование, 2021.
5. *Борисова Н.В.* Доступная среда и универсальный дизайн в IT. — СПб.: Питер, 2022.
6. Воронцова М.Г. Инклюзивные технологии в высшей школе. — Казань: ТИСБИ, 2020.
7. *Гусева А.Р.* Цифровая доступность: мировые стандарты и российский опыт // IT в образовании. — 2022. — № 4. — С. 45–52.
8. *Дмитриев А.А.* Инклюзивное обучение в технических вузах. — М.: МГТУ, 2021.
9. *Егорова Т.Н.* Психологические аспекты работы с людьми с ОВЗ. — М.: Академия, 2019.
10. *Забрамная С.Д.* Методы обучения студентов с инвалидностью. — М.: ВЛАДОС, 2020.
11. *Иванова Е.Ю.* Универсальный дизайн в IT-разработке. — М.: ИНФРА-М, 2023.
12. *Калинин В.В.* Инклюзивные команды в IT-проектах // Современные технологии. — 2021. — № 3. — С. 67–73.
13. Конвенция ООН о правах инвалидов (ратифицирована РФ в 2012 г., актуальные комментарии 2023 г.).
14. *Лапшин В.А.* Инклюзивное образование за рубежом. — М.: Логос, 2020.
15. *Маллер А.Р.* Социальная адаптация через технологии. — М.: Форум, 2019.
16. *Маркова К.А., Мелина Е.В., Иванова Л.И.* Использование современных информационных и компьютерных технологий в образовании для студентов с нарушением зрения в системе высшего образования – 2023.

17. *Мелина Е.В., Бобиенко А.А., Иванова Л.И.* Использование компьютерных технологий в профессиональной ориентации детей с ОВЗ – 2022.
18. Приказ Минтруда № 657н «О требованиях к доступности сайтов» (2022 г.).
19. *Симонова Л.П.* Инклюзивные практики в IT-образовании // Высшее образование в России. — 2023. — № 1. — С. 34–41.
20. *Сорокоумова С.Н.* Психология инклюзивного взаимодействия. — М.: Юрайт, 2021.
21. *Тихомирова О.В.* Как создавать доступные цифровые продукты. — СПб.: БХВ, 2022.
22. *Шеманов А.Ю.* Инклюзия в профессиональном обучении. — М.: МГПУ, 2020.

INCLUSIVE CULTURE IN TECHNICAL EDUCATION: CREATING A SUPPORTIVE ENVIRONMENT FOR STUDENTS WITH SPECIAL EDUCATIONAL NEEDS (USING THE EXAMPLE OF HIGHER EDUCATION INSTITUTION UNIVERSITY OF MANAGEMENT TISBI)

Afanaseva E.E.
Supervisor: Melina E.V. Associate Professor, Vice-Rector
for Social Policy and Inclusive Education
(Higher Education Institution "TISBI University of Management", Kazan)

Abstract. The article is devoted to the urgent problem of the formation of an inclusive culture in the higher education system of the Russian Federation, in particular, in the training of future IT specialists. The article substantiates the need to develop inclusive competencies among IT students in response to a request from IT companies interested in creating affordable and versatile products, as well as in forming inclusive teams. The interdisciplinary nature of the module is emphasized and the recommended technological tools for its implementation (business games, case studies, problem lectures) that meet the criteria of activity-based, problem-based and dialogical approaches are described. The article also identifies key skills that students develop because of mastering the discipline, such as the ability to create affordable IT products, build effective interaction in an inclusive environment, and apply the principles of continuous self-education.

УДК 372.881.111.1, 376.3

ТЕХНОЛОГИИ В ИНКЛЮЗИВНОМ ЯЗЫКОВОМ ОБРАЗОВАНИИ

Ахметова И.Р.
Научный руководитель: Прахова Ю.И., ст. преподаватель
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В докладе рассматривается влияние современных технологий на инклюзивное языковое образование для студентов с нарушениями слуха, а основной акцент сделан на использовании приложений, субтитров, программ распознавания речи, искусственного интеллекта и виртуальной реальности, которые способствуют улучшению восприятия и взаимодействия студентов с учебным материалом. Технологии позволяют создать интерактивные и доступные учебные среды, поддерживающие обучение через визуальные и тактильные элементы. В докладе также подчеркивается важность подготовки преподавателей и адаптации образовательного процесса к индивидуальным потребностям студентов и о значимости этих инноваций в создании равноправной инклюзивной среды, что способствует более эффективному обучению и развитию навыков у студентов с нарушениями слуха.

В последние десятилетия особое внимание уделяется инклюзивному языковому образованию, направленному на создание комфортной учебной среды для студентов с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ). Одной из таких групп являются студенты с нарушениями слуха. Применение современных технологий значительно облегчает процесс обучения этим учащимся, предлагая новые возможности для доступа к информации и взаимодействия с учебным материалом. В данном докладе рассмотрено то, как приложения, субтитры, программы распознавания речи, искусственный интеллект и виртуальная реальность способствуют улучшению языкового образования студентов с нарушениями слуха. [4]

Современные мобильные приложения являются одним из наиболее распространенных инструментов, помогающих глухим студентам в процессе обучения. Этот инструмент не только обеспечивает доступ к информации, но и способствует социальному взаимодействию, что является важным аспектом обучения. Например, приложения для обмена сообщениями, такие как VK мессенджер и Telegram, позволяют студентам общаться с однокурсниками и преподавателями, преодолевая барьер не только звука, но и дистанции. Такие платформы поддерживают как текстовый, так и визуальный обмен информацией: мессенджеры предлагают возможность отправки изображений, видео и даже голосовых сообщений, заменяемых текстом с синтезом речи, что помогает сделать коммуникацию более насыщенной и понятной.

Кроме того, социальная сеть, такая как ВКонтакте, может служить мощным инструментом для формирования сообщества студентов с нарушениями слуха. Они предоставляют пространство для обмена опытом, поддержания контактов и получения информации о предстоящих мероприятиях, что может быть полезно для всех студентов, но особенно для тех, кто сталкивается с проблемами в коммуникации. Таким образом, использование современных технологий может значительно повысить уровень вовлеченности таких студентов в образовательный процесс и поддерживать их социальную активность, что крайне важно для развития навыков критического мышления и сотрудничества.

Еще одним аспектом являются приложения для изучения языков, такие как Duolingo и Beelinguapp, которые предлагают пользователям визуальный и интерактивный подход к обучению. Эти приложения, благодаря своим адаптированным методам, позволяют студентам с нарушениями слуха развивать навыки чтения и письма в удобном и доступном формате. Например, в Duolingo используется игровой формат, где каждое упражнение становится вызовом, а достижения в обучении поощряются виртуальными наградами. Это создает дополнительный стимул для использования приложения и активного участия в процессе.

Дополнительно, такие приложения часто предлагают визуальные подсказки и объяснения, что позволяет лучше усваивать материал и способствует более глубокому пониманию языка. Например, Beelinguapp использует двуязычные тексты, что позволяет студентам видеть перевод слова или фразы в контексте и улучшать их понимание через визуализацию. В результате, подобные приложения помогают снижать кривую обучения, делая процесс более эффективным и увлекательным.

Субтитры на видео лекциях и занятиях являются другим важным инструментом, который значительно помогает студентам с нарушениями слуха. Они обеспечивают транспарентность информации, позволяя студентам следить за основными аспектами лекции в режиме реального времени. Многие образовательные платформы, такие как Coursera и Rutube, предоставляют возможность активировать субтитры, тем самым открывая доступ к большой части учебного контента, который в ином случае мог бы быть недоступен. Наличие субтитров позволяет студентам не только воспринимать информацию, но и лучше участвовать в обсуждениях, задавать вопросы и взаимодействовать с преподавателями.

К тому же, с развитием технологий многие учреждения начали разрабатывать свои собственные платформы с автоматическим созданием субтитров для видеозаписей. Эти

системы значительно улучшили доступность учебных материалов, устраняя необходимость в ручном создании субтитров, которое часто бывает трудоемким и времязатратным процессом. Автоматические инструменты, основанные на машинном обучении и распознавании речи, могут обеспечивать достаточно высокую точность, что помогает обеспечить более быстрое и демократизированное получение учебных материалов. Глухие студенты теперь имеют возможность не только понимать суть лекций, но и активно участвовать в процессе обучения, что способствует формирования их критического мышления и социальной активности. Таким образом, использование субтитров в образовательном процессе значительно снижает барьеры коммуникации и создает инклюзивную образовательную среду. [3]

Программы распознавания речи также играют значительную роль в инклюзивном образовании. Технологии, такие как Google Speech Recognition, позволяют эффективно конвертировать устную речь в текст. Это является крайне полезным на лекциях и семинарах, где преподаватели могут выступать с прямыми лекциями, а система автоматически транскрибирует их слова в текст на экране. Данный подход предоставляет глухим или слабослышащим студентам возможность следить за материалом в режиме реального времени, позволяя им не отставать в процессе обучения. Кроме того, использование таких технологий облегчает преподавателям задачу донесения информации: они могут сосредоточиться на объяснении сложных тем, зная, что ключевые моменты будут зафиксированы в текстовом формате. Это также способствует созданию более инклюзивной учебной среды, где студенты с разным уровнем слуха получают равные возможности для обучения. Распознавание речи может также включать функции активного участия студентов, например, вопросы и ответы, что усиливает вовлеченность и создает более динамичную атмосферу взаимодействия.

Искусственный интеллект (ИИ) также продолжает оказывать весомое влияние на инклюзивное образование. Эта технология позволяет создать персонализированные учебные пути, которые учитывают уникальные особенности и стили обучения, что особенно важно для студентов с различными потребностями, включая тех, кто имеет нарушения слуха.

Одной из ключевых функций ИИ в образовательной среде является его способность отслеживать успехи студентов в режиме реального времени. Это достигается через анализ данных, получаемых от взаимодействия студентов с учебными материалами, тестами и заданиями. Система может выявить, на каких темах учащиеся испытывают трудности, и на основе этого адаптировать учебные материалы. Например, если ИИ замечает, что студент с нарушениями слуха часто делает ошибки в определенной области, он может предложить дополнительные объяснения, задания для отработки навыков или даже визуальные материалы, которые помогут лучше усвоить материал. Это создает гибкий подход, позволяющий каждому обучающемуся двигаться в своем собственном темпе и преодолевать препятствия, которые могут возникнуть в процессе обучения.

Кроме того, ИИ также может предоставлять дополнительные временные ресурсы для студентов, нуждающихся в них. Например, если студенту нужно больше времени для понимания сложных концепций, ИИ может адаптировать график занятий, предоставляя дополнительные занятия или ресурсы, доступные вне основного учебного процесса. Такой подход позволяет избежать ограничения, которое может возникнуть при стандартном расписании, где все ученики вынуждены двигаться по одной и той же траектории.

Что касается автоматических субтитров, технологии на базе ИИ делают большие шаги вперед в создании точных и своевременных субтитров для видеозаписей. Системы распознавания речи могут обрабатывать аудио в реальном времени и генерировать субтитры с различной степенью точности, что позволяет улучшить качество обучающих материалов. Студенты с нарушениями слуха могут следить за происходящим на экране, видя текстовые транскрипции того, что говорится в видео. Более того, с помощью обучения на больших количествах данных, ИИ может адаптироваться и улучшать точность своих субтитров, что делает обучение более доступным и эффективным. Таким образом, интеграция

искусственного интеллекта в инклюзивное образование не только улучшает качество обучения для студентов с нарушениями слуха, но и способствует созданию равных возможностей для всех учащихся, позволяя каждому использовать свои сильные стороны и работать над своими слабостями в более адаптивной и поддерживающей среде.

Виртуальная реальность (VR) - это еще одна инновационная технология, которая находит свое применение в инклюзивном образовании. VR позволяет создать захватывающие учебные среды, что значительно усиливает вовлеченность студентов. В таких виртуальных пространствах ученики могут взаимодействовать с различными элементами и сценариями, которые отображают реальные или смоделированные ситуации, что добавляет интерактивности в процесс обучения. Для студентов с нарушениями слуха VR предоставляет уникальную возможность интегрировать визуальные и тактильные компоненты, что способствует более глубокому пониманию учебного материала. Например, в виртуальном классе студенты могут наблюдать за тем, как различные жестовые языки взаимодействуют друг с другом, и также получать возможность практиковать свои навыки в безопасной среде, симулируя социальные ситуации. Это важно, так как много аспектов обучения, таких как социальные взаимодействия и невербальные сигналы, могут быть мастером в традиционном образовании. Таким образом, VR становится мощным инструментом для создания более доступного и инклюзивного образовательного процесса, позволяя всем студентам, независимо от их слуховых способностей, эффективно осваивать новый материал.

Необходимо отметить, что внедрение этих технологий требует внимания к формированию учебной среды, в которой технологии будут использоваться эффективно. Учебные заведения должны обеспечить необходимую подготовку преподавателей для работы с современными инструментами, а также учитывать индивидуальные потребности студентов с нарушениями слуха. Это требует комплексного подхода к обучению и организации образовательного процесса, который будет учитывать различные особенности восприятия и обучения. [1]

В заключение, технологии, такие как приложения, субтитры, программы распознавания речи, искусственный интеллект и виртуальная реальность, вносят значительный вклад в инклюзивное языковое образование, помогая студентам с нарушениями слуха справляться с трудностями, с которыми они сталкиваются в процессе обучения. Интеграция этих технологий не только делает образовательный процесс более доступным, но и способствует созданию более равноправной и инклюзивной учебной среды. Будущее инклюзивного образования зависит от нашего умения адаптировать и использовать технологические достижения для обеспечения равного доступа к знаниям для всех студентов, независимо от их физических возможностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Евстропова Н.С.* Стратегии обучения иностранному языку в условиях инклюзивного образования / Н.С. Евстропова, Е.В. Ракова // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Психолого-педагогические науки. – 2019. – № 4(44). – С. 60-73.

2. Инклюзивное иноязычное образование сегодня: проблемы и решения: Сборник статей по итогам IV Международной научно-практической конференции, Москва, 23–26 апреля 2018 года / Московский городской педагогический университет. – Москва: Белый ветер, 2018. – 96 с.

3. *Кочергин А.В.* Эффективные методы и средства обучения людей с ОВЗ по слуху в высшей школе / А.В. Кочергин, К.А. Валеева // Проблемы современного педагогического образования. – 2023. – № 79-3. – С. 154-157.

4. *Миронова М.А.* Обучение студентов с ОВЗ по слуху: от теории к практике / М.А. Миронова, О.Н. Романенко, Ю.И. Прахова // Проблемы современного педагогического образования. – 2023. – № 81-3. – С. 212-216.

5. *Ясин М.И.* Глухие и слабослышащие студенты в системе инклюзивного высшего образования: возможности и барьеры / М. И. Ясин // Журнал исследований социальной политики. – 2019. – Т. 17, № 4. – С. 601-614.

TECHNOLOGIES IN INCLUSIVE LANGUAGE EDUCATION

Akhmetova I.R.
Supervisor: Prakhova Yu.I., Senior Lecturer
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The report examines the impact of modern technologies on inclusive language education for students with hearing impairments, with a focus on the use of applications, subtitles, speech recognition programmes, artificial intelligence and virtual reality, which contribute to improving students' perception of and interaction with educational material. Technology enables the creation of interactive and accessible learning environments that support learning through visual and tactile elements. The report also highlights the importance of teacher training and adapting the educational process to the individual needs of students, as well as the significance of these innovations in creating an equal and inclusive environment that promotes more effective learning and skill development for students with hearing impairments.

УДК 378.147

АНАЛИЗ МЕТОДИК ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИН ПРЕПОДАВАТЕЛЯМИ ВУЗА ЛИЦАМ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ ПО СЛУХУ

Бируля С.Н.
Научный руководитель: Павлов Г.И, профессор, д. т. н.
(Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье приведены пожелания выпускников вуза с проблемами слуха профессорско-преподавательскому составу, который обучал их в течение пяти лет по направлению –информатика и вычислительная техника. В простой и доступной форме описано их видение, как бывших студентов, в улучшении качества образовательной деятельности со студентами инвалидами по слуху. Материал статьи может быть полезен преподавательскому составу, работающему с такой категорией студентов.

В эпоху технологического прогресса, когда программирование и инженерия формируют наше будущее, крайне важно обеспечить равные возможности для всех, включая глухих и слабослышащих студентов, желающих освоить эти сложные, но перспективные направления. Успешное обучение требует не только адаптированных и инновационных подходов, но и осознания того, какие методы могут быть неподходящими и как их избежать [1].

В данной статье приведено общее мнение студентов выпускного курса с проблемами слуха по направлению - информатика и вычислительная техника - на методики преподавания дисциплин профессорско-преподавательским составом КНИТУ-КАИ в течение всех периода обучения. Известный факт – здоровый человек 25 % информации воспринимает через слух и 65 % в виде зрительного образа [2]. Представьте себе, что вам ограничивают в получении информации на 25 % по слуховым каналам, причем с раннего детства. Нетрудно догадаться, что ребенок-инвалид по слуху, сидя в обычном классе общеобразовательной школы и слушая учителя, методика которого заточена на здоровых детей, в принципе не способен усвоить материл наравне с обычными детьми. Они находятся в неравных условиях и имеют неравные возможности. Для обучения детей инвалидов по слуху предусмотрены коррекционные школы, в которых уроки преподаются специально

подготовленными учителями по особым методикам в присутствии сурдопереводчиков [3]. К сожалению, в последние годы, во многих коррекционных школах такая система обучения во многом нарушена. В целях экономии средств на содержание сурдопереводчиков, учителей из таких школ заставляют пройти курсы по обучению жестового языка с дальнейшим совмещением на уроках учителя и сурдопереводчика в одном лице. Как следствие, низкое качество образования, которое приносит огромные проблемы при получении высшего образования в вузах нашей страны.

В 2025 учебном году я закончила престижный университет – КНИТУ- КАИ, в котором для обучения студентов с ОВЗ по слуху создан учебно-исследовательский методический центр (КУИМЦ). В центре для глухих и слабослышащих студентов созданы все условия: студентов обучают преподаватели, имеющие огромный опыт работы с такой категорией студентов, имеются сурдопереводчики, которые жестовым языком сопровождают каждое занятие, создана соответствующая учебно-материальная база, учебные классы оборудованы звукоусиливающей аппаратурой, имеется лаборатория для диагностики слуха и речи, оснащенная современным сурдотехническим оборудованием. Студенты в центре обучаются три курса, в дальнейшем, продолжая обучение на выпускающей кафедре по выбранной специальности. Ниже я хотела бы остановиться на пожеланиях профессорско-преподавательскому составу, который нас обучал в течение всего периода учебы в университете, заранее благодаря их за старание, доброе отношение к нам и потраченные усилия на подготовку специалистов.

В основе эффективного обучения студентов с проблемами слуха лежит визуализация. К сожалению, традиционные методы обучения, которых придерживаются преподаватели на выпускающей кафедре, не всегда учитывают особенности восприятия людей с нарушениями слуха. Одним из самых распространенных и малоэффективных подходов при выборе методики является преобладание материала без визуальной поддержки. Когда преподаватель ограничивается только устным изложением материала, не используя схем, иллюстраций, анимации или других визуальных средств, восприятие информации практически нулевое. Важно отметить, что при изучении сложного материала ввиду отсутствия специальных жестов сурдоперевод малоэффективен, хотя, большинство преподавателей думает, что мы все понимаем. Это создает серьезные трудности в восприятии материала глухими и слабослышащими студентами. Учитывая этот фактор, в настоящее время в центре ведется большая работа по разработке специальных жестов и видеословаря, в которой активно участвуют сами студенты. Информация, представленная преподавателем исключительно в устной форме, становится труднодоступной, непонятной, а абстрактные концепции – сложными для понимания. Общее пожелание обучающихся - активно использовать визуализацию: схемы, анимации, макеты, мультимедиа и т д. [4]

Преподавателю желательно готовить презентации с большим набором продуманного наглядного материала, использовать все технические возможности интерактивных досок при показе или создании схем и диаграмм, а также предоставлять студентам дополнительные материалы для самостоятельного изучения в виде схемных решений. Другим нежелательным элементом в методике преподавании дисциплин является использование на занятиях сложных терминов без объяснения. Большое пожелание – до начала занятий отдельно рассмотреть специфические термины, которые будут использованы преподавателем при изложении материала на данном занятии. Перегруженность занятия специализированной терминологией делает материал труднодоступным для всех студентов, но особенно для тех, кто испытывает трудности с восприятием информации на слух. Хотелось бы услышать или воспринять информацию через жесты, предоставленные в четкой и простой форме объяснений. Важно также использование синонимов и аналогов новым словам, чтобы связать новые понятия с уже известными.

Смею отметить, что изредка можно встретить преподавателя, умело использующего индивидуальные способности каждого студента –инвалида. Недостаток индивидуального подхода – основная проблема преподавателей нашего вуза. В качестве положительного

примера можно отметить одну методику с индивидуальным подходом, когда студенты в классе по указанию преподавателя рассаживаются с заранее продуманным сценарием (слабослышащий с глухим, слабый с сильным) и, после изложения части материала, преподаватель дает возможность студентам поиграть в учителя и ученика, четко сформулировав вопрос в простой и доступной форме. При этом сурдопереводчик и преподаватель выступают как тьютор. Такой подход преподавателя к занятиям нам очень нравился. Когда на занятиях не учитываются индивидуальные особенности обучающегося, то в течение семестра некоторые студенты сильно отстают от других и теряют мотивацию к учебе [5].

Хотелось бы пожелать преподавателям применять гибкую систему обучения, где каждый студент мог бы усвоить материал в соответствии со своими способностями, получать индивидуальные консультации и выбирать проект по интересу и его уровню. Наше направление – информатика и вычислительная техника – сложное для освоения, хотя перспективное. Сложность обучения заключается в использовании на занятиях множества терминов, трудных для передачи их сути при помощи жестов. Их нельзя передать жестовым языком бытового уровня. Для правильного перевода этих слов на жестовый язык, сурдопереводчику следует самому понимать, что они означают. На наш взгляд, идеальным вариантом было бы привлечение на занятиях в качестве сурдопереводчиков выпускников вуза или колледжей по нашему направлению обучения или, в крайнем случае, проведение накануне каждого занятия обсуждение нового материала с преподавателем.

Еже одним пожеланием к преподавательскому составу, обучающему по программированию, является многократное повторение простых и примитивных понятий, составляющих основу программирования. В начале каждого занятия выделить этому 5–6 минут и, при системном подходе, этого будет достаточно. Программирование само по себе абстрактно, поэтому начинать нужно с азов и с тщательного изучения основ программирования. Создание специфических условий в вузах позволит нам качественно осваивать престижные профессии, а вместе с этим успешно интегрироваться в общество и быть полезными. Интересно отметить, что наши пожелания в полной мере совпадают с рекомендациями, изложенными в работе [6].

Заключение. Таким образом, в обеспечении равных возможностей глухим и слабослышащим студентам при обучении в вузе большую роль играет творческий подход преподавателя. Как уже было отмечено выше, отречение от неэффективных методов, активное использование видеоматериала, проявление гибкости, индивидуальный подход к студенту, преодоление языкового барьера за счет продуманного жестового перевода позволит раскрыть потенциал каждого из нас, и обеспечит успешную интеграцию в мир технологий. Важным аспектом в получении качественного образования в вузе является подготовка сурдопереводчиков из числа выпускников учебных заведений с профильным образованием, расширение и обогащение жестового языка специальными терминами, разработка видеоглоссариев. Только при системном подходе, отказе от стандартных методов и внимании к особенностям восприятия можно обеспечить полноценную интеграцию таких студентов в профессиональную среду и способствовать развитию инновационного общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Баранов В.А.* Инклюзивное образование: теория и практика / В.А. Баранов. — М.: Академический проект, 2010. — 256 с.

2. *Гусев В.В., Иванова Е.А.* Методика обучения студентов с нарушениями слуха в высших учебных заведениях // Инклюзивное образование. — 2015. — № 3. — С. 45–52.

3. *Кузнецова Н.В., Смирнова Т.А.* Особенности преподавания дисциплин студентам с нарушением слуха: современные подходы и технологии // Вестник высшей школы. — 2018. — № 4. — С. 112–118.

4. *Лебедева И.П., Петрова М.Ю.* Обучение студентов с ограниченными возможностями здоровья: методические рекомендации / И. П. Лебедева, М. Ю. Петрова. — М.: Издательство МГУ, 2012. — 180 с.

5. *Михайлова Е.А., Федорова Н.В.* Использование жестового языка и технологий для обучения студентов с нарушением слуха в вузе // Образование и развитие: журнал / редколл.: [и др.] // Москва: Изд-во «Образование», 2017. — № 2 (45). — С. 78–85.

6. *Николаева Т.В., Сидорова А.И.* Инновационные методы обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья по слуху в условиях высшего образования // Международный журнал педагогических наук / редколл.: [и др.] // Москва: Научный совет по педагогике РАН, 2019.— № 5 (89). — С. 34–41.

ANALYSIS OF TEACHING METHODOLOGIES FOR DISCIPLINES BY UNIVERSITY INSTRUCTORS TO PERSONS WITH HEARING IMPAIRMENTS

Biryulya S.N.

Supervisor: Pavlov G.I., Professor, Doctor of Economic Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article presents the wishes of university graduates with hearing problems to the teaching staff, who taught them for five years in the field of computer science and engineering. Their vision, as former students, of improving the quality of educational activities with students with hearing disabilities is described in a simple and accessible form. The material of the article may be useful to the teaching staff working with this category of students.

УДК 376.01 – 056.24

МАТЕМАТИКА НА ЯЗЫКЕ ЖЕСТОВ: РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ СТРАТЕГИЙ ОБУЧЕНИЯ ЛИЦ С ОВЗ ПО СЛУХУ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Бреус К.С.

Научный руководитель: Стрежнева Е.В., доцент, к. ф.-м. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Образование лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) по слуху требует особого подхода, особенно в технических дисциплинах, где важны точность и абстрактное мышление. Математика, являясь фундаментом инженерных наук, представляет сложность для глухих и слабослышащих студентов из-за необходимости понимания символики, формул и логических конструкций.

Внедрение языка жестов в преподавание математики, адаптация методик и использование современных технологий могут значительно повысить эффективность обучения. В данной статье рассматриваются стратегии, позволяющие сделать математику доступной для студентов с нарушением слуха в техническом вузе.

1. Особенности обучения математике глухих и слабослышащих студентов.

1.1. Языковые барьеры

Русский жестовый язык (РЖЯ) отличается от устной и письменной речи, что создает сложности в восприятии математической терминологии. Грамматика и структура жестового языка отличается от устных, письменных языков, что создает дополнительные трудности в обучении. Многие понятия (например, «производная», «интеграл», «матрица», «бесконечность», «ряд») требуют специальных жестов или визуализации и не имеют аналогов в РЖЯ. Языковые барьеры у студентов с ОВЗ по слуху можно преодолеть дроблением длинных предложений, упрощением синтаксиса, использованием схем, адаптации текста в РЖЯ, визуализацией смысла, составлением глоссария терминов.

1.2. Абстрактное мышление.

Математика оперирует абстрактными концепциями, которые трудно передать без звукового сопровождения. Необходимы наглядные методы: графики, анимации, тактильные модели [1].

1.3. Отсутствие адаптированных учебных материалов.

Большинство учебников по математике не учитывают потребности глухих студентов. Требуются адаптации с использованием жестового языка, субтитров и визуальных пояснений.

2. Эффективные стратегии обучения.

2.1. Использование жестового языка и визуализации

Разработка жестовой математической лексики – создание единого стандарта жестов для терминов.

Применение видеоматериалов – лекции с сурдопереводом, анимированные объяснения [2].

Интерактивные доски и графические редакторы – визуализация функций, геометрических фигур [3].

Одним из ключевых инструментов визуализации математических понятий для глухих и слабослышащих студентов является *Desmos* – интерактивный графический калькулятор, доступный онлайн. Его преимущества:

— *Интерактивность*: студенты могут изменять параметры уравнений и сразу видеть, как преобразуется график.

— *Доступность*: поддержка жестового объяснения (преподаватель или переводчик может комментировать изменения на РЖЯ).

Примеры использования:

— Построение линейных, квадратичных, тригонометрических функций с динамической подстройкой коэффициентов.

— Визуализация пределов, производных (касательных), интегралов (площадей под кривой).

— Анимация графиков в режиме слайд-шоу для пошагового объяснения.

Практическое применение:

— На практических занятиях студенты могут самостоятельно исследовать функции, меняя параметры.

— Преподаватель заранее готовит наборы графиков с комментариями.

— Интеграция с электронной образовательной средой *Blackboard* для выполнения заданий.

Альтернативами *Desmos* являются *Geogebra, Cabri Geometry, Mathigon*. Это так же инструменты для адаптивного обучения математике, особенно для глухих учеников. Они заменяют словесные объяснения визуальными экспериментами, что делает абстракные концепции понятными.

2.2. Индивидуализация обучения и использование современных технологий

Малые группы – возможность уделять больше внимания каждому студенту, что способствует повышению мотивации и вовлеченности в учебный процесс, а также, более глубокому усвоению материала [4].

Электронные курсы с субтитрами – платформы типа Moodle, Blackboard, Stepik с адаптированным контентом.

2.3. Технические средства поддержки

1) *Сурдоперевод в реальном времени* – привлечение переводчиков РЖЯ на лекциях.

2) *Программы распознавания речи в текст* (например, Google Live Transcribe)

3) *Иммерсивное обучение* – это образовательный подход, в котором студенты погружаются в виртуальную VR (Virtual Reality), дополненную реальность AR (Augmented Reality) или смешанную реальность MR (Mixed Reality), взаимодействуя с учебным материалом в интерактивном или наглядном формате.

Отметим положительные стороны иммерсивного обучения:

— Наглядность и интерактивность. Например, можно визуализировать операции с матрицами, построить поверхности и их сечения, студенты могут «крутить» объекты, изменять параметры [5].

— Геймификация (квесты, образовательные игры, математические дуэли). Мягкое погружение в математику через игры и сюжетные задания. Преодоление страха, так как ошибки в симуляторе не имеют реальных последствий.

— Практико-ориентированный подход. Например, студентам предлагается создать AR модель поверхности второго порядка (гиперболоида, параболоида и т.д), которую можно поставить на стол через смартфон, добавить описание сечений плоскостями). Для реализации этого проекта хорошо подойдут такие бесплатные инструменты как Geogebra AR, CoSpace EDU.

Остановимся кратко на инструментах VR\AR технологий, которые можно применять без специальных знаний по программированию: CoSpaces Edu (бесплатный тариф) + Blender (если нужны свои модели). Loom -бесплатный тариф позволяет записывать видеоуроки с экрана + вебкамерой (можно добавить сурдоперевод).

CoSpaces Edu предлагает бесплатную версию для преподавателей и студентов, а также платную Pro-версию с расширенным функционалом. Это интерактивная платформа для создания 3D проектов и VR проектов в образовательных целях. Особенно полезен для глухих студентов для наглядного подхода. Его основные возможности: визуализация графиков, геометрических тел, анимация алгоритмов, загрузка изображений, видео, аудио, создание квестов, викторин, подходит для групповых проектов.

Loom (видеоплатформа) — запись и обмен видео. Это удобный онлайн-инструмент для быстрой записи экрана, видео с камеры и голоса, который упрощает коммуникацию в обучении. Его основные возможности:

— Запись экрана – демонстрация действий на компьютере.

— Запись с камеры – лицо + голос для персонального обращения.

— Облачное хранение – видео автоматически сохраняются и доступны по ссылке.

— Быстрый обмен – можно отправить ссылку или встроить видео в письмо, чат или документ.

— Аналитика просмотров – видно, кто и когда посмотрел запись.

При интеграции VR в учебный может возникнуть ряд сложностей, как технических, так и организационных, педагогических и психологических [6].

1) Технические сложности:

— Высокая стоимость оборудования, т.к. VR-гарнитуры, компьютеры с достаточной производительностью и лицензии на ПО требуют значительных финансовых вложений.

— Недостаточная инфраструктура, в силу того, что не все учебные заведения имеют мощные ПК, стабильный интернет и помещения, подходящие для VR-обучения.

— Технические сбои: проблемы с настройкой, обновлением ПО, совместимостью устройств могут мешать проведению занятий.

— Ограниченный контент: качественных образовательных VR-программ по некоторым дисциплинам может не хватать.

2) Педагогические сложности:

— Отсутствие методик: не все преподаватели знают, как эффективно интегрировать VR в учебный процесс.

— Несоответствие учебным программам: готовые VR-приложения могут не вписываться в существующие образовательные стандарты.

— Сложность оценки эффективности: пока нет четких критериев, насколько VR улучшает усвоение материала по сравнению с традиционными методами.

3) Организационные проблемы:

— Время на подготовку: преподавателям нужно дополнительное время для освоения технологии и разработки VR-уроков.

— Логистика: использование VR требует специального пространства, распределения оборудования между группами.

— Безопасность и гигиена: гарнитуры нужно регулярно дезинфицировать, а длительное использование VR может вызывать дискомфорт у учащихся.

4) Психологические и физиологические барьеры:

— Киберболезнь (motion sickness): у некоторых пользователей возникает головокружение и тошнота при использовании VR.

— Дезадаптация: переход между виртуальной и реальной средой может вызывать временную дезориентацию.

— Снижение социализации: чрезмерное увлечение VR может уменьшить живое общение между учениками.

Таким образом, несмотря на потенциал VR в образовании, его внедрение требует тщательной подготовки: инвестиций в оборудование, обучения педагогов, разработки качественного контента и адаптации учебных программ. Постепенное внедрение и пилотные проекты помогут минимизировать риски и найти оптимальные форматы использования VR в обучении.

Кроме того, иммерсивное обучение, которое трансформирует абстрактную математику в «осязаемый» опыт, что критически важно для студентов с нарушением слуха, нуждается в

разработке специализированных VR-курсов на РЖЯ, а также в сотрудничестве вузов с IT-компаниями для создания локализованного контента.

3. Опыт внедрения и перспективы

Некоторые вузы (МГТУ, РГСУ, МГППУ, НГТУ, СПбПУ, КНИТУ КАИ и др.) уже применяют элементы инклюзивного обучения для ОВЗ по слуху. Однако системный подход требует: государственной поддержки в разработке стандартов, финансирования адаптивных технологий, интеграции глухих специалистов в образовательный процесс.

Обучение математике студентов с ОВЗ по слуху в техническом вузе – сложная, но решаемая задача. Комбинация жестового языка, визуальных методов и современных технологий позволяет создать инклюзивную среду. Дальнейшие исследования и практические наработки помогут повысить качество образования и расширить возможности глухих и слабослышащих студентов в инженерных профессиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Стрежнева Е.В., Иванов Д.Л.* Интерактивные и дистанционные технологии обучения математике в инклюзивном образовании КНИТУ-КАИ // Проблемы управления качеством образования. Сборник статей XIII Всероссийской научно-практической конференции. 2020. С. 154-158.

2. *Миронова М.А., Романенко О.Н., Прахова Ю.И.* Обучение студентов с овз по слуху: от теории к практике // Проблемы Современного Педагогического Образования. 2023. № 81-3, С.212-216.

3. *Иртуганова Э.А., Ахметова И.Р., Минегалиев А.Т.* Формирование математической компетенции в условиях инклюзивного обучения лиц с ОВЗ по слуху в техническом университете // Актуальные проблемы преподавания математики в техническом вузе. 2023. № 10. С. 49-52.

4. *Миронова М.А., Якимов К.В., Прахова Ю.И.* Влияние мотивации на адаптацию студентов // Психология. Историко-критические обзоры и современные исследования. 2024. Т. 13. № 8А. С. 25-32.

5. *Иртуганова Э.А.* Стратегия инклюзивной подготовки IT-специалистов из числа лиц с инвалидностью по слуху // Инклюзия в образовании. 2022. Т. 7. № 4 (28). С. 89-109.

6. *Chajuan Liu, Shuqi Meng, Weikang Zheng, Zhiyi Zhou.* Research on the impact of immersive virtual reality classroom on student experience and concentration // Virtual Reality. 2025. 29 (82) p.p. 1-29. DOI:10.1007/s10055-025-01153-w.

MATHEMATICS IN SIGN LANGUAGE: DEVELOPING EFFECTIVE STRATEGIES FOR TEACHING INDIVIDUALS WITH HEARING DISABILITIES IN A TECHNICAL UNIVERSITY

Breus K.S.
Supervisor: Strezhneva E.V., Associate Professor, Candidate of Physico-Mathematical Sciences
(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Education of individuals with hearing disabilities requires a special approach, especially in technical disciplines where accuracy and abstract thinking are important. Mathematics, being the foundation of engineering sciences, is difficult for deaf and hard of hearing students due to the need to understand symbols, formulas and logical constructions. The introduction of sign language in the teaching of mathematics, the adaptation of methods and the use of modern technologies can significantly improve the effectiveness of training. This article examines strategies for making mathematics accessible to students with hearing impairments in a technical college.

УДК 378.147

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ СО СЛАБОСЛЫШАЩИМИ И ГЛУХИМИ СТУДЕНТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНИМАЦИИ

Бреус К.С.
Научный руководитель: Павлов Г.И., профессор, д. т. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе рассматривается роль использования мультимедийных и анимационных материалов в обучении студентов с нарушениями слуха, особенно глухих и слабослышащих, для повышения эффективности восприятия сложных учебных дисциплин. Подчеркивается необходимость создания информативных и доступных визуальных средств, а также важность командной работы специалистов для разработки качественного мультимедийного контента. Практический опыт авторов статьи показывает положительное влияние анимации на усвоение материала по физике у слабослышащих и глухих студентов. В статье также дан краткий обзор методов создания анимации в компьютерной графике.

В учебных заведениях восприятие материала учащимися с проблемами слуха сильно затруднено, так как 20 % информации человеческий мозг получает через слуховые органы. В то же время следует отметить, что около 65 % информации человек получает в виде зрительного образа. В связи с этим недостающий канал получения информации в какой –то степени можно нивелировать повышением эффективности зрительного канала, в том числе зрительным восприятием речевой информации через жесты сурдопереводчика. Разработка современных методик обучения с использованием наглядных дидактических материалов для глухих и слабослышащих студентов приобретает особую роль. Статья посвящена актуализации мультипликационного материала и анимации при изучении сложных вузовских дисциплин. Из литературы известно, что использование мультипликаций и анимации в школах и детских садах способствует более быстрому и качественному восприятию материала [1-7]. Однако работ, связанных с исследованиями о степени влияния мультимедиа и анимации при обучении инвалидов в коррекционных школах, практически не встречается. В КУИМЦ при изучении некоторых дисциплин, в частности дисциплины «Физика», используемые на занятиях анимации и мультипликации, оказали существенную помощь слабослышащим, особенно глухим студентам при освоении сложного материала по колебаниям и волнам, а также основам электричества. Оценка эффективности проводилась косвенным методом по результатам письменных ответов на контрольные вопросы,

составленные в развернутом виде по каждому изучаемому параграфу. Также замечено, что преимущества использования мультимедийных средств лишь тогда будут заметны, когда она будет сочетаться с различными видами познавательной деятельности. Пассивное наблюдение обучающимися за происходящим на экране не приводит к эффективному усвоению содержания учебного материала. Из этого вытекают важные требования и критерии к созданию такого материала – продукт должен быть информативным, простым для зрительного восприятия, не сильно загруженным. Разработка анимации и мультимедиа сложный и трудозатратный вид деятельности, требующий от специалиста компетенции во многих областях знаний: специализация, педагогика, знание компьютерной техники, умение пользоваться специальными пакетами программ, художественные основы и т. д. Поэтому качественный мультипликационный материал возможно создать только в составе команды. В КУИМЦ создано студенческое научное бюро по созданию такого материала, которое работает под руководством профессора Павлова Г.И. В команду входит также режиссер-мультипликатор из Казанского института культуры и искусств, отвечающий за техническую часть работы. В планах работы студенческого кружка значатся разработка анимационного материала по разделам физики и электротехники.

В настоящее время для разработки анимации разработан большой арсенал программных продуктов и методик [7]. Наиболее широко используется метод создания анимации в компьютерной графике. В повседневной жизни, при просмотре видеороликов, телепередач мы часто встречаемся с разными типами анимации. Благодаря такой продукции можно создать персонажи популярных телевизионных шоу, маркетинговых идей, логотипов компаний, героев кино или видеороликов, и, конечно, компьютерных игр. Создание анимационной графики работа сложная и кропотливая. Она требует от разработчиков соответствующей компетенции в той области, в которой они создаются. Кроме того, разработчики должны обладать определенным талантом и творчеством для реализации и применения всех этих методов. Сегодня все существующие анимации можно разделить на следующие виды:

- традиционная анимация;
- векторная графика;
- 3D компьютерная графика;
- графика движения;
- stop-motion;

Традиционная анимация.

Это можно вообразить так: автомобиль совершает движение на крутом повороте и в зависимости от центробежной силы и силы трения он сохраняет свое устойчивое положение или опрокидывается. В анимационном виде это надо представить, как изображения, которые представляют собой быструю смену картинок, нарисованных на прозрачных листах бумаги. Такая технология называется традиционной анимацией. Аниматорам необходимо создать набор различных кадров, соблюдая частоту 24 кадра в секунду, поэтому этот процесс часто бывает довольно дорогостоящим и продолжительным. Примером данного стиля анимации являются хорошо известные и некогда популярные советские мультфильмы. Также данный метод применяется на персональных компьютерах, планшетах и телефонах с использованием определенных компьютерных программ.

2D векторная графика

Этот вид анимации создается на плоской поверхности. Наиболее широко используется в настоящее время. Принципы создания векторной анимации схожи с традиционной анимацией. Основным отличием является использование обработки, которая называется прорисовка и закрашивание. Процесс создания состоит в том, что аниматоры размещают тонкие прозрачные листы целлулоида на бумаге, на которой заранее нарисованы герои анимации. После этого они перерисовываются на пленку. В завершении полученные кадры с разными персонажами накладываются друг на друга. Высокая прозрачность пленки позволяет создавать различные композиции из множества элементов и персонажей.

3D компьютерная графика

3D анимация самая удобная и широко распространенная техника создания графики. Она по технике исполнения не похожа на другие виды анимации в компьютерной графике. Несмотря на использование схожих принципов композиции и движения, технические методы, применяемые для решения поставленных задач, сильно отличаются. Важный момент -

в 3D-анимации разработчику не нужно быть художником-графиком. Скорее это напоминает игру с куклами, чем создание рисунка. Это также называют CGI — computer-generated imagery — изображения, сгенерированные компьютером. Такие изображения появляются, когда компьютерные аниматоры создают поток изображений, сводящихся в одно целое, что и формирует саму анимацию. С помощью компьютерной графики динамические и статические изображения объединяются. Полученные 3D персонажи появляются на экране в цифровом формате, после чего объединяются с каркасом. Данный процесс дает возможность по-разному анимировать каждый объект. Большее количество времени при создании анимации с помощью 3D технологии уходит на работу с кривыми, которые представляют собой различные части объекта в разные моменты времени. В 3D-анимации внимание должно уделяться всем персонажам и деталям, даже если они не видны в конкретный момент времени.

Главной отличительной особенностью между 2D и 3D анимацией является тот факт, что в первой из них аниматор создает и работает над отдельными кадрами, а при использовании метода 3D-анимации мы имеем непрерывный поток сменяющих друг друга изображений. Его остановка воспринимается как ошибка. И даже если наш персонаж в какой-то промежуток времени остается неподвижным, все равно мы имеем непрерывный поток кадров, создающий иллюзию реальности.

Графика движения

Этот метод создания анимации чаще всего используется для промо-роликов, анимированных логотипов и вступительных титров. Он представляет собой перемещающиеся графические тексты и другие объекты. Часто данный способ создания анимации называют графикой движения. При использовании графики движения мы «клонируем» анимируемые кадры, что позволяет нам создать плавное движение между ними. Приложения для их создания поддерживают различные скрипты, которые автоматически изменяют анимацию, тем самым создавая множество разных эффектов. Композиции в кадре с использованием такого метода созданы из плоских элементов, которые перемещаются относительно друг друга, это и помогает создать иллюзию объема. Чаще всего движения объектов сопровождается музыкой или звуковыми эффектам.

Stop-motion

Эта разновидность компьютерной анимации больше других напоминает привычную нам анимацию. Ее суть заключается в последовательном фотографировании объекта, который находится в движении. Для создания такой анимации фотографируется какой-то элемент, затем делается повторный снимок при его перемещении на небольшое расстояние. Процесс повторяется необходимое количество раз, после чего полученные изображения воспроизводятся, и мы получаем эффект движения. Применяется несколько различных форм stop-motion анимации — Cut-Outs, Claymation and Puppets и другие, но все они создаются одним и тем же способом – последовательным фотографированием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Реан А.А.* Психология и педагогика / А.А. Реан, Н.В. Бордовская, С.И. Розум. — СПб.: Питер, 2010. — 432 с.

2. *Муродходжаева Н.С., Амочаева И.В.* Мультстудия «Я творю мир». Методические рекомендации. — Москва: Просвещение. Бином, 2021. — 208 с.

3. *Набоких Е.М.* Использование мультфильмов на начальном этапе обучения (уровень А1) / Е.М. Набоких // Молодой ученый. — 2017. — № 48 (182). — С. 328–330.

4. Практика внедрения ИКТ в обучение ИЯ. – Текст: электронный. – 2024. – URL: https://dl-hum.spbstu.ru/mod/book/tool/print/index.php?id=78293&chapterid=4929 (дата обращения: 12.06.2025).

5. *Епифанова М.А.* Изучение влияния мультимедийных технологий на результаты дидактического процесса в средних учебных заведениях // Известия Саратовского университета, серия Философия, Психология, Педагогика, 2010. – № 2. – С. 98-102.

6. *Айгистова Ю.В., Шариков А.В*. Развитие отечественного рынка анимационной продукции для детей дошкольного возраста: магистерская диссертация / НИУ ВШЭ; научный руководитель: к.п.н., профессор А.В. Шариков // Москва, 2014.

IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF LESSONS WITH DEAF AND HARD-OF-HEARING STUDENTS USING ANIMATION

Breus K.S.

Supervisor: Pavlov G.I., Professor, Doctor of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper examines the role of using multimedia and animation materials in teaching students with hearing impairments, especially the deaf and hard of hearing, to improve the perception of complex academic disciplines. The need to create informative and accessible visual tools is emphasized, as well as the importance of teamwork of specialists to develop high-quality multimedia content. The practical experience of the authors of the article shows the positive effect of animation on the assimilation of physics material among hard-of-hearing and deaf students. The article also provides a brief overview of animation creation methods in computer graphics.

УДК 376.36

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АССИСТИВНЫХ СРЕДСТВ КОММУНИКАЦИИ ГЛУХИХ И СЛАБОСЛЫШАЩИХ СТУДЕНТОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Иевлев В.В.

Научный руководитель: Мелина Е.В. доцент, проректор по социальной политике и инклюзивному образованию.

(Учреждение высшего образования «Университет управления «ТИСБИ», г. Казань)

Аннотация. Использование ассистивных технологий – обязательное условие для успешной интеграции и обучения студентов с нарушениями слуха, в том числе в вузах. Применение современных технических средств обучения является критически важным элементом в образовательном процессе слабослышащих студентов.

Эти инструменты помогают решить ряд задач: оптимизировать восприятие информации, расширить ее объем, ускорить и облегчить адаптацию, что подчеркивает значимость разработки и исследования ассистивных коммуникационных средств.

Сегодня перед организациями высшего образования стоит задача по полноценному включению обучающихся с инвалидностью и ОВЗ в образовательный процесс и формирование у них необходимых компетенций для успешной социализации в современном обществе. Обучение и освоение программы будет эффективным при создании специальных условий в стенах ВУЗа, в том числе при наличии материально-технических ресурсов и ассистивных технологий.

Международная конвенция о правах инвалидов, принятая в России в 2012 году, обязывает государство обеспечивать людей с ограниченными возможностями необходимыми средствами для выражения своего мнения и получения информации всеми доступными способами, включая технические.

Опыт обучения глухих и слабослышащих студентов показывает, что эффективность освоения учебных дисциплин, особенно технических, значительно повышается при создании специализированных условий.

Под ассистивными технологиями понимаются различные устройства, оборудование, продукты, программное обеспечение или услуги, направленные на поддержку или улучшение функциональных возможностей людей с инвалидностью и ОВЗ и позволяющие обеспечить доступ к информации, процессу общения, информационно-образовательной среде.

Термин «ассистивная технология» тесно связан с термином «технология обеспечения возможностей», т.е. такой технологией, которая обеспечивает доступ к информации, общению или среде. Ассистивные технологии призваны удовлетворить как можно более широкий спектр потребностей – от физических недостатков, таких, как неспособность эффективно работать с мышью или клавиатурой, до сенсорных проблем, когда при потере зрения и слуха экран или звуковые устройства становятся менее полезными.

Косвенно о понятии «ассистивные технологии» упоминается в Европейской социальной хартии. В документе закрепляется обязанность государства предоставлять техническую и профессиональную подготовку всем лицам, включая лиц с инвалидностью.

Выбор и применение ассистивных технологий в инклюзивном образовательном процессе строится на следующих принципах:

-доступности — обеспечение беспрепятственного доступа к современным средствам индивидуального и коллективного пользования каждому участнику инклюзивного образовательного процесса;

-комфортности — повышение комфортности образовательной среды;

-эргономичности — учет антропометрических, психофизических и психологических свойств человека, учет размеров человека и его позы при проектировании учебного места;

-качества — повышение качества процесса обучения лиц с инвалидностью различных нозологических групп путем формирования комплекса ассистивных технологий, отвечающих современным требованиям по техническим и эксплуатационным характеристикам.

В соответствии с требованиями законодательства специальные рабочие (учебные) места пользователей должны иметь необходимое оснащение, сопровождаемое быстрой и надежной технической поддержкой. При этом следует учитывать важное обстоятельство: обучающийся с инвалидностью наряду с предоставляемыми образовательной организацией дополнительными техническими возможностями может использовать в ее стенах свои индивидуальные реабилитационные технические средства связи, сигнализации, доступа к информации.

Материально-техническая база вуза может быть условно разделена на две составляющие:

- ассистивные средства коммуникации и адаптации,
- альтернативные и/или дополнительные системы коммуникации.

В свою очередь, ассистивные средства подразделяются на две основные категории:

- для индивидуального,
- коллективного использования.

Для компенсации нарушений слуха, затрагивающих центральные и периферические отделы, применяются индивидуальные ассистивные устройства, такие как слуховые аппараты, использующие воздушную и костную проводимость, кохлеарные импланты, а также имплантируемые устройства для среднего уха и стволомозговые импланты [1].

К средствам коллективного пользования относятся:

- FM-системы, использующие радиосвязь для передачи речи от микрофона к приемнику, подключенному к слуховому аппарату или импланту.

- Индукционные системы (петли и катушки), адаптирующие помещения для обучающихся с нарушениями слуха. Они обеспечивают четкое восприятие речи и окружающих звуков, минимизируя искажения.

- Слухоречевые тренажеры, предназначенные для развития слухового восприятия, формирования произносительных и коммуникативных навыков, а также для работы над языковыми аспектами. Они также позволяют контролировать произношение с использованием вибротактильной обратной связи.

- Звукоусиливающее оборудование, обеспечивающее усиление и качественную передачу звука во время обучения. Каждому студенту с нарушением слуха предоставляется микрофон и наушники с индивидуальными настройками, соответствующими степени потери слуха и данным аудиограммы. Предусмотрены регулировки усиления и частотные настройки для оптимизации звучания.

К дополнительным, не менее эффективным информационным и коммуникационным технологиям, которые позволяют расширить возможности лиц с нарушением слуха в процессе обучения, относят:

-видеотрансляции с текстовой бегущей строкой или сурдопереводом,

-специальные приложения для смартфонов, которые переводят письменную или устную речь на жестовый язык.

-видеословари жестового языка

-видеосвязь через сеть Интернет.

Беспроводная система акустического излучения, позволяющая учащимся полноценно воспринимать распространяемую к аудитории речь преподавателя в условиях повышенного фонового шума и на значительном расстоянии от источника звука. Использование системы в процессе обучения эффективно для людей с нарушением слуха, так как активизирует внимание, а также позволяет им качественно воспринимать всю звуковую информацию.

К визуальным устройствам можно отнести мультимедийную аппаратуру, (интерактивные проекторы, доски и др.) предназначенную для сопровождения занятий наглядными материалами, так же телевизоры с функцией выведения субтитров на экран и программы для создания и редактирования субтитров.

Широкое применение в учебном процессе студентов, имеющих ограничения здоровья по слуху, находит программное обеспечение, преобразующее речь в текстовый и жестовый форматы с выведением на экран компьютера. Такая программа позволяет организовать на занятиях коммуникативную среду для глухих людей, владеющих письменной и жестовой речью, у которых использование устрой речи крайне затруднено.

Перечисленные выше устройства и методы, способствуют улучшению и увеличению объема приема информации, ускорению и облегчению процесса адаптации и социальной интеграции [2].

Использование ассистивных технических средств обучения (ТСО) в подготовке слабослышащих студентов играет важную роль и обеспечивает решение многих задач.

Повышается качество знаний студентов. Применение ТСО позволяет создать условия для обучения студентов, а именно умению анализировать, сравнивать и обобщать изучаемый материал, устанавливать причинно-следственные связи, рассуждать, расширяются возможности для формирования научных понятий, что для лиц с ОВЗ по слуху являются задачами достаточно сложными [3].

Таким образом происходит рациональное использование учебного времени, увеличение плотности занятий, повышение продуктивности труда педагога и студента.

Обеспечение наглядности обучения, способствует лучшему восприятию и усвоению материала.

В том случае если, студент успешно осваивает материал предлагаемой дисциплины, происходит стимулирование самостоятельной творческой деятельности и повышение мотивации к обучению, получению новых знаний, умений [4].

Однако необходимо помнить, что степень и необходимость использования материально-технических ресурсов и ассистивных технологий будет значительно отличаться в зависимости от степени нарушения слуха [5]. Их можно разделить на группы:

- студенты, состояние слуха которых позволяет обучаться в инклюзивной среде при условии применения специальных материально-технических ресурсов и ассистивных технологий в минимальном объеме;

- студенты, уровень развития которых требует создания специальных материально-технических условий и использования ассистивных технологий;

- студенты, по уровню развития способные обучаться только при наличии специальных материально-технических ресурсов и ассистивных технологий в специально организованном образовательном пространстве.

Студентам первой группы необходимы ассистивные технологии в виде: акустической системы звукового поля, применение мультимедийного оборудования.

Обучение студентов второй группы требует использования разнообразного оборудования для восприятия ими информации на основе слухового и зрительного анализаторов. А именно, применение акустической системы или радиоаудитории и мультимедийной аппаратуры, визуальных устройств.

Организация обучения студентов третьей группы возможна только при комплексном применении специального оборудования (радиоаудитория и/или звукоусиливающая аппаратура), мультимедийных визуальных устройств (интерактивные проекторы, доски, субтитры в учебных фильмах и др.), а также - программных продуктов, превращающие речь в текстовый и жестовый форматы [6].

Можно сделать вывод, что архитектурная среда учреждения предполагает структурирование информационного пространства учебного здания, акустическую подготовку аудиторий, создание специальных кабинетов для коррекционных занятий, а также организацию специальных рабочих мест учащихся, которое состоит из слухового аппарата/кохлеарного имплантата студента, заранее выбранной парты, оснащенной мультимедийной аппаратурой и ассистивными технологиями кабинета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Набокова Л.А.* Зарубежные «Ассистивные технологии», облегчающие социальную адаптацию с нарушениями развития. Дефектология. 2009. № 2.

2. *Головчиц Л.А.* Социальная интеграция обучающихся с нарушениями слуха специальных (коррекционных) и общеобразовательных учреждений / Л.А. Головчиц, Е.В. Кулакова, М.М. Любимова, Т.В. Николаева и др. М.: Владос, 2013.

3. *Барабанов Р.Е.* Формирование коммуникативных навыков у детей с нарушением слуха // Педагогика: традиции и инновации: материалы IV междунар. науч. конф. (г. Челябинск, декабрь 2013 г.). Челябинск: Два комсомольца, 2013.

4. *Речицкая Е.Г.* Развитие эмоциональной сферы детей с нарушенным и сохранным слухом./ Е.Г. Речицкая, Т.Ю. Кулигина // Методическое пособие. М.: Книголюб, 2006.

5. Королева И.В. Введение в аудиологию и слухопротезирование / Королева И.В. - СПб.: КАРО, 2012. - 400 с.

6. Королева И.В. Реабилитация глухих детей и взрослых после кохлеарной и стволомозговой имплантации.

7. *Сапарова Е.Ф., Мелина Е.В., Иванова Л.И.* Использование современных технологий в образовании детей с нарушением слуха в системе высшего образования – 2022.

8. *Мелина Е.В., Иванова Л.И.* Коррекция уровня тревожности у школьников с нарушением слуха – 2022.

USING ASSISTIVE COMMUNICATION MEANS FOR DEAF AND HARD OF HEARING STUDENTS IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Ievlev V.V.
Supervisor: Melina E.V. Associate Professor, Vice-Rector for Social Policy and Inclusive Education.
(Higher Education Institution "TISBI University of Management", Kazan)

Abstract. The use of assistive technologies is a prerequisite for the successful integration and education of students with hearing impairments, including in universities. The use of modern technical teaching tools is a critically important element in the educational process of hearing-impaired students.

These tools help to solve a number of tasks: to optimize the perception of information, expand its volume, accelerate and facilitate adaptation, which emphasizes the importance of developing and researching assistive communication tools.

УДК 376.33

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАТИВНАЯ КУЛЬТУРА В ИНКЛЮЗИВНОМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗА

Камаева Г.Ф.
Научный руководитель: Иртуганова Э.А., доцент, к. х. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Целью данной работы является исследование условий формирования информационно-коммуникативной культуры в инклюзивном образовательном процессе КНИТУ-КАИ. Задачами исследования являются рассмотрение составляющих культуры инклюзии в поликультурной среде вуза, обсуждение наиболее оптимальных условий, способствующих формированию информационно-коммуникативной культуры на различных этапах от подготовки к поступлению в вуз до трудоустройства. Актуальность исследования заключается в выработке подходов к построению инклюзивной модели формирования информационно-коммуникативной культуры в социальной среде вуза.

В педагогической практике в настоящее время активно развивается методология инклюзивного образования, приняты новые нормативные акты для развития инклюзивного подхода в системе образования и воспитания, который предполагает индивидуализацию образовательных потребностей, обучающихся с ОВЗ и инвалидностью, предоставление им различных услуг в целях обеспечения наиболее полного участия таких людей в жизни общества. В целом инклюзивные процессы, реализуемые в системе образования, можно объединить понятием инклюзивная культура, описываемая в литературе как «система ценностей и практик, направленная на создание среды, в которой все члены общества чувствуют себя принятыми, уважаемыми и включёнными, независимо от их личных характеристик: расы, пола, возраста, физических возможностей, культурных и других различий» [1]. При этом, различают понятия «инклюзивная культура» и «культура инклюзии», так как последняя больше фокусируется на идеологии и стратегии процесса инклюзии, применяемым педагогическим и социальным технологиям.

В КНИТУ-КАИ с 2010 года функционирует КУИМЦ как центр инклюзивного образования, благодаря системной деятельности которого реализуется возможность обучения лиц с инвалидностью с детства по слуху по нескольким образовательным программам бакалавриата через адаптацию их учебно-познавательных и коммуникативных особенностей.

Для построения оптимального адаптированного сценария инклюзивного обучения, направленного на полноценное получение обучающимися с инвалидностью с детства по слуху комплекса необходимых профессиональных знаний и умений по выбранной ими программе профессиональной подготовки, в КУИМЦ проводится большая мониторинговая, исследовательская и методическая работа по формированию модели инклюзивного обучения, созданию безбарьерной среды и др. В частности, ранее мной было проведено исследование условий эффективного формирования общепрофессиональной информационно-коммуникационной компетенции у лиц с инвалидностью по слуху, исходя из анализа содержания действующего учебного плана 09.03.01 профиля «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети» [2, 3].

Своей миссией КУИМЦ определил конструирование эффективного пространства для инклюзивного обучения людей с инвалидностью путём проведения многоуровневой комплексной адаптации и реабилитации их в системе высшего профессионального образования. Для реализации этой миссии и решения комплекса задач и подзадач необходима трёхсторонняя готовность, которая в конечном счёте нацелена на формирование культуры инклюзии в поликультурной среде вуза(рис.1).

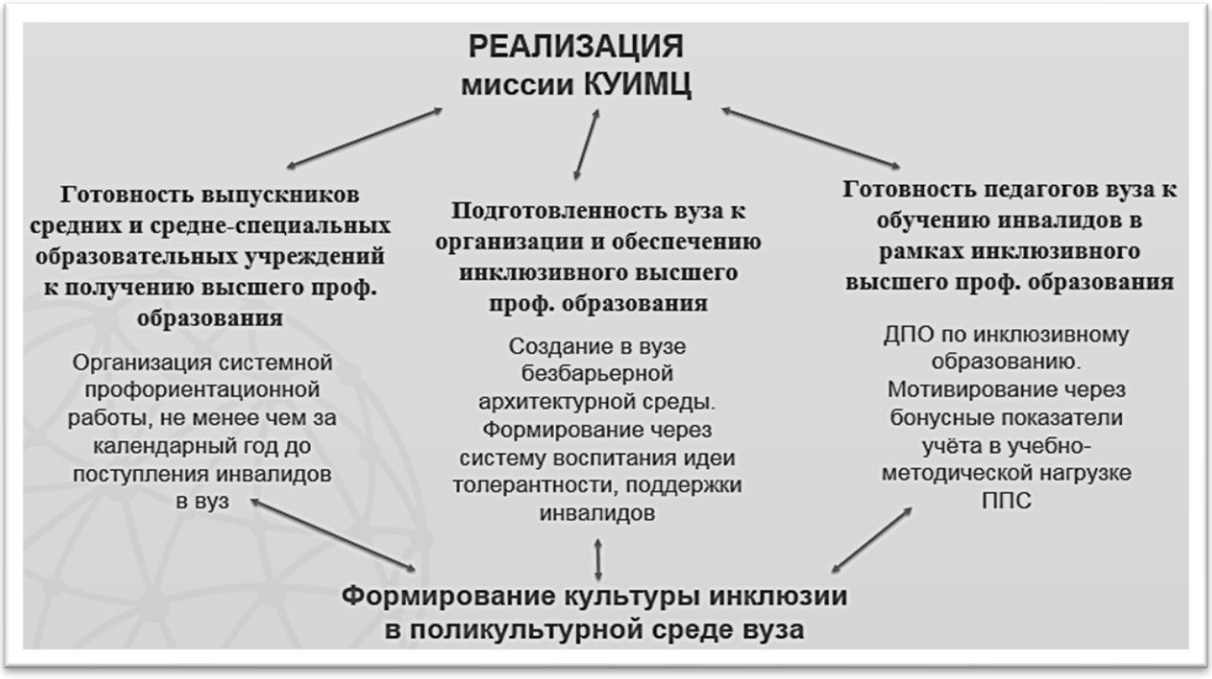


Рис. 1. Подходы для реализации в вузе инклюзивного образования

Культура инклюзии в поликультурной среде выделяет:

-гражданско-правовую культуру;

-профессионально-педагогическую культуру;

-социальную культуру;

-информационно-коммуникативную культуру.

Остановимся на основополагающей информационно-коммуникативной культуре, понимая, что информация является основным ресурсом культуры, посредством которого обеспечивается направленное организованное упорядоченное социальное развитие людей с инвалидностью в вузе, а через неё и профессиональное становление.

Социокультурное пространство вуза можно представить как взаимосвязанную и взаимообусловленную социальную систему взаимоотношений субъектов по определённым нормам, правилам (рис.2).

Рис. 2. Структура социальной системы вуза

Надо понимать, что детская потеря слуха вызывает многочисленные вторичные последствия, которые влияют на качество жизни, в том числе являются причиной ускоренного когнитивного ухудшения и социальной самоизоляции [4]. Отсюда понятны возможные барьеры доступности (рис.3).

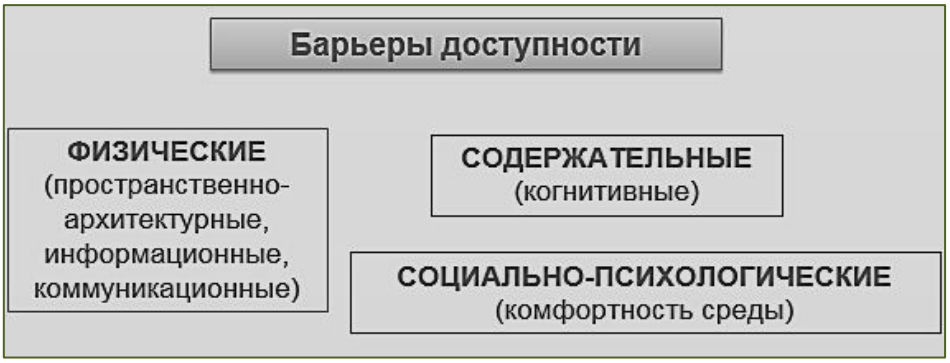


Рис. 3. Барьеры доступности образовательной и социальной среды

Для эффективной работы с различными постоянно обновляемыми информационными потоками необходима развитая информационно-коммуникативная культура.

Информационно-коммуникативную культуру (ИКК) можно рассматривать как с позиции обучающего (преподавателя, тьютора, наставника), так и с позиции обучающегося (студента, слушателя).

ИКК с позиции обучающего предполагает, на мой взгляд:

- полноту информации об особенностях, потребностях и возможностях, обучающихся с ОВЗ и инвалидностью;

- своевременную информацию о достижениях науки в области успешного обучения, воспитания, реабилитации и социализации лиц с ОВЗ и инвалидностью.

Для формирования такой инфокультуры в вузе предусмотрены:

1) постоянно обновляемая информационно-аналитическая инфраструктура и открытое коммуникативное пространство;

2) научно-методическое обеспечение процессов взаимодействия с лицами с ОВЗ и инвалидностью;

3) курсы повышения квалификации по реализации инклюзивного образования для преподавателей, инструктирование учебно-вспомогательного персонала вуза о психолого-физиологических особенностях лиц с ОВЗ и инвалидов с учётом характера и степени ограничений здоровья;

4) рациональное использование технических средств безбарьерной коммуникации.

ИКК с позиции обучающегося предполагает следующие опции (предположения сделаны в обобщённом виде, основываясь на беседах с однокурсниками):

-осведомлённость о социальных условиях, реализуемых проектах, мероприятиях и пр.,

-информирование об индивидуальном образовательном маршруте,

-доступность профессиональной информации.

При этом есть некоторые различия в возможностях получения информации у глухих (с почти 100% тугоухостью), у слабослышащих (у кого есть остаточный слух и возможность «дослышивания»), а также у людей с кохлеарными имплантами. Первые очень зависят от уровня доступности информации и испытывают наибольшие сложности с коммуникацией. Такие студенты стараются заручиться помощью одногруппника, старосты или куратора, чтобы обратиться за разъяснением и помощью. Также для глухих рекомендовано дублирование и повторение информации, и у них возможны состояния психологического дискомфорта, если важная информация до конца не понимается, или указан неудобный формат. У слабослышащих и кохлеарно имплантированных студентов также происходит некоторое запаздывание в понимании информации, и есть трудности в последовательном взаимодействии в социальном пространстве.

Исходя из этого необходимы свои подходы к информационно-коммуникативной культуре, и в КУИМЦ на сегодняшний день разработан комплекс мер по формированию ИКК обучающегося, начиная с системы информирования, детального ознакомления со структурой учебного процесса и индивидуального образовательного маршрута, заканчивая условиями доступа к специальным технологиям (рис.4).

Рис. 4. Основные направления развития информационно-коммуникативной культуры

Как видим на рисунке 4, для формирования развитой информационно-коммуникативной системы необходимы как технологии (общие и специальные), так и специалисты различного уровня: тьюторы, кураторы, ассистенты, технические инженеры.

Рассмотрим подробнее организацию изнутри этой информационно-коммуникативной системы. В настоящее время для этой цели применяются все современные социальные ресурсы. Студенты могут получить информацию о мероприятиях, проектах с помощью интернет-сообществ в ВКонтакте, в Телеграмм-канале, в групповых и индивидуальных беседах в Ватсапе. Существуют также дополнительные чаты в социальных мессенджерах:

для студентов, живущих в общежитии; по взаимодействию с куратором группы; для старост студенческих групп. Тематика обсуждаемых вопросов понятна по целевой аудитории; основное требование – быстрая обратная связь. Наибольшую популярность из этих сообществ в последнее время приобретает Телеграмм-канал, а существующая группа ВКонтакте практически не посещается, то есть в режиме быстрого информирования не пригодна.

Очные контакты также обязательны: в начале и в конце семестра проводится организационное собрание куратора или руководства со студентами всех курсов, на котором обсуждаются планы на будущий учебный год, знаковые мероприятия, подводятся итоги, а также можно задать интересующие вопросы, посмотреть учебный план, предложить свои идеи, например, по поводу организация загородней экскурсии. Это очень важно, потому что многие ребята приезжие, и чтобы они не чувствовали себя одиноко, создаются условия для того, чтобы студенты сдружились и были как одна большая семья. Периодически проводятся экскурсии внутри здания КУИМЦ, где показывают лаборатории, проводимые научные эксперименты, а также есть возможность посещать лекции в других зданиях вуза в присутствии сурдопереводчика. Это в целом формирует осведомлённость студента не только в рамках своей учебной деятельности, но и о масштабности выполняемых видов деятельности в вузе. Кроме того, это является мотивацией для студента заниматься научной работой и включаться в различные социальные или творческие проекты.

Каждый студент с самого первого дня в университете оповещён о структуре и условиям комплексного сопровождения лица с инвалидностью в КУИМЦ и вузе в целом: при возникновении проблем можно обратиться не только к преподавателю или руководству, но и к куратору/наставнику, а также получить профессиональную консультацию, например, помощь специального психолога.

Во время занятий студенты получают много информации, которую можно изучить и повторить при необходимости в системе Blackboard. На данном сайте можно найти материалы для каждой дисциплины, которыми преподаватель поделился. Эта система используется во время дистанционного обучения и не только, в ней можно выполнять тестовые задания, отправлять преподавателю выполненные задания, задавать вопросы и вести форум.

Помимо деятельности КУИМЦ, студентам предлагают информацию об общеуниверситетских мероприятиях, возможности поучаствовать в различных конкурсах, соревнованиях, олимпиадах, получить дополнительное образование вне стен университета, например, обучиться на оператора ЧПУ.

Итак, условия формирования информационно-коммуникативной культуры в инклюзивном образовательном процессе КНИТУ-КАИ сопряжены с системным подходом в области конструирования составляющих культуры инклюзии в поликультурной среде вуза, способствующих формированию информационной компетентности на различных этапах от подготовки к поступлению в вуз до трудоустройства. Очевидно, что доступ к информации должен быть обеспечен по различным каналам, с учётом доступности информационного ресурса. Для глухого человека важно, чтобы информация была понятная, поэтому формирующие информацию специалисты должны опираться на понимание, как лучше подать информацию, а именно:

- в виде коротких предложений с выделенной важной частью;
- точной датой, местом мероприятия;
- также обязательно указать цель мероприятия и ответственное лицо.

Эту информацию необходимо продублировать для куратора или старосты группы, чтобы при необходимости подключать их при возникновении проблемных вопросов.

В информационном учебном пространстве, для обеспечения доступности профессиональной информации, применяются аналогичные методические подходы: повторение правил, законов, и разбор их практического приложения в виде прикладных примеров, ситуаций.

Таким образом, инклюзивная модель формирования информационно-коммуникативной культуры в социальной среде вуза включает в себя:

-общую осведомлённость о социальных условиях, реализуемых проектах, мероприятиях как на площадках вуза, так и вне вуза;

-информирование об индивидуальном образовательном маршруте;

-доступность профессиональной информации (знаний).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Полянский А.И., Мартиросян В.Д.* Инклюзивная культура в образовательной организации [Электронный ресурс] // Научные труды Московского гуманитарного университета. 2018. № 1. URL: http://journals.mosgu.ru/trudy/article/view/682 (дата обращения: 09.06.2025).

2. *Иртуганова Э.А.* Цифровизация инклюзивного высшего образования: из опыта обучения лиц с ОВЗ по слуху в КНИТУ-КАИ / *Э.А. Иртуганова, Г.Ф. Камаева* // Цифровизация инженерного образования: Сборник материалов III Всероссийской онлайн-конференции, Ижевск, 24–26 апреля 2024 года. – Ижевск: Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, 2024. – С. 143-148. – EDN BAYGAQ.

3. *Минегалиев А.Т.* Формирование информационно-коммуникационной компетенции при подготовке ИТ-специалистов из числа инвалидов по слуху в КНИТУ-КАИ/ в сборнике докладов Международной молодёжной научной конференции. XXVI Туполевские чтения. Казань, 2023. С. 4280-4285.

4. *Стрежнева Е.В., Иванов Д.Л.* Интерактивные и дистанционные технологии обучения математике в инклюзивном образовании КНИТУ-КАИ // Проблемы управления качеством образования. Сборник статей XIII Всероссийской научно-практической конференции. 2020. С. 154-158.

INFORMATION AND COMMUNICATIVE CULTURE IN THE INCLUSIVE EDUCATIONAL PROCESS OF THE UNIVERSITY

Kamaeva G.F.

Supervisor: Irtuganova E.A., Associate Professor, Candidate of Chemical Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The purpose of this work is to study the conditions for the formation of information and communication culture in the inclusive educational process of KNRTU-KAI. The objectives of the study are to consider the components of the culture of inclusion in the multicultural environment of the university, discuss the most optimal conditions that contribute to the formation of information and communication culture at various stages from preparation for admission to the university to employment. The relevance of the study lies in the development of approaches to building an inclusive model for the formation of information and communication culture in the social environment of the university.

УДК 376.01 – 056.24

ВАЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИДЕОГЛОССАРИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИН СО СЛАБОСЛЫШАЩИМИ И ГЛУХИМИ СТУДЕНТАМИ

Махмутов З.Д., Логушкин О.А.

Научный руководитель: Юсупова В.Н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В статье рассматривается актуальность использования видеоглоссария на русском жестовом языке при обучении студентов с нарушением слуха, где имеются не только термины, но и объяснения к ним с картинками и анимацией. Данный инструмент стимулирует интерес глухих и слабослышащих людей к техническим профессиям,

способствует развитию грамотности, что позволяет дать равные возможности для получения качественного технического образования и в дальнейшем реализовать успешную карьеру.

Обучение глухих и слабослышащих людей имеет ряд сложностей, одна из значимых – особенность восприятия информации. Поскольку одним из средств коммуникации глухих является жестовый язык, то глухим и слабослышащим, в том числе (они также смотрят на переводчиков, потому что могут недослышать, недопонять) очень важно, чтоб информация была визуальной.

Слабослышащие люди часто пропускают важные фонемы, морфемы, что затрудняет понимание даже при использовании слуховых аппаратов / кохлеарных имплантов, которые могут искажать восприятие некоторых звуков, особенно когда есть шумы (при открытых окнах, когда говорят несколько человек сразу и т.д.).

Учебники и другие образовательные материалы часто не адаптированы для нужд, обучающихся с нарушением слуха, написаны сложным текстом, имеют мало визуальных картинок, к тому же большие объемы информации (длинные тексты, написанные научным языком) могут быть сложными для обработки даже хорошо слышащими людьми.

При обучении слабослышащих и глухих людей важно четко проговаривать слова, все названия демонстрировать на большом экране или записывать на доске, показывать наглядно рисунки, графики, схемы и по нескольку раз повторять материал, уточняя переспрашивать с разных ракурсов правильно ли поняли информацию? Особенно важно поддерживать родной жестовый язык наряду с обучением письменному языку, что будет обеспечивать доступ к информации, улучшать развитие когнитивных способностей и способствовать хорошей успеваемости.

Письменная речь тесно связана с устной, её освоение также представляет значительные трудности, поэтому люди с нарушением слуха часто испытывают проблемы с грамматикой, синтаксисом, словарным запасом и пониманием прочитанного, поскольку жестовый язык имеет свою грамматику, может иметь другой порядок слов в предложениях и упрощенную структуру текста. Ограниченный словарный запас и проблемы с грамматикой затрудняют выражение собственных мыслей и чувств. Всё это тоже усложняет обучение лиц с ОВЗ.

Существуют проблемы и в недостаточности количества жестов, поскольку их развитие сильно ограничивалось до признания (30 декабря 2012 года) статуса жестового языка, когда президент Российской Федерации Владимир Путин подписал поправки к закону «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации» [1], [2] и признал жестовый язык самостоятельной лингвистической системой с собственной лексикой, грамматикой, фонетикой и морфологией. Но до сих пор федеральные образовательные стандарты не предусматривают применение жестового языка, поскольку в России нет вузов, которые готовят преподавателей со знанием жестового языка.

Если сравнивать, количество жестов в русском жестовом языке, то их более чем в 10 раз меньше количества слов в русском языке. Так в самом большом и независимом с русской версией видеословаре Spreadthesign.ru [3], который основан на популярном, но заблокированном на территории России международном словаре SpreadTheSign, содержится более 14000 жестов. Технических терминов из них всего несколько десятков, многие технические термины дактилируются (показываются буквами, а не жестом). В “Толковом словаре живого великорусского языка” В.И. Даля [4] представлено более 200 тысяч слов.

Исследования других платформ [5], содержащих видеословари также показало малое количество технических терминов и практически полное отсутствие объяснений данных слов на жестовом языке (в открытом доступе найдена только работа НГТУ, где представлено 76 слов на жестовом языке с объяснениями на тему «АФК», «Рисунок», «Социальная работа» [6], но данные объяснения не содержат озвучки для слабослышащих, а также к ним нет картинок и анимации). Это говорит о скудности разнообразия жестов из-за сложности работы, что ведет к низкой грамотности лиц с нарушением слуха.

Данный факт требует введения в дошкольные и школьные программы образовательных учреждений дисциплин русского жестового языка, необходимо проводить разработку и запись новых жестов специализированных терминов по разным темам, запись с объяснениями терминов, поскольку одно и тоже слово может иметь разную смысловую нагрузку (например, «массив», «редактор» и «оператор» могут иметь разные значения) и должны показываться разными жестами, запись видео уроков с возможностью повтора материала, сопровождение проведений всех занятий в присутствии переводчиков русского жестового языка или воспитателей / учителей со знанием жестов, поскольку обучение в детских садах и школах проходит без участия переводчиков русского жестового языка, а учителя жестовый язык не знают, либо им запрещают его использовать.

Отсутствие данной работы приводит к дальнейшим сложностям обучения в техникумах, колледжах и в ВУЗах, где программа гораздо сложнее. Для обучения в данных организациях необходима адаптация языка и упрощение терминологии, чтобы сделать материалы более доступными, кроме того, необходимо учитывать, что традиционные методы оценки знаний и навыков, такие как тесты и экзамены, могут быть несправедливыми по отношению к глухим студентам, если они ориентированы на проверку знаний устной речи или письменного языка.

Благодаря принятым со стороны государства мерам в некоторых учебных организациях инвалидам по слуху создаются необходимые условия для получения среднего профессионального и высшего образования, обучение производится по адаптированным программам с применением специальных технологий и с участием переводчиков русского жестового языка. Однако выбор специальностей ограничен, поскольку не все программы адаптированы для лиц ОВЗ.

Данную работу уже с 2011 года ведут специалисты Казанского учебно-исследовательского и методического центра профессиональной реабилитации лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов в Казанском национальном исследовательском техническом университете имени А. Н. Туполева (КУИМЦ КНИТУ-КАИ). В данном центре имеются адаптированные программы по нескольким наиболее востребованным на сегодняшний день направлениям. Все занятия адаптированы для лиц ОВЗ: текстовые материалы переработаны и написаны упрощенным языком, имеется звукоусиливающая аппаратура, интерактивные доски, все презентации транслируются на проекторе и дублируются на компьютерах студентов, на каждом занятии присутствует переводчик русского жестового языка. Также у студентов есть возможность за два года обучения приобрести рабочую специальность, которая проводится параллельно основному обучению. Обучение в КУИМЦ полностью бесплатное.

Кроме того, центре КУИМЦ преподаватели совместно с переводчиками и студентами разработали и записали технические термины по базовым дисциплинам: «Математика», «Физика», «Химия», «Сопротивление материалов», «Начертательная геометрия», «Психоакустика», а также адаптационные учебные видеофильмы [7]. Данная работа продолжается.

Кроме того, проводится работа по созданию не только словаря технических терминов, но и разработка и запись объяснений их значений, которые представлены визуально при помощи жестов и картинок / анимации, то есть работа по разработке видеоглоссария технических терминов.

Так в конце 2024 года центром КУИМЦ был записан видеоглоссарий по математике, который представляет собой мощный инструмент при обучении лиц с нарушением слуха: прописывание термина на дактиле (рис. 1), показ термина на жестовом языке (рис. 2) и объяснение термина на жестовом языке с использованием рисунков и анимации (рис. 3, 4).

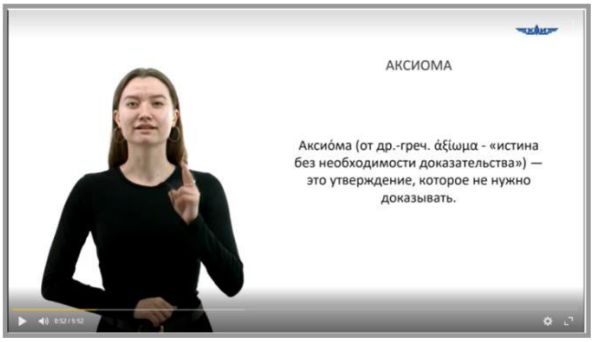


Рис. 1 Термин дактилируется

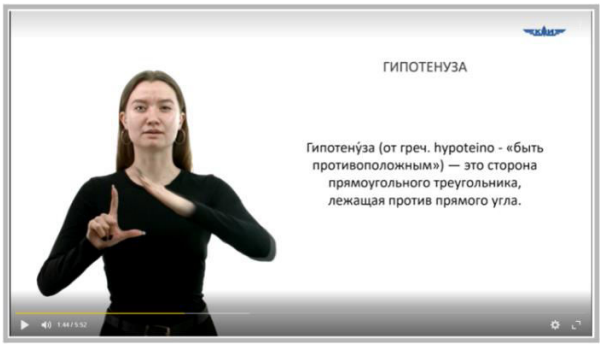


Рис. 2 Термин показывается жестом

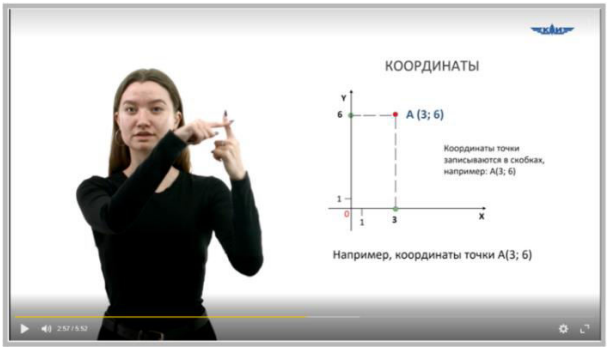


Рис. 3 Термин объясняется на жестах

Рис. 4 Термин объясняется на жестах

Визуальные методы обучения с использованием графиков, диаграмм, анимации, видеороликов и интерактивных симуляций, особенно эффективны для лиц с нарушением слуха.

Подобные видеоглоссарии необходимо развивать и внедрять во все коррекционные школы, обучать людей с нарушением слуха навыкам использования современных технологий, которые могут облегчить их обучение и общение, а учителям и преподавателям эффективно проводить свои занятия. Визуальное представление сложных технических тем на жестовом языке помогает глухим студентам лучше понимать и усваивать учебный

материал, преодолевая языковые барьеры, связанные с восприятием письменной и устной речи. Создание видеоглоссария способствует развитию технической грамотности слабослышащих и глухих людей, делая его более полным и функциональным языком, способным выражать сложные технические мысли, что позволяет более уверенно ориентироваться в современном мире и принимать правильные решения, связанные с технологиями, а также способствует развитию и обогащению русского жестового языка, пополняя словарные запасы граждан с ОВЗ.

Таким образом, использование видеоглоссария при изучении дисциплин со слабослышащими и глухими студентами является необходимым условием для обеспечения равных возможностей и интеграции лиц с нарушением слуха в России. Это не только лингвистическая задача, но и важный социальный проект, направленный на улучшение качества жизни людей с нарушениями слуха, повышение статуса русского жестового языка как полноценного языка, способного удовлетворять потребности лиц с ОВЗ в образовании, профессиональной деятельности и социальной жизни.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. О социальной защите инвалидов в Российской Федерации: Федеральный Закон от 24.11.1995 № 181-ФЗ [принят Государственной думой 20 июля 1995 года]: (с изменениями и дополнениями). – Текст: электронный. – URL: Федеральный закон "О социальной защите инвалидов в Российской Федерации" от 24.11.1995 N 181-ФЗ (последняя редакция) \ КонсультантПлюс (дата обращения: 02.06.2025).

2. О социальной защите инвалидов в Российской Федерации: Федеральный Закон от 30 декабря 2012 г. N 296-ФЗ "О внесении изменений в статьи 14 и 19 Федерального закона" – Текст: электронный. – URL: Федеральный закон "О внесении изменений в статьи 14 и 19 Федерального закона "О социальной защите инвалидов в Российской Федерации" от 30.12.2012 N 296-ФЗ (последняя редакция) \ КонсультантПлюс (дата обращения: 02.06.2025).

3. Словарь русского жестового языка Spreadthesign.ru. – URL: Spreadthesign.ru (дата обращения: 03.06.2025).

4. *Даль В.И.* Толковый словарь живого великорусского языка / В.И. Даль – URL: Толковый словарь Даля (дата обращения: 03.06.2025).

5. *Юсупова В.Н.* Разработка веб-платформы для словаря технических терминов на русском жестовом языке / В.Н. Юсупова. Студенческая наука: Созидая будущее Сборник научных статей Всероссийской студенческой Научно-практической конференции. Курск, 2024. Ч. 1. С. 270-274.

6. Толковый словарь специальных терминов на русском жестовом языке – URL: http://nisor.ru/safarov/jest/ (дата обращения: 05.06.2025).

7. Учебный аудио-видео словарь жестов. Отдел электронных технологий в образовании – URL: https://kai.ru/web/eto/ucebnyj-audio-video-slovar-zestov (дата обращения: 05.06.2025).

THE IMPORTANCE OF USING A VIDEO GLOSSARY WHEN STUDYING SUBJECTS WITH HEARING-IMPAIRED AND DEAF STUDENTS

Makhmutov Z.D., Logushkin O.A.

Supervisor: Yusupova V.N.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. The article examines the relevance of using a video glossary in Russian sign language when teaching students with hearing impairment, where there are not only terms, but also explanations to them with pictures and animations. This tool stimulates the interest of deaf and hard of hearing people in technical professions, promotes the development of literacy, which allows for equal opportunities to receive high-quality technical education and further realize a successful career.

УДК 376.01 – 056.24

ТЬЮТОР ДЛЯ СТУДЕНТОВ С ОВЗ ПО СЛУХУ – НЕОТЪЕМЛЕМОЕ ЗВЕНО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Минсламов А.Р.

Научный руководитель: Кочергина К.А., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Тьюторское сопровождение обучающихся с нарушением слуха является важным при создании условий инклюзивной образовательной среды.

Новые методики обучения с привлечением тьютора, имеющего ограниченные возможности здоровья по слуху, обладают широким рядом преимуществ. Это принципиально новый подход в инклюзивном образовании, качественно улучшающий образование учащихся.

В Республике Татарстан на сегодняшний день существует ряд учебных заведений: пять коррекционных школ, дающих среднее образование детям с инвалидностью по слуху, Казанский авиационно-технический колледж (КАТК) им. П.В. Дементьева и Казанский национальный исследовательский технический университет (КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева), дающие среднее и высшее образование. В КНИТУ-КАИ обучением инвалидов по слуху занимаются в специальном подразделении КУИМЦ (Казанском учебно-исследовательском и методическом центре по профессиональной реабилитации лиц с ограниченными возможностями здоровья по слуху).

В этих учреждениях обучение осуществляется с привлечением сурдопереводчиков. Занятия проводятся одновременно для слабослышащих и глухих учащихся. Занятия проводят преподаватели на вербальном русском языке, а перевод на русский жестовый язык осуществляет сурдопереводчик.

Остается актуальным вопрос, как облегчить процесс обучения для ребят с полной потерей слуха.

Обучение школьников и студентов с разной степенью потери слуха – одна из самых сложных педагогических задач, и в наихудшем положении находятся глухие студенты, для которых самым понятным и родным языком является жестовый. Надо понимать, что глухой студент — не носитель недуга, а обладатель другого языка (культуры), и, возможно, это понимание приведет к новому подходу в обучении.

В ходе экспериментальных исследований в КНИТУ-КАИ было установлено, что более 60% полезной информации при проведении занятия с сурдопереводчиком теряется, что делает занятие неэффективным [1]. Установлено также, что при этом время усвоения учебного материала глухим студентом увеличивается в три раза (в сравнении с усвоением материала слышащими студентами). Проверка качества знаний подтверждает, что в самом затруднительном положении находятся именно глухие студенты, для которых жестовый язык - основной способ получения информации. При обратной связи учащийся - преподаватель через сурдопереводчика эффективность коммуникации также занижена. Положение усложняется и тем, что слабослышащие учащиеся перестают обращать внимание на преподавателя, который является первоисточником информации, а смотрят на жестикулирование переводчика [2]. В итоге страдает качество восприятия учебного материала и слабослышащими, и глухими. Увеличение времени на усвоение материала в три раза с трудом позволяет уложиться во временные рамки программы обучения [3].

В рамках инклюзивного образования преподавателями было предложено проводить занятия с привлечением помощника преподавателя – глухого тьютора, в совершенстве знающего жестовый язык. Он наравне с преподавателем отвечает за качество образования и проводит занятие с группой № 1 (глухих учащихся). Занятие с группой № 2 (слабослышащих и слышащих учащихся) проводит основной слышащий и говорящий преподаватель. Занятие

одновременно с двумя группами № 1 и № 2 проводится в одной аудитории (рис. 1) по одной теме. Общее руководство занятием выполняет основной слышащий преподаватель, определяя ход занятия. Студенты группы № 1 и их тьютор не умеют говорить вербально, поэтому не мешают студентам группы № 2, сидящим рядом. Говорящие студенты группы № 2 и их преподаватель также не мешают глухим студентам.

Были выявлены преимущества данной методики:

1. Существенно экономится время проведения занятия (в 2-2,5 раза), что дает возможность не выбиваться существенно из общей программы обучения и уложиться во временные нормативы обучения.

2. Проведенная серия контролируемых занятий (более 50) по данной методике показала повышение заинтересованности в занятиях всех учащихся, о чем свидетельствует стопроцентная посещаемость и внимательность на занятиях.

3. Условное разделение учащихся на две группы: слабослышащих и глухих предполагает иной и более детальный подход в разработке учебно-методических комплексов с разницей на основные каналы восприятия с усилением на устную и письменную подачу материала.

4. Учебно-методический комплекс для преподавателя помимо учебной программы, текста лекций и презентаций включает аудио- и видеоматериалы, необходимые для качественного инклюзивного образования.

5. Учебно-методический комплекс для глухого тьютора представляет собой облегченную версию с опорой на зрительный канал восприятия.

6. Видеоматериал включает: презентации лекций, аудио- и видеословари, фильмы с титрами и сурдопереводом, что улучшает восприятие новой информации.

Было рекомендовано в качестве глухого тьютора привлекать глухих людей с высшим или средним специальным образованием, которые наилучшим образом способны донести информацию до глухих обучающихся.

Это принципиально новый подход в инклюзивном образовании, качественно улучшающий образование учащихся, а также обеспечивающий возможность трудоустройства инвалидов по слуху после окончания учебного среднего или высшего заведений.

Рис.1 Проведение занятия в аудитории

Привлечение глухих выпускников университета к роли тьютора позволяет:

1. Обеспечить профессиональную готовность лиц с нарушением слуха к трудоустройству в сфере образования.

2. Способствовать успешной адаптации глухих и слабослышащих выпускников университетов в качестве тьюторов.

3. Углубить осведомленность людей с ограниченными возможностями по слуху о профессии «Тьютор» и ее потенциале.

4. Сформировать более полное представление о возможностях и значимости глухих и слабослышащих специалистов в образовательной среде.

5. Привлечь студентов с нарушением слуха к разработке видеословарей жестового языка, направленных на обогащение лексики студентов технических и специализированных направлений.

6. Содействовать формированию профессиональной самоидентификации у выпускников.

7. Внедрить инновационные образовательные подходы, ориентированные на глухих и слабослышащих студентов, с целью повышения эффективности обучения и усвоения информации.

Тьютор – это педагог, помощник основного или ведущего преподавателя [4]. Тьюторство включает в себя ряд функций, перечисленных ниже.

- Содействие студенту в формировании его индивидуальной траектории обучения и активном участии в создании персональной образовательной программы.
- Поддержка новичков (абитуриентов) в процессе приспособления к новым условиям обучения в университете.
- Оказание помощи в планировании и осуществлении самостоятельной учебной деятельности.
- Содействие в освоении как общих, так и специализированных профессиональных компетенций.
- Отслеживание прогресса в учебных проектах, научных исследованиях, а также участие в олимпиадах и конкурсах.
- Наблюдение за формированием профессиональных умений и навыков во время прохождения практики.
- Предоставление помощи в подготовке и оформлении выпускной квалификационной работы.

Тьютор — неотъемлемое звено образования, специалист, который обеспечивает индивидуализацию образовательного процесса и качественное сопровождение учеников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кочергин А.В., Кочергина К.А., Романенко О.Н.* Развитие слуха и речи у детей и взрослых с применением технических систем «Бекар»: Научно-методическое пособие. Казань, 2014. -145 с.

2. *Леве А.* Развитие слуха у неслышащих детей: История. Методы. Возможности. / Пер. с нем. Л.Н. Родченко, Н.М. Назаровой. М.: Академия, 2003-224 с.

3. *Подольская О.А.* Тьюторское сопровождение лиц с ограниченными возможностями здоровья в условиях инклюзивного образования: учебное пособие / О. А. Подольская, И. В. Яковлева. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2019. – 78 с.

4. Особенности обучения студентов с нарушениями слуха, URL: https://infourok.ru/osobennosti-obucheniya-studentov-s-narusheniyami-sluha-3810226.html (дата обращения: 08.06.2025) – Текст: электронный.

A TUTOR FOR STUDENTS WITH HEARING DISABILITIES IS AN INTEGRAL PART OF THE EDUCATIONAL PROCESS

Minslamov A.R.

Supervisor: Kochergina K.A., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Tutor support for students with hearing loss is important in creating conditions for an inclusive educational environment.

New teaching methods involving a tutor with hearing disabilities have a wide range of advantages. This is a fundamentally new approach in inclusive education, which qualitatively improves the education of students.

УДК 159.9

ПРОФИЛАКТИКА ВЫГОРАНИЯ В ВУЗЕ – ЗАЛОГ ПСИХИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ СПЕЦИАЛИСТА

Тимофеев М.Д, Федюшин Е.А.
Научный руководитель: Миронова М.А., доцент, к. п. н.
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Сохранение профессионального здоровья – важная тема, так как специалисты подвержены «выгоранию» не только на этапе профессионального старения, но и на этапе обучения. Профилактику выгорания специалиста можно и нужно начинать со студенческой скамьи. В данном исследовании мы проверяем две гипотезы на четырех группах, которые больше других могут быть подвержены профессиональному выгоранию – студентов и педагогов, обучающих студентов с ОВЗ по слуху.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) официально признала эмоциональное выгорание (burnout) как медицинский диагноз и включила его в 11-ю версию Международной классификации болезней (МКБ-11). 1 января 2022 года МКБ-11 вступила в силу, и синдром выгорания стал официально признанным состоянием. Поскольку ВОЗ определяет эмоциональное выгорание как синдром, вызванный хроническим стрессом на рабочем месте, который не был успешно преодолен, то мы в данной статье не будем разделять понятия «эмоциональное выгорание» и «профессиональное выгорание». Теоретическая и эмпирическая части будут посвящены «выгоранию», основные симптомы которого:

— чувство истощения;

— увеличение психической дистанции от работы, цинизм;

— снижение профессиональной эффективности. Актуальность нашего исследования подтверждает тот факт, что Министерство труда рассматривает предложение о предоставлении дополнительного отпуска сотрудникам, переживающим эмоциональное выгорание. Если тесты в медицинских учреждениях подтвердят синдром выгорания, то работник сможет рассчитывать на семидневный отпуск. Исследуя различные педагогические технологии инклюзивного образования [5,7] становится очевидным, что они в первую очередь направлены на овладение знаний. Мы предлагаем при изучении дисциплин «Психология и психолого-физиологическая адаптация к интегрированной среде», «Личностное развитие», «Этика делового общения» обратить внимание на сохранение профессионального здоровья и начать профилактику эмоционального выгорания с вуза.

Развитие специалиста проходит через ряд кризисов, возникающих при переходе с одного этапа профессионального развития к другому. Успешное разрешение кризисов сопровождается нахождением новых смыслов профессиональной деятельности [4]. Само осознание неизбежности кризисов в профессиональном развитии не исключает переживание напряженности, тревожности, неудовлетворенности и другие негативные состояния.

Этапы профессионального развития личности сопряжены с выгоранием. Об этом в своих трудах пишут ученые, изучающие психологию профессионального развития [1, 2, 3, 4, 6]**.** Проживание профессионального развития можно описать следующим образом**.**

1.Профессиональное обучение. На этом этапе формируется профессиональное мышление (мышление экономиста, например, будет отличаться от мышления врача и спасателя). Профессиональные деформации начинают зарождаться именно на этом этапе,

когда целенаправленно формируются профессионально важные качества, позволяющие в дальнейшем стать эффективным профессионалом. В качестве примера общепрофессиональных деформаций можно привести специфические особенности личности и поведения профессиональных военных, которые без труда узнаются в группе людей. То же происходит и с профессиональной группой педагогов, врачей, артистов и представителями многих других профессий.

2. Профессиональная адаптация: стадия «привыкания молодого специалиста к работе». Молодые специалисты выбирают для себя действенные копинг-стратегии, которые позволяют им справиться со стрессовыми ситуациями и психотравмирующими обстоятельствами в профессиональной деятельности. На *стадии «вхождения в профессию»* (молодой специалист уверенно справляется с должностными обязанностями, уверен в правильности выбора профессии, зарекомендовал себя среди коллег, любит свое дело и может пренебречь своим личным временем ради работы). Этот этап специалисты, изучающие профессиональное выгорание, называют «медовым месяцем». Чрезмерная включенность в работу и отказ от потребностей в угоду рабочему процессу может стать началом профессионального выгорания.

3. Частичная или полная реализация личности в профессиональном труде: стадия «мастера, мастерства» (результаты деятельности стабильны, профессионал имеет признание высокой квалификации в виде различных категорий, удостоверений и значительный авторитет у коллег). *Стадия «наставника, наставничества»* наступает, тогда, когда у мастера появляется круг единомышленников, оджобраяющих его подход к решению профессиональных задач. При наличии мотивации сотрудник активно использует свои внутренние неприкосновенные ресурсы, трата которых в дальнейшем ухудшает здоровье сотрудника. При отсутствии мотивации быстро наступает потеря интереса к профессиональной деятельности, появляются конфликтные ситуации на рабочем месте, ухудшается сон, появляются сопутствующие этому состоянию заболевания.

4. Этап свободного владения несколькими профессиями. Здесь предполагается, что на высоких уровнях освоения профессии специалист выходит за рамки своей формальной деятельности и все больше становится культурным существом (например, хороший учитель истории - это, одновременно и философ, и психолог, и политик). Это может быть вызвано отчасти усталостью от профессии, если не овладеть новыми знаниями и не приобрести новый интерес, то может начаться фаза снижения уровня собственного участия в рабочем процессе, когда ресурсы исчерпаны и снижена самоотдача.

5. Этап творческого самоопределения себя как Личности. Это предполагает, что профессионал в своей работе стремится реализовать свою главную жизненную идею и даже находит для этого возможности и силы. Поскольку специалист уже реализован, то может наступить такой момент как опустошенность, деформация личности, что в свою очередь, приводит к ряду заболеваний: психосоматические реакции и снижение иммунитета. Для этой фазы свойственны головные и спинные боли, сердечно – сосудистые отклонения, расстройство сферы ЖКТ, невозможность релаксации, бессонница, разного рода зависимости.

6. Этап профессионального старения — невосприимчивость к нововведениям, сложности адаптации к меняющимся условиям, снижение темпа работы, разочарование, бесперспективность.

Профессиональное выгорание в первую очередь, затрагивает женщин, в том числе молодых специалистов и специалистов, чей возрастной порог перешел за цифру 40. Если раньше об эмоциональном выгорании говорили, как об ухудшении здоровья вследствие дистресса у людей, работающих в сфере «человек-человек», то сегодня этот феномен охватывает все больше и больше профессий, в том числе и те, где приходится работать с большим количеством информации.

Для эмпирического исследования мы выбрали 2 методики: «Диагностика уровня эмоционального выгорания» В.В. Бойко (для педагогов и учителей, обучающих студентов с

ОВЗ по слуху) и «Опросник профессионального выгорания MBI» К. Маслач и С. Джексона (в адаптации Н.Е. Водопьяновой) – для студентов. Диагностика Бойко рассматривает синдром выгорания с позиции защитного механизма психики в ответ на предъявляемые ему требования, а опросник в модификации Водопьяновой позволяет отразить степень выраженности синдрома выгорания.

В нашем исследовании мы проверяли две гипотезы:

1. Педагоги, обучающие людей с ОВЗ по слуху, меньше подвержены профессиональному выгоранию, если у них есть в семье инвалиды по слуху (родители, дети, бабушки, дедушки).

2. Студенты, имеющие внутреннюю мотивацию, больше подвержены эмоциональному выгоранию, чем студенты без нее.

В нашем исследовании первая гипотеза не подтвердилась. Наличие людей с инвалидностью в семье убирает лишь один стресс-фактор, но он не может нивелировать такие стресс-факторы как интенсивность труда, продолжительность рабочего дня, условия труда, психологический климат в коллективе, стаж работы и т.д. Наше исследование выявило, что педагоги высшей школы меньше подвержены выгоранию, чем учителя средних образовательных учреждений. Нами выявлена прямая корреляционная (0,67; $p \leq 0,05$) связь между количеством различных интересов (разнообразием хобби) и низким уровнем выгорания.

Вторая гипотеза нашла свое подтверждение. Чем выше притязания студентов, их внутренняя мотивация, тем выше выгорание. Высокий уровень притязаний студентов, мотивации коррелирует с высоким уровнем выгорания (0,84; $p \leq 0,05$).

Проведенные исследования показали слабые места студентов, имеющих высокий уровень притязаний и вектор развития их психологической устойчивости – качества, которое необходимо будущим специалистам для их профессионального долголетия. Программы по дисциплинам «Психология и психолого-физиологическая адаптация к интегрированной среде», «Личностное развитие», «Этика делового общения» будут дополнены материалами о способах и разнообразных методах сохранения психического здоровья специалистов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Бойко В.В.* Синдром «Эмоционального выгорания» в профессиональном общении // СПб.: Сударыня. 2000. С. 16.

2. *Водопьянова Н.Е., Старченкова Е.С.* Синдром выгорания: диагностика и профилактика. 2-е изд. // СПб: Питер. 2009. С. 246-259.

3. *Зеер Э.Ф.* Психология профессиолнального развития: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / К.Д. Козлов //Издательский центр «Академия». 2006. С. 138-149.

4. *Климов Е.А.* Введение в психологию труда / Е.А. Климов // Юрайт. 2018. С. 140 — 168.

5. *Кочергин А.В., Валеева К.А., Ямалеев И.И.* Преемственная система инклюзивного образования: теоретические и практические аспекты // Материалы IX научно-практической конференции. Казань, Изд-во «Познание». 2020. С. 98-103.

6. *Скутаревская М.М.* Синдром эмоционального выгорания // Медицинские новости. 2002. № 7. С. 3-9.

7. *Стрежнева Е.В., Иванов Д.Л.* Интерактивные технологии обучения математике в инклюзивном образовании КНИТУ-КАИ// Сборник статей XIII Всероссийской научно-практической конференции. 2020. С.154—158.

PREVENTION OF BURNOUT AT UNIVERSITY IS THE KEY TO A SPECIALIST'S MENTAL HEALTH

Timofeev M.D., Fedushin E.A.

Supervisor: Mironova M.A., Associate Professor, Candidate of Pedagogic Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. Maintaining professional health is an important topic, as specialists are prone to "burnout" not only at the stage of professional aging, but also at the stage of training. Prevention of burnout by a specialist can and should begin with a student's bench. In this study, we test two hypotheses on four groups that may be more susceptible to professional burnout than others – students and teachers who teach students with hearing disabilities.

УДК 376.33

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА» СО СТУДЕНТАМИ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Тимофеев М.Д.

Научный руководитель: Ситников О.Р., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. Одной из существенных проблем в учебном процессе со студентами с ограниченными возможностями здоровья является сложность доведения материала занятия. Особенно это касается изучения технических дисциплин. Поэтому, для сохранения качества обучения, главной задачей в учебном процессе является наглядность и доступность к пониманию изучаемого материала.

При формировании профессионально значимых инженерных умений и навыков студентов изучение графических дисциплин является серьезной задачей. Дисциплина «Инженерная графика» является одной из сложных и в значительной степени новых дисциплин, изучаемых студентами инженерных специальностей вузов [1]. Задачей преподавателя является формирование необходимого объема знаний, на базе которого будет возможно дальнейшее изучение других технических дисциплин.

Освоение курса «Инженерная графика» студентами-первокурсниками с нарушением слуха еще больше сопряжено с трудностями, одни из которых являются общими для большинства первокурсников, а другие – вызваны психофизиологическими особенностями данного контингента студентов. Студенты с ограниченными возможностями здоровья по слуху – это особая категория людей, нуждающихся в создании специальных условий обучения.

Глухие и слабослышащие студенты вследствие объективных причин сталкиваются со специфическими для них проблемами, отсутствующими у их хорошо слышащих сверстников. Прежде всего, к ним относятся проблемы функционального характера, связанные с индивидуальными коммуникативными возможностями и уровнем адаптации к среде обучения. Также необходимо учитывать, что студенты, поступающие в высшие учебные заведения, имеют разный уровень школьной подготовки. Особенно это заметно у студентов с ограниченными возможностями здоровья по слуху. Чаще всего у таких студентов ниже базовая подготовка. Она предполагает слабый уровень знаний по таким школьным предметам, как алгебра и геометрия. А такой предмет как черчение в некоторых школах совсем не преподается.

Кроме этого, необходимо учитывать индивидуальные особенности студентов. В институт поступают студенты с разным уровнем ограниченных возможностей здоровья по слуху. Как достаточно сносно слышащие и способные сносно озвучивать свои мысли, до полностью глухих. Например, среди обучающихся есть студенты, у которых слух и речь достаточно развиты; есть те, у которых слуховой аппарат не полностью, но исправляет слух, однако речь остается невнятной; а есть и такие, которые не слышат и практически не говорят совсем. Каждая из этих категорий, обучающихся требует своего подхода и методики доведения учебного материала. Такие студенты нуждаются в инклюзивной образовательной среде.

Опыт проведения занятий по дисциплине «Инженерная графика» со студентами с ограниченными возможностями здоровья по слуху показывает, что специфика обучения определяется тем, что такие студенты могут реализовать свой потенциал лишь при условии адекватно организованного обучения, учитывающего особые образовательные потребности, заданные характером нарушения их развития [2]. Для изучения и понимания материала инженерной графики очень важным является доступность и наглядность излагаемого материала [3]. В силу своих особенностей, студенты с нарушением слуха в большей степени являются визуалами, т.е. большую часть информации лучше воспринимают через органы зрения.

Для лучшего усвоения учебного материала студентами с нарушением слуха на занятиях по всем дисциплинам широко применяется сопровождение в виде графических и видео материалов различной сложности. Большим преимуществом таких занятий является доступность и наглядность излагаемого материала.

Основной формой сопровождения и обеспечения наглядности изучаемого материала на занятии является применение мультимедийного оборудования. Преподавание таких дисциплин с использованием мультимедийной техники давно не является новинкой. Но наличие мультимедийного сопровождения на каждом занятии является обязательным для студентов с ограниченными возможностями здоровья по слуху [2]. Качественное наглядное наполнение мультимедийных презентаций помогает донести информацию до студентов более доступно. Презентации могут содержать больше понятной для студентов видеоинформации, не только в виде статичных картинок, но и в виде анимированных сюжетов, а также видео фрагментов.

Однако, для сложных, в плане понимания, технических дисциплин этого недостаточно. Для большинства обучающихся, при доведении сложного технического материала, демонстрация картинок на проекционном экране, интерактивной доске или мониторе компьютера оказывается недостаточной. Доведение материала по дисциплине «Инженерная графика» требует более глубокого подхода к изложению и разъяснению материала занятий. Необходимы не только их плоские двумерные проекции, но и более понятные для студентов их трехмерные макеты, которые можно взять в руки и рассмотреть с разных сторон.

И в этом плане, очень простым и доступным способом повышения обучаемости студентов становятся наглядные трехмерные пособия, используемые на кафедре «Специальных технологий в образовании» при изучении дисциплины «Инженерная графика». На занятиях по дисциплине «Инженерная графика» применяется широкий перечень объемных наглядных пособий:

- объемные геометрические фигуры различных конфигураций;
- объемные разрезные геометрические фигуры;
- трехмерные модели комплексных чертежей точек, линий и плоскостей;
- трехмерные модели различных позиционных и метрических задач;
- трехмерные модели пересечений линий и плоскостей с объемными фигурами;
- объемные модели пересекающихся геометрических фигур;
- образцы деталей для технического черчения;
- традиционные плакаты с 3D изображениями по всем разделам дисциплины и т.д.

Этот перечень применяется согласно тематике проводимых занятий. Например, на рис. 1 показаны шкафы с трехмерными моделями, которые используются при объяснении материала из раздела «Начертательная геометрия».

Рис. 1. Набор трехмерных моделей для объяснения учебного материала из раздела «Начертательная геометрия»

Натуральные макеты, и трёхмерные модели, используемые в качестве наглядного материала, имеют свои преимущества. Опыт преподавания показывает, что пространственное мышление студентов проще всего вырабатывается при наглядном показе именно на объемных объектах. Основным и бесспорным достоинством таких моделей является их реалистичность, а соответственно и простота понимания материала дисциплины.

В подтверждение этого тезиса можно привести множества примеров. Например, на рис. 2 приведен чертеж из слайда презентации. Он отражает алгоритм графических построений способа вращения вокруг прямой уровня. Такой способ применяется для решения задачи преобразования плоскости общего положения в плоскость уровня.

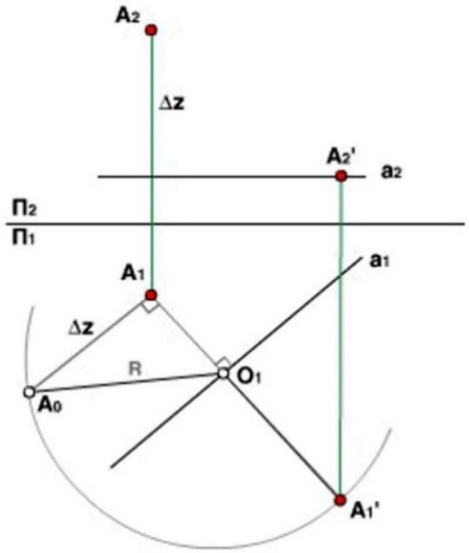


Рис. 2. Алгоритм графических построений при применении способа вращения вокруг прямой уровня

Как видно из рисунка, без соответствующей подготовки и правильного пояснения такую задачу очень непросто понять и тем более научиться применять такой способ при решении метрических задач. Гораздо проще проходит доведение этого учебного материала при использовании объемной модели, где решение задачи можно показать и пояснить с многих ракурсов, а также в движении рассмотреть последовательность действий. Для примера, на рис. 3 показана трехмерная модель. Она так же демонстрирует алгоритм графических построений при использовании способа вращения вокруг прямой уровня.

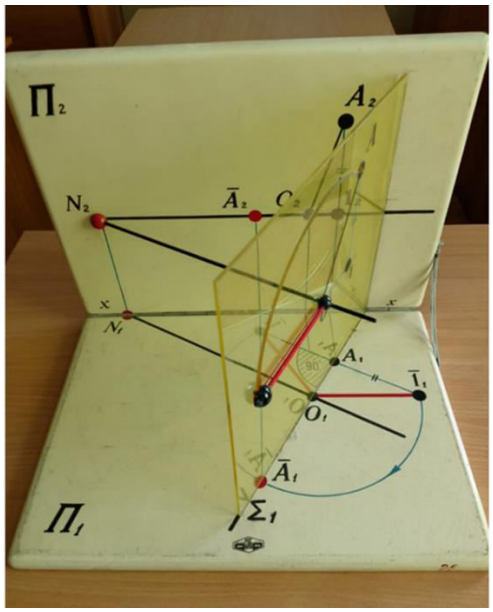


Рис. 3. Трехмерная модель для объяснения алгоритма графических построений при применении способа вращения вокруг прямой уровня

Как видно из рисунка, на трехмерной модели данный способ раскрывается совершенно по-другому. Здесь все операции можно рассмотреть в объеме и с разных плоскостей проекций. Таким образом, данная модель позволяет пояснить способ замены плоскостей проекции гораздо доступнее для обучаемых.

Реальность натуральных макетов способствует формированию у обучающихся правильного представления о форме объекта и его построении. Кроме того, такие модели позволяют, как говориться, потрогать изучаемый материал своими руками. Это позволяет преподавателю более доходчиво довести материал занятия до обучаемых. А самим обучаемым, такие макеты позволяют действительно понять и осознать такие сложные понятия как проецирование различных объектов и приемы, используемые при решении позиционных и метрических задач, а также многое другое. И для некоторых студентов это, пожалуй, единственный способ понять такой сложный изучаемый материал.

Используя весь доступный арсенал наглядных пособий, у преподавателей кафедры «Специальных технологий в образовании» с успехом получается доводить и объяснять учебный материал для групп студентов с различным уровнем усвояемости. Применяя богатый арсенал трехмерных моделей, находящихся в распоряжении преподавателей кафедры, доведение сложного материала становится гораздо доступнее для всех категорий студентов с ограничениями по здоровью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Юшкевич Н.М.* Инженерная графика: проблемы преподавания дисциплины и возможные пути их решения / Н. М. Юшкевич, Н. Н. Гобралев // Инновационные технологии в инженерной графике: проблемы и перспективы: сборник трудов Международной научно-

практической конференции, Новосибирск, 19 апреля 2019 г. – Новосибирск: НГАСУ, 2019. - С. 312-314.

2. *Тагиров Р.Р.* Специфика преподавания дисциплины «Инженерная и компьютерная графика» студентам с ограниченными возможностями здоровья по слуху в вузе как основа для развития науки в современных условиях / Р.Р. Тагиров; науч. рук. О.Р. Ситников // Стратегии и тренды развития науки в современных условиях: материалы ежегодной международной научно-практической конференции. – Уфа: НИКА, 2017. № 1(3) -С. 78-83.

3. *Кальчевский Н.А.* Роль наглядности в изучении инженерной графики / Н.А. Кальчевский, В.В. Ковенько; науч. рук. С.В. Жилич // Техсервис-2021: материалы научно-практической конференции студентов и магистрантов, Минск, 19-21 мая 2021 г. – Минск: БГАТУ, 2021. -С. 303-305.

IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF CLASSES IN THE DISCIPLINE "ENGINEERING GRAPHICS" WITH STUDENTS WITH DISABILITIES

Timofeev M.D.

Supervisor: Sitnikov O.R., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(*Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan*)

Abstract. One of the significant problems in the educational process with students with disabilities is the difficulty of communicating the lesson material. This is especially true for studying technical subjects. Therefore, in order to preserve the quality of learning, the main task in the educational process is the visibility and accessibility to understanding of the studied material.

УДК 378.147

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЛУХОРЕЧЕВОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ РЕЧИ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Шергин В.С.

Научный руководитель: Накоряков П.В., доцент, к. т. н.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Аннотация. В данной работе описаны преимущества слухоречевого тренажера «Бекар» для лиц с ограниченными возможностями здоровья по слуху. Данный тренажер был создан на кафедре «Специальные технологии в образовании». Также описан индивидуальный комплексный подход к развитию и коррекции слуха и речи.

За последние 20 лет резко выросло число детей с речевыми нарушениями и разными задержками. Если привести статистику, то она выглядит так: в 50-60-е годы количество детей – дошкольников с нарушениями звукопроизношения составляло около 17 %, в 2000 - 2010 годы число таких детей уже стало 53 %, а в наше время – 87.8 % детей имеют речевые нарушения разной степени тяжести. В чем же причина прогрессирования такого недуга? Исследования, проведенные ведущими научными учреждениями в области медицины, психологии и социологии показывают, что речевые нарушения у детей возникают из-за:

а) нарушения экологии. Основные продукты потребления, такие как вода, воздух и еда по химическому составу сильно изменились. Через них в человеческий организм попадает различные химические соединения, которые способны изменить ДНК, повредить мозг, проникать в плод. Происходит мутация организма.

б) высоких технологий в медицине и разных лекарств. Благодаря этому сохраняются тяжелые беременности, которые протекают с патологиями, в инкубаторах выхаживаются крошки, которые родились нежизнеспособными в обычных условиях. В конечном итоге, все это сильно повышает риск рождения детей с патологиями здоровья, в том числе речевого аппарата.

в) современных теле- и мобильных информационных средств (компьютера, гаджетов, планшетов, телефонов). Дети при этом только воспринимают информацию, обратной связи – речевой никакой. Речевые органы не тренируются, мышцы гортани не тренируются.

г) малого общения в семье. Взрослые заняты работой, которая по своему содержанию сильно поменялась и стала более нервозной, часто вызывая депрессию. Во многих семьях существует дефицит общения – вместо этого дети пропадают в гаджетах, родители - в телефонах [1-4].

Вывод: в конечном итоге, все вышеуказанное создает предпосылки к нарушению развития речи у детей, к неправильному произношению букв, слов, словосочетаний и т д.

Частично эти проблемы можно решить с использованием слухоречевых тренажеров, которые могут быть эффективно использованы логопедами и учителями в детских садах, в дошкольных образовательных учреждениях и в коррекционных школах. Слухоречевые тренажеры также нашли широкое применение при проведении занятий с лицами, имеющими ограниченные возможности по слуху. Ранее слухоречевые тренажеры создавались по аналоговой технологии на основе обычной звукоусилительной аппаратуры. Созданный в КНИТУ-КАИ на кафедре «Специальных технологий в образовании» слухоречевой тренажер «Бикар» использует современные технологии обработки звука с помощью персонального компьютера и существенно отличается от его аналоговых прототипов.

Слухоречевой тренажер «Бикар» имеет два варианта исполнения: стационарный и переносной. Оба варианта одновременно выполняют как функцию слухового аппарата, так и обучающего тренажера. Благодаря своей универсальности, переносной аппарат широко может быть использован как взрослыми людьми с проблемами слуха, так и детьми с ограниченными возможностями здоровья по слуху и речи. При использовании аппарата в качестве обучающего тренажера применяется специальная методика «Слышать и говорить». Ниже дано краткое описание устройства и принципа действия слухоречевого тренажера в переносном варианте.

Слухоречевой тренажер (слуховой аппарат) переносной включает в себя аппаратную часть и программный комплекс. Аппаратная часть настраивается на каждого человека по данным его аудиограммы, осуществляет цифровую обработку принимаемых звуковых сигналов с частотным сжатием и смещением речевого диапазона частот в область остаточной слуховой чувствительности обучающегося. Программный комплекс устанавливается в аппаратную часть прибора и позволяет выполнять следующие функции: хранить обучающий архив; воспроизводить и удалять запись речи и звуков; загрузить и запустить программу сжатия сигнала; вести работу с учетной записью пациента, с аудиграммой обучающегося, с параметрами обработки аудиосигнала, осуществлять визуализацию[28]аудиосигнала; отображать сонограммы, временную реализацию сигналов, спектральную диаграмму звукового сигнала. На рис. 1 приведен общий вид переносного слухоречевого тренажера.

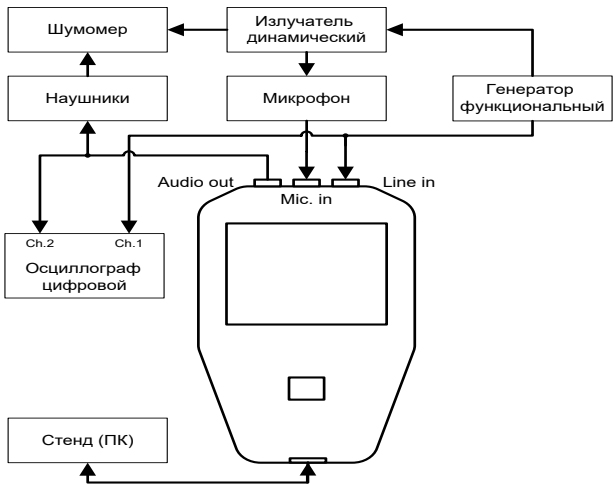


Рисунок 1. Общий вид переносного слухоречевого тренажера «Бикар»

Преимущества слухоречевого тренажера «Бикар» следующие [5]:

- позволяет слышать всем тугоухим и глухим людям, имеющим остаточный слух;
- обеспечивает понимание 85%÷90% речевой информации без чтения с губ;
- исключает дискомфорт, значительно снижает время адаптации к аппарату;
- обеспечивает возможность заниматься самостоятельным тренингом при обучении «Видеть, слышать, говорить», используя слух, зрение и жестовый язык;
- не ведёт к дальнейшему ухудшению слуха;
- предлагает одну модификацию для всех степеней потери слуха.

В частности, улучшение восприятия звуков в нем основано на переносе информации с высоких частот на более низкие частоты, на которых информация глухими воспринимается с меньшим усилением. Это позволяет, не перегружая поврежденный слуховой орган, донести до обучаемого все звуки речевого диапазона. Например, если человек не слышит звуки выше 4 кГц, а как известно речевые звуки лежат в области частот от 100 Гц до 8 кГц, то все высокочастотные составляющие речи становятся не слышимыми. Это ведет к тому что речь становится неразборчивой и приходится увеличивать громкость в настройках слухового аппарата, а это в свою очередь ведет к перегрузке слухового органа и дальнейшему ухудшению слуха. Одновременно у человека ухудшается разборчивость речи, поскольку он себя не слышит и соответственно не может корректировать свое произношение. Опыт кафедры специальных технологий в образовании показывает, что большинство глухих и слабослышащих, зная о своем плохом произношении стесняются пользоваться голосом и предпочитают использовать услуги сурдопереводчика.

Использование слухоречевого тренажера «Бекар» в учебном процессе с лицами, имеющими ограниченные возможности слухового восприятия, позволяет восстановить акустическую обратную связь – обучаемый начинает слышать все звуки своей речи и это позволяет ему корректировать свое произношение [6].

Опыт пробных занятий на кафедре специальных технологий в образовании показал эффективность применения тренажера «Бекар» для улучшения речи лиц с ограниченными возможностями здоровья по слуху. Уже через две-три недели занятий со слухоречевым тренажером наблюдается улучшение разборчивости речи обучаемых, особенно это заметно на произношении «шипящих» звуков, имеющих больше высокочастотных составляющих.

Для эффективного применения нового слухоречевого тренажера разработан индивидуальный комплексный подход к развитию и коррекции слуха и речи, включающий:

1.Технологию переноса звуковой и речевой информации из области частот, где человек не слышит, в область частот, где он может принимать эту информацию.

2.Новую методику обучения слышать и говорить для слабослышащих и глухих, имеющих остаточный слух. Эта методика обеспечивает слуховое восприятие и речевое воспроизведение слогов, слов и фраз без дополнительного напряжения, и психологических барьеров.

3.Систему диагностики, позволяющую определить психофизиологические характеристики человека, имеющего снижение или нарушение слуха.

4. Систему самостоятельных тренировок при обучении слышать и говорить в домашних или иных условиях.

Для обучения слабослышащих и глухих людей с остаточным слухом по методике «Видеть, слышать и говорить» применяется специальный языковой словарь, состоящий из «запоминающихся» слов и выражений русского языка, составленный на основе информационно – энергетических кодов русского алфавита. Разработаны специальные аудио-видеофайлы, помогающие слабослышащему/глухому воспринимать слуховые и зрительные образы предметов, слов, выражений и неречевых звуков.

Заключение. Таким образом, за последние два десятилетия наблюдается значительный рост числа детей с речевыми нарушениями и задержками развития, что обусловлено комплексом экологических, медицинских и социальных факторов. Ухудшение экологической ситуации, развитие технологий и снижение уровня семейного общения

способствуют ухудшению развития речевых навыков у детей. Эти тенденции требуют внедрения современных методов коррекции и поддержки, ориентированных на индивидуальные особенности каждого ребенка.

Использование слухоречевых тренажеров, таких как «Бикар», представляет собой эффективное средство для восстановления и развития речевого восприятия у лиц с ограниченными возможностями по слуху. Благодаря современным технологиям обработки звука тренажер позволяет обеспечить более точное и комфортное восприятие речи, что способствует улучшению произношения, повышению разборчивости речи и снижению психологических барьеров у обучающихся. Интеграция таких технологий в образовательный процесс, а также разработка комплексных программ обучения «Видеть, слышать и говорить» позволяют значительно повысить качество коррекционной работы. Важным аспектом является создание индивидуальных подходов, включающих диагностику психофизиологических характеристик и самостоятельные тренировки в домашних условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Иванова Е.А., Петров В.В.* Современные технологии коррекции речи у лиц с нарушениями слуха // Журнал логопедии и дефектологии. — 2020. — № 2. — С. 45–52.

2. *Смирнова Т.А., Кузнецова Н.В.* Тренажеры для развития речевых навыков у детей с нарушением слуха: обзор и практика // Вестник педагогических инноваций. — 2018. — № 4. — С. 78–85.

3. *Лебедева И.П., Федорова Н.В.* Методические рекомендации по применению слухоречевых тренажеров в работе с лицами с нарушением слуха // М.: Издательство МГУ, 2017. — 150 с.

4. *Ковалев А.Ю., Михайлова Е.А.* Использование электронных тренажеров для коррекции речевых нарушений у детей с ограниченными возможностями здоровья // Образование и здоровье: научный журнал / редколл.: [и др.] // Москва: Изд-во «Образование», 2021.— № 1 (50). — С. 34–41.

5. *Бекар А., Иванов П.* Влияние использования слухоречевого тренажера "Бекар" на развитие речи у детей с нарушениями слуха // Международный журнал реабилитации и коррекции речи. — 2019. — № 3. — С. 112–119.

6. *Тарасова Н.В., Сидорова А.И.* Эффективность применения тренажера "Бекар" в реабилитационной практике лиц с нарушениями речи и слуха // Журнал реабилитационной педагогики и логопедии / редколл.: [и др.] // Санкт-Петербург: СПбГУП, 2022.— № 2 (12). — С. 56–63.

USING THE HEARING AND SPEECH TRAINER "BEKAR" TO IMPROVE THE SPEECH OF PERSONS WITH HEALTH LIMITATIONS

Shergin V.S.

Supervisor: Nakoryakov P.V., Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Abstract. This paper describes the advantages of the Bekar hearing and speech simulator for people with hearing disabilities. This simulator was created at the Department of Special Technologies in Education. An individual integrated approach to the development and correction of hearing and speech is also described.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1
АЭРОМЕХАНИКА, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОЧНОСТЬ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Андреев М.И., Сафронов П.А., Саганов Е.Б.
РАСЧЕТ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ……..5
Андреева А.О.
ДИНАМИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ УДАРНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА УПРУГУЮ ФЕРМЕННУЮ КОНСТРУКЦИЮ…….….8
Бондарук А.Д., Молоков М.М.
3D ПЕЧАТЬ В УСЛОВИЯХ МИКРОГРАВИТАЦИИ: ПРИНЦИПЫ И ПРИМЕРЫ……....11
Боршевецкий С.А.
СТАТИКА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК КИРХГОФА-ЛЯВА И ТИМОШЕНКО С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ОПОРАМИ…….15
Евтушенко М.А., Глушкова А.Г., Скворцов Ю.В.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛАСТИНЫ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРНОГО УДАРА……...……21
Евтушенко Н.А.
МОДЕРНИЗАЦИЯ ИЛ-96-300 В СОВРЕМЕННЫХ РЕАЛИЯХ……...….25
Егоров А.В., Васильев Ф.А.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СОСТАВНОГО КОЛЬЦА ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ДО КРИОГЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР……28
Екимовская А.А.
УЧЁТ ГАБАРИТНОГО ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОРПУСА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В ВИДЕ ТОРА ИЛИ ЛЕПЕСТКОВОГО ТОРА…...……34
Епейкин А.А.
АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ СТЕНД С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОДИНАМИКИ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ТРАНСПОРТНОГО САМОЛЕТА……..…41
Заляев Р.А.
ЗАВИСИМОСТЬ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРИНГЕРА ОТ РАЗМЕРОВ КОНЦЕВЫХ СРЕЗОВ…….……44
Каучакова М.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВИНГЛЕТОВ С ИЗМЕНЯЕМЫМ УГЛОМ ОТКЛОНЕНИЯ……...…..48
Нечаев А.А., Павлов М.Р.
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТЕКЛОПЛАСТИКА ВПС-53/Т-25 ПРИ НАТУРНОМ И УСКОРЕННОМ КЛИМАТИЧЕСКОМ СТАРЕНИИ……55
Орлов Ю.С., Соколов П.М.
СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЧАСТИЦ РАЗЖИЖЕННОГО ГРУНТА ВЫЛЕТАЮЩИХ ИЗ-ПОД КОЛЕС ШАССИ……60
Печерский Б.П.
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УГЛА НАКЛОНА УСТУПА НА АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ…….……64
Рожнев А.Г.
ЧИСЛЕННОЕ СРАВНЕНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ПРОФИЛЕЙ NACA23012, LS(1)-0417 ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ КВП САМОЛЁТОВ МАЛОЙ АВИАЦИИ……..……67

Шайхаттарова А.Р.
К РАСЧЕТУ ЗАКОНЦОВОК ЛОПАСТИ ВЕРТОЛЕТА ОТ ПОПЕРЕЧНОЙ НАГРУЗКИ….73

СЕКЦИЯ 2
БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, БЕЗЭКИПАЖНЫЕ СУДА И НЕОБИТАЕМЫЕ ПОДВОДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Ахметова Ю.Ф.
ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ФЮЗЕЛЯЖА МАЛОРАЗМЕРНЫХ БПЛС: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТРАДИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ……..……78
Безрукова Е.Л., Иванова А.Е.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ УСТОЙЧИВОСТИ КВАДРОКОПТЕРА МАЛОЙ МАССЫ……84
Гурьев С.В., Степанченко К.В., Поздняков Т.Р.
ИНТЕГРАЦИЯ НЕЙРОГАРНИТУРЫ С СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ……...……88
Дорохова В.А., Солодухо А.А.
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДРОНОВ В ЛОГИСТИКЕ……92
Земдиханов А.А.
ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫЙ НЕОБИТАЕМЫЙ ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ С ФЕРМЕННОЙ РАМОЙ И СИСТЕМОЙ ЖИДКОСТНОЙ БАЛЛАСТИРОВКИ……...……95
Ли Л.
ИССЛЕДОВАНИЕ КАСКАДНОЙ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРОМ С АКТИВНЫМ ПОДАВЛЕНИЕМ ВОЗМУЩЕНИЙ……..…..99
Отетлеев К.К.
РАЗРАБОТКА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ВЕРТОЛЁТНОГО ТИПА ВЗЛЁТНОЙ МАССОЙ ДО 30 КГ…….……103
Рожкова Е.А.
ОБЗОР РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ МИКРОДАТЧИКОВ ДЛЯ МАЛЫХ БЕСПИЛОТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ...106
Сорокин Д.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ ГИБРИДНОГО ТИПА…….…...111
Степанова М.Д., Павлова Е.Э.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО СЧИТЫВАНИЯ QR-КОДОВ С ПОМОЩЬЮ ДРОНА DJI TELLO…….....…115
Тарантаева А.Р.
БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ В ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЯХ……...…120
Чернышевский Н.А.
АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭТАПА ВЗЛЁТА В РАМКАХ ПЕРЕХОДА К ОДНОЧЛЕННОМУ ЭКИПАЖУ ТРАНСПОРТНЫХ САМОЛЁТОВ……...……125
Шерендяк А.А.
ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ПО ТЕСТИРОВАНИЮ ДАТЧИКОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ……...……131
Шмаков М.Е.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИМУЛЯТОРА GAZEBO ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ ПОЛЁТОВ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ……...……138

СЕКЦИЯ 3
РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ В РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Александров И.В., Александров К.В.
ОЦЕНКА СКЛОННОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ САМОЛЕТОВ
К ОБРАЗОВАНИЮ ПРИЗЕМНЫХ ВИХРЕЙ……..…146
Ахметзянов А.Р., Бекеров А.Р.
ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ГАЗООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА
РЕЗИНОПОДОБНЫХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ……..……150
Беда Е.А.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГАЗОВОГО ЭЖЕКТОРА ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ ПРИРОДНОГО
ГАЗА ИЗ НИЗКОНАПОРНЫХ В ВЫСОКОНАПОРНЫЕ МАГИСТРАЛИ……155
Быков Е.Д., Полятыкин А.А.
АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КИНЕТИЧЕСКИХ
МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭМИССИИ СО СРЕДСТВАМИ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ……161
Ван Фуюй, Шарафутдинов Р.Р.
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЕЛА
НА РАВНОМЕРНОСТЬ ПОТОКА И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ
ЗА ЗАВЕХРИТЕЛЕМ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД…..……....164
Ван Цинюнь, Халиулин Р.Р., Цзинь Линь
ИССЛЕДОВАНИЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ МАЛОРАЗМЕРНОГО
ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ……...…167
Василевич А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА РАСКРЫТИЯ СМЕСИТЕЛЯ
НА СТЕПЕНЬ СМЕШЕНИЯ ПОТОКОВ ДВУХ КОНТУРОВ……..……...…172
Волков И.Н.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВХОДНЫХ УСТРОЙСТВ КОЛЬЦЕВЫХ
КАМЕР СГОРАНИЯ ГТД…….177
Галимов Р.Ш.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИФФУЗОРНОЙ ЧАСТИ И ФРОНТОВОГО
УСТРОЙСТВА КОЛЬЦЕВОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ……..…184
Гатауллина Е.Д., Мельников А.С.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВХОДНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО
СТЕНДА ГАЗОГЕНЕРАТОРА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ……...…189
Динг Цзямин
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ
ПЛАНЕТАРНОГО РЕДУКТОРА НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ЭНТРОПИИ……..……193
Еловиков К.Н.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕГО
ТРАКТА СОПЛА ЖИДКОСТНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ……..…199
Кудрявцев Н.А., Балабанов А.Л.
ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАМЕРЫ-ДЕМОНСТРАТОРА РДМТ
ИЗ СИЛУМИНА РС-300 И ИНКОНЕЛЯ 718……..……206
Курбанова В.А.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБРАТИМЫХ ПОТЕРЬ НАПРАВЛЕННОЙ ЭНЕРГИИ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ НА КЛА
С ЛАЗЕРНЫМ РАКЕТНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ……..……211
Лян Ихун
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ ОСЕВОГО
КОМПРЕССОРА В УСЛОВИЯХ НИЗКОГО ЧИСЛА РЕЙНОЛЬДСА……...……215

Лян Ихун
ПОВЫШЕНИЕ ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА
В УСЛОВИЯХ НИЗКОГО ЧИСЛА РЕЙНОЛЬДСА……...…220
Михайлов Д.В.
ПРИМЕНЕНИЕ ЭНТРОПИЙНОГО АНАЛИЗА К ИССЛЕДОВАНИЮ
ТЕЧЕНИЯ В МЕЖЛОПАТОЧНОМ КАНАЛЕ ТУРБИННОЙ РЕШЕТКИ
ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ……227
Нгуен Т.Б., Якимов А.Е.
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ В ПЛОСКИХ
НЕОХЛАЖДАЕМЫХ РЕШЕТКАХ ТУРБИН…….……230
Нигматуллин Б.Д., Цивильский М.А.
ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ПОТЕРЬ УДЕЛЬНОГО ИМПУЛЬСА ИЗ-ЗА
ДВУХФАЗНОГО ТЕЧЕНИЯ В СОПЛЕ РДТТ КЛАССИЧЕСКОЙ СХЕМЫ……..……235
Новожилов А.А., Алиев Р.Н.
АНАЛИЗ ЗАПАСОВ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ДИСКА РОТОРА ТВД
НАЗЕМНОЙ ГТУ ДЛЯ ГПА В ТРЁХМЕРНОЙ ПОСТАНОВКЕ…….……238
Петров С.Е., Гончаров Е.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ НА МОДЕЛИРОВАНИЕ
РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ВЫХОДНОЙ УЛИТКИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА..244
Покидько А.М.
ВЛИЯНИЕ ЭПЮРЫ ПОЛНОГО ДАВЛЕНИЯ ЗА КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СОПЛОВОГО АППАРАТА И ПОЛОЖЕНИЕ ……...…251
ЛИНИИ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ
Полятыкин А.А., Зименкова А.Э., Языков Г.Б.
ИМПУЛЬСНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ РАКЕТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ СИСТЕМЫ
ОРИЕНТАЦИИ СТАБИЛИЗАЦИИ И КОРРЕКЦИИ ОРБИТЫ МИКРОСПУТНИКА……..256
Самойлова Е.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ
НА ОПТИЧЕСКИЙ ПРОБОЙ В ВОЗДУХЕ……260
Саухин Л.А.
К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ТЕЧЕНИЯ ПОТОКА В УСТРОЙСТВЕ
РЕВЕРСИРОВАНИЯ ТЯГИ ТРДД ПРИ ЕГО ВКЛЮЧЕНИИ……...…265
Сун Юньфань
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФРОНТОВОГО УСТРОЙСТВА С АНАЛИЗОМ
ЭМИССИОННЫХ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ……270
Цзинь Линь, Ван Цинюнь
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА ВХОДА ВОЗДУХА И УГЛА
РАСПЫЛЕНИЯ ТОПЛИВА СТУПЕНЧАТОГО ВОЗДУХОЗАБОРНИКА КАМЕРЫ
СГОРАНИЯ НА ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ……...…..…277
Цивильский М.А., Нигматуллин Б.Д., Немцев Д.А.
ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ДОЛИ ОСАЖДЕННОЙ КОНДЕНСИРОВАННОЙ
ФАЗЫ В СОПЛЕ РДТТ КЛАССИЧЕСКОЙ СХЕМЫ……284
Чжан Тун
ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ, НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
И ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДИСКА ТУРБИНЫ
ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ АВИАДВИГАТЕЛЯ……..…287
Чжан Х.
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД
С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ТОПЛИВ……292
Ша Шэнцзэ
МОДЕРНИЗАЦИЯ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ПУТЕМ УСТАНОВКИ ФРОНТОВОГО
УСТРОЙСТВА TAPS И АНАЛИЗ ЕЁ ВНУТРИКАМЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ……..…297

Ша Шэнцзэ
ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА СЕТКИ И МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОЙ ВЯЗКОСТИ
НА РЕЗУЛЬТАТ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД……..……301
Шайхутдинов А.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ
В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО РАЗРЯДА……..…306
Якимов А.Е., Нгуен Тхань Бинь, Гатауллина Е.Д.
ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ
ТУРБИНЫ В УСЛОВИЯХ ФИКСИРОВАННОЙ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ……...……309
Яковлев В.С., Осипов С.К.
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ
МЕХАНИЗМОВ КИСЛОРОДНО-ТОПЛИВНОГО ГОРЕНИЯ МЕТАНА
ПО ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ……314

СЕКЦИЯ 4
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Алиев А.Г. оглы, Гилязов Р.И.
РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ СВАРКЕ……...……323
Багаутдинова Л.М.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ ТЕПЛОВОЙ НАРАБОТКИ……326
Бенариеб И., Савичев И.Д., Хасиков Д.В.
ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО
СПЛАВА ВАС1, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ……..…333
Бикмуллин Р.Р.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ В ХОЛОДНО
ТВЕРДЕЮЩИЕ СМЕСИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛИ КОМПРЕССОРА……...…336
Гайнуллина Р.И., Долгова А.В.
ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА КАЛЬЦИЙ-МАГНИЕВЫХ СИЛИКАТОВ
НА СВОЙСТВА НАПОЛНЕННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ……..…341
Галимов Р.И.
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНОЙ ПЕНЫ НА ОСНОВЕ
ВСПЕНЕННОГО ПОЛИУРЕТАНА……..……348
Галимов Р.И.
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ ПЕН
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНОГО ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ……...……351
Гимазетдинова Ч.А.
ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКА БРОНЗЫ БРОФ10
ПЛАЗМЕННО-ДУГОВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ……...……354
Губайдуллин А.Н., Эксузьян Р.Б.
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И МЕЖФАЗНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СВАРНЫХ
СОЕДИНЕНИЯХ ТЕРМОПАР ХРОМЕЛЬ–АЛЮМЕЛЬ ПРИ КОНТАКТНОЙ
СТЫКОВОЙ СВАРКЕ……...……358
Гусев Д.В., Гавричев И.В., Ремшева А.Е.
ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ
ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ УЗЛОВ....362
Долгова А.В.
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЫБОРА СМОЛА И ТИПА НАПОЛНИТЕЛЯ
В ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ……..…367

Долгушин Я.В.
ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ОБРАБОТКИ
ДЛЯ СИНТЕЗА ОКСИДОВ ВАНАДИЯ……..…373
Евлампьев А.В.
ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ СВАРКИ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ …..…..379
Ишкенина К.В., Алешина А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ
АНТИФРИКЦИОННОГО СПЛАВА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ
СВОЙСТВА ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ……..…383
Ишкенина К.В., Алешина А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ВКЛАДЫШЕЙ ПОДШИПНИКОВ
ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ……....……388
Кадочникова М.Г., Красюкова Р.Р.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
АУСТЕНИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ НА СТРУКТУРУ СПЛАВА……..…392
Кадочникова М.Г., Красюкова Р.Р.
ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
АУСТЕНИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
РАБОЧЕГО КОЛЕСА ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА…….……397
Калаганов А.Н.
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО
СПЛАВА НА ГАЗОВУЮ ПОРИСТОСТЬ И МИКРОСТРУКТУРУ……401
Камалетдинова Р.Л., Дутова В.С.
ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТВЕРЖДЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ……406
Корнилов В.В., Иванов В.Д.
ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ПАЯНОГО ШВА ТИТАНОВОГО СПЛАВА….410
Кузьменко А.А., Билялова Р.И.
ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ……413
Малкова В.В.
МНОГОЦВЕТНОЕ ЭЛЕКТРОХРОМНОЕ СТЕКЛО
С ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫМИ ЦВЕТАМИ: РАЗРАБОТКА ГИБКОГО
МАТЕРИАЛА С УПРАВЛЯЕМЫМ ОКРАШИВАНИЕМ……..…417
Медведева Р.А.
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА АНОДНОГО
ОКСИДИРОВАНИЯ ДЕТАЛИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА……..……420
Михонов В.В., Хажакян В.О.
ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПСЕВДО-α-ТИТАНОВОГО
СПЛАВА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ИСПЫТАНИЯ……..……...…426
Осетров Н.Е.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВОЙ КОМПОЗИЦИИ AL-SIC, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИГАТУРНЫХ БРИКЕТОВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ……430
Селиверстова Д.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
НА АЛЮМИНИЕВОЙ ОСНОВЕ, УПРОЧНЕННОГО ОКСИДОМ ЦИРКОНИЯ……..…434
Скороумов А.К.
РЕАЛИЗАЦИЯ ГИБРИДНОГО МЕТОДА НАПЛАВКИ ПО ТЕХНОЛОГИИ WAAM
С СОВМЕСТНОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКОЙ РАСПЛАВА……...……437
Утенов А.А.
ВЛИЯНИЕ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩЕГО
ИНСТРУМЕНТА ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ ТИТАНА……441

Филиппов М.Н.
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ TIG
СВАРКЕ ТРУБЫ ИЗ СТАЛИ P91 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРА
ХРУПКОГО УЧАСТКА ЗТВ ПОСЛЕ КАЖДОГО ПРОХОДА……445
Фофонова О.С.
АНАЛИЗ СПОСОБОВ СИНТЕЗА НАНОКОМПОЗИТОВ УГЛЕРОД-НИКЕЛЬ
С ПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ……450
Фофонова О.С.
СПОСОБ СИНТЕЗА НИКЕЛЕВЫХ ВОЛОКОН ПРИ РАЗЛИЧНОЙ
ТЕМПЕРАТУРЕ НАГРЕВА РЕАКЦИОННОЙ СМЕСИ……...454
Халиуллин Э.И., Шабалин С.А.
МИКРОСТРУКТУРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРНОГО ШВА СТАЛИ
ASTM A350 LF3…….……459
Чернавский Е.А.
ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛА ПРУЖИНЫ ЧЕРЕЗ МОДУЛЬ СДВИГА……..……463
Чуракова А.А.
ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЕ СПЛАВОВ TINI С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ
С РАЗЛИЧНОЙ МИКРОСТРУКТУРОЙ……..…468
Эксузьян Р.Б., Губайдуллин А.Н.
ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КОБАЛЬТА
В ЖАРОСТОЙКИХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВАХ……..…472
Яковлев С.А.
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ
ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ. ОБЗОР ВИДОВ ПОКРЫТИЙ
И ТЕХНОЛОГИЙ НАНЕСЕНИЯ…….……478

СЕКЦИЯ 5
ТЕХНОЛОГИЯ АВИАСТРОЕНИЯ И КОМПОЗИТНОЕ ПРОИЗВОДСТВ

Аэрайгули К., Старцев Н.Д., Усманов Д.М.
РАЗРАБОТКА СОСТАВА И РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ
ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ……..……487
Бубнов Д.А., Шевченко В.О., Созонов Н.С.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ
ДЕФОРМАЦИИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ ……...……490
Бурнашев К.В.
РАСЧЕТ НА ЖЕСТКОСТЬ КАРКАСОВ СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ……...…494
Бухтулов А.В.
ПРОПИТКА КОМПОЗИТНОЙ РАБОЧЕЙ ЛОПАТКИ ВЕНТИЛЯТОРА
ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ……..……497
Васильчук Е.А., Клименко О.Н., Ткачук А.И.
ВЛИЯНИЕ НЕРАСТВОРИМЫХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ЧАСТИЦ
В СОСТАВЕ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ НА ПРОЧНОСТНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ УГЛЕПЛАСТИКА……503
Газимов А.А.
ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ТЕРМОПЛАСТИЧНОЙ
МАТРИЦЕЙ В РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ……..…508
Гресь А.Е., Никитин В.С.
СНИЖЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТВЕРЖДЕНИЯ
ФТАЛОНИТРИЛ-БЕНЗОКСАЗИНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ…….……512

Догадкин В.Н., Ракипов Т.И.
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕМОНТА ПОВРЕЖДЕНИЙ НА НЕСУЩУЮ
СПОСОБНОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК……...516
Евдокимов Е.О., Ахмадулин Н.С.
ТЕХНОЛОГИЯ ВЯЗАНИЯ ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА ИЗ СТЕКЛОВОЛОКНА
С ИНТЕГРИРОВАННЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОВОЛОКАМИ……..…522
Иванов Е.Г.
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПЕНОКАРТОНА
ДЛЯ СВЕРХЛЕГКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ……....525
Кориненко К.В., Салихов Н.Ф.
ОЦЕНКА ДРАПИРУЕМОСТИ ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА ДЛЯ
АРМИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ……..……531
Кориненко К.В.
ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АРМИРУЮЩЕЙ ТКАНИ
НА ПРОЧНОСТЬ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ……..……534
Крючкова А.Е., Шарипов Д.Р.
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПЕНОПЛАСТЫ……538
Ларионов И.С, Газимов И.И., Балькаев Д.А.
ВЛИЯНИЕ СОПОЛИМЕРА ЭТИЛЕНА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА УГЛЕНАПОЛНЕННОГО ПОЛИФЕНИЛЕНСУЛЬФИДА……..……541
Нигматуллин А.М., Бубнов Д.А.
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВСТРАИВАНИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА В
ФОРМООБРАЗУЮЩУЮ ОСНАСТКУ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ…...…546
Петров П.А., Яблонский А.Н.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ГИБРИДНОГО МПКМ С УЧЕТОМ ЗАКРИТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ……..……553
Покровский А.В.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 3-D СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТАЛЛОВ…….559
Рожков В.А.
ГОФРИРОВАНО ЛИНЕЙНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
СОТ С КОНФИГУРАЦИЕЙ «ЛАСТОЧКИН ХВОСТ» ……563
Савинов Д.В., Казанцева К.В.
КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ПЕЧАТИ
НА ПОРИСТОСТЬ ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ……...……567
Салихов Н.Ф., Пузырецкий Е.А.
СБОРКА И КОНТРОЛЬ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ……..……570
Сафиуллин Д.Р., Маричева Е.А.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СЕТЧАТОЙ СТРУКТУРЫ ТРУБ……...……575
Сёмин Н.А., Исаева С.А.
МЕТОДЫ НАНЕСЕНИЯ СВЯЗУЮЩЕГО ПРИ ФОРМОВАНИИ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО РАДИОПРОЗРАЧНОГО
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА……..……580
Сёмин Н.А., Низамутдинов Р.И.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА (ВКМ)
ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ……...……585
Усмонов Р.С., Ибрагимов М.Р.
ВАЛ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ФЛАНЦАМИ ГИБРИДНОГО ТИПА...588
Хайруллин Д.Р., Савинов Д.В.
ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ ТРИКОТАЖНЫХ ОБРАЗЦОВ НА ПРОЧНОСТЬ..…593

Хайруллин Д.Р.
КОМПОЗИТНАЯ ФЕРМЕННАЯ КОНСТРУКЦИЯ
С ПЕРЕСЕКАЮЩИМИСЯ ТРУБАМИ. ……596
Халиков А.А., Ханина Ю.А.
РАЗРАБОТКА СВЯЗУЮЩЕГО С ПОВЫШЕННОЙ
ДЕФОРМАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТЬЮ……...……600
Харрасов А.Ф.
РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ ОСНАСТКИ
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОДНООБРАЗНЫХ КОМПОЗИТНЫХ
ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ ВАКУУМНОЙ ИНФУЗИИ……..……605
Хусаинов Д.И.
РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА
АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ……..……611
Яблонский А.Н., Петров П.А.
РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ВИНТА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ……615

СЕКЦИЯ 6
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА И ЕГО ИНФРАСТРУКТУРЫ

Белов И.Н.
ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПЕРИОДИЧНОСТЬ ЗАМЕНЫ
МАСЛА В ДВИГАТЕЛЕ……...……623
Береснева К.С.
РАЗВИТИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ……...……626
Волосевич А.Э., Ветров И.Д., Горнак И.В., Серебряков И.А.
РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ
ДЛЯ МАЛОТОННАЖНЫХ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ……631
Гордиенко М.А.
РАСЧЁТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РОЛИКОВОГО
ТОРМОЗНОГО СТЕНДА ДЛЯ СТАНЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ МАРКИ NISSAN……..……636
Дудко Д.В.
СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА АВТОБУСНЫХ ПАРКОВ……...……641
Жижин В.С.
ПЕРЕХОД НА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ФРЕОНЫ
В АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ……..…646
Кучумов В.О.
ПРОБЛЕМАТИКА ЛОКАЛИЗАЦИИ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШТАМПОВАННЫХ
ДЕТАЛЕЙ ХОДОВОЙ ЧАСТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ……...……649
Слукин И.И.
ЦЕНА «ЗЕЛЕНОГО» БУДУЩЕГО……..……653
Соловьев В.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ……..…658
Хайретдинов И.И
БИМЕТАЛЛЫ В ЭЛЕМЕНТАХ ПОДВЕСКИ……661
Цветлюк Д.А., Новиков Д.И.
АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ РАЗГРУЗКА ХОДОВОЙ ЧАСТИ
ВЫСОКОСКОРОСТНОГО СОСТАВА……...……665

Шархымуллин З.И.
АНАЛИЗ РЫНКА КОММЕРЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ С 2022 ПО 2025 ГОД: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ……...……668
Шурхно А.В.
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БОКОВЫХ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ……..……671

СЕКЦИЯ 7
МАШИНОВЕДЕНИЕ

Абзалов Б.А.
РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....679
Абунагимов Л.Р.
МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ЗАЗОРА ПОРШЕНЬ-ЦИЛИНДР……..……682
Антонова А.С.
АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА СОВРЕМЕННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ……...686
Закиров Б.М.
ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДИСКОВ ШИН АВТОМОБИЛЯ……...……689
Кудряшов В.А.
СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ШАГАЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ……...……693
Куралимова К.С.
ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ…….....697
Мурлатова Ю.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСОВПАДЕНИЙ ПОДВИЖНОСТЕЙ У МЕХАНИЗМОВ С ИЗБЫТОЧНЫМИ СВЯЗЯМИ……...……700
Муртазин Р.А.
УДАЛЕНИЕ ВМЯТИН БЕЗ ПОКРАСКИ……703
Пономарева М.Н.
РЕМОНТ И МОДЕРНИЗАЦИЯ: ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗНОШЕННЫХ ШЕСТЕРЕН МЕТОДАМИ НАПЛАВКИ (DED, LMD). МОДЕРНИЗАЦИЯ СТАРЫХ РЕДУКТОРОВ ПУТЕМ ДОБАВЛЕНИЯ НОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ……..……708
Потапенко А.В.
ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ……711
Самойлова А.Ю.
СИНТЕЗ МОДЕЛИ КИБЕРНЕТИЧЕСКОГО СУСТАВА ПРОТЕЗА И ЕГО ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ……..……718
Семьянистов Д.А.
ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШЛИЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ…….……722
Слабунова А.Д.
МЕТОДЫ 3D–ПЕЧАТИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ……...……726
Супонина Ю.В.
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ РЕДУКТОРОВ……..……729
Тажибаева А.В., Архипов В.А.
ВОЗДЕЙСТВИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЧНОСТЬ ОБРАЗЦОВ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА……..……733

СЕКЦИЯ 8
НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ − НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

Асанов А.В.
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛИ «ВТУЛКА»:
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И РАЗРАБОТКА РЕШЕНИЙ……738
Ахметханов И.И.
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ
«ПРОСТАВКА» В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ……742
Ганин К.Е.
АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ПРИ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКЕ ДЕТАЛИ «СТАКАН»
В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM……746
Голубкин К.С., Воловик П.В.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ
ТИТАНПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
В КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПЕРЕГОРОДОК В ТЕХНИКЕ
АВИАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ……750
Гусев Д.Д.
ВЗАИМНАЯ РАСТВОРИМОСТЬ ЖЕЛЕЗА И МЕДИ……755
Денисова К.Д., Валько Д.П., Родионова А.Д.
ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ ГИБРИДНЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ……758
Замилов Б.Р.
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШТАМПОВКИ НА ДЕФОРМАЦИИ
И УСИЛИЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ «ОСНОВАНИЕ» (DEFORM) ……762
Иванова Д.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ «ГРУЗИК» В СТАНДАРТЕ IDEF3……768
Киреева А.А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ УСИЛИЙ ШТАМПОВКИ И ДЕФОРМАЦИЙ
ЗАГОТОВКИ «ВТУЛКА НАПРАВЛЯЮЩАЯ» В ПРОГРАММЕ DEFORM…… 772
Константинова А.В., Богатов М.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОЦЕССА УГЛЕКИСЛОТНОЙ
КОРРОЗИИ СТАЛИ 20 В ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДОВОМ КОМПЛЕКСЕ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК И ДОЗИРОВОК ИНГИБИТОРОВ……776
Красноперова И.А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ «КОРПУС» В СТАНДАРТЕ IDEF3……781
Кручинина И.С.
О ВАЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА КАК НЕГАТИВНОЙ
ГАЗОВОЙ ПРИМЕСИ В СТАЛЯХ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ……785
Малкова В.В.
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ
НА ПРИМЕРЕ ДЕТАЛИ «ТРОЙНИК» ……789
Меннибаева С.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ И ПЛАСТИЧЕСКИХ
ДЕФОРМАЦИЙ В ЗАГОТОВКЕ «ВАЛ» ПРИ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКЕ (DEFORM)…….793
Мехрякова К.И.
ИМИТАЦИЯ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ
«КОРПУС УСТАНОВОЧНЫЙ» С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ КРИТИЧЕСКИХ
ДЕФОРМАЦИЙ И НАГРУЗОК……799

Михеев А.С.
ОПТИМИЗАЦИЯ УСИЛИЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКЕ ДЕТАЛИ «ВТУЛКА» НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ В DEFORM……..……804
Мустафин Р.О.
ВНЕДРЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ РЕШЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВО ДЕТАЛИ «ПОЛУОСЬ» ……809
Набиуллин М.Ю.
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ И УСИЛИЙ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКЕ «ПОЛЫЙ ВАЛ» МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В DEFORM……...……812
Сущинский Д.Я.
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИИ АВТОКЛАВНОЙ ОБРАБОТКИ КОРКОВЫХ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ И ФОРМ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ НА ВОДНОМ РАСТВОРЕ СИЛИКАТА НАТРИЯ...818
Фазулзянов М.Р.
ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХПРОЦЕССОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ СБОРНОГО КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА……821
Фазулзянов М.Р.
АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ СПОСОБОВ ИТЕНСИФИКАЦИИ ЧЕРНОВОГО НАРЕЗАНИЯ ЗУБЪЕВ ТОЧНЫХ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС……824
Файрузова З.Р.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ПОЛУПЕТЛЯ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДГОТОВКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ……...……827
Фатхутдинов А.И.
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ «ВИЛКА» В DEFORM-3D……831
Федотова Д.А.
ИМИТАЦИЯ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ «ШЕСТЕРНЯ-МУФТА» В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM……836
Хабибуллин И.И.
НИИТУРБОКОМПРЕССОР – ВЕДУЩЕЕ НАУЧНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ КАЗАНСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ КОМПРЕССОРОСТРОЕНИЯ……841
Хисматов А.Р.
ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ……...…847

СЕКЦИЯ 9
ТЕПЛОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Абдуллин М.Р., Алексенко И.В.
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОЗДАНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ МЕТАНОВЫХ ЖИДКОСТНЫХ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ОДНО – И МНОГОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ...…852
Аль Аффи Хади
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВЕДУЩИХ СТРАН: КОНСТРУКЦИЯ, ПАРАМЕТРЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ…857
Вахитов И.Ф.
ТОРИЕВЫЕ РЕАКТОРЫ КАК АЛЬТЕРНАТИВА УРАНОВЫМ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК……...…862

Гадельшин Т.Э.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОВОЙ
ГОРЕЛКИ ПОХОДНОГО ТИПА……..……865
Голосова П.В., Вегера А.Н.
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВОГО ГОРЕЛОЧНОГО
УСТРОЙСТВА ДЛЯ УГЛЕКИСЛОТНОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ……...…...……868
Жилякова А.Е., Сафина А.И., Вахитова А.Р.
СУЩЕСТВУЮЩИЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ПРОЦЕССОМ
ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ В ДВИГАТЕЛЯХ И ЭНЕРГОУСТАНОВКАХ НА
УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГОРЮЧИХ И ОХЛАДИТЕЛЯХ……874
Зайнутдинова Д.А., Полунин Я.В.
ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СУШИЛЬНОГО
АГЕНТА С УВЛАЖНЕННОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЕЙ……..…878
Закиров А.Ф., Салахов Р.Р.
РАСЧЁТ ВЯЗКОСТНОЙ МУФТЫ ПРИВОДА НАСОСА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ…..882
Игумнов И.Д.
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ
РАБОЧИХ ВЕЩЕСТВ. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ГЕКСИЛОВОГО СПИРТА……884
Ильина М.А.
ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В СМАЗОЧНЫХ МАСЛАХ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ
АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ……...888
Калмыков Ф.В.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ ВЫНУЖДЕННОЙ
КОНВЕКЦИИ ВОЗДУХА В УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНОГО ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ……893
Киселев А.А.
ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ЗАВЕС ДЛЯ
ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГТД…….……896
Кореев Е.П., Вахитова А.Р.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЯ
ЖИДКОСТНОГО ПРИБОРА ИМИТАЦИИ, ЗАМЕРА И КОНТРОЛЯ
ГРАВИТАЦИИ В ЗЕМНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ……..……899
Кореев Е.П., Иванов А.А.
ПРОБЛЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО СТВОЛА……...…903
Курочкин С.О.
СЖИЖЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ. СТРУКТУРА ПОТРЕБЛЕНИЯ,
ЭКСПОРТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ…….……908
Курочкин С.О.
К ВОПРОСУ ОБЛЕДЕНЕНИЯ КВОУ ГТУ……913
Куршев Е.Д., Саетгараев А.А.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РЕШЕТЧАТЫХ СТРУКТУР
ПРИ СВОБОДНОКОНВЕКТИВНОМ ОХЛАЖДЕНИИ……917
Львов М.В., Хабибуллин А.М.
РАЗРАБОТКА НОВЫХ КРИТЕРИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ РАСЧЕТА ВЛИЯНИЯ
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ИНТЕНСИФИКАЦИЮ ТЕПЛООТДАЧИ К
МОТОРНОМУ АВИАЦИОННОМУ МАСЛУ В УСЛОВИЯХ ЕГО ВЫНУЖДЕННОЙ
КОНВЕКЦИИ ПРИ УЧЁТЕ НОВОГО КРИТЕРИЯ ПОДОБИЯ Al ……..……924
Львов М.В., Хабибуллин А.М.
РАЗРАБОТКА МЕТОДИК РАСЧЁТА ТЕПЛООТДАЧИ К МОТОРНЫМ
АВИАЦИОННЫМ МАСЛАМ ПРИ ИХ ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ
И ВЛИЯНИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ……930

Любимов П.Е.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФОРМЫ ВЕЕРНЫХ ОТВЕРСТИЙ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ЗАВЕСЫ……..……936
Любимов П.Е.
О ПЛЕНОЧНОМ ОХЛАЖДЕНИИ ВХОДНОЙ КРОМКИ ТУРБИННОЙ
ЛОПАТКИ С ПУЛЬСИРУЮЩИМ ВТОРИЧНЫМ ПОТОКОМ ВОЗДУХА……..……939
Маршалова Г.С., Лира М.С., Островская Д.В., Данильчик Е.С., Засимова М.А.
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОРЕБРЕНИЯ
НА ТЕПЛОВУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВУХРЯДНЫХ ПУЧКОВ
В АППАРАТАХ С ВЫТЯЖНОЙ ШАХТОЙ……..…943
Миннуллин Р.Р., Щелчкова М.А.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ПРИ ВЫНУЖДЕННОМ
ТЕЧЕНИИ ВОДЫ В ОТКРЫТОМ КАНАЛЕ ЭТАЛОННОЙ УСТАНОВКИ……..…949
Митюшкин А.Д., Мршд М.
ОДНОМЕРНОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ
ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА……953
Мршд М., Митюшкин А.Д.
ТРЕХМЕРНОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ
ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА……956
Насифуллин Б.М.
ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ УСТРОЙСТВ ШУМОГЛУШЕНИЯ
В СИСТЕМАХ ПОНИЖЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ……..……962
Островская Д.В.
ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОРЕБРЕННЫХ ТРУБ
НА СВОБОДНО-КОНВЕКТИВНУЮ ТЕПЛООТДАЧУ ОДНОРЯДНОГО ПУЧКА
АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ С ВЫТЯЖНОЙ ШАХТОЙ……967
Павлов З.Д.
УСТАНОВКА ДЛЯ БЕЗРЕАГЕНТНОЙ ОСУШКИ ГАЗА…….……971
Попов И.А.
ОБЗОР МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ
АВТОМОБИЛЬНЫХ И ТРАКТОРНЫХ СРЕДСТВ……...……975
Пронин К.А., Абдуллин М.Р., Алексенко И.В.
УЧЁТ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СОЗДАНИИ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ НА ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГОРЮЧИХ И ОХЛАДИТЕЛЯХ.....982
Пронин К.А., Жилякова А.Е., Сафина А.И.
УЧЁТ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ
ГОРЮЧИХ ПРИ СОЗДАНИИ НОВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ ТОПЛИВНЫХ
ФОРСУНОК ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ…….....988
Смирнов К.И., Попов И.А
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КИПЕНИЯ ВОДЫ НА ГЛАДКОЙ
ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ…...995
Хасанов Н.Г., Ахметзянов А.М., Идиятуллин Б.Ф.
ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СТУПЕНЕЙ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА……..…1002
Шайхутдинов Я.О., Тихонов О.А.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОВОЗДУШНОГО ПОТОКА
ВЕНТИЛЯТОРА SHUFT CFS 160 S……...……1005
Шуляев С.А., Клименко А.
ОСОБЕННОСТИ БИНАРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СУСПЕНЗИОННЫХ
КАПЕЛЬ ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ……..…1011

Юсупов А.А., Селянин К.А.
РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГОРЮЧИХ И МОТОРНЫХ АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ……...…1014
Юсупов А.А., Селянин К.А.
ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЕТРА В ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГОРЮЧИХ И МОТОРНЫХ АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ……..……1019

СЕКЦИЯ 10
ФИЗИКА. ФИЗИКА ПЛАЗМЫ. НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ

Ахметзянов Р.Ф., Ахатов М.Ф.
ОБЗОР НАУЧНЫХ ОСНОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ РАЗРЯДОВ……1027
Байханов Т.Х.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЧИ-РАЗРЯДА В ИНЕРТНЫХ ГАЗАХ ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ…..…1030
Гайсин И.И.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУЙНОГО ВЧ РАЗРЯДА ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ НА МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ СТ-3.....1033
Гайсин И.И.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ПОМОЩИ ВЧ РАЗРЯДА ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ. ……..1037
Григорьева Д.В., Крапицкая А.А., Ивашкевич Д.Е., Янчарский В.А., Сак Е.В.
ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ НЕЙТРОФИЛОВ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ДЕЙСТВИИ НАНОЧАСТИЦ ГИДРОКСИАПАТИТА КАЛЬЦИЯ……...…1042
Клименко А., Шуляев С.А.
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАПЕЛЬНОГО ПОТОКА С ТВЕРДЫМИ ЧАСТИЦАМИ……...…1048
Макушев А. А.
АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВЧИ-РАЗРЯДЕ В ПАРАХ ЙОДА……...…1051
Мардеев А. Р.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СВЧ-РАЗРЯДА В МОЛЕКУЛЯРНЫХ ГАЗАХ ДЛЯ ЗАДАЧ ПЛАЗМЕННОЙ АЭРОДИНАМИКИ……1055
Сухарев А.О., Белов М.Д., Антипин А.М.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ КАНАЛОВ……1059
Сухарев А.О., Белов М.Д., Терентьев А.А.
ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СЕТЧАТЫХ СТРУКТУР, ИЗГОТОВЛЕННЫХ АДДИТИВНЫМ МЕТОДАМИ….……1062
Трекушевский Д.С.
ТОНКИЕ ПЛЕНКИ ОКСИДОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ…..…1066
Фазулзянов Р.А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА В АРГОНЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ И КРЕМНИЕВЫХ НАНОСТРУКТУР……...……1072

СЕКЦИЯ 11
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ В ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Аксанова З. Р.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛАССИЧЕСКИХ КРИВЫХ……1078
Ахметов Д., Кашапова А.
ТРАЕКТОРНО-ВОЛНОВОЕ ОПИСАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОНА ……..…1084
Брыскова Ю.М.
ОБ ОДНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧЕ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ ПРИ СВЕРХЗВУКОВЫХ РЕЖИМАХ ТЕЧЕНИЯ……...……1088
Гуляк Е. А.
РАСЧЕТ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ТЕЛА, ДВИГАЮЩЕГОСЯ ПО СЛОЖНОЙ ТРАЕКТОРИИ, С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА СОПРИКАСАЮЩЕЙСЯ ОКРУЖНОСТИ…...1093
Демичева А.А.
МОДЕЛИ ГИБРИДНЫХ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ВЫСОТНЫЕ ПЛАТФОРМЫ……..……1098
Екимовская А.А.
ТРЕУГОЛЬНАЯ ВРАЩАЮЩАЯСЯ СИСТЕМА МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ МАНЁВРА НА ОРБИТАХ БЕЗ ХИМИЧЕСКОГО ТОПЛИВА…...…1102
Иматдинова Д.Ф., Ахметзянова Д.И.
АНАЛИЗ МЕТОДА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ МАССОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ…….……1109
Кададова А.В.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ МЕТОДОМ ТРАССИРОВКИ ЛУЧЕЙ ……..……1112
Киселев П.Н.
АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРА КАЛМАНА ПРИ УВД НА ПРИМЕРЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ……..……1117
Орлова М.С.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТОДОМ ФАЗОВОГО ПОЛЯ С УЧЕТОМ АНИЗОТРОПИИ ГРАДИЕНТА ЭНЕРГИИ …….……1122
Петров Д.А.
МАТЕМАТИКА, МАТЕМАТИКИ И ДРУГИЕ НАУКИ…….……1126
Тукмаков Д.А.
НЕЛИНЕЙНЫЕ ОБЫКНОВЕННЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОДНОМЕРНОГО СТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ СРЕДЫ С НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ…….……1130
Чернов М. Б.
ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНИРОВАННОГО ФИЛЬТРА В ЗАДАЧЕ WLTC……...……1134
Шаблий А.Д.
ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРЕШЕНИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ ФАЙЛОВ ИСХОДНОГО КОДА…….…1139
Шуйский Р.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЛИПСА, ЗАДАННОГО В ПОЛЯРНЫХ КООРДИНАТАХ……..1143

СЕКЦИЯ 12
АДДИТИВНЫЕ И ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Дмитриева А.Д., Орлова М.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОШКА PA12 ДЛЯ SLS-ПЕЧАТИ……..1151
Еремицкая К.Е.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА НАПЛАВЛЕНИЯ
НА МИКРОСТРУКТУРУ СТАЛИ 12Х18Н10Т ПОСЛЕ ПРЯМОГО
ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ……1154
Злобин Е.П.
ВЛИЯНИЕ УГЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ТОЧНОСТЬ ПРЯМОГО
ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ И РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИПУСКОВ……1158
Зотов В.А., Зулаева Г.В.
ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ФОТОПОЛИМЕРНОЙ 3D-ПЕЧАТИ
ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ В АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ……1161
Кретов К.С., Злобин Е.П.
АНАЛИЗ И ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ
ФОРМИРОВАНИЯ НАКЛОННЫХ СТЕНОК ПРИ ПРЯМОМ
ЛАЗЕРНОМ ВЫРАЩИВАНИИ РАКЕТНОГО СОПЛА……..…1165
Марданов З.А.
ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РЕМОНТЕ
ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ……1169
Мозжерин В.В., Васильев И.С., Терентьев А.А.
ОБРАБОТКА ПОРОШКА ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ
В ИНДУКТИВНО-СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМЕ…….……1173
Морозов В.В., Никифоров С.А., Шварц И.В.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ПОТОК ПОРОШКА В КОАКСИАЛЬНОМ СОПЛЕ ПРОЦЕССА
ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ…….....1177
Овчаренко В.А.
ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВА ИНКОНЕЛЬ 625, ПОЛУЧЕННОГО
ПО ТЕХНОЛОГИИ ПЭЛАП, НА СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ……..…1180
Рожкова Е.А.
АДДИТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО СЛОЖНЫХ ФИТИНГОВ ДЛЯ
СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ……..1185
Сурин Л.Е.
ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРАДИЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ……...……...…1189
Шафигуллин Л.Н., Романова Н.В., Габдрахманов А.Т.
ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА
ПО ТЕХНОЛОГИИ SLA ПЕЧАТИ……1193
Шварц И.В.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ
3D ПЕЧАТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ……..……1199

СЕКЦИЯ 13
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

Абдулазимов Э. Э.
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ С ФУНКЦИЕЙ
АВТОМАТИЧЕСКОГО ВОЗВРАТА К ТОЧКЕ ВЗЛЁТА ……..……1205

Акмалетдинов Х. Р.
РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КВАДРОКОПТЕРОМ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЗУАЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ……..……1208
Алексеев С.В
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ……..……1214
Арбузов А.Р.
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ
ДВУХКОЛЕСНОГО РОБОТА С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ ПРИВОДОМ……..….1218
Аржанов Д.Н.
СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ
ДВУНОГОГО РОБОТА ПРИ ХОДЬБЕ ПО НАКЛОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ…….1224
Арсентьева А.И.
РОЛЬ БИОМЕХАНИКИ В ФОРМИРОВАНИИ ПРИБОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ
ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВНЕЗАПНОЙ СЕРДЕЧНОЙ СМЕРТИ У СПОРТСМЕНОВ……...1229
Арсентьева А.И.
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АДАПТАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ
ДЛЯ МОНИТОРИНГА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ПАРАМЕТРОВ……..…1233
Арсентьева В.И.
МОНИТОРИНГ БИОМЕХАНИКИ В ИЗОКИНЕТИЧЕСКОМ ТРЕНАЖЕРЕ ДЛЯ
ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ……...…..1237
Арсентьева В.И.
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ БИОМЕХАНИКИ
В ТРЕНАЖЕРЕ ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ……1240
Астафьева А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МЕТОДОМ ЛАХ И ЛФХ
И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМ ПРИБОРОМ…....1244
Ахметзянов Н.Н.
ДЕТАЛИ ПРИБОРОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ СОВРЕМЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ…...1250
Ахметова Я.Т.
ТОЧНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ПРИБОРОВ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ……1255
Бабиков А.И.
РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОЙ БАЛАНСИРОВОЧНОЙ ПЛАТФОРМЫ…...…..1260
Балабанова-Головина Е.В.
РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ
ДЛЯ САМОХОДНОГО СРЕДСТВА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ……..…1263
Веденеева Д.В, Штэнгауэр А.Р
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ПОТОКА ГАЗА В КАМЕРЕ ТОРМОЖЕНИЯ
АВИАЦИОННОГО ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ……1267
Волков И.А.
УПРАВЛЕНИЕ БОКОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ ГРУППЫ БПЛА ……..……1271
Гарафутдинов А.А.
ОБЗОР МИКРОСХЕМЫ ADS1299 ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНОЙ
РЕГИСТРАЦИИ БИОПОТЕНЦИАЛОВ……1277
Генсер Д.В, Матюк И.С.
КРИТЕРИИ ВЫБОРА АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ
В ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЯХ ДО 1 КВ……..……1281
Генсер Д.В.
ВЫБОР ПАССИВНЫХ ФИЛЬТРОВ ГАРМОНИК……...……...1285
Глазков А. В.
РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОХРАННОЙ СИСТЕМЫ
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА ……..……1289

Гончарова Е.К.
ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МАЛОКАНАЛЬНОГО
ОПТИЧЕСКОГО ПРИЕМНИКА……....1292
Губайдуллина А.В.
РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ
МЕДИЦИНСКОГО ОДЕЯЛА СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО ОБОГРЕВА ПАЦИЕНТОВ...1298
Давлетова Г.А.
ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПЛАТЫ НОСИМОГО УСТРОЙСТВА
ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА НОВОРОЖДЕННЫХ……...……1302
Давлетова Г.А.
РАЗРАБОТКА НОСИМОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОНИТОРИНГА
ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА НОВОРОЖДЕННЫХ……1308
Дьяконов К.Г
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТОК РАЗЛИЧНОГО ТИПА……...……1315
Евтушенко Н.А.
РАССМОТРЕНИЕ МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОПИЛОТА ТУ-214……1321
Ершова Е.В., Хазов Д.В.
ПЕРЕРАСЧЁТ И ОПТИМИЗАЦИЯ ОБЪЕКТИВА DOUBLE GAUSS
ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ РОССИЙСКИХ МАРОК ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА……1325
Естерекова К.С.
ПРОГНОЗНАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ
РАСХОДА НА ОСНОВЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ……1331
Жаринов А.В.
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ГЕНЕРАЦИИ ТЕСТОВ ДЛЯ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРУКТУРНОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ВЕРИФИКАЦИИ
БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ.……...…1335
Журавлева К.С.
АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОПИЛОТА ВЕРТОЛЁТА ……..…...1341
Журавлева К. С.
ОЦЕНИВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВЕРТОЛЁТА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
ВЕТРОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ……1347
Ипполитова С.В.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ……..…1353
Ипполитова С.В.
КАЧЕСТВО ДЕТАЛЕЙ ПРИБОРОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ...1357
Камалов А.И.
ОБЗОР ДАТЧИКОВ ВИБРАЦИИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ
МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ……..…1360
Ковалев Д.В.
ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕГРИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ БУРЕНИИ В АППАРАТУРУ LWD……1364
Козловский Р. В., Козловский Г. В.
ИНТЕРФЕЙС ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ О ВЫСОТНО-СКОРОСТНЫХ И
АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ……1368
Козловский Р.В., Козловский Г.В.
СТЕНД ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ КАНАЛОВ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ……...……1372
Косолапова А.О., Тихонова М.А., Шидловский Н.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МОДУЛЯЦИИ
ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ ПО СЕТЯМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ……1375

Мавков Д.А.
МОДЕРНИЗАЦИЯ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ПУЛЬСИРУЮЩИМ ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ДЛЯ БПЛА……...……1381
Микрюков И.Д.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВЕРТИКАЛИЗАЦИИ ПАЦИЕНТА ДЛЯ САМОХОДНОГО СРЕДСТВА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ТРАВМАМИ НОГ....1384
Микрюков И.Д.
РАЗРАБОТКА ХОДОВОЙ ЧАСТИ ДЛЯ САМОХОДНОГО СРЕДСТВА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ТРАВМАМИ НОГ…….....1389
Муллагалиев Д.Р.
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ВЗАИМНОГО ПОЛОЖЕНИЯ РЕЛЬСОВЫХ НИТЕЙ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ……1393
Николаева Я.С., Егоров В.В.
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ……1400
Рамазанов А.О.
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ……1404
Садриев С.И.
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЗАПОЛНЕНИЯ РЕЗЕРВУАРА НЕФТЕГАЗОВЫМИ ПРОДУКТАМИ ……1407
Сокол И.Н.
РАЗРАБОТКА ЛОГИКО-МЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ БЛОКА РУКОЯТКИ ПОЗИЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯМИ ГИДРОСАМОЛЕТА……...……1412
Фенин М.В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ КРЕНОВОЙ РАМОЙ КУРСОВЕРТИКАЛИ ……...……1416
Шафигина А.Э.
ОЦЕНКА РИСКА ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ (ИСПЫТАНИЙ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ОТКАЗ) ……1422
Шилин Д.А.
СТЕНД ВИЗУАЛЬНО-ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ…….....1426
Шудегов В.Н.
МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ……1429
Яковлев Е.В.
ЗАДАЧА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ АСТРООРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ.....….1435

СЕКЦИЯ 14
ИНЖИНИРИНГ ТЕХНОСФЕРЫ

Бараненко Д.Ю.
ОТРЫВ И ПРОСКОК ПЛАМЕНИ ПРИ ГОРЕНИИ ГАЗА В БЫТОВЫХ ПРИБОРАХ…...1440
Бараненко Д.Ю.
ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА НА РАБОТУ БЫТОВЫХ ГАЗОВЫХ ПРИБОРОВ…...….1443
Борисова Р.Р.
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ……...…1446
Водянчук К. В.
СИСТЕМА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЯ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ…….……1450

Гилязова А.И.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА И СУЛЬФАТОВ В ПОЧВЕ……...……1454
Закиров Т.Р.
СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЛИНИИ ПЕРЕРАБОТКИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ...1458
Кубик Н.Р.
ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ……...……1461
Латыпова И. И.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВОЙ ДОЛИ ПОДВИЖНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА В ПОЧВЕ……..……1465
Морзак Г. И., Сырникова К. А.
ЭКОЛОГИЗАЦИЯ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД
К ОХРАНЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ……..……1469
Мурзаханов Я.А.
ПЕРЕРАБОТКА ГЛИНИСТОГО ОТХОДА ОЧИСТКИ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ……1473
Нургалеева А. Р.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ
ВОД ХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ……..……1477
Платонова М.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЕСТРУКЦИИ ФЕНОЛЬНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ ИММОБИЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ФЕРМЕНТОВ ……1481
Портнова Е.П.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МЕМБРАННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ
ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА……...……1485
Розинов Н. С.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД
ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА……...…1489
Сагадиева А.Р.
МОДЕРНИЗАЦИЯ АДСОРБЦИОННОГО МЕТОДА ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ
ВОД ПОЛИМЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА ОТ ИОНОВ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ……..…1493
Степанюк М.А.
ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО
ПОКРОВА И ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ
В УРБОСИСТЕМЕ Г. МИНСКА……1497
Таранов В.С.
СИСТЕМА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ВИНОДЕЛЬЧЕСКОГО
ПРОИЗВОДСТВА ОТ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ……1502
Ткаченко С.А.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУЛЬФАТОВ В ПОЧВЕ……...……1505
Троегубов А.С.
АНАЛИЗ ПРИМЕНЯЕМЫХ СТРУКТУРАТОРОВ ДЛЯ
КОМПОСТИРОВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД……1509
Фентисов Ю.Р., Красников И.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ АЗС……...……1514
Хазбуранов Р.А.
СИСТЕМА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД АВТОМОЙКИ
ОТ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ, НЕФТЕПРОДУКТОВ И ПАВ……1518
Чмурова Д.А, Супраненок Г.В.
ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛЫ ОТ СЖИГАНИЯ
ТОРФА В АГРАРНОМ СЕКТОРЕ ……1522

Штурбабин Н.С.
КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОСТАВА ВОД
ИЗ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОДОИСТОЧНИКА……...……1526

СЕКЦИЯ 15
УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ТЕРРИТОРИЙ

Азерская П.А., Пискурович Е.В.
ОСАДОК ВОДОПОДГОТОВКИ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ
КАК КОМПОНЕНТ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ…….……1532
Габов С.А.
ВС МАЛОЙ АВИАЦИИ РАЗМЕРНОСТЬЮ ДО 19 КРЕСЕЛ
В СОВРЕМЕННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ РФ…….……1535
Гибадуллина Р.Ф.
СПЕЦИФИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
В ОБЩЕЖИТИЯХ ДЛЯ ЛИЦ С НАРУШЕНИЕМ СЛУХА……1542
Гибадуллина Р.Ф.
СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О ПОЖАРАХ
В ОБЩЕЖИТИЯХ ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ
ЗДОРОВЬЯ (С НАРУШЕНИЯМИ СЛУХА) ……1546
Зарипов Р.Ф., Минязев А.Н.
РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ НА ГАЗОТРАНСПОРТНОМ ПРЕДПРИЯТИИ……..…….1550
Зарипова Л.Р.
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ
ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАЙОНОВ ГОРОДА КАЗАНИ…….....…1556
Зарипова Л.Р.
УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ ОХРАНЫ ТРУДА……...1560
Иванова Т.А., **Полыгалов С.В.**
АНАЛИЗ СОСТАВА И СВОЙСТВ ХЛОПЬЕВ ПОЛИЭТИЛЕНА
НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ. ……..…1564
Казакова С.А., Исмагилова Э.И.
ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ…1567
Казакова С.А., Исмагилова Э.И.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКОВ ВЫЗОВОВ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ И
ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖАРОТУШЕНИЯ В ЖИЛОМ СЕКТОРЕ……..…1572
Калайбашев И.М.
СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ТУШЕНИЮ ПОЖАРА – ПОЖАР И РОБОТЫ……..…..1579
Карпенко П.Ю., Грудская Е.И.
ЛУЗГА ГРЕЧИХИ КАК СЫРЬЁ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТВЁРДОГО
БИОТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ТОРФА……..……1582
Кильмаматова К.Н.
АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ И ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ…….1586
Кильмаматова К.Н.
АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ
ИНФРАСТРУКТУРЫ……..……1590
Коротков А.В., Агзамов А.А.
ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
НА ОБЪЕКТАХ СКЛАДСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ……1595

Кузнецова М.А.
О МЕЖВЕДОМСТВЕННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ В ПОДГОТОВКЕ КАДРОВ ДЛЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПОЖАРНОГО НАДЗОРА……1599
Микулёнок А.А.
МОБИЛЬНАЯ МЕТЕОСТАНЦИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА БАЗЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА……1606
Минязев А.Н., Зарипов Р.Ф.
О НАПРАВЛЕНИЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ……1613
Мозжегорова Ю.В.
ОЦЕНКА УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ТВЕРДООКСИДНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА……1619
Мугатарова П.А.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД……1623
Муравьёв Б.Я., Волкова А.Н.
РОЛЬ СРЕДСТВ МАССОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕРРИТОРИЙ К БЕДСТВИЯМ……1627
Насретдинова А.А.
МЕРЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН ПРИ АТАКЕ БПЛА……1633
Насретдинова А.А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ К ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ……1636
Садыкова М.В.
БЫСТРОРАЗВИВАЮЩИЕСЯ ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ: ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ И ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ……1641
Саляхутдинова А.А.
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ИСТОРИЧЕСКОЙ ТЕРРИТОРИИ Г. КАЗАНИ ……1645
Саляхутдинова А.А.
МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ ОЦЕНКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ……1649
Сафонова А.В.
КЛАСТЕРНАЯ МОДЕЛЬ АВИАТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ……1653
Сорокин Н. И, Нестеров К. В.
ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА С ЦЕЛЬЮ МОНИТОРИНГА РАЗВИТИЯ ПАВОДКОВОЙ ОБСТАНОВКИ……1657
Шибаев П.Б.
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ СТРАТЕГИИ, КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ: АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ОБУЧЕНИЯ……1661

СЕКЦИЯ 16,18 ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА, ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Ахметова И.Р.
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ……1670
Белов Н.В.
СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ПРОЦЕССОРОВ С АРХИТЕКТУРОЙ ARM ……1675

Бурмистрова В.С.
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ……..……1680
Вагизов Т.Р.
ПРИМЕНЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ЗАВИСИМОСТЕЙ МЕЖДУ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИН В ВУЗЕ..…1685
Вагизов Т.Р.
ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ЗАВИСИМОСТЕЙ В ПРОЦЕССАХ ФОРМИРОВАНИЯ НАВЫКОВ ОБУЧАЮЩИХСЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО СЛЕДА…….1689
Воронов И. Д.
КИБЕРУГРОЗЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ……..…1694
Гринин М.О.
ИЗМЕРИТЕЛЬ РАССТОЯНИЯ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА……..…1697
Ермолин А.А.
АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ БЛОКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЛУЧАЙНЫХ ДВОИЧНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ С ГРАФИЧЕСКИМ ИНТЕРФЕЙСОМ НА ПЛИС……1701
Загранчук В. Н.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАЛЬКУЛЯТОРА НА БАЗЕ ПРОГРАММИРУЕМОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ……..…1707
Закиров И.Р.
РЕАЛИЗАЦИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ С ПЛИС……1713
Зиалтдинов Р.Э.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЯ АССОЦИАТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ В POSTGRESQL……..…1720
Кадыков И.Д.
РАЗРАБОТКА ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СРЕДЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ И АНАЛИЗА УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: РЕАЛИЗАЦИЯ В СИСТЕМЕ АОС МПР…….1724
Майоров Б.А.
РАЗВЁРТЫВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ КОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ MATRIX В КОРПОРАТИВНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ……...……1730
Мерзликин Т.А.
МАТЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ НАГЛЯДНОГО УЧЕБНОГО ПРИБОРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ОРБИТЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА…….....…1737
Прусакова Е.С., Набиуллин И.И.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНТРОЛЛЕРА СВЯЗИ……...……1742
Семенов Д.Г.
ОПТИМИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА СРЕДСТВАМИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРОВ ТТЛ……..……1747
Чумарин Г.А.
ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ РЕШЕТОЧНЫХ УРАВНЕНИЙ БОЛЬЦМАНА ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОЙ АНИЗОТРОПНОЙ ДИФФУЗИИ……1750
Шульга А.А., Аликин Н.А.
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ О НАГРУЖЕННОСТИ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ……1757

СЕКЦИЯ 17
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Ахметзянова Р.Р.
ПРИМЕНЕНИЕ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ АВИАЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА……...…1762
Васильев Е.Э., Милошина А.И., Котляр Д.И.
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ВЫДАЧИ И ПОЛУЧЕНИЯ ПОСЫЛОК НА ПРОИЗВОДСТВЕ……...……1765
Волков К.А.
РЕАЛИЗАЦИЯ КАСКАДНОГО КЛАССИФИКАТОРА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ……...…1769
Галиакберов Д.А.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФРЕЙМВОРКОВ ДЛЯ ANDROID-РАЗРАБОТКИ.....1773
Галиев Б.М.
ТЕОРЕТИКО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКИ СТОЙКИХ ХЕШ-ФУНКЦИЙ В ЗАЩИЩЁННЫХ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМАХ……1778
Галиев Б.М.
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПЕРСОНАЛИЗАЦИИ ТРАЕКТОРИЙ ОБУЧЕНИЯ: АРХИТЕКТУРА АДАПТИВНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ……...……1783
Жданов А.С., Шайдуллин Д.А, Мурсалимов В.И.
СОЗДАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ RAG-СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В АВИАЦИОННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ……..…1788
Зарипов А.Р., Зарипова Д.Н.
АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ C# И WPF В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ…...……1796
Зарипова Д.Н., Зарипов А.Р.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ АРХИТЕКТУР ДЕТЕКЦИИ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ЗАДАЧ АЭРОВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ……..…1800
Зорькин А.А., Ильичев Д.А., Суворов Н.Д.
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ТРАНСЛЯЦИИ REST В RPC……..……1805
Зорькин А.А., Ильичев Д.А., Мухаметзянов Б.Р.
АВТОМАТИЗАЦИЯ REST НА ОСНОВЕ OPENAPI……...……1811
Зырянов В. А.
РАСПОЗНАВАНИЕ ЖЕСТОВ: СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ, ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ……1816
Кирилин А.М.
РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТАВКОЙ ТОВАРОВ КУРЬЕРСКОЙ СЛУЖБОЙ ……...……1820
Клопов И.В.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ……..……1826
Колобова Д.А.
МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА…….……1832
Корнеевец М.А.
ДЕКОМПОЗИЦИЯ МНОГОЗАДАЧНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ: НЕЗАВИСИМЫЕ ВЫХОДЫ НА ОБЩЕЙ ЯЗЫКОВОЙ МОДЕЛИ……..……1835

Курбанов Б.
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
СОНЛИВОСТИ ЧЕЛОВЕКА ПО ДИНАМИКЕ ВЫРАЖЕНИЯ ЛИЦА……1839
Курбанов Д.И.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ
ПО КОНТЕКСТУ С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕРАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ……1842
Лисина Т.Б.
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА КЛИМАТ-КОНТРОЛЯ ПОМЕЩЕНИЯ……...…….1847
Любимова А.В., Сазанова М.В., Уланова Ю.А.
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ
МОНИТОРИНГА НЕГАТИВНОГО КОНТЕНТА В TELEGRAM……..……1850
Набиев Н.Ф.
ВИРТУАЛЬНЫЙ МУЗЕЙ КНИТУ-КАИ:
ЦИФРОВОЙ МОСТ МЕЖДУ ПРОШЛЫМ И БУДУЩИМ……1853
Никоноров Д.П.
МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПУПИЛЛОГРАММ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ УТОМЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА……1858
Ольшевская М.А
ХАРДЕНИНГ GRUB. ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ……1861
Осадчий М. В.
УСПЕШНЫЙ ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ПРОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТЕЧЕСТВЕННОГО
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ……...……1869
Пырнова О.А.
ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРНОСТИ НЕЧЕТКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ
НА ПОСТРОЕНИЕ НЕЙРОНЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ В УСЛОВИЯХ
ОГРАНИЧЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ…….……1875
Селезнёв Д.А., Арыстанбаева К.А.
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ИНЖИНИРИНГЕ ТЕХНОСФЕРЫ……...…1879
Сидоренко Д.В.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВАЖНЫХ
ПРЕДЛОЖЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ЯЗЫКОМ ПРОГРАММИРОВАНИЯ C#,
ИЗ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ……1882
Сиченков О.В.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ…….……1886
Тимаков Н.С.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ
ДЛЯ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ……...…1891
Тимаков Н.С.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТУРИСТИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ……...1895
Тишина Т.С.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТОВ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ…….....…1898
Тишина Т.С.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ…….....…1902
Тюрин А.В.
УЛУЧШЕНИЕ УРОВНЯ ОБРАЗОВАНИЯ В УЧЕБНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ
ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ CRM-СИСТЕМ И ВЕБ-РЕСУРСОВ……...……1906
Ханнанов Н.К.
ИНТЕГРАЦИЯ ДАННЫХ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА
И ГЕОМАГНИТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНУЮ
СИСТЕМУ ПОДДЕРЖКИПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ……1910

Хисматова Л.Ф.
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВИКТОРИН……..……1917
Хисматова Л.Ф.
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНЫХ……..……1921

СЕКЦИЯ 19
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Аликберова Е.О.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО
ЗРЕНИЯ В МОБИЛЬНОМ ПРИЛОЖЕНИИ ДЛЯ
САМОКОНТРОЛЯ ПРИ САХАРНОМ ДИАБЕТЕ……..……1927
Амирханов А.А.
ТРАССИРОВКА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ
НА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ С УЧЁТОМ КРИТЕРИЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ……...…1930
Арусланов Ш.Р.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ
АЛГОРИТМОВ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ АНТЕННЫХ СИСТЕМ…….……1933
Аскаров А.И.
АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМПОНОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ
СХЕМЫ ПО МОДУЛЯМ ГИБКО-ЖЕСТКОЙ ПЕЧАТНОЙ
ПЛАТЫ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА……..…1938
Ахмадуллина А.Ф.
АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМПОНОВКИ БЛОКОВ БОРТОВОЙ
АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА ЛЕТУЧИХ МЫШЕЙ……...……1944
Галиуллин Н.А.
АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПЕЧАТНОЙ
ПЛАТЕ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА КУКУШКИ……...…1948
Гильмуллин Ф.В.
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ИЗДЕЛИЙ……..……1952
Ефремова Е.Н.
АВТОМАТИЗАЦИЯ АНАЛИЗА ПРЕДНАМЕРЕННЫХ
HIRF-ВОЗДЕЙСТВИЙ НА БОРТОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВЕРТОЛЕТА……..…1955
Зайцев И.Ю.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ КОРПУСА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТ…….1960
Запьянцев О.В.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ
С ПОМОЩЬЮ ИИ: АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ И РАЗРАБОТКА GDSHIELD…….....1964
Иванов К.Н., Кушуков С.В.
МУЛЬТИАГЕНТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННГО ВЕБ-ПАРСЕРА……1970
Иванов К.Н., Кушуков С.В.
ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДОКУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ……....1973
Кардопольцев Д.Д.
РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ
НА ОСНОВЕ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА……1976

Козловский А.В.
АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА СЕРЫХ ВОЛКОВ……..……1981
Крачинова М.В., Пармоник В.В.
ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ИСКУСТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОЕКТИРУЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ……..…1985
Крупенникова Д.Е.
АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ФЮЗЕЛЯЖЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА……..……1989
Митина К.И.
АВТОМАТИЗАЦИЯ СИНТЕЗА ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ……1992
Перепелица М.А., Ванчикова Л.С., Островская В.М.
СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ……..……1997
Рамазанов Т.Р.
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЯМОГО УДАРА МОЛНИИ В КОМПОЗИТНЫЙ ФЮЗЕЛЯЖ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА……2003
Рафанов А.В.
АНАЛИЗ ПОМЕХ ОТРАЖЕНИЯ И ЗАДЕРЖЕК СИГНАЛОВ В МЕЖСОЕДИНЕНИЯХ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ IBIS-МОДЕЛЕЙ……2009
Рогозинская А.Л.
МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ВИХРЕЙ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ……...……2015
Трифонов Э.А.
АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМПОНОВКИ КОНСТРУКТИВНЫХ МОДУЛЕЙ В БЛОКЕ ЭЛЕКТРОННОГО СРЕДСТВА……2019
Ушаков А.Ю.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА (P-STATIK) НА БОРТОВЫЕ СИСТЕМЫ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ……..……2023
Фаизова З.И.
РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ……...…2028
Хузиева Р.М.
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ КОМБИНАЦИИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО И ОБЕЗЬЯНЬЕГО АЛГОРИТМОВ……..……2032
Хузиева Р.М.
ТРАССИРОВКА ЖГУТОВЫХ МЕЖМОДУЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В БЛОКЕ ЭЛЕКТРОННОГО СРЕДСТВА……2036
Хусаинов Р.М.
ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЯХ……2041

Цуканов М.А.
РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ КОМПОНОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМ
ПО МОДУЛЯМ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ С УЧЕТОМ КРИТЕРИЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ……...…….2046
Четкарев Н.С.
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОГО АНАЛИЗА ПЕЧАТНОЙ
ПЛАТЫ ПРИ ПРИНУДИТЕЛЬНОМ ОХЛАЖДЕНИИ……...……2051
Шаймарданова Д.В.
АДАПТИВНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ УГРОЗ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОТОКОВОЙ ОБРАБОТКИ ЖУРНАЛОВ
АУДИТА И ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ……2056
Шаймарданова Д.В.
ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССНОЙ АНАЛИТИКИ И ГЛУБОКОГО
ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В СИСТЕМНЫХ ЛОГАХ……..……2060
Шаповалова Д.А.
ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ
ПРИ СОЗДАНИИ КОМАНДЫ РАЗРАБОТЧИКОВ…….……2064
Шестакова А.П.
АНАЛИЗ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ ТРАКТОВ АНТЕННО-ФИДЕРНЫХ
УСТРОЙСТВ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА……...……2067
Щербаков И.В.
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ:
ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ……...……2072

СЕКЦИЯ 20
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Акбиров И.И
ОЦЕНКА ФОТОРЕЗИСТОРОВ ПО КЛЮЧЕВЫМ ПАРАМЕТРАМ
ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПУЛЬСОМЕТРЕ НА БАЗЕ
МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ATMEGA48……...……2077
Борисов Д.С.
РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ГИДРОПОННОЙ СИСТЕМЫ…….….2082
Валиуллин Ш.Р.
УСТРОЙСТВО СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ
НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТА ПЕЛЬТЬЕ…….....……2089
Вильданов Р.Р.
РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ…….……2092
Гараев Б.И.
РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЮ РУКИ-
МАНИПУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА МІК-32 АМУР……..….2096
Гарифуллов М.Р.
РАДИОМОДУЛЬ НА БАЗЕ РОССИЙСКОГО
МИКРОКОНТРОЛЛЕРА МИК32 АМУР……..……2102
Гасанов А.А.
ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ГЕНЕРАТОРА ПАЧКИ
ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ……..…2107

Гимадиев А.И.
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОТОКОЛОВ СВЯЗИ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В УСТРОЙСТВАХ УПРАВЛЕНИЯ ДОМОМ……2111
Гурдин Д.А.
КОМПЕНСАЦИЯ ИЗЛУЧАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ОБЪЕКТА
ДЛЯ ИНФРАКРАСНОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ……..……2115
Гусев А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЗИЧЕСКОГО
МАКЕТА РЕЗОНАНСНОГО СВЧ-ДАТЧИКА КРУГЛОЙ ФОРМЫ…….……2119
Долгов С.К.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ
ОСОБЕННОСТЕЙ ПОДЛОЖЕК ИЗ ПЕНОНИКЕЛЯ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ
СВОЙСТВА СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ МЕТОДАМИ МИКРОСКОПИИ…….……2124
Еграшин Н.А.
РАЗРАБОТКА МЕТОДА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ……...……2128
Загеров А.А.
РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ПОРТАТИВНОЙ КЛАВИАТУРЫ БАЯНА…….……2133
Иванов А.Е., Тепляков А.А.
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ОЦИФРОВКИ АУДИОСИГНАЛА
С ПРЕДУСИЛИТЕЛЕМ И ИНТЕРФЕЙСОМ USB TYPE-C НА ОСНОВЕ
СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ……..……2137
Кальметов Т.В.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ
И МЕДНЫХ СЕТЕЙ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ……..……2141
Камолов А.А.
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ
КОНТАКТА КРЕМНИЙ-АЛЮМИНИЙ (ТОЧЕЧНАЯ «СВАРКА») …….……2146
Ковалев В.К., Загидуллин Р.М.
УСТРОЙСТВО ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАТОПЛЕНИЯ ДЛЯ БЫТОВОГО И
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ НА БАЗЕ MIK32 АМУР……...……2151
Куданкин Е.М.
СРАВНЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВОЗБУЖДАЮЩЕЙ ЛИНИИ
ОТНОСИТЕЛЬНО SRR РЕЗОНАТОРА В МИКРОПОЛОСКОВОМ ДАТЧИКЕ……..…2156
Кузнецова Е.П.
РАЗРАБОТКА БУДИЛЬНИКА С АВТОРЕГУЛИРОВКОЙ
ГРОМКОСТИ И ЯРКОСТИ ПОДСВЕТКИ……...……2163
Кучумов Д.М.
РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ
НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЛЕРА PIC……...……2169
Ломаева Е.К.
КОНЦЕПЦИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ РЕАЛИЗАЦИИ
2,5D КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ……...……2175
Мамин Р.Г.
МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАСЫЩЕНИЯ КРОВИ КИСЛОРОДОМ
ПОСРЕДСТВОМ ПУЛЬСОКСИМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА……2178
Марков С.А.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ СЕЙСМИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНЫХ ДАТЧИКОВ……2183

Михо Р.Б.
ОБЗОР АНАЛИТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВЫЧИСЛЕНИЯ ИНДУКТИВНОСТИ ОДИНОЧНОГО ПЕРЕХОДНОГО ОТВЕРСТИЯ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ……...……2187
Насыров А.Д.
РАЗРАБОТКА НОСИМОГО УЗИ АППАРАТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ……2191
Наумов О.А.
РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО БЕЗМАСОЧНОГО ЛИТОГРАФА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭКСПОЗИЦИИ ФОТОРЕЗИСТА……...……2194
Нахалов Е.П.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА IP2366 ДЛЯ МОЩНЫХ ПОРТАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ……2201
Нестеров И.А.
СПОСОБ РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПОРТАТИВНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА С НАКОПИТЕЛЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ……2206
Ништугин И.Д.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЗВУКА И КОНЦЕПЦИЯ ЕЁ РАЗВИТИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ ИЛИ ТЕХНИКИ……...……2212
Нишонов Р.Э.
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ АДАПТИВНОГО ТИПА ДЛЯ ПОДАЧИ СТАБИЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ……...……2219
Попов А.А.
УСТРОЙСТВО ОБХОДА ПРЕПЯТСТВИЙ С ПОМОЩЬЮ GPS НАВИГАЦИИ ДЛЯ СЛАБОВИДЯЩИХ ПАЦИЕНТОВ…….……2224
Романчева Т.А.
РАЗРАБОТКА УЧАСТКА ПОД АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНТАЖ КОМПОНЕНТОВ ПОВЕРХНОСТНО-МОНТИРУЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ РАЗМЕЩЕНИЕМ МАЛОГАБАРИТНЫХ И КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОМПОНЕНТОВ ……...…2228
Румянцев П.В.
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ РАЗЛИЧНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНОВ В ОПТИЧЕСКИХ ПУЛЬСОМЕТРАХ……..…2232
Сафарова В.В.
РАЗРАБОТКА СТЕЛЛАЖА С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕМИ ПРОТИАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТОЙ ……2238
Саяхов Р.И.
РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ ЦИФРОВЫХ ЧАСОВ……..……2245
Сергеев С.С.
АДАПТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ К УСЛОВИЯМ СТУДЕНЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ……..……2248
Соколов Р.Э.
РАЗРАБОТКА ГЕРМЕТИЧНОГО КОРПУСА ДЛЯ ЭЛЕКТРОНИКИ ГИДРОПОННЫХ СИСТЕМ С ЗАЩИТОЙ ОТ КОНДЕНСАТООБРАЗОВАНИЯ……...…2252
Стариков С.Е., Поляев А.В.
ПОРТАТИВНАЯ КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РЕМОНТА КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ……2256
Стариков С.Е.
БЕСКОНТАКТНЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ СЕЛЬСИНЫ В СИСТЕМАХ ВИБРОЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ……...……2260

Тепляков А.А.
АКУСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНОГО ШВА ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ……2264
Туганова Д.Ю.
РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ
ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ ФОРМИРОВАТЕЛЯ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ……..…2268
Федоров А.Г.
РАЗРАБОТКА ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО РЕЗОНАНСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
НАПРЯЖЕНИЯ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ЧАСТОТОЙ……2272
Федоров А.Ю.
ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДОПУСКОВ
РАДИОПРИЕМНЫХ ТРАКТОВ ЦИФРОВЫХ АНТЕННЫХ
РЕШЕТОК ДЛЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ ПРИЕМНИКОВ ГНСС…….……2277
Харитонов Д.Ю.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРФЕРОМЕТРА
ФАБРИ-ПЕРО НА ОСНОВЕ НИОБАТА ЛИТИЯ……2282
Цепелев М.В.
СПОСОБЫ РАЗМЕЩЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ВНУТРИ
СТРУКТУРЫ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ……..……2285
Чернов С.А., Куданкин Е.М.
МИКРОПОЛОСКОВЫЕ ДАТЧИКИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕМЕНТАРНОГО
SRR РЕЗОНАТОРА С КВАДРАТНЫМ КОЛЬЦОМ……2290
Чернов С.А.
МИКРОПОЛОСКОВЫЕ ДАТЧИКИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕМЕНТАРНОГО
SRR РЕЗОНАТОРА С КРУГЛЫМ КОЛЬЦОМ……2296
Чернова П.А., Загидуллин Р.М.
СОЗДАНИЕ ПРОТОТИПА ЛАЗЕРНОГО МУЗЫКАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА…...……2302
Шахбанов Р.М.
УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ СРЕДЫ В ГИДРОПОННЫХ СИСТЕМАХ……2307
Шахтин К.А.
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК НА ОСНОВЕ
ВОЛОКОННОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКИ……..…2312
Шулаев Е.О.
ПОЛУЧЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ
МАТЕРИАЛА ИССЛЕДУЕМОГО ПРИ ПОМОЩИ ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО
КОАКСИАЛЬНОГО РЕЗОНАТОРА……..……2317
Юсупов И.В.
ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ НАШЛЕМНЫЙ РЕГИСТРАТОР
С РЕЧЕВЫМ ОПОВЕЩАТЕЛЕМ О ПРИБЛИЖЕНИИ БПЛА,
В ТОМ ЧИСЛЕ БПЛА «КАМИКАДЗЕ».. …….……2323
Ягудина Э.Р., Голованов М.С., Соколов В.С.
ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОЙ ДЕМЕТАЛЛИЗАЦИИ ТОНКИХ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК НА КЕРАМИЧЕСКИХ ПОДЛОЖКАХ СТ32-1……..……2328
Ягудина Э.Р., Голованов М.С., Соколов В.С.
КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК
СТ32-1 И ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКИХ ПЛЁНОК В МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ
ВАКУУМНОЙ УСТАНОВКЕ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ УРМ3.279.011–М4..2335
Ялуков Д.Д.
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ОБХОДА ПРЕПЯТСТВИЙ С ИСКУССТВЕННЫМ
ИНТЕЛЛЕКТОМ ДЛЯ СЛАБОВИДЯЩИХ ПАЦИЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ GPS
НАВИГАЦИИ И МНОГОЗОННОГО ОПТИЧЕСКОГО ДАЛЬНОМЕРА……..…2340

Яппаров И.А.
ПЕРЕХОДНАЯ ПЛАТА ТЕСТЕРА МИКРОСХЕМ ДЛЯ ЗАДАЧ
КОНТРОЛЯ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕРИИ CD40XX……...……2345

СЕКЦИЯ 21
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Батманов Р.А.
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТИ И
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ……..……2353
Белый Д. А.
РАЗРАБОТКА АППАРАТНОГО МУЛЬТИЗАДАЧНОГО ТОКЕНА……2356
Гайфуллин Н.М.
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ
РАСПОЛОЖЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ
НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ……...……2363
Галиева К.Р.
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ……...…2367
Давыдов Н.В.
ОБЗОР И АНАЛИЗ РОССИЙСКИХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ
АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ И БИЗНЕС-АНАЛИТИКИ
НА ПРИМЕРЕ ВНЕДРЕНИЯ PIX ROBOTICS……..……2371
Егоров Г.И., Юртунбаев Д.Р.
СИСТЕМА МОНИТОРИНГА РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХИ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ..2375
Енилиев Р.Р.
ПРОГРАММНАЯ ОБРАБОТКА РЕЛАКСАЦИОННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ НА ИХ ОСНОВЕ……2379
Жемаева Д.А., Кулешов Д.А.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ
РАСПОЗНАВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЛС ОЛП «АЛЬКОР» ……..…2382
Залялов Н.И.
ОЦЕНКА ШУМОВЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПОМЕЩЕНИЯ……...……2389
Кадырова А.Ф.
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ
ПОЧВЫ С АВТОНОМНЫМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ ДАТЧИКОВ……..……2393
Калашников Д.С.
ОСОБЕННОСТИ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ШПИНДЕЛЬНЫХ
УЗЛОВ СТАНКОВ С ЧПУ……..……2397
Камалеева А.А.
ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЁТОК
В МАЛОИНВАЗИВНОЙ ХИРУРГИИ……...……2400
Качанкин М.Н.
НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ПОДХОДЫ НА ПРИМЕРЕ YOLOV7
В ЗАДАЧАХ КОНТРОЛЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ……..…2404

Курбангалеева А.М.
АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ
СХЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТРОЛЛЕРА RASPBERRY PI……..…2408
Курбангалеева А.М.
РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ……2411
Манучаров Д.Р., Лихачев С.С.
КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА БИОПОВРЕЖДЕНИЯ АВИАЦИОННОГО
ТОПЛИВА МЕТОДОМ СПЕКЛ-СТРУКТУР ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ……....2415
Маркина Н.А.
АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА
НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕН РЕЛАКСАЦИИ……2421
Милошина А.И., Васильев Е.Э.
ТЕПЛОВИЗИОННАЯ КАМЕРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ……..……2424
Морозова А.И.
АНАЛИЗ МОДЕЛИ ПОИСКА КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ……..……2428
Мурин Я.С.
СИСТЕМА ЛОКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ НА ОСНОВЕ
ЛАЗЕРНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЕ
БЕСПИЛОТНЫХ МИССИЙ НА ЗАКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ……2435
Нигматзянов Д.З.
УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ВИТАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ……2438
Петровская М.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДРОБНОГО
ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ И ИНТЕГРИРОВАНИЯ……...……2442
Пикалева Е.В.
СОВРЕМЕННЫЙ МЕТОД БЕЗРАЗБОРНОЙ ДИАГНОСТИКИ
СИСТЕМ И УЗЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ……..……2446
Позднякова Е.Д., Михайлова Е.В.
ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ФАЗОХРОНОМЕТРИЧЕСКОГО
МЕТОДА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О РАБОТЕ ТРАНСМИССИИ……..…2452
Поливцев А.Д.
УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРНЫХ СБОРОК
С ГАЛЬВАНИЧЕСКИ РАЗВЯЗАННОЙ ЗАРЯДКОЙ КАЖДОЙ ЯЧЕЙКИ……..…2456
Тогузова Л.С.
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА
ЛИТИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ…….……2460
Хабибуллин Р.Р.
АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ НАЧАЛА ПЕРЕХОДНОГО
ПРОЦЕССА В ЗАДАЧАХ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ……..……2463
Шафигуллин И.Д.
КВАЗИРАСПРЕДЕЛЕННЫЙ RC-ДАТЧИК С РАДИАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ……..…2467
Шуйский Р.А.
РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА –
АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЙ……..…2472
Юртунбаев Д.Р., Егоров Г.И.
ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ РОБОТА-РЫХЛИТЕЛЯ ДЛЯ ЗЕРНОХРАНИЛИЩА……..…2478
Ягин Г.В., Шафигуллин И.Д.
ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА СОЛНЕЧНЫХ
БАТАРЕЯХ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ……...……2482

СЕКЦИЯ 22
РАДИОЭЛЕКТРРОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

Бабаев А.Д.
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ, РАЗМЕЩЕННОЙ НА БПЛА……..……2488
Бойко А.А.
СИСТЕМА УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА НЕФТЕГАЗОВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ В УДАЛЕННЫХ РЕГИОНАХ
С ПРИМЕНЕНИЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ……2491
Бойко А.А.
СПУТНИКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ
МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В УДАЛЁННЫХ……..2494
Бурков Н.В., Сергеев И.К.
УСТРОЙСТВО ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА
АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ КАРДИОСИГНАЛОВ……2498
Гордеева Д.А., Егоров В.В.
СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ПО
ИЗЛУЧАЕМОМУ ЗВУКУ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....2502
Добросоцкий Н.М., Малышев Д.О., Лапыгина О.В.
АВТОМАТИЧЕСКИЙ РАДИОМОСТ НА ОСНОВЕ LORA-СВЯЗИ И
GPS-НАВЕДЁННЫХ ОПОРНО-ПОВОРОТНЫХ УСТРОЙСТВ……...……2506
Загидуллин К.М.
ВЛИЯНИЕ ДИСБАЛАНСА КЛАССОВ НА ОБНАРУЖЕНИЯ
BPSK-СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ...…2509
Загидуллин К.М.
ВЫБОР АРХИТЕКТУРЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ
ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ QPSK СИГНАЛА. ……...……2513
Краснов М.А.
ПРИМЕНЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ ГНСС…….……2516
Курбангалиев Б.И.
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С РАЗНОСТНОЙ ДИАГРАММОЙ
НАПРАВЛЕННОСТИ НА ПЛАНАРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЯХ……..……2520
Немцев Е.А.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ТОЧЕК ДИФРАКЦИИ
В МОДЕЛИ ТРАССИРОВКИ ЛУЧЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МЕТОДА ВОЗБУЖДЕНИЯ ЛУЧЕЙ……..……2525
Спирина А.А.
МОДЕЛЬ ТРАССИРОВКИ ЛУЧЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МЕТОДА ВОЗБУЖДЕНИЯ ЛУЧЕЙ……..……2528
Степанов А.А.
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С РАЗНОСТНОЙ ДИАГРАММОЙ
НАПРАВЛЕННОСТИ НА ЩЕЛЕВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЯХ……...……2532
Терешкина М.А.
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА
ДЛЯ 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УСЛОВИЙ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В ИНТЕРЕСАХ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ..2536

Фархутдинов В.В.
РАЗРАБОТКА ШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ ВИВАЛЬДИ,
КАК ЭЛЕМЕНТА АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ, СФОКУСИРОВАННОЙ
В ЗОНЕ БЛИЖНЕГО ИЗЛУЧЕННОГО ПОЛЯ…….……2539
Фархутдинов В.В.
РАЗРАБОТКА ШИРОКОПОЛОСНОЙ СПИРАЛЬНОЙ
КОНИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ, КАК ЭЛЕМЕНТА АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ,
СФОКУСИРОВАННОЙ В ЗОНЕ БЛИЖНЕГО ИЗЛУЧЕННОГО ПОЛЯ……..……2545
Шарифулин А.Р.
КПД ФОКУСИРОВКИ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ НА НАЗЕМНЫЙ
РАДИОМАЯК ПРИ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ЭНЕРГИИ……...……2551
Шельпов Д.Д.
ФИЛЬТРАЦИЯ СИГНАЛОВ ГЛОНАСС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ……..……2555

СЕКЦИЯ 23
ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК В СФЕРЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОММУНИКАЦИИ

Abdrahmanov A.A., Shakirov E.F.
THE ETHICS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: ISSUES IN DESIGNING
DECISION MAKING ALGORITHMS FOR AUTONOMOUS SYSTEMS ……...……2560
Akhmetzyanov A.Kh.
THE ROLE OF SPECIALISED PROFESSIONAL ENGLISH IN DEVELOPING
THE COMPETENCES OF FUTURE MARKETERS……...…2563
Borisov D.A.
EFFECTIVE EMAIL COMMUNICATION IN MULTILINGUAL
WORK ENVIRONMENTS……...……2568
Vazykhov M.A., Nigmatullin R.R.
ARTIFICIAL INTELLIGENCE – A NEW TOOL FOR PROFESSIONAL TRANSLATION...2572
Gorozinsky A.I., Kurbanova V.A.
RUSSIAN PHRASEOLOGICAL UNITS WITH COMPONENT ‘SOUL’:
THEIR FEATURES AND TRANSLATION PROBLEMS……..…2576
Ibragimov B.I.
MiG-41: ENGINE SELECTION - SIXTH GENERATION ENGINE……..……2579
Иванова В.Д.
АНГЛИЙСКИЙ ЯЗЫК КАК АРХИТЕКТУРНЫЙ
КОМПОНЕНТ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ……....……2583
Иванова В.Д.
УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА
В ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОМ ИНТЕРФЕЙСЕ……..……2587
Kalbakh M.A.
3D PRINTING IN THE HANGAR: HOW ADDITIVE TECHNOLOGIES
REDUCE AIRCRAFT DOWNTIME AND MAKE REPAIRS CHEAPER ……2591
Lysko E.A., Shakirov E.F.
THE INFLUENCE OF SOCIAL MEDIA ALGORITHMS ON THE
RECOMMENDATION FEED: FORMATION, CONSEQUENCES AND PROSPECTS...……2595
Mardeeva A.R., Akhmetzyanova D.I.
EVOLUTION OF TRANSLATION METHODS FROM ENGLISH
INTO RUSSIAN: HISTORICAL REVIEW AND MODERN TRENDS…….……2599
Moiseeva S.M.
SONIC BOOM: FROM OVERLAND BAN TO COMMERCIAL SUCCESS……2603

Pecherskiy B.P.
THE ROLE OF BILINGUALISM IN MODERN-DAY AVIATION ……..……2607
Pronin A.N.
THE ROLE OF PROFESSIONAL ENGLISH IN FORMING
THE COMPETENCES OF SPECIALISTS IN THE SPHERE OF SMM…….……2612
Саттарова А.Р.
ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗГОВОРНОГО
И ТЕХНИЧЕСКОГО АНГЛИЙСКОГО…….……2615
Солобоева Н.В.
ПУТИ ФОРМИРОВАНИЯ СЛОВАРЯ ТЕРМИНОВ У СТУДЕНТОВ ДЛЯ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБЩЕНИЯ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ……...……2619
Solodyankina E.A.
ANALYSIS OF THE PECULIARITIES OF ADAPTATION OF
ENGLISH BORROWINGS IN RUSSIAN……2625
Tarantaeva A.R.
DEVELOPMENT OF DESIGN AND ADDITIVE MANUFACTURING
TECHNOLOGY FOR ASSEMBLY TOOLING……...…2628
Trushkova A.A., Serikova E.D.
ANALYSIS OF ENGLISH TERMINOLOGY IN
NANOTECHNOLOGY: ISSUES OF TRANSLATION AND
INTEGRATION IN THE RUSSIAN ENGINEERING COMMUNITY……...……2632
Shchukin G.V.
COMMUNICATION STRATEGIES FOR VIRTUAL MEETINGS
AND ONLINE COLLABORATION…….……2636
Yunusova K.A.
AIRCRAFT RECYCLING AND REPROCESSING:
TECHNO-ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ANALYSIS……...……2640

СЕКЦИЯ 24
СОЦИАЛЬНЫЕ ОТНОШЕНИЯ И ПОТЕНЦИАЛ МОЛОДЕЖИ В ИНДУСТРИАЛЬНОМ ОБЩЕСТВЕ

Арутюнова А.А.
КВАЛИФИКАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКОЛЕНИЯ Z
КАК ОСНОВА КАДРОВЫХ РЕШЕНИЙ В ОТРАСЛИ……..……2646
Бахтиярова А.М., Зиганшина К.Р., Мустафина З.Р.
СОЦИАЛЬНЫЕ СЕТИ И ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ МОЛОДЁЖИ……..…2649
Бирюзова Д.А.
ЦИФРОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ: НОВЫЕ ФОРМЫ СОЦИАЛИЗАЦИИ
В ПОСТИНДУСТРИАЛЬНУЮ ЭПОХУ……...……2653
Богданова А.Л., Бендрик А.К.
ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ГЛОБАЛИЗАЦИИ
И ЦИФРОВИЗАЦИИ НА ВОПРОС НАЦИОНАЛЬНОГО
САМООПРЕДЕЛЕНИЯ МОЛОДЁЖИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН……..……2656
Богданова А.Л.
КРЕАТИВНОСТЬ ПОД УГРОЗОЙ? ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА НА РАЗВИТИЕ ТВОРЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ В ОБРАЗОВАНИИ……2661

Боричевская Е.И.
СТУДЕНТЫ, ОСВАИВАЮЩИЕ ПРОГРАММУ ГОСУДАРСТВЕННОГО
И МУНИЦИПАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ, КАК ДВИЖУЩАЯ СИЛА
СОЦИАЛЬНОГО ПРОГРЕССА: ВОЗМОЖНОСТИ И ВЫЗОВЫ
В УСЛОВИЯХ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ И ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОЙ ЭПОХИ……..…2664
Бочарникова В.Н.
РОЛЬ МОЛОДЕЖИ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ КАДРОВОГО
ДЕФИЦИТА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ……...……2667
Вдовина В.А., Янова Р.И.
ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА КОГНИТИВНЫЕ
СПОСОБНОСТИ И УСПЕВАЕМОСТЬ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗОВ……2671
Гавричкова А.А., Жданова К.А., Соколовская С.Е.
МОЛОДЁЖНЫЕ ОНЛАЙН-СООБЩЕСТВА КАК НОВЫЕ
ФОРМЫ СОЦИАЛИЗАЦИИ……...…2675
Данилова М.Г., Рябова М.А., Челнокова А.Д.
РОЛЬ СОЦИАЛЬНЫХ МЕДИА В ФОРМИРОВАНИИ
КОЛЛЕКТИВНОГО СОЗНАНИЯ МОЛОДЕЖИ……..……2680
Зайнутдинова Э.И.
СОЦИАЛЬНАЯ МОБИЛЬНОСТЬ МОЛОДЕЖИ В УСЛОВИЯХ
ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ РЫНКА ТРУДА: ВОЗМОЖНОСТИ И БАРЬЕРЫ…….……2687
Зиятдинов Б.И.
ПРОБЛЕМА СОХРАНЕНИЯ ИСТОРИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ
О ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЕ СРЕДИ МОЛОДЕЖИ……2691
Ильина Я.И.
ПОТРЕБЛЕНИЕ МИКРОЗЕЛЕНИ В КОНТЕКСТЕ КУЛЬТУРЫ
ПИЩЕВОГО ПОВЕДЕНИЯ МОЛОДЕЖИ……...……2694
Киселева К.М.
УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ В СФЕРЕ МОЛОДЕЖНОЙ
ПОЛИТИКИ (НА МАТЕРИАЛАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН) ……..……2698
Кобелева В.А.
СОЦИАЛЬНЫЕ ОТНОШЕНИЯ И ПОТЕНЦИАЛ МОЛОДЕЖИ
В ДВУХ ЭПОХАХ: ИНДУСТРИАЛЬНОЙ И ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОЙ……..…2701
Корсаков А.И.
СОЦИАЛЬНАЯ МОБИЛЬНОСТЬ И САМООПРЕДЕЛЕНИЕ
МОЛОДЁЖИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБЩЕСТВА…….……2706
Лазарева А.С.
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
МОЛОДЕЖИ В ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОМ ОБЩЕСТВЕ……...……2710
Латыпов И.И.
ЭФФЕКТИВНЫЙ ОПЫТ НЕМАТЕРИАЛЬНОЙ МОТИВАЦИИ
ТРУДА ПЕРСОНАЛА В ООО «ЯНДЕКС» ……....…2715
Мичко И.В.
ПАРАДОКС РЫНКА ТРУДА: ТРАНСФОРМАЦИЯ
СФЕРЫ ЗАНЯТОСТИ И РОСТ ИЖДИВЕНЧЕСКИХ НАСТРОЕНИЙ
СРЕДИ ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОЙ МОЛОДЕЖИ ……...……2719
Муртазина К.И.
МОЛОДЁЖЬ КАК СОЦИАЛЬНАЯ ОБЩНОСТЬ
ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ РЕАЛЬНОСТИ …….……2723
Нестерова А.П.
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ДЕЛОВОЙ
КАРЬЕРОЙ И РАЗВИТИЕМ ПЕРСОНАЛА В РОССИЙСКОМ ОБЩЕСТВЕ……..……2729

Пелевина К.М.
АКСИОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ВОСПИТАТЕЛЬНОЙ
РАБОТЫ В ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ……..……2734
Протасова А.К.
МОЛОДЕЖЬ КАК СОЦИАЛЬНО-ФИЛОСОФСКАЯ КАТЕГОРИЯ
В ИНДУСТРИАЛЬНОМ И ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОМ ОБЩЕСТВАХ……..…2739
Сахнова А.В.
СОЦИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ ДОСТУПНОСТИ
ИНТЕРНЕТ-ДОСУГА ДЛЯ МОЛОДЫХ ИНВАЛИДОВ……2742
Серазетдинова Д.М.
ИНДИВИДУАЛИЗАЦИЯ КАК ТЕНДЕНЦИЯ СОВРЕМЕННОГО
ПОТРЕБЛЕНИЯ В СФЕРЕ МОДЫ……2744
Серягин Р.О., Хошимов Б.О.
МОЛОДЕЖЬ В ЦИФРОВОМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ……2748
Топунова М.П., Максимов В.Д.
РОЛЬ КОММУНИКАЦИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЕКТОМ «ШКОЛЬНАЯ ЛИГА ПО ТЭГ-РЕГБИ» ……..……2752
Фатыхов Р.Р.
РОЛЬ МОЛОДЕЖИ В ЦИФРОВИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ
БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ……...……...…2756
Хафизова Л.И.
РОЛЬ МОЛОДЕЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В РАЗВИТИИ
ГРАЖДАНСКОГО ОБЩЕСТВА……...….2760
Хафизова Л.И.
ОСОБЕННОСТИ КУЛЬТУРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ
МОЛОДЕЖИ В СОВРЕМЕННОМ РОССИЙСКОМ ОБЩЕСТВЕ…….……2764
Хисматуллина З.А.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ
ПОДБОРА И ОТБОРА ПЕРСОНАЛА МАЛОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
В ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОМ ОБЩЕСТВЕ……2768
Чупрова А.С.
ПРОБЛЕМА ПОПУЛЯРИЗАЦИИ ТЕАТРАЛЬНОГО ИСКУССТВА В РОССИИ……...…2773
Шаймарданова Я.З.
ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ ДЕТСКО-ЮНОШЕСКОГО
СПОРТА В РЕГИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ……...…2777
Шафигуллина А.М.
СМЕНА ПРИОРИТЕТОВ МОЛОДЁЖИ В ВЫБОРЕ
ПРОФЕССИИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБЩЕСТВА……...……2783
Штурбабин Н.С.
ИДЕИ И СМЫСЛЫ АКТУАЛЬНЫЕ СЕГОДНЯ ДЛЯ
СОЦИУМА В РУССКОЙ ЛИТЕРАТУРЕ……..……...……2786

СЕКЦИЯ 25
АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ ОТРАСЛЬ: ИСТОРИЯ
И КОММУНИКАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА

Баженова А.А.
УЧАСТНИКИ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ – РАБОТНИКИ
КАФЕДРЫ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ КНИТУ-КАИ……...……2792
Бочков М.О.
СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ В 1920 – 1940 гг.:
ИСТОРИЧЕСКИЙ АСПЕКТ……...……2795
Горохова А.В.
О НАУЧНЫХ ИЗДАНИЯХ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ
СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ……2800
Куликовский С.С.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ
В РОССИЙСКОЙ АРХЕОЛОГИИ…….……2804
Лим Е.С.
ЛЕНИ РИФЕНШТАЛЬ КАК РЕЖИССЕР-ПРОПАГАНДИСТ……...……2808
Маркелов С.А., Гайфутдинова А.Р.
ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ КУЛЬТУРЫ РЕСПУЛИКИ ТАТАРСТАН СРЕДИ
МОЛОДЕЖИ ЧЕРЕЗ ЦИФРОВЫЕ МЕДИА ……2812
Мухаметзянов А.Р.
ГЕРОИ АВИАСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ
ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ ……..……2815
Мюллер П.Д.
КАЗАНЬ И КАЗАНСКАЯ ГУБЕРНИЯ В ГРАЖДАНСКОЙ ВОЙНЕ:
ПОД ВЛАСТЬЮ КОМУЧА……2815
Новиков Д.С., Сулимов А.В.
КОММУНИЗМ КАК ИДЕОЛОГИЯ: ИСТОРИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ
И СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ……...……2821
Мухаметшина М.А., Плотникова Я.А.
К 120-ЛЕТИЮ БРАГИНА ДАВИДА ЯКОВЛЕВИЧА…….……2825
Мухаметшина М.А., Плотникова Я.А.
СОТРУДНИКИ КАФЕДРЫ «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ» В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ
ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ……...……2828
Потёмин К.Ю.
ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ УДАРНЫХ ВЕРТОЛЕТОВ……...…2834
Саидгараева Р.Р.
ЭВОЛЮЦИЯ БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ
ТЕХНИКЕ: ОТ ПЕРВЫХ СПУТНИКОВ ДО СОВРЕМЕННЫХ НАНОСПУТНИКОВ…...2838
Саидгараева Р.Р.
РОЛЬ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ СИСТЕМ СВЯЗИ
МЕЖДУ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ И НАЗЕМНЫМИ СТАНЦИЯМИ……..…2842
Степанов П.О.
СОТРУДНИКИ КАФЕДРЫ КОНСТРУКЦИИ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ – УЧАСТНИКИ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ…….…..2846
Черненький А.В.
СЕМЕЙСТВО ПЕРСПЕКТИВНЫХ РОССИЙСКИХ ДАЛЬНЕМАГИСТРАЛЬНЫХ
ШИРОКОФЮЗЕЛЯЖНЫХ ПАССАЖИРСКИХ САМОЛЁТОВ……2852
Шнайдмиллер Р.Д.
ТЕЛЕФОННОЕ МОШЕННИЧЕСТВО: ВЫЗОВЫ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА..…..…2859

СЕКЦИЯ 26
ФИЛОСОФИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Аксанова З.Р.
ПРЕОДОЛЕНИЕ АБСУРДА: ЭКЗИСТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ
Ф. ДОСТОЕВСКОГО И А. КАМЮ……2865
Ахметшин Ф.И.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ НА
ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МОЛОДЕЖИ ОБ ИДЕАЛЬНОЙ ЖИЗНИ……..……2868
Биктимирова А.В.
ФЕНОМЕНОЛОГИЯ ПЕРФОРМАНСА: РИТУАЛЬНАЯ
И ИГРОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА. ……..2872
Волков И.А.
МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЭПИСТЕМОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ В ИСТОРИИ НАУКИ ……2877
Гайнуллин Б.А., Наймушин Н.К.
ФИЛОСОСКОЕ ПОНИМАНИЕ ИСКУССТВЕННОГОИНТЕЛЕКТА КАК ЛИЧНОСТИ...2881
Джораев Б., Соколова А.С.
ГОСУДАРСТВО В РУССКОЙ ФИЛОСОФИИ (ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ
ВОПРОСОВ ГОСУДАРСТВЕННОСТИ) ……..2884
Журавлёв Т.И.
МУЗЫКА И ДУХ СОВРЕМЕННОСТИ……..…2888
Закарьяева Д.А.
ФИЛОСОФСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ЭЙНШТЕЙНА…2891
Иванова К.А.
ТРУД КАК СОЦИАЛЬНО-КУЛЬТУРНАЯ ЦЕННОСТЬ……2896
Идиятуллин А.Р.
ЭПИСТЕМОЛОГИЧЕСКИЙ ВЫЗОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА……..…2900
Лотфуллин А.Ш.
ЦИФРОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ЧЕЛОВЕКА……2903
Петров М.Е.
ФИЛОСОФИЯ ВРЕМЕНИ И КОСМОЛОГИЧЕСКАЯ СИНГУЛЯРНОСТЬ……2906
Разметова М.Д.
ДИАЛЕКТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ ЛЮБВИ И НЕНАВИСТИ……2909
Сапожникас М.А., Виноградов Р.И.
РОЛЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СИМУЛЯЦИЙ В СОВРЕМЕННОЙ
ИНЖЕНЕРИИ. НОВАЯ ПАРАДИГМА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ...2913
Сахаров Р.И.
ПОЗИТИВИЗМ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА МЕТОДОЛОГИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК:
ОТ ЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА К ИНЖЕНЕРНОЙ ПРАКТИКЕ……..……2916
Сибгатуллин Р.А.
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ОБРАЗОВАНИИ: МЕЖДУ
ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ И ГУМАНИЗМОМ……..……2922
Ситдиков Р.Р.
КВАНТОВАЯ КРИПТОГРФИЯ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ
КОММУНИКАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ……2925
Торин С.В.
ОНТОЛОГИЯ ТЕХНИКИ……...……2929
Фадеева С.Е.
ПРОБЛЕМА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ФИЛОСОФИИ ТЕХНИКИ…..……2933

Фадеева С.Е.
ФИЛОСОФИЯ ТЕХНИКИ: ПРИРОДА И СУЩНОСТЬ
ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛЬНОСТИ……...……2936
Хамитова А.Р.
КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ РЕЛИГИОЗНОГО ФАНАТИЗМА……..……2939
Чернавский Е.А., Шабин Р.А.
ПРОИЗВОДНАЯ ЭПОХИ……...……2942
Шевчук О.А.
ФЕНОМЕН ПОТОКА И ЯПОНСКАЯ ФИЛОСОФИЯ ПРИСУТСТВИЯ
В ГЕЙМПЛЕЕ ЗАТЯГИВАЮЩЕМ ИГРОКА……..……2946

СЕКЦИЯ 27
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО И ИНЖИНИРИНГ КАК ТОЧКИ

Абдурахманова А.И.
ТРАНСФОРМАЦИЯ ЗАНЯТОСТИ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ КАК ТОЧКИ
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ……..…2951
Абель М.А.
ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ОБРАБОТКЕ
СТАТИСТИЧЕКИХ ДАННЫХ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ……2956
Аграновский Д.А.
ЦИФРОВОЙ ДИЗРАПТ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ ИНСТРУМЕНТ
НАУКОЕМКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ……...……2960
Ахметзянов А.Х.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ НА РЫНОК
ТРУДА: НОВЫЕ ПРОФЕССИИ И ВЫЗОВЫ……...……2963
Ахметова Н.М.
ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ИНИЦИАТИВЫ ПОДДЕРЖКИ СТАРТАПОВ
В СФЕРЕ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ: ОПЫТ РОССИИ……...……2968
Борисова В.Г.
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА И ИНЖИНИРИНГА……..…2972
Бусол И.Ю.
ПРОБЛЕМА ТРУДОУСТРОЙСТВА ВЫПУСКНИКОВ: БАРЬЕРЫ
И ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ……2976
Васильева О.В.
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОНКУРЕНТНОЙ СТРАТЕГИИ
АПТЕЧНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ……..……2982
Весельев А.Д.
ЭКОНОМИКА ТРУДА В ЭПОХУ АВТОМАТИЗАЦИИ
И ИСКУСТВЕННОГО ИНТЕЛЕКТА……2986
Весельев А.Д.
СОЦИАЛЬНОЕ НЕРАВЕНСТВО И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ..…2990
Галлямова Э.М., Клюева К.Э., Рафикова К.Р.
СТАНДАРТЫ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ КЛИЕНТОВ В ЭЛЕКТРОННОЙ
КОММЕРЦИИ: КАК СТАНДАРТЫ ФОРМИРУЮТ ЛОЯЛЬНОСТЬ……...…2993
Гиниятуллина Р.Р.
ЭКОНОМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ КРЕДИТНОГО РЫНКА
В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПАО «СБЕРБАНК»……..……2997

Гиниятуллина Р.Р.
ПРИМЕНЕНИЕ ГИБКИХ МЕТОДОЛОГИЙ AGILE
В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ……3000
Грошев Д.М.
РОЛЬ ИННОВАЦИОННЫХ ЭКОСИСТЕМ
В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВЕ……3003
Загриева А.Р., Минеева П.А.
ГОСУДАРСТВЕННЫЕ МЕРЫ ПОДДЕРЖКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА: ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ…….……3006
Зорина В.А., Егорова А.В., Башурова К.П.
ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ
ПРИ ВЫХОДЕ НА ОПТОВЫЙ РЫНОК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ……3010
Каюмов А.Ф.
ЭФФЕКТИВНЫЕ СТРАТЕГИИ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА В ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НЕБОЛЬШИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СТАРТАПОВ: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ……..…3015
Каюмов А.Ф.
СОЗДАНИЕ УМНЫХ ГОРОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИИ И IoT:
КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ……...…3019
Костицын Е.А., Диникаева А.Ф.
ФИНАНСОВО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ГРУППЫ В РОССИИ: ИНСТИТУЦИОНАЛЬНАЯ
ПРИРОДА, ЭВОЛЮЦИЯ И ВЛИЯНИЕНА ПРОМЫШЛЕННОЕ РАЗВИТИЕ……3021
Кузьмин А.К.
ИННОВАЦИИ В ВЕНДИНГОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ: ПЕРСПЕКТИВЫ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТОРГОВЛИ ГОРЯЧИМИ БЛЮДАМИ……...……3024
Кузьмин А.К.
АВТОМАТИЗАЦИЯ ГОРЯЧЕГО ПИТАНИЯ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
ВЕНДИНГОВЫХ РЕШЕНИЙ И ТРАДИЦИОННОГО ОБЩЕПИТА……3028
Куманяева Д.Р.
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА И ИНЖИНИРИНГА
НА ФОРМИРОВАНИЕ НОВЫХ РЫНКОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ…….……3033
Малкина Е.С.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО И ЕГО ВЛИЯНИЕ
НА РЫНОК ТРУДА В РОССИИ: НОВЫЕ ПРОФЕССИИ И НАВЫКИ……3036
Малкина Е.С.
НАЦИОНАЛЬНЫЕ ЦЕЛИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ:
КАК ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ РОССИИ ЗАВИСИТ ОТ ПЕРЕХОДА
СЫРЬЕВОЙ МОДЕЛИ К ИННОВАЦИОННОЙ……...…3040
Марочкина О.К.
ВЛИЯНИЕ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПРОГРАММ ПОДДЕРЖКИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА НА ИННОВАЦИОННОЕ
РАЗВИТИЕ ПРОМЫШЛЕННОСТИ……...……3043
Минеева П.А., Загриева А.Р.
ИНЖИНИРИНГ КАК ФАКТОР КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ
ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ……3047
Оразмухаммедова М.В.
РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА МЕДИЦИНСКИХ И КОСМЕТИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ
ИЗ ВАТЫ КАК ЭЛЕМЕНТА ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ В ТУРКМЕНИСТАНЕ……3050
Орлова Е.А.
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ
АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ……...……3057

Панкратова А.К.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ПОВЫШЕНИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА В ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ……3060
Попыева Н.А.
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН……..……3066
Раимов Ф.Т.
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАЛОГО И СРЕДНЕГО БИЗНЕСА В РОССИИ: К СОЗДАНИЮ УСЛОВИЙ ДЛЯ ИННОВАЦИОННОГО РОСТА……...…3069
Романова Ю.В.
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОЦЕНКИ БИЗНЕСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ DCF……3072
Сердюк В.А.
О РОЛИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОМПОНЕНТА ИНЖИНИРИНГА…….……3077
Тазова Р.В.
РОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СТАРТАПОВ В ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РОССИЙСКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ…….……3080
Толстопятова А.А.
АКТУАЛЬНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ CRM-СИСТЕМЫ В РАБОТУ ЭНЕРГОКОМПАНИИ…3087
Хабибуллина Л.А.
ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИРОВОГО РЫНКА КАПИТАЛА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ МИРОВОЙ ЭКОНОМИКИ……3090
Хайдаршина Г.В.
ПАЕВЫЕ ИНВЕСТИЦИОННЫЕ ФОНДЫ КАК ИНСТРУМЕНТ МОБИЛИЗАЦИИ КАПИТАЛА ДЛЯ ИННОВАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ……3093
Хайдаршина Г.В.
ИНТЕГРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СТАРТАПОВИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО ИНЖИНИРИНГА В ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЦЕПОЧКИ РОССИИ……...……3096
Хамитов А.Р.
ЭКОНОМИКА ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ: ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ НА ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОСТ……3100
Хамитов А.Р.
ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИНАНСОВЫХ РИСКОВ В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ СТАРТАПАХ…….……3105
Хрущёв В.А.
ВЫЗОВЫ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В АВИАТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ…….……3110
Хуснутдинов Д.Н.
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ РОССИИ……...…3114
Чекулаев И.Д.
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА РОССИИ, С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПОДХОДА……...……3117
Чекулаев И.Д.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО КАК ТОЧКА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ……..…3120
Щелокова Д.Р.
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА НА ТРАДИЦИОННЫЕ БИЗНЕС-МОДЕЛИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ…..…3124

Эсмурзиев А.-Х.М.
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ФИНАНСОВОМ СЕКТОРЕ: ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РИСКИ ДЛЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ……3128
Эсмурзиев А.-Х.М.
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В МАРКЕТИНГЕ И РЕКЛАМЕ: ВЛИЯНИЕ НА ПОВЕДЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ……..…3131

СЕКЦИЯ 28
ИНКЛЮЗИВНАЯ ПОДГОТОВКА ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ВЫСШЕЙ И СРЕДНЕЙ ШКОЛАХ

Афанасьева Е.Е., Иевлев В.В.
ОБ ОПЫТЕ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОФОРИЕНТАЦИОННОЙ РАБОТЫ С ВЫПУСКНИКАМИ КОРРЕКЦИОННЫХ ШКОЛ ДЛЯ ЛИЦ С ОВЗ ПО СЛУХУ…...…3136
Афанасьева Е.Е.
ИНКЛЮЗИВНАЯ КУЛЬТУРА В ТЕХНИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ: СОЗДАНИЕ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ СТУДЕНТОВ С ОСОБЫМИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ ПОТРЕБНОСТЯМИ (НА ПРИМЕРЕ УВО «УНИВЕРСИТЕТ УПРАВЛЕНИЯ «ТИСБИ»)….……3139
Ахметова И.Р.
ТЕХНОЛОГИИ В ИНКЛЮЗИВНОМ ЯЗЫКОВОМ ОБРАЗОВАНИИ……..3143
Бируля С.Н.
АНАЛИЗ МЕТОДИК ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИН ПРЕПОДАВАТЕЛЯМИ ВУЗА ЛИЦАМ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ ПО СЛУХУ…..……..…3147
Бреус К.С.
МАТЕМАТИКА НА ЯЗЫКЕ ЖЕСТОВ: РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ СТРАТЕГИЙ ОБУЧЕНИЯ ЛИЦ С ОВЗ ПО СЛУХУ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ…….……3150
Бреус К.С.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ СО СЛАБОСЛЫШАЩИМИ И ГЛУХИМИ СТУДЕНТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНИМАЦИИ……..……3154
Иевлев В.В.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АССИСТИВНЫХ СРЕДСТВ КОММУНИКАЦИИ ГЛУХИХ И СЛАБОСЛЫШАЩИХ СТУДЕНТОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ…….……3157
Камаева Г.Ф.
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАТИВНАЯ КУЛЬТУРА В ИНКЛЮЗИВНОМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗА……..3161
Махмутов З.Д., Логушкин О.А.
ВАЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИДЕОГЛОССАРИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИН СО СЛАБОСЛЫШАЩИМИ И ГЛУХИМИ СТУДЕНТАМИ ……..…3166
Минсламов А.Р.
ТЬЮТОР ДЛЯ СТУДЕНТОВ С ОВЗ ПО СЛУХУ – НЕОТЪЕМЛЕМОЕ ЗВЕНО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА……..3171
Тимофеев М.Д, Федюшин Е.А.
ПРОФИЛАКТИКА ВЫГОРАНИЯ В ВУЗЕ – ЗАЛОГ ПСИХИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ СПЕЦИАЛИСТА……...…….3174
Тимофеев М.Д.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА» СО СТУДЕНТАМИ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ……..……..3177

Шергин В.С.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЛУХОРЕЧЕВОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ
РЕЧИ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ……..……..3181

Электронное издание

Материалы международной молодежной
научной конференции

«XXVII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ
(школа молодых ученых)»,
посвященной 80-летию Победы в Великой Отечественной войне

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/Vista/10; дисковод CD-ROM; Adobe Reader.

Объем издания – 126 Мб

Тираж 11 экз.

© Оформление.
Изд-во ИП Сагиев А.Р., 2025